



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Dirección de Ciencias Ambientales y Cambio Climático

Trabajo de Tesis

Estudio ecológico de la asociación pino-encino con
énfasis en el crecimiento de *P. oocarpa*.

Autor(es)

Br. Ruyeina Valentina García Hernández

Br. Juan Antonio Cruz Benavidez

Asesor(es)

MSc. Miguel Angel Garmendia Zapata

**Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Forestal con mención en Manejo Forestal
Diversificado.**

**Managua, Nicaragua
Noviembre, 2025**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la **Dirección de Ciencias Ambientales y Cambio Climático** como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Forestal con Mención en Manejo Forestal Diversificado

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Claudio Joel González
Espino
Presidente

Lic. Belinda Victoria Castillo
Secretaria

Ing. Bayardo Alberto González Namendy
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 01 de Diciembre del 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis con todo mi corazón a mis padres Juan Cruz y María Benavides, mi hijo Johan Matías Cruz, mi novia María Fernanda luna, mis hermanos Eddy cruz y Nathali cruz y todos mis tíos que a lo largo de este proceso ellos han sido mi motor, mi fuerza, mi fuente de inspiración y son ellos quien me brindaron apoyo incondicional durante todo este proceso.

Quiero hacer una dedicación especial a mi abuelo materno Eddy Gerardo Benavidez (Q.P.D), que a lo largo de más de 20 años fue mi papa Eddy y soñaba con poder presenciar este momento.

Br. Juan Antonio Cruz Benavidez

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis adorables compañeros de vida: Nebula, Doja, Quercus, Fungi, Mia, Hugo, Mystic, kuromi y Migthy. Gracias por ser mi principal motivación para seguir adelante en cada paso de este camino. Su amor incondicional y su alegría han iluminado mis días y me han recordado la importancia de perseverar. Esta dedicación es para ustedes, que siempre están a mi lado.

Br. Ruyeina Valentina Garcia Hernández

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a Dios por darme el tiempo y las fuerzas para llegar hasta el momento de culminación de carrera.

Quiero agradecer a mis padres Juan José Cruz Briones y María Elizabeth Benavides Zanarruzia quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional. Su amor, dedicación y sacrificio han sido fundamentales en cada paso de este camino. Agradezco cada momento de aliento, cada consejo y cada sacrificio que han hecho para brindarme las oportunidades que hoy tengo. Sin su apoyo y su fe en mí, este sueño no se haría realidad.

Les debo mucho más que palabras, pero espero que sepan lo agradecido que estoy por todo lo que han hecho por mí.

Quiero dedicar un agradecimiento especial a mi querido hijo Johan Matías Cruz, quien ha sido una luz en mi vida y una fuente constante de motivación. Tu alegría y tu inocencia han sido un recordatorio diario de por qué es tan importante seguir luchando por tus sueños y salir adelante. Agradezco tu paciencia durante este proceso, entendiendo que a veces mi tiempo estaba dividido. Cada risa compartida y cada momento juntos han hecho que este camino valga la pena.

Este logro también es tuyo, porque cada paso que doy es por ti y por el futuro que queremos construir juntos. Te amo profundamente y estoy eternamente agradecido.

Quiero dedicar unas palabras especiales a mis hermanos Eddy Cruz y Nathalia Cruz, quienes han sido un pilar fundamental en este proceso. Su apoyo incondicional, tanto emocional como práctico, ha sido invaluable para mí. Agradezco profundamente su paciencia y comprensión en momentos de estrés, así como sus palabras de aliento que me motivo.

Cada uno de ustedes ha aportado algo único a mi vida ya esta etapa de mi formación. Gracias por estar siempre a mi lado, por compartir risas, y por ofrecerme su ayuda cuando más lo necesito.

Quiero dedicar unas palabras especiales a mi novia María Fernanda Luna, cuyo amor y apoyo han sido fundamentales a lo largo de este proceso. Gracias por estar a mi lado, tu comprensión y aliento me han dado fuerzas para seguir, no solo ha sido mi compañera, sino también mi inspiración. Este logro es tan mío como tuyo, y espero que podamos juntos celebrar.

Quiero agradecer a mis tutores Dr. Alvaro Noguera, Msc. Oscar Rene Valdivia y Msc. Miguel Garmendia por todo el apoyo, por su guía, por compartir sus conocimientos y su tiempo, por su paciencia y consejos. Todo eso fue fundamental para llegar a la finalización de este trabajo de tesis.

Br. Juan Antonio Cruz Benavidez

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este viaje y que han contribuido a la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco profundamente a mi mamá, cuyo amor incondicional y apoyo constante me han dado la fortaleza necesaria para seguir adelante en los momentos más desafiantes. Tu fé en mí ha sido mi mayor motivación.

A mi hermana, gracias por ser mi compañera y por siempre animarme a perseguir mis sueños. Tu alegría y positividad han sido un refugio en los momentos de estrés y dificultad.

A mis tutores, Dr. Alvaro Noguera, Msc. Oscar Valdivia y Msc. Miguel Garmendia, les agradezco por su guía, paciencia y dedicación. Sus conocimientos y consejos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo, y siempre valoraré las enseñanzas que me han brindado.

Br. Ruyeina Valentina García Hernández

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
AGRADECIMIENTO	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Lineamientos teóricos relacionados al estudio de la dinámica de las masas forestales	4
3.2. Teorías sobre la asociación bosque pino-encino	5
3.3. Amenazas y estado de degradación de los bosques pino-encino	5
3.4. Antecedentes sobre estudios de la asociación pino-encino	6
3.5. Uso potencial de Quercus	7
3.7. Descripción del ecosistema	9
3.7.1. Bosque siempreverde estacional de pino submontano, IA2b(2)	9
3.7.2. Bosque siempreverde estacional mixto submontano, IA2b(1/2)	9
IV. MATERIALES Y METODOS	11
4.1. Localización del área de estudio	11
4.1.1. Ubicación	11
4.1.2. Descripción del Clima	11
4.1.3. Topografía y suelos	12
4.1.4. Hidrografía	12
4.2. Procedimiento metodológico	12
4.2.1. Establecimiento de ensayo	12
4.2.2. Muestreo de la composición de especie y estado silvicultural.	14
4.3. Análisis de datos	17
4.3.1. Cálculo de ICA	17
4.3.4. Composición de especies	18
4.3.5. Estado silvicultural	18

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
5.1. Composición de especies acompañantes en la asociación pino-encino de la finca Forestal El Copetudo.	19
5.2. Influencia de la abundancia (proporción de la mezcla pino-encino) sobre variables dasométricas de la regeneración natural de pino.	20
5.3. Comportamiento de las variables dasométricas en la formación vegetal pino-encino.	21
5.3.1. Incremento en diámetro basal (mm).	21
5.3.2. Incremento en altura (cm).	23
5.3.3. Estado silvicultural de la regeneración natural de <i>P. oocarpa</i> y encino (<i>Quercus</i> spp.) en formaciones pino-roble.	24
VI. CONCLUSIONES	27
VII. RECOMENDACIONES	28
VII. LITERATURA CITADA	29
VIII. ANEXOS	32

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Cambios en la abundancia (arboles/ha) por especies y tratamientos en el periodo evaluado.	20
2.	Resumen del número de verticilos, ángulo de inserción y forma de la copa para los individuos de la especie pino, desagregado por las áreas correspondientes a los tratamientos y testigo.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Mapa de localización y ubicación de las unidades de muestreo en la finca forestal El Copetudo.	11
2.	Gráfico comparativo de diámetro basal por tratamiento y testigo, por especie de los años 2023-2024.	22
3.	Gráfico comparativo de altura por tratamiento y testigo, por especie de los años 2023-2024.	23
4.	Gráfico comparativo de numero de verticilos por tratamiento y testigo, por especie de los años 2023-2024.	24

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Formulario de campo.	32
2.	Dossier fotográfico.	33

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo caracterizar la formación vegetal pino-encino en términos de la interacción en diferentes proporciones. El concepto experimental fue cumplido a través de la aplicación de tratamientos experimentales que modificaron como variable única las densidades de pino y encino en proporciones de 70% pino y 30% encino (tratamiento 1), 50% pino y 50% encino (tratamiento 2), comparando con parcelas testigo cuya abundancia fue 100% pino. Cada tratamiento estuvo constituido por tres repeticiones, mientras que para la condición de testigo se utilizaron dos parcelas. Fueron medidas una serie características como composición florística, variables dasométricas como diámetro basal, altura, y variables silviculturales como número de verticilos, forma de la copa y ángulo de inserción de ramas. El periodo de evaluación fue de 1 año. La composición florística fue diferente al comparar los tratamientos con el testigo. En los tratamientos fueron registradas siete especies principalmente arbóreas y arbustivas, que constituyen un estrato o sotobosque; mientras en las parcelas testigos no fueron registradas especies acompañantes. El parámetro abundancia mostro una tendencia a la reducción, siendo la excepción el tratamiento 2, donde se dio un incremento de 5%. Las variables dasométricas diámetro basal (mm) y altura (cm), mostraron cambios positivos en los valores de ICA, tanto para *P. oocarpa*, como para *Quercus* spp., registrándose un mayor desempeño en el tratamiento 2. Las variables silviculturales como número de verticilos (que en todas las parcelas experimentales registró incremento), ángulos de inserción de ramas y forma de la copa sugieren una buena calidad de plantas de la regeneración de *P. oocarpa* y en el caso de los tratamientos, una baja influencia del asocio entre pino-encino. La tendencia identificada con estos primeros resultados de 1 año permite concluir que los tratamientos no tuvieron influencia negativa en la asociación pino-encino sobre el crecimiento de la especie *P. oocarpa*.

Palabras claves: Análisis de crecimiento, parcelas permanentes de muestreo, manejo forestal sostenible.

ABSTRACT

This study aimed to characterize the pine-encino vegetation formation by evaluating interactions between species under different mixture proportions. The experimental design manipulated a single factor: the relative densities of pine and oak. Three treatments were established: 70% pine – 30% encino (Treatment 1), 50% pine – 50% encino (Treatment 2), and a control with 100% pine. Each treatment had three replicates, while the control condition comprised two plots. Measured variables included floristic composition; dendrometric variables such as basal diameter and total height; and silvicultural attributes including number of whorls, crown shape and branch insertion angle. The evaluation period covered one year. Floristic composition differed between the mixed treatments and the control. Seven companion species, mainly arboreal and shrubby, were recorded in the mixed-treatment plots and formed a distinct understory; no accompanying species were observed in the control plots. Abundance generally declined across treatments, except for Treatment 2, which exhibited a 5% increase. Dendrometric variables (basal diameter in mm and height in cm) showed positive changes in average annual increment for both *Pinus oocarpa* and *Quercus* spp., with the best performance recorded in Treatment 2. Silvicultural variables notably the number of whorls, which increased in all experimental plots, together with favorable branch insertion angles and crown forms indicate good quality of regenerating *P. oocarpa* individuals and a limited negative influence from pine–encino association in the treatments. The one-year results suggest that the applied treatments did not have a detrimental effect of the pine–encino association on the growth of *P. oocarpa*.

Keywords: growth analysis; permanent sampling plots; sustainable forest management.

I. INTRODUCCIÓN

La ecorregión de bosques de pino-encino de Centroamérica se distribuye desde el sur de Chiapas, en México, hasta el norte de Nicaragua. Esta ecorregión presenta bosques característicamente dominados por diferentes especies de pino (*Pinus* spp) y encino. y (*Quercus* spp.). Debido a la amplia escala de su delimitación (biogeográfica), se encuentra alta variabilidad en su distribución altitudinal, entre 600 y 2,300 msnm (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2008).

La región Mesoamericana posee el 12% de la riqueza biológica del mundo en apenas 2% del territorio del planeta (Alfaro, 2005). En esta región se encuentra la ecorregión Bosque de pino-encino de Centroamérica que es una de las 10 ecorregiones que conforman el bioma de Bosque Tropical y Subtropical de Coníferas Neotropicales. Este bioma contiene los bosques de coníferas tropicales más extensos del mundo y los bosques de pino-encino más amenazados a nivel regional (Fondo Mundial para la Naturaleza, 2001).

De acuerdo con Müller-Using (1994), en los bosques de pino-encino, el componente *Pinus* atrae el interés por beneficio como madera comercializable, mientras que el género *Quercus* no ha sido analizado dentro del ecosistema; siendo razonable el hecho que su uso ha sido mayormente vinculado a la producción de leña y carbón, por lo que no es valorada como madera comercial.

Los ecosistemas mixtos de pino-encino presentan una variada estructura debido a que dependen, entre otros factores, del origen y desarrollo de sus componentes. El manejo de tales ecosistemas en la actualidad requiere de ciertos conocimientos sobre el efecto de diferentes prácticas silvícolas en la conformación de diversas estructuras, así como de instrumentos cuantitativos para el monitoreo de su condición actual (Torres, 2000).

La justificación de esta investigación tiene su base en las amenazas como los incendios forestales, las prácticas de manejo forestal insostenibles, la conversión de bosques a plantaciones de pino, prácticas agrícolas y ganaderas, así como el cambio climático, ponen en peligro estos bosques de pino-encino, en su estructura y composición mixta (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2008).

Otro factor importante para entender el porqué de esta investigación es que, a nivel de muchas zonas rurales con formaciones forestales de pino, visiones de productores forestales y comunidades, la asociación pino-encino suele valorarse negativamente, sobre todo por la visión de que la competencia entre ambas especies reduce el crecimiento y el rendimiento de la especie pino, como principal especie para obtener rentabilidad del manejo forestal. Sin embargo, algunos estudios elaborados sobre esta asociación afirman que los nutrientes proporcionados por los encinos favorecen la regeneración natural del pino. Por ejemplo, Alfaro-Reyna et al. (2019) observaron patrones de regeneración en bosques mixtos de México que sugieren que la presencia de *Quercus* spp. puede facilitar el establecimiento de *Pinus* spp., especialmente en condiciones de perturbación o suelos degradados.

El género *Quercus* es el de mayor distribución dentro de la familia Fagaceae en cuanto a número de especies e importancia ecológica, en particular, los robles y encinos, se entremezclan con los árboles de *Pinus oocarpa* y *Pinus maximinoi*, en algunos sitios bajos forman rodales puros, y en las locaciones más altas y frías se asocian con otras especies latifoliadas y con coníferas como el *Podocarpus oleifolius* (García, 1998). Los usos a los que se destina principalmente la madera de *Quercus* son: celulosa, escuadría, combustible (leña y carbón), postes, pilotes y morillos, durmientes, chapa y madera contrachapada (triplay) (SEMARNAP, 1998).

En este contexto, el presente trabajo es de tipo exploratorio y descriptivo tiene como propósito analizar la asociación ecológica entre especies de *P. oocarpa*. y *Quercus* spp. en bosques mixtos de la región de Nueva Segovia, Nicaragua, con el fin de crear una línea base que aporte a caracterizar su crecimiento, regeneración natural y estructura bajo diferentes proporciones de mezcla. Se proyecta que la información generada contribuya al entendimiento de las dinámicas ecológicas entre estas especies pudiendo así diseñar estrategias de manejo forestal sostenible que integren objetivos de conservación de la biodiversidad con el aprovechamiento sostenible del bosque de pino.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Caracterizar la regeneración natural de pino ocote (*Pinus oocarpa*) y roble encino (*Quercus* spp.) en formaciones pino-roble, para identificar el efecto de la interacción sobre el crecimiento del pino.

2.2 Objetivos específicos

- Describir la composición florística de las especies vegetales asociadas a la formación pino-encino.
- Determinar la influencia de la abundancia (proporción de la mezcla pino-encino) sobre variables dasométricas de la regeneración natural de pino.
- Evaluar el estado silvicultural de la regeneración natural de pino ocote y roble encino en formaciones pino-roble.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Lineamientos teóricos relacionados al estudio de la dinámica de las masas forestales.

Ayala, (2017); expone que los bosques naturales, indistintamente del tipo de ecorregión o zona de vida son recursos naturales de frecuente interés desde los enfoques de conservación y/o aprovechamiento sostenible, siendo los estudios con enfoque ecológico una herramienta de uso amplio, entendiéndose como estudio ecológico: Estudios donde la unidad de observación no son individuos, sino poblaciones o comunidades geográficamente bien delimitadas.

De acuerdo con Molina, (2001); los estudios sobre dinámica de bosque tienen diferentes niveles de escala, siendo la asociación vegetal uno de los niveles más frecuente, por lo que en este estudio se hace referencia a que una asociación vegetal, se considera como una comunidad conformada por una o varias especies características, con fisionomía uniforme y distribución propia de un hábitat particular. En este sentido, el foco de este estudio es la asociación denominada taxonómicamente por el sistema de clasificación de Holdridge como pino-encino, que es una ecorregión en las que hay codominancia de especies de pino y encino (Solano, 2017).

Molina, (2001); estableció que los objetivos más comunes en estudios sobre dinámica ecológica de un bosque o formación vegetal, están dirigidos a determinar la relación entre los factores climáticos y de manejo sobre su composición florística, estructura y biodiversidad; mientras en otros casos se prioriza el entendimiento de los factores asociados al crecimiento, entendiendo crecimiento como aumento del número y volumen celular, mientras que el desarrollo es el conjunto de cambios fenológicos que se producen en la planta desde la germinación hasta el estado adulto. (Salisbury & Ross, 2000), y finalmente la identificación del uso potencial, que es el uso más apropiado de algunas especies de interés, de acuerdo con los atributos y limitantes que se presenten.

En este contexto, se plantea que uno de los usos de mayor impacto de estos estudios es la definición de estrategias de conservación y manejo forestal sostenible, entendiéndose según FAO, (s.f); Manejo forestal sostenible es un concepto dinámico y en evolución, cuyo objetivo es mantener y mejorar los valores económicos, sociales y ambientales de todos los tipos de bosques, en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

3.2. Teorías sobre la asociación bosque pino-encino

La asociación pino-encino representa una formación vegetal característica de regiones montañosas de Mesoamérica, donde coexisten especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*. Esta interacción ecológica ha sido objeto de diversos estudios que analizan su distribución, composición, dinámica poblacional y manejo silvicultural.

La Ecorregión de Bosques de Pino-Encino de Centroamérica se extiende desde el sur de Chiapas, México, hasta el norte de Nicaragua. Estos bosques están dominados por diferentes especies de pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.), y presentan una alta variabilidad altitudinal, que oscila entre los 600 y 2,300 msnm, debido a su amplia delimitación biogeográfica (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2008).

El grado de mezcla entre pinos y encinos ha sido objeto de análisis por diversos autores. Rappole et al. (1999) y Pérez y Morales (2004) proponen que una proporción adecuada para el desarrollo del bosque es aquella que contiene al menos un 30% de encinos y un 70% de pinos como especie dominante, en altitudes comprendidas entre los 900 y 2,000 msnm.

En estudios realizados en el sur de Nuevo León, el género *Quercus* ha sido considerado como un factor de competencia dentro de la regeneración natural de *Pinus*. Negreros et al. (1984) recomiendan la reducción del área basal de encinos hasta 10 m²/ha, como medida para favorecer la regeneración del pino, lo que sugiere una interacción competitiva entre ambas especies en ciertas condiciones ecológicas.

Los tratamientos silviculturales aplicados en bosques mixtos pueden modificar la estructura del rodal, influyendo directamente en la diversidad y estabilidad ecológica del ecosistema. Según Pommerening (2002), el manejo adecuado de la estructura del rodal es clave para conservar la funcionalidad ecológica y promover la regeneración natural de las especies dominantes.

3.3. Amenazas y estado de degradación de los bosques pino-encino

Los bosques de pino-encino enfrentan múltiples amenazas que comprometen su integridad ecológica, su capacidad de regeneración natural y su resiliencia frente a perturbaciones. Estas amenazas incluyen la pérdida de hábitat, el cambio de uso del suelo, la sobreutilización de los recursos forestales y la limitada información sobre la riqueza y distribución de las especies que los conforman (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, 2008).

Los incendios forestales representan una de las principales perturbaciones en estos ecosistemas. Mora y Rodríguez (2016) identificaron que las áreas post-incendio constituyen el tipo de disturbio más frecuente en los bosques de pino-encino, con una incidencia del 42.5%. Este tipo de perturbación pone a prueba la capacidad de resiliencia del ecosistema.

Diversos estudios han documentado la respuesta ecológica de estos bosques ante incendios. Méndez et al. (2014) evaluaron la regeneración en la Sierra de Guerrero, observando un estado de regeneración activa posterior al evento, lo que evidencia la capacidad de recuperación del ecosistema. De manera similar, Alanís et al. (2011) analizaron un bosque pino-encino en el Parque Ecológico Chipinque, concluyendo que existe un alto nivel de recuperación post-incendio, sustentado en índices de diversidad y peso ecológico. Estos hallazgos refuerzan la idea de que la asociación pino-encino confiere mayor resistencia frente a perturbaciones naturales y antropogénicas.

En el sur de Nuevo León, el género *Quercus* ha sido considerado como un factor de competencia dentro de la regeneración natural de *Pinus*, lo que ha llevado a recomendaciones de manejo como la reducción del área basal de encinos hasta 10 m²/ha (Negreros et al., 1984). Sin embargo, estas recomendaciones han sido cuestionadas por carecer de fundamentos científicos sólidos que consideren la función ecológica de cada especie en el ecosistema.

En Nicaragua, se han promovido prácticas de homogenización de los bosques de pino mediante la erradicación del género *Quercus*, con el objetivo de aumentar la productividad forestal. Estas estrategias, aunque orientadas al rendimiento económico, pueden comprometer la diversidad estructural y funcional del ecosistema, afectando su resiliencia y capacidad de regeneración.

3.4. Antecedentes sobre estudios de la asociación pino-encino

Una evaluación realizada por Monarrez (2019) para determinar la compatibilidad de los servicios ambientales de provisión y regulación en bosques del ecosistema templado-frío, situó un trabajo experimental en un bosque de pino-encino en el Norte de México, donde se establecieron 15 parcelas en diseño completamente al azar y se aplicaron los tratamientos: manejo intensivo (corta a talarrosa), manejo semi-intensivo (corta de selección, remoción al 59-61%), manejo conservador (corta de selección, remoción del 29-31%) y sin manejo. Las parcelas se midieron dasométricamente y ecológicamente, antes y después de aplicados los tratamientos.

Las parcelas se establecieron en 2015 y las mediciones después de aplicado el tratamiento fueron en 2016, concluyéndose al término de un año que el escenario con un manejo conservador, con remoción del 29-31% de área basal, es la alternativa más viable para cosechar madera, conservar la diversidad de especies, aumentar el rendimiento de agua y minimizar la erosión por impacto de pérdida de la cobertura vegetal.

Monarrez et al. (2019) realizaron un estudio con el objetivo de evaluar los cambios de diversidad arbórea, antes y después de la aplicación de tratamientos silvícolas en un bosque del ecosistema templado-frío en el norte de México. Para ello, se establecieron 15 parcelas experimentales de 2,500 m² y se aplicaron los tratamientos: manejo intensivo (corta a talarrasa), manejo semi-intensivo (corta de selección, remoción al 60%), manejo conservador (corta de selección, remoción del 30%) y sin manejo (testigo). A cada árbol, se estimaron las variables dasométricas: área basal, cobertura, volumen fustal y volumen total y se registró la especie a la que pertenece. Al relacionar indicadores de diversidad con variables dasométricas, no se identificó una relación fuerte y significativa entre ellos.

Se concluye que la corta de selección con remoción al 30% del área basal, no reflejó cambios en la diversidad arbórea. Estos resultados pueden ayudar a comprender el efecto de las prácticas silvícolas tradicionales en la composición de las especies y que, si se aplican como se sugiere aquí, el manejo forestal es totalmente compatible con la diversidad arbórea.

3.5. Uso potencial de Quercus

Encino, también llamado Roble común, es un árbol robusto, de porte majestuoso, que puede superar los 40 metros de altura. De copa amplia, aovada, redondeada o irregular y hoja caduca. Tronco derecho, corto y muy grueso en los ejemplares aislados; corteza grisácea o blanquecina, muy resquebrajada y de tonalidad parduzca en los ejemplares viejos. Hojas grandes, simples, de color verde intenso y su forma es ovalado.

Desde la visión ecológica, los encinos son proveedores de servicios ambientales, dado que: i) producen oxígeno, ii) capturan bióxido de carbono (contaminante atmosférico producido por el hombre), iii) filtran el ruido, iv) reducen la erosión del suelo, v) infiltran el agua al subsuelo, vi) regulan la temperatura atmosférica y vii) son hospederos naturales que alojan en sus cortezas, ramas, hojas y flores, a numerosas especies de ardillas, pájaros, avispa, abejas, moscas,

escarabajos, orquídeas, líquenes, bromelias, helechos y plantas trepadoras. Esto hace que un sólo encino actúe por sí mismo como un ecosistema en miniatura, en donde los diferentes organismos y procesos ecológicos se relacionan entre sí a través de diversas relaciones como la depredación, la herbivoría, la simbiosis y la reproducción (Rzedowski, 1981).

Pérez et al. (2000), recopiló información sobre el uso de *Quercus* en México, resaltando el uso maderable debido a sus propiedades físicas, mecánicas y anatómicas. Estos atributos hacen de la madera un recurso adecuado para la elaboración de recipientes culinarios, pisos, postes, durmientes, chapa, embarcaciones, muebles, mangos para herramientas y partes de instrumentos musicales, entre otros. A nivel nacional, la madera de encino ocupa el segundo lugar de aprovechamiento y los usos a los que se destina principalmente son: celulosa (54%), escuadría (30%), leña (7%), y carbón (6%).

Los árboles del género *Quercus* vienen siendo explotados de forma acelerada y descontrolada por su uso como leña y para la elaboración de carbón, debido a que es un excelente combustible, por lo que, las antes vastas extensiones que cubrían los bosques conformados principalmente por este y otros géneros están desapareciendo rápidamente antes de que se llegue a entender y conocer claramente sus diferentes características y los usos potenciales que se le puede dar a este importante recurso forestal (García, 1998).

La madera sobresale por su dureza, durabilidad y belleza, y tiene un amplio rango de usos. Para las especies americanas Guatemala, México y Costa Rica utilizan la madera de algunas especies para la fabricación de durmientes de rieles, construcción, mueblería y preferentemente como combustible. La corteza de algunas especies es empleada para el tratamiento de cueros por su alto contenido de taninos (Benítez, 1988). Se reportan también usos medicinales empleando infusiones de la corteza y hojas para controlar diarreas y cólicos (Rzedowski, 1986).

La selección de las especies de encino para su aprovechamiento es un factor obligado, ya que esta falta de selección ha repercutido en el bajo aprovechamiento de esta madera, ya que existe una gran variedad de encino donde varían la densidad, mayor dureza, mayor cantidad de cristales y tálides en sus lúmenes, la variedad de sus rayos donde se presenta más anchos más delgados, por lo que es necesario ensayar nuevas metodologías para transformar este tipo de madera en productos mejores y de mayor calidad.

3.7. Descripción del ecosistema

3.7.1. Bosque siempreverde estacional de pino submontano, IA2b(2)

El bosque siempreverde estacional submontano de Nicaragua se caracteriza por una estructura compleja y una marcada zonificación altitudinal. En las laderas y cimas entre los 900 y 1,500 msnm predominan especies de pino como *Pinus oocarpa*, *P. patula* y *P. maximinoii*, formando rodales que varían de moderadamente densos a abiertos. En las zonas más bajas se encuentran bosques de *Quercus* spp., mientras que *Liquidambar styraciflua* aparece en altitudes intermedias y altas, con presencia ocasional de híbridos entre especies. Esta diversidad altitudinal refleja una adaptación ecológica a gradientes térmicos y edáficos propios del submontano nicaragüense (MARENA, 2010).

En áreas intervenidas, como las clasificadas bajo IA2b(2)-3, el paisaje muestra pinos dispersos entre pastizales dominados por gramíneas como *Hyparrhenia rufa* y *Andropogon* spp.. Estas zonas, si no son sometidas a disturbios como quema, pastoreo o cultivo intensivo, tienden a regenerarse naturalmente en un periodo de 15 a 20 años, retornando a formaciones de pinar. Sin embargo, prácticas como la tala rasa comprometen la regeneración al eliminar los árboles progenitores, que son fuente de semillas y refugio para especies asociadas (Cuevas et al., 2010).

Además de las especies dominantes de pino, el ecosistema alberga una rica diversidad de árboles acompañantes como *Byrsonima crassifolia*, *Sapium* spp., *Piscidia grandifolia*, *Myrica cerifera*, *Acacia pennatula*, *Guazuma ulmifolia*, *Psidium guajava*, entre otros. Esta composición florística contribuye a la heterogeneidad estructural del bosque y a su resiliencia ecológica frente a perturbaciones. La presencia de especies latifoliadas y arbustivas en el sotobosque también favorece procesos de sucesión y conservación de biodiversidad (NatureServe, s.f.).

3.7.2. Bosque siempreverde estacional mixto submontano, IA2b(1/2)

El bosque siempreverde estacional mixto submontano se desarrolla en un paisaje de laderas empinadas, cerros ondulados y pequeños valles, entre los 700 y 1,200 msnm. Su sustrato geológico está compuesto por rocas graníticas, esquistos metamórficos y volcánicas ácidas terciarias, lo que da origen a suelos de tipo Entisol y Molisol, con texturas variables y buen drenaje. Estos suelos presentan colores que van del amarillo al rojo oscuro, y están acompañados por abundante grava y piedras en el subsuelo. El régimen climático se caracteriza por precipitaciones anuales entre

1,200 y 1,800 mm y temperaturas promedio de 22 a 25 °C, condiciones que favorecen la persistencia de vegetación siempreverde con marcada estacionalidad (INETER, 2011).

Este tipo de bosque presenta una zonificación ecológica influenciada por la fertilidad del suelo. En áreas con suelos ácidos e infértiles predominan masas de pinares, especialmente *Pinus oocarpa* y *P. patula*, mientras que en sectores más fértiles o aluviales se desarrollan rodales de roble-encino (*Quercus* spp.). Las especies más comunes de encino incluyen *Q. bumeloides*, *Q. peduncularis*, *Q. sapotifolia*, *Q. eugeniaefolia*, *Q. salicifolia*, *Q. matagalpana*, *Q. segoviensis* y *Q. oleoides*, con una distribución altitudinal que refleja adaptaciones específicas a gradientes edáficos y climáticos. Esta estructura mixta contribuye a la resiliencia ecológica del bosque frente a perturbaciones naturales y antrópicas (MARENA, 2010).

La flora acompañante de este bosque es similar a la del bosque submontano de pino (IA2b(2)), incluyendo especies arbóreas, arbustivas y herbáceas que coexisten en el sotobosque. Esta similitud florística sugiere una continuidad ecológica entre formaciones, donde las condiciones de humedad, altitud y tipo de suelo permiten la coexistencia de especies como *Liquidambar styraciflua*, *Byrsonima crassifolia*, *Sapium* spp., *Piscidia grandifolia*, entre otras. La diversidad estructural y funcional de estas especies contribuye al mantenimiento de procesos ecológicos clave como la sucesión, la regeneración natural y la conservación de hábitats para fauna asociada (NatureServe, s.f.).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Localización del área de estudio

4.1.1. Ubicación

La unidad productiva finca El Copetudo se encuentra ubicada en la Comunidad Ococona, Municipio de Macuelizo, al oeste del departamento de Nueva Segovia. El municipio se ubica a 246 kilómetros de Managua. Limita al norte con la república de Honduras, al sur con el Municipio de Somoto, al este con el Municipio de Dipilto y Ocotál; al oeste con el Municipio de Santa Clara.

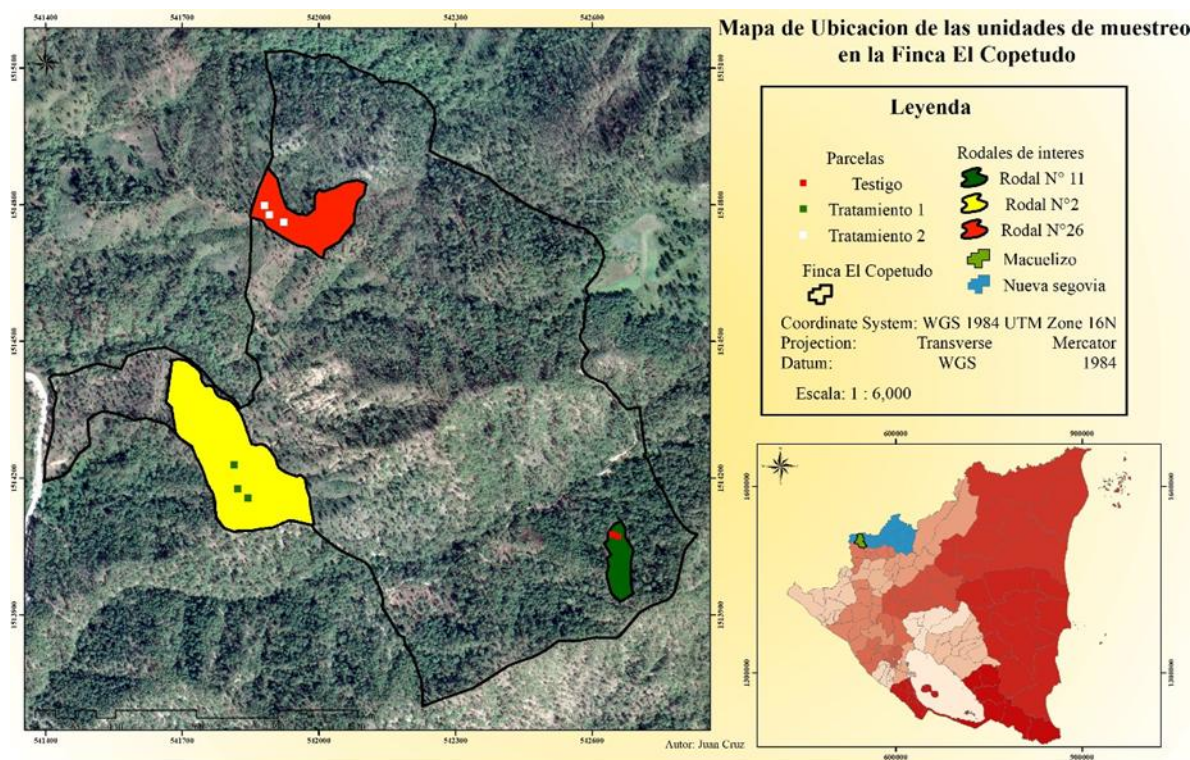


Figura 2. Mapa de localización y ubicación de las unidades de muestreo en la finca forestal El Copetudo.

4.1.2. Descripción del Clima

Macuelizo es un municipio localizado en las zonas más elevadas del país caracterizado por un clima de sabana tropical, en altitudes mayores a 1,000 msnm domina el clima subtropical de montaña, la temperatura oscila de 20 °C a 25 °C (Ministerio de Educación, Cultura y Deportes-MINED, 2004).

El sitio Climate-Data.org indica que Nueva Segovia tiene un clima de sabana tropical (clasificación Aw), con una estación lluviosa que se extiende de mayo a octubre, siendo septiembre el mes más húmedo, lo cual concuerda con tu afirmación sobre los mayores acumulados de lluvia.

4.1.3. Topografía y suelos

El Ministerio de Educación, Cultura y Deportes-MINED (2004), afirmó que la topografía de Macuelizo es de pendientes muy fuertes y con muchos accidentes geográficos, con aguas muy profundas lo que la hace una zona de poco potencial agrícola. La mayor parte de los suelos son de tipo areno arcilloso y con presencia de cuarzo, además de encontrarse el mineral de Macuelizo. Posee un relieve montañoso con muchos accidentes geográficos quebrado con leves planicies de poca extensión.

4.1.4. Hidrografía

Entre los principales ríos que riegan el territorio se encuentran: el río Coco, el Macuelizo (afluente del río Coco y el Sutayal), lo que hace que los suelos de las riberas de estos ríos sean fértiles y propicios para cultivar.

4.2. Procedimiento metodológico

4.2.1. Establecimiento de ensayo

El procedimiento metodológico mediante el cual se llevó a cabo esta investigación se basó en un enfoque experimental para lo cual la teoría indica que fue necesario identificar y establecer unidades, sitios o parcelas experimentales para el muestreo de las variables que permitieron evaluar el fenómeno de interés, que en este caso fue la interacción pino-encino como asociación vegetal.

Como parte del enfoque experimental en Probabilidad y Estadística.net (s.f) se afirma que en todo diseño experimental se permite y reconoce que el investigador juega un papel importante porque de acuerdo a los objetivos o metas de la investigación el investigador puede manipular, adecuar o arreglar las unidades de muestreo y variables para llevar a cabo la evaluación; siendo los tratamientos las medidas aceptadas para intervenir o manipular las unidades experimentales y las variables de interés. Por lo que en esta investigación la variable manipulada fue el porcentaje de asocio o abundancia de cada especie en las parcelas experimentales.

Con el objetivo de caracterizar el crecimiento, la regeneración natural y la estructura de estos bosques bajo diferentes proporciones de mezcla entre pino y encino, se planificó e implementó un ensayo experimental a través de tratamientos o modificaciones de la abundancia en parcelas experimentales. Esta aproximación metodológica buscó generar evidencia científica que contribuya al entendimiento de la dinámica ecológica entre ambas especies, facilitando así el desarrollo de estrategias de manejo forestal sostenible que integren tanto la conservación de la biodiversidad como el aprovechamiento económico de los recursos.

El ensayo experimental se enmarcó dentro de una visión adaptativa del manejo forestal, orientada a promover prácticas resilientes y contextualizadas para los ecosistemas mesoamericanos, donde la coexistencia de *P. oocarpa* y *Quercus* spp. representa una oportunidad para equilibrar productividad y conservación.

La selección de los sitios para la instalación de las parcelas experimentales se realizó en función de la disponibilidad de áreas con asociaciones de pino-encino, o combinaciones que representaran adecuadamente tanto la estructura como la diversidad de estas especies clave. Sin embargo, bajo esta lógica se puede reflexionar que al haber en la Finca El Copetudo pocas áreas con vegetación mixta (pino-encino) se limitó el tamaño de muestra o parcelas experimentales a tres como repeticiones de los tratamientos. Por lo tanto, se expresa que este criterio permitió cumplir en cierta medida con los requisitos establecidos para los porcentajes de los tratamientos que se emplearon, los cuales se describen a continuación:

Tratamiento 1: Consistió en la modificación de la densidad de un área del bosque para determinar un porcentaje de asociación pino-encino en una proporción de 30% encino (*Quercus* spp) y 70% pino (*P. oocarpa*). Este tratamiento se aplicó realizando primeramente un inventario de la densidad de árboles de las especies pino y roble en las parcelas, para definir el número de plantas a dejar según la proporción de asociación 30%-70%.

Las parcelas experimentales del tratamiento 1 está ubicado en el rodal número 2, que tiene una superficie de 5.40 hectáreas. Este rodal está clasificado con el código 40, que indica un estado de desarrollo de bosque maduro. Los árboles en esta área tienen una altura promedio de 12 metros y edades que varían entre 33 años. El índice de sitio es de 9 (considerado extremadamente pobre) y el diámetro promedio de los árboles es de 19 cm. La pendiente del terreno es del 18%, y el suelo

es franco arenoso, clasificado con el código 3. Además, el incremento medio anual de crecimiento para los árboles adultos es de 5.47 mm. Fuente PGM, 2011.

Tratamiento 2: Consistió en la modificación de la densidad de un área del bosque para determinar un porcentaje de asociación pino-encino en una proporción de 50% encino (*Quercus* spp) y 50% pino (*P. oocarpa*). Este tratamiento se aplicó realizando primeramente un inventario de la densidad de árboles de las especies pino y roble en las parcelas experimentales, para definir el número de plantas a dejar según la proporción de asociación 50%-50%.

Las parcelas experimentales del tratamiento 2 fueron establecidas en el rodal número 26, este rodal tiene un área total 2.10 hectáreas, presenta un estado de desarrollo de bosque maduro descrito por el código 40, los árboles adultos de este rodal poseen altura promedio de 20 m, edades que oscilan los 46 años, presenta un diámetro promedio de 30 cm, con una densidad de 42 arb/ha, incremento medio anual de 5.60 cm, índice de sitio 12 (considerado muy pobre) y presenta pendiente de 29°. Fuente PGM, 2011.

Testigo: Estuvo constituido por áreas con una composición florística de 100% árboles de pino (*P. oocarpa*), con estado de crecimiento bosque en desarrollo. Siendo este el elemento comparativo para comprobación de los supuestos de la investigación.

Las parcelas definidas como testigo se establecieron en el rodal número 11, este rodal tiene un área de 3.374 hectáreas, posee un estado de desarrollo denominado bosque en desarrollo descrito por el código 30, cuenta con una densidad de 140 arb/ha, los árboles adultos de este rodal poseen alturas promedias de 16 m, edades que oscilan entre 23 años, diámetro promedio de 30 cm, posee un incremento medio anual de 9.60 cm y cuenta con un índice de sitio de 15 (considerado pobre). Fuente PGM, 2011.

Entre 2012 y 2013 se aplicó raleo comercial (código 11) en 90 % del área y corta final (código 13) en un 10% del compartimiento, así se logró sacar 296.177 m³ de madera, en el 2013 se hizo un aprovechamiento del roble para uso interno o posteria en la finca.

4.2.2. Muestreo de la composición de especie y estado silvicultural.

En el caso del tratamiento 30% encino y 70% pino y el tratamiento 50% encino y 50% pino, se consideró esencial definir un número de parcelas experimentales, según los objetivos de la investigación que es exploratoria- descriptiva, la existencia en la finca de sitios con la vegetación

apropiada ya en el contexto de manejo histórico del bosque lo que predomina son rodales homogéneos de *P. oocarpa* y para cumplir con los requerimientos estadísticos de réplica, especialmente en lo que respecta al número de repeticiones mínimas para un estudio exploratorio-descriptivo para obtener resultados de línea base para futuras investigaciones en esta temática. En este sentido, se establecieron tres parcelas experimentales para cada tratamiento y dos parcelas experimentales para los testigos.

4.2.2.1 Establecimiento de las parcelas experimentales.

Las parcelas experimentales fueron delimitadas utilizando una cinta métrica de 20 metros y una brújula. Una vez definidos los sitios en que se establecerían las parcelas experimentales, se ubicó un centro exacto desde el cual se establecieron las posiciones de los bordes o esquinas de las seis parcelas experimentales.

Cada parcela experimental tiene forma rectangular, con dimensiones de 15 m de ancho por 30 m de largo, lo que resultó en un área de muestreo efectiva de 450 m². Dentro de estas áreas, se contabilizaron todos los individuos de las especies de pino (*P. oocarpa*) y encino (*Quercus* spp.), lo que garantizó un muestreo al 100% y aseguró una representación precisa de la comunidad vegetal, permitiendo un análisis detallado de su composición florística y estructura horizontal y vertical en cada parcela experimental.

Las parcelas experimentales correspondientes al tratamiento testigo, por su parte, son de forma circular, con un radio de 9.5 m, lo que da lugar a un área de muestreo efectiva de 283.5 m². Esta diferencia en el diseño se justifica por el hecho de que las parcelas testigo forman parte de un sistema de muestreo iniciado en 2021, después de la aplicación de un saneamiento en áreas afectadas por plagas, y con lo cual se redujo el costo y tiempo de realización de esta tesis.

4.2.2.2 Recolección de datos.

Para la recopilación de datos, se procedió a visitar cada una de las parcelas experimentales correspondientes a los tratamientos y al testigo, con el objetivo de medir las siguientes variables:

Altura total: se refiere a la medida vertical desde la base del tallo de la planta hasta la punta más alta de la estructura arbórea. Debido al estado de desarrollo de las plantas medidas, esta variable fue medida directamente con cinta métrica, siendo su unidad de medida para este estudio en centímetros.

Diámetro a la altura del pecho: Se refiere al área de la sección transversal, medida en centímetros usualmente a la altura del pecho o 1.3 metros (DAP, por sus siglas en inglés, Diameter at Breast Height).

Ángulo de inserción de ramas: se refiere al ángulo formado entre una rama y el tallo principal del árbol. Esta es una variable de tipo silvicultural que indica potencial genético en cuanto a la futura calidad de fuste; siendo la característica deseable un ángulo de inserción de ramas de 90^0 . Esta variable fue estimada de manera visual.

Forma de la copa: se refiere a la estructura y la configuración general de la parte superior o la copa del árbol. Esta variable fue estimada de manera visual a partir de dos categorías. En el caso del género *Pinus* se afirma que índices de sitios de alta calidad y por tanto con árboles de buen potencial y en etapas iniciales de crecimiento, la forma óptima de copa es cónica. La forma de la copa tiende a cambiar en la medida que el sitio forestal sea de baja calidad, bajo en altitud, con clima seco o incidencias de plagas e incendios forestales.

Diámetro basal: Se refiere al área transversal en centímetros del tallo medido a 30 centímetros del suelo de plántulas o árboles jóvenes que han surgido de forma natural en un área forestal o de vegetación. El diámetro basal fue medido a una altura de 30 cm de la base de la planta.

Número de verticilos: Se determinó a partir del conteo de ramas falsas que en la fase de crecimiento inicial del género *Pinus* es un indicador de vigorosidad o potencial de sobrevivencia y crecimiento de la regeneración natural.

Cobertura: se refiere a la extensión de su follaje o copa proyectada sobre el suelo, expresada como un porcentaje del área total del suelo cubierta por la sombra o la proyección del dosel del árbol.

Para los pinos, se realizaron mediciones del diámetro basal utilizando un vernier calibrado en milímetros y se determinó la altura mediante una cinta métrica graduada en metros, pero representada en la base de datos en centímetros. Además, se evaluaron otras características, como el ángulo de inserción de las ramas (expresado en grados), el número de verticilos presentes y la forma de la copa.

En el caso del roble encino, se midieron el diámetro basal con un vernier en milímetros, la altura de la planta y su cobertura, esta última registrada con una cinta métrica graduada en metros, pero los datos se expresaron en cm en la base de datos.

4.3. Análisis de datos

La información colectada fue almacenada en tablas de datos en el programa Microsoft Excel. Los análisis principalmente fueron inferenciales y descriptivos, entre los que se distinguen cálculos de promedios y frecuencia.

Se utilizaron cálculos de promedio para representar las mediciones de diámetro basal, altura total, cobertura, ángulo de inserción de ramas y número de verticilos de las especies de pino y encino, desglosadas por parcela para cada uno de los tratamientos y el testigo. En cuanto a la variable “forma de copa”, se aplicaron cálculos de frecuencia para evaluar su distribución en las parcelas bajo los diferentes tratamientos y el testigo. Adicionalmente, el análisis del uso potencial del roble encino se llevó a cabo a través de la interpretación de los resultados obtenidos con la revisión y discusión de la información documental existente sobre el manejo de estas especies.

Se utilizaron cuadros y gráficos de barras como representaciones visuales para ilustrar los resultados de manera comparativa, permitiendo una fácil visualización de las diferencias en las variables evaluadas entre los tratamientos y el testigo.

4.3.1. Cálculo de ICA

El cálculo del Incremento Corriente Anual (IMA) se realizó para las variables de diámetro basal y altura total, con los datos registrados en los años 2023 y 2024. Para obtener el ICA de cada planta, se calculó la diferencia entre los valores de cada variable en ambos años y se dividió entre 1, ya que el intervalo entre las mediciones fue de un año. Posteriormente, se calculó el promedio del incremento medio anual para cada variable en cada parcela, tanto de los tratamientos como del testigo. La fórmula para calcular el Incremento Corriente Anual (ICA) sería la siguiente:

$$ICA = \frac{\text{Valor final} - \text{Valor Inicial}}{\text{tiempo}}$$

Donde:

Valor final: es el valor de la variable medida (diámetro basal o altura total) en el año 2024.

Valor inicial: es el valor de la variable medida en el año 2023.

El tiempo (1 año): corresponde al intervalo de tiempo entre las dos mediciones.

4.3.4. Composición de especies

Para caracterizar la composición florística del sotobosque se identificaron mediante el nombre común todos los individuos arbóreos y arbustivos. Dado que en la parcela testigo solo se mantuvo *P. oocarpa* tras los aclarados de chapia, el muestreo de especies acompañantes se limitó a los dos tratamientos.

Con los datos de presencia en cada parcela se construyó la lista total de siete taxa dominantes.

A partir de esta lista, se llevó a cabo una revisión bibliográfica orientada a determinar el valor ecológico de cada especie. Se consultaron artículos, tesis y monografías regionales para extraer información sobre funciones como fijación de nitrógeno, estabilización de suelos, provisión de néctar y frutos, regulación del ciclo hídrico y soporte de fauna polinizadora y dispersora. Los resultados de esta revisión se sintetizaron en valores ecológicos por especie, el cual sirvió de base para el análisis en la sección de resultados y discusiones.

4.3.5. Estado silvicultural

En cada uno de los tratamientos y testigo se evaluó la forma de copa y número de verticilos de todos los individuos de *P. oocarpa* presentes. Las mediciones se llevaron a cabo en mediciones de campo. Una vez colectados los datos, se calcularon para cada año y para cada tratamiento y testigo los promedios de verticilos y la frecuencia relativa de cada forma de copa. Estos estadísticos descriptivos se organizaron en tablas que resumen los valores dasométricos y por tantos, tendientes cambios por tratamiento y testigo, y se representaron mediante gráficos de barras para facilitar la comparación de la respuesta silvicultural inducida por los diferentes tratamientos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Composición de especies acompañantes en la asociación pino-encino de la finca Forestal El Copetudo.

De manera general se identificaron un total de siete especies de árboles y arbustos en el sotobosque. De estas, las más abundantes fueron *Agarista mexicana* var. *pinetorum* (encinillo), *Mimosa pigra* (sarza) y *Arbutus xalapensis* (nance). En el área donde se estableció el tratamiento 1 predominaron las especies *Lysiloma divaricatum* (quebracho), *Agarista mexicana* var. *pinetorum* (encinillo) y *Mimosa pigra* (sarza); en el área donde se estableció el tratamiento 2 predominaron las especies *Hamelia patens* (chupamiel), *Arbutus xalapensis* (nance) y *Clethra lanata* (nancite); y en el área del testigo no se presentan especies acompañantes, ya que está sujeto a tratamientos silviculturales de chapia para favorecer la regeneración natural.

De acuerdo con NatureServe, (s.f.) la diversidad estructural expresada a través de diámetro y altura, y funcional de estas especies contribuye al mantenimiento de procesos ecológicos clave como la sucesión, la regeneración natural y la conservación de hábitats para fauna asociada.

La heterogeneidad florística del sotobosque estudiado (integrado por *Agarista mexicana* var. *pinetorum*, *Mimosa pigra*, *Arbutus xalapensis*, *Lysiloma divaricatum*, *Hamelia patens* y *Clethra lanata*) cumple un papel fundamental en la estabilidad y funcionalidad del ecosistema. *Lysiloma divaricatum*, como leguminosa pionera, fija nitrógeno atmosférico y promueve la recuperación de sitios degradados, tal como evidenció Raindrop Impact (2019) en proyectos de restauración de bosques secos.

En lo que respecta a las interacciones planta–polinizador, Whitehead y Poveda (2011) destacan que *Hamelia patens* sostiene comunidades de abejas y mariposas mediante un suministro casi continuo de néctar y frutos. Esta provisión prolongada de recursos florales favorece la polinización de otras especies del sotobosque y contribuye a mantener la diversidad genética de la regeneración natural. De manera complementaria, Plantiary (2025) subraya que *Clethra lanata*, con sus densos racimos de flores invernales, optimiza la retención de humedad del suelo y prolonga la temporada de actividad de insectos en hábitats húmedos, lo cual incide positivamente en los ciclos de nutrientes y la resiliencia del bosque.

Aunque *Mimosa pigra* suele clasificarse como especie invasora, su rápida colonización en zonas ribereñas degradadas puede favorecer procesos iniciales de restauración ecológica. En ambientes

tropicales húmedos, su presencia ha contribuido a mejorar la porosidad del suelo y la oxigenación superficial, creando condiciones transitorias que facilitan el establecimiento de especies sucesionales (Núñez et al., 2021). Por otro lado, especies como *Sideroxylon foetidissimum*, gracias a su sistema radicular pivotante, acceden a reservas hídricas profundas y contribuyen al equilibrio freático. Además, sus frutos sirven como fuente alimenticia para aves y mamíferos, que actúan como dispersores de semillas, promoviendo la regeneración natural en claros y bordes de caminos (Colmeiro, 1871; Ecosystems Explained, 2025).

4.2. Influencia de la abundancia (proporción de la mezcla pino-encino) sobre variables dasométricas de la regeneración natural de pino.

Para determinar la influencia del porcentaje de asociación sobre los cambios en la abundancia de las especies *P. oocarpa* y *Quercus* spp, se presentan en el cuadro 1, los valores de abundancia por tratamientos y año de medición observándose una tendencia a la reducción de la abundancia entre 2023 y 2024, siendo la excepción el tratamiento 2.

En el caso de la especie *P. oocarpa* en el tratamiento 1 se registró una disminución de 17% de la abundancia, igual tendencia fue registrada en la muestra testigo en donde la reducción fue por un porcentaje de 20%, mostrando una ligera ventaja para el tratamiento 1 en términos de sobrevivencia debido a una inherente mayor estabilidad de la dinámica de cambios por influencia de la composición heterogénea y estratificación.

Cuadro 1. Cambios en la abundancia (árboles/ha) por especies y tratamientos en el periodo evaluado.

Especies	Año 2023			Año 2024		
	T1	T2	Testigo	T1	T2	Testigo
<i>P. oocarpa</i>	2200	726	3428.5	1829	763	2732
<i>Quercus</i> spp.	800	793	-	763	748	-

Contrario a la tendencia de reducción mencionada, el tratamiento 2 registró un cambio positivo, es decir un aumento en la abundancia de la especie *P. oocarpa*, lo cual representó un 5% más de plantas en 2024, en comparación al 2023.

En cuanto a la tendencia de cambios registrados por la especie encino (*Quercus* spp.) los resultados muestran un comportamiento similar a la de *P. oocarpa* es decir, hacia una reducción de la abundancia en el periodo de un año, siendo los porcentajes de reducción menores que en pino, pero similares entre tratamientos, con 5% para el tratamiento 1 y 6% en el tratamiento 2; lo que sugiere que aunque encino (*Quercus* spp.) está sujeta a los cambios en el ecosistema presenta mayor tolerancia a los factores determinantes de competencia y autoaclareo.

La tendencia hacia la reducción de la abundancia en ambas especies es un reflejo del proceso dinámico de cambios asociados al ecosistema, siendo observado durante las mediciones que en el caso de *P. oocarpa* la mortalidad está relacionada a competencia intraespecífica más que a la cohabitación con *Quercus* spp, este argumento es apoyado en lo que expone POSAF, (2003), en cuanto a que la regeneración de especies con crecimiento cespitoso o en forma de macolla y en alta densidad como es el caso *P. oocarpa*, se experimenta una fuerte competencia entre individuos lo que conlleva a una notable reducción por competencia entre tallos y verticilos.

4.3. Comportamiento de las variables dasométricas en la formación vegetal pino-encino.

En esta sección se presentan los resultados correspondientes a evaluar si existe influencia en la proporción del asocio pino-encino sobre variables dasométricas como diámetro basal y altura de las especies *P. oocarpa* y *Quercus* spp. La forma en que se evalúa la influencia es a través de la comparación de los tratamientos con los valores en las parcelas testigo, considerando los cambios en el periodo 2023-2024.

4.3.1. Incremento en diámetro basal (mm).

En la figura 2, puede observarse que tanto para los tratamientos 1 y 2 como en las muestras testigo se experimentó cambios positivos o incrementos importantes en el diámetro o sección longitudinal de las dos especies sujeto de evaluación en esta investigación. Dándose como tendencia general, *Quercus* spp., tuvo mayores valores de ICA.

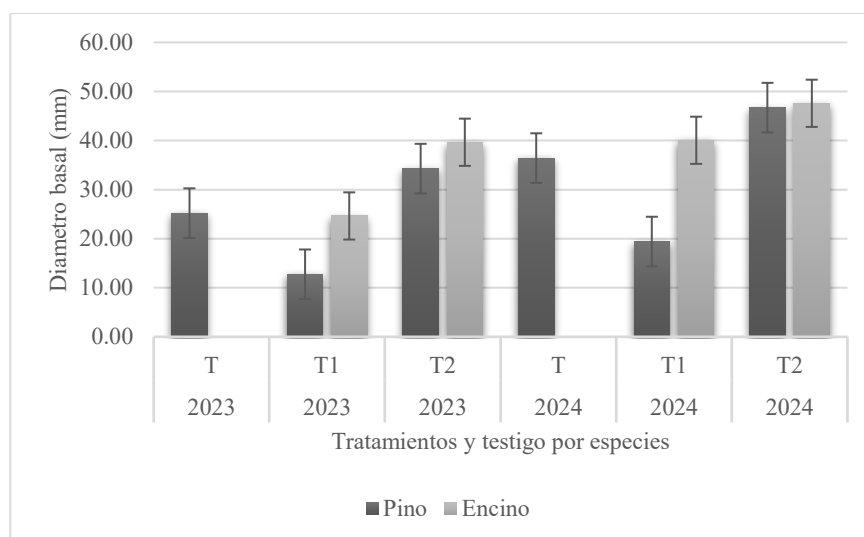


Figura 2. Gráfico comparativo de diámetro basal por tratamiento y testigo, por especie de los años 2023-2024.

En el caso de la especie *P. oocarpa*, se encontró que los mayores valores de ICA se dieron en el tratamiento 2, en los que el promedio fue de 12.43 mm, siendo ligeramente superior al ICA de las muestras testigo cuyo promedio fue 11.2 mm; mientras en el menor desempeño en el ICA diamétrico fue para el tratamiento 1, cuyo promedio fue de 6.67 mm.

En la parcela testigo, donde el pino fue la única especie presente, se observó valores de diámetro basal de 25.20 mm en 2023 y un crecimiento a 36.42 mm en 2024, lo que confirma su dominancia en ausencia de competencia interespecífica. Sin embargo, los valores obtenidos en los tratamientos mixtos sugieren que la asociación con encino no limita el desarrollo del pino, sino que puede optimizarlo bajo proporciones adecuadas, lo cual es evidente con el valor de ICA que se registró en el tratamiento 2.

En el Tratamiento 1, el encino también mostró una tendencia positiva, pasando de 24.63 mm en 2023 a 40.05 mm en 2024, lo que representa un incremento de aproximadamente 62%. El pino, por su parte, aumentó de 12.74 mm a 19.41 mm, manteniéndose como especie subordinada en este esquema de mezcla.

4.3.2. Incremento en altura (cm).

En la figura 4, se puede observar los resultados obtenidos para la variable altura, infiriéndose que tanto para los tratamientos 1 y 2 como en las muestras testigo se experimentó cambios positivos o incrementos importantes en la altura de las dos especies sujeto de evaluación en esta tesis.

En el tratamiento 1, la variable altura registró un ICA de 47 cm al pasar de 76.52 cm en 2023 a 123.52 cm en 2024, valor que muestra una menor dinámica (menos de 50% del crecimiento) al comparar dichos valores con los que se encontraron en el tratamiento 2 y en la muestra testigo.

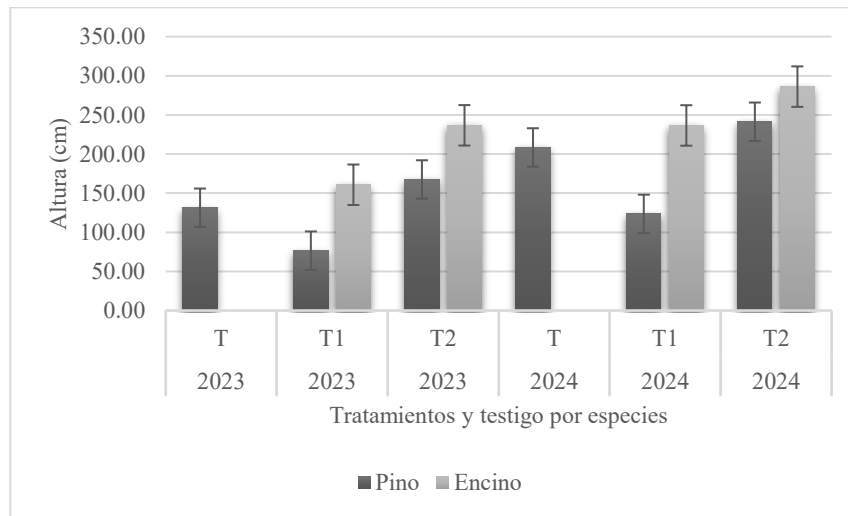


Figura 3. Gráfico comparativo de altura por tratamiento y testigo, por especie de los años 2023-2024.

En el tratamiento 2, el pino mostró su mayor desarrollo, pasando de 167.47 cm en 2023 a 241.27 cm en 2024, lo que representa un incremento notable (ICA, 73.8 cm) en comparación con el tratamiento 1. Este comportamiento sugiere que la proporción equilibrada entre especies permite una competencia regulada y un aprovechamiento más eficiente de los recursos para alcanzar crecimientos satisfactorios en términos de la altura, agregando a los elementos de análisis que *P. oocarpa* por considerarse una especie pionera presenta un crecimiento vertical acelerado en las fases iniciales de crecimiento, para evitar competencia con otros componentes vegetales del ecosistema.

En relación a la altura, el mayor crecimiento en cuanto a la especie *P. oocarpa* se registró en las parcelas testigo al cambiar los valores de 131.37 cm en 2023 a 208.41 cm en 2024, lo que permitió determinar un ICA de 77.04 cm, que fue ligeramente superior al tratamiento 2.

El crecimiento experimentado por *Quercus* spp., fue notablemente diferente entre los tratamientos, siendo superior en ambos casos a los valores de ICA que se cuantificaron para *P. oocarpa* en ambas proporciones de asociación pino-encino, siendo estos 75.7 cm para encino en el tratamiento 1 y 49.4 cm en el tratamiento 2.

4.3.3. Estado silvicultural de la regeneración natural de *P. oocarpa* y encino (*Quercus* spp.) en formaciones pino-roble.

El número de verticilos fue mayor en el año 2024 dentro del Tratamiento 2, con un promedio de 10.86 verticilos por individuo. Este resultado confirma que los espaciamientos amplios y la reducción de competencia intraespecífica desde etapas tempranas favorecen el desarrollo lateral del pino, permitiendo una mayor captación de luz y nutrientes por árbol. Esta condición estimula la formación de brotes secundarios, lo que se traduce en un incremento notable en la ramificación estructural.

El Testigo alcanzó un máximo de 6.63 verticilos en 2024, frente a los 5.10 registrados en 2023, posicionándose en un nivel intermedio entre los tratamientos aplicados. Aunque no se implementaron manejos silviculturales activos en esta parcela, la densidad relativamente baja permitió cierto desarrollo de verticilos, aunque sin alcanzar los niveles observados en el Tratamiento 2.

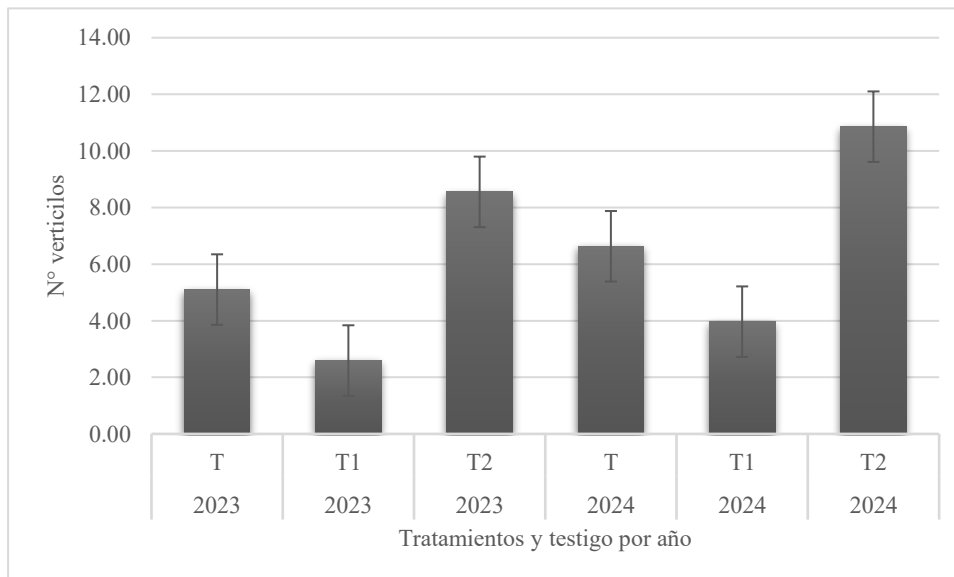


Figura 4. Gráfico comparativo de numero de verticilos por tratamiento y testigo, por especie de los años 2023-2024.

El Tratamiento 1 presentó los valores más bajos, con un aumento de 2.59 verticilos en 2023 a 3.97 en 2024. Este comportamiento sugiere que el aclarado ligero aplicado en ese bloque, junto con las actividades de manejo preimplementación, apenas logró estimular la ramificación secundaria, en comparación con los tratamientos más intensivos. La diferencia entre tratamientos evidencia que el diseño espacial y la intensidad de manejo son factores determinantes en la arquitectura del fuste y el potencial de calidad maderable.

Los resultados anteriores nos indican que el tratamiento 2 presentó 10.85 verticilos en promedio, más del doble que tratamiento 1 (3.96). Un mayor número de verticilos suele asociarse a estructuras de copa densas, mayor producción de ramillas. Ramírez (2016), encontró correlaciones positivas entre número de verticilos y rendimiento volumétrico en pino a los cinco años.

Cuadro 2. Resumen del número de verticilos, ángulo de inserción y forma de la copa para los individuos de la especie pino, desagregado por las áreas correspondientes a los tratamientos y testigo.

Tratamientos / testigo	Número de verticilos	Ángulo de inserción	Forma de la copa
Tratamiento 1	3.96	65°	Cónica
Tratamiento 2	10.85	64°	Cónica
Testigo	6.63	52°	Cónica

Los ángulos cercanos a 64 – 65° presentes en los tratamientos favorecen una distribución radial homogénea de la copa, mejorando la interceptación lumínica y reduciendo la auto-proyección de sombra. El testigo, con 52°, evidencia copas más verticales, lo que puede incrementar la esbeltez y vulnerabilidad a fracturas en condiciones extremas de viento. Según López et al. (2014), ángulos mayores a 60° están relacionados con mejor calidad de madera y menor número de nudos por unidad de longitud.

La forma cónica predominante en todos los casos refleja un patrón apical dominante fuerte, típico en especies pioneras como *P. oocarpa*. Esta arquitectura es deseable en rotaciones cortas donde se prioriza el rápido desarrollo de fuste limpio.

La evaluación del estado silvicultural mostró que, de manera consistente en ambos tratamientos y en la parcela testigo, la forma de copa dominante fue la cónica. Según lo expuesto por López et al., (2014) este patrón refleja una fuerte dominancia apical, típica de especies pioneras como *P. oocarpa*, en el cual el crecimiento vertical prevalece sobre la ramificación lateral.

La morfología cónica optimiza la interceptación de la radiación en las partes superiores del árbol y minimiza la auto-proyección de sombra lo que promueve un engrosamiento de fuste más homogéneo y contribuye a la producción de madera de alta calidad. Además, al concentrar la ramificación en los estratos medios y superiores, se genera un fuste más limpio en la base, alineándose con los objetivos de rotaciones cortas y aprovechamientos maderables eficientes (Ramírez, 2016).

La persistencia de copas cónicas incluso en el testigo sin intervención indica que esta forma arquitectónica es una respuesta natural de la especie para maximizar su eficiencia fotosintética y competitividad en condiciones de alta densidad.

VI. CONCLUSIONES

Las especies arbóreas y arbustivas acompañantes en la formación vegetal pino-encino representan beneficios a la estructura del ecosistema como sotobosque, contribución a la estabilidad edáfica, la fijación de nitrógeno y el soporte de comunidades polinizadoras, así mismo, incrementa el valor de conservación del bosque de pino como ecosistema con alto nivel de amenazas.

El análisis dasométrico mostró que el El tratamiento 2 (50% encino -50% pino) demostró tener influencia positiva para la regeneración natural de ambas especies. *Pinus oocarpa* presentó incrementos en diámetro basal y altura, por lo que, una proporción equilibrada entre pino y encino no solo permite la coexistencia, sino que potencia el crecimiento de ambas especies, reduciendo la competencia intraespecífica y promoviendo una regeneración más vigorosa.

En cuanto al estado silvicultural de *Pinus* spp., el Tratamiento 2 registró el mayor número medio de verticilos y mantuvo formas de copa cónicas en > 90% de los individuos. Esta arquitectura favorece un fuste limpio y una distribución eficiente de la masa forestal, lo cual redundará en madera de mejor calidad y menor vulnerabilidad a fracturas.

VII. RECOMENDACIONES

Esta investigación sienta las bases para estudios de largo plazo sobre rotaciones, resiliencia frente a perturbaciones (incendios, plagas) y optimización del aprovechamiento de *Quercus* spp., con miras a diseñar guías de manejo adaptativo que integren la conservación de la biodiversidad, el incremento de servicios ecosistémicos y la generación de valor agregado en la cadena forestal.

Las unidades de muestreo, reconocidas en este estudio como parcelas experimentales pueden ser utilizadas como parte de un sistema de monitoreo permanente de los cambios que ocurren a nivel del bosque en la finca Forestal El Copetudo, definiendo para ello periodos viables de medición.

Promover a través de capacitaciones y estrategias de educación ambiental a la protección y uso sostenible del bosque de pino, enfatizando a productores forestales, dueños de bosques y comunidad que: “La presencia de *Quercus* spp. en proporciones moderadas puede actuar como facilitador ecológico, mejorando la disponibilidad de nutrientes, estabilidad del suelo y contribuyendo a un entorno más estable para el *P. oocarpa*”.

Planificar temas de investigación relacionados a la determinación taxonómica del genero *Quercus* presente en la finca forestal y los usos principalmente maderables, para aportar al reconocimiento del valor de uso de este genero a nivel de las áreas de manejo forestal en Nueva Segovia.

VII. LITERATURA CITADA

- Alfaro, M. (2005). *La región Mesoamericana y su biodiversidad*.
- Alfaro-Reyna, T., Martínez-Vilalta, J., & Retana, J. (2019). *Regeneration patterns in Mexican pine-oak forests*. *Forest Ecosystems*, 6, Article 50.
- Alanís, E., Jiménez, J., Valdecantos, A., Pando, M., Aguirre, O., & Treviño, E. (2011). *Caracterización de la regeneración leñosa post-incendio de un ecosistema templado del Parque Ecológico Chipinque, México*. *Chapingo Div. Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 31–39.
- Ayala, F. J. (2017). *Estudios ecológicos: fundamentos y aplicaciones*.
- Climate-Data.org. (n.d.). *Clima: Nueva Segovia*.
- Ferrio, J. P., Shestakova, T. A., del Castillo, J., & Voltas, J. (2021). *Oak competition dominates interspecific interactions in growth and water-use efficiency in a mixed pine–oak Mediterranean forest*. *Forests*, 12(8), 1093.
- García, M. (1998). *Distribución y aprovechamiento del género Quercus en México*.
- Helms, J. A. (1998). *The Dictionary of Forestry*. Society of American Foresters.
- Linder, S. (2000). *Nutritional strategies of forest trees in nutrient-rich and nutrient-poor environments*. *Tree Physiology*, 20(2), 105–114.
- López, A., Rodríguez, F., & Torres, J. (2014). *Ángulo de inserción de ramas y calidad de madera en Pinus spp.*
- López, A. (2015). *Flora y fauna de los bosques tropicales en América Central*. Editorial Universitaria.
- Martínez-Zurimendi, P., De-la-Cruz-López, C. A., Villanueva-López, G., Casanova-Lugo, F., & Aryal, D. R. (2015). *Carbon storage in tree biomass and soils in silvopastoral systems of the humid tropics*. El Colegio de la Frontera Sur.

- Méndez, C., Alanís, E., Jiménez, J., Aguirre, O., & Treviño, E. (2014). *Análisis de la regeneración postincendio en un bosque de pino-encino de la Sierra de Guerrero, México*. Ciencia UANL, 17(69), 63–70.
- Mora, C. (2016). *La resiliencia como atributo de los bosques de pino-encino en América*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Müller-Using, D. (1994). *Silvicultura de bosques mixtos en Mesoamérica*.
- Negreros, J., et al. (1984). *Regeneración natural en bosques de pino-encino en Nuevo León*.
- Oliver, C. D., & Larson, B. C. (1996). *Forest Stand Dynamics*. McGraw-Hill.
- Pérez, C. D. L. P., Dávalos, R., & Guerrero, E. (2000). *Aprovechamiento de la madera de encino en México*. Madera y Bosques, 6(1), 3–13.
- Pérez, S., & Gómez, A. (2015). *Vegetación y suelos de las zonas montañosas de México*. Investigación Ecológica, 22(3), 143–159.
- Pommerening, J. (2002). *Approaches to quantifying forest structural diversity*. Forestry, 75(3), 305–324.
- Probabilidad y Estadística. Net. <https://www.probabilidadyestadistica.net/diseño-experimental>. Consultado el 10 de noviembre del 2025.
- PROGRAMA SOCIO AMBIENTAL DE DESARROLLO FORESTAL (POSAF). 2003. Guía para el Manejo de la Regeneración natural del bosque de pino en Nicaragua. MARENA, Managua, Nicaragua. 120 pp.
- Pulido, F. J. (2002). *Biología reproductiva y regeneración de bosques de Quercus: implicaciones para la restauración*. Revista Chilena de Historia Natural, 75(1), 45–58.
- Ramírez, J. (2016). *Relación entre número de verticilos y rendimiento volumétrico en Pinus spp*.
- Rappole, J. H., Pérez, S., & Morales, P. (2004). *Distribución altitudinal de bosques mixtos en Mesoamérica*.
- Rodríguez, F., López, A., & Torres, J. (2018). *Estudio de la flora y la fauna en los ecosistemas de sotobosque en América Central*. Revista Ecológica, 45(2), 105–119.

Rzedowski, J. (1981). *Vegetación de México*. Editorial Limusa.

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (2000). *Fisiología vegetal*.

Solano, R. (2017). *Asociación pino-encino en bosques mesoamericanos*.

Torres, F. (2000). *Efectos de prácticas silvícolas en bosques mixtos*.

Van Deelen, T. R. (1991). *Ecological roles of Morella cerifera in forested landscapes*.

Whitehead, S. R., & Poveda, K. (2011). *Pollination ecology of Hamelia patens*.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Formulário de campo.

Proyecto:				Fecha:					
Sitio:				Coordenadas:					
Tratamiento:				Parcela:					
N° de planta	Especies	D.B (mm)	H (cm)	<IR°	FC	Cobertura L1	Cobertura L2	Cobertura Total	Vertisilo

Anexo 2. Dossier fotográfico.



Delimitación de parcelas.



Selección de eje dominante.



Mortalidad de planta por competição.



Evidencia de crecimiento de *Quercus* sp en 1 año.



Evidencia de crecimiento de la especie pino en 1 año.



Evidencia de mortalidad por competencia.



Marcado y enumeración de individuos.



Quercus de hoja acerrada (encino 2).



Toma de la variable altura.



Toma de la variable diámetro basal.