



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR, MODALIDAD PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

TEMA:

**“Evaluación del efecto de la fertilización en plantación de *Juglans neotropica*, Diels en
San Roque, Imbabura”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal

Línea de investigación: Desarrollo Agropecuario y Forestal Sostenible

Autor: Morales Iturriagui Nathaly Gabriela

Director: Ing. Jorge Luis Cué García PhD.

Ibarra - febrero - 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100533868-4		
APELLIDOS Y NOMBRE:	Morales Iturriagui Nathaly Gabriela		
DIRECCIÓN:	San Pablo Del Lago		
EMAIL:	ngmoralesi@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062919409	TELF. MOVIL	0997992351

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación del efecto de la fertilización en plantación de <i>Juglans neotropica</i> , Diels en San Roque, Imbabura
AUTOR (ES):	Morales Iturriagui Nathaly Gabriela
FECHA: AA//MM/DD	2026/02/05
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
CARRERA/PROGRAMA:	☒ PREGRADO ☐ POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Forestal
DIRECTOR:	Ing. Jorge Luis Cué García PhD.

CONSTANCIA

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 05 días, del mes de febrero del 2026

LA AUTORA:

Firma.....

Morales Iturriagui Nathaly Gabriela

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 05 de febrero del 2026

Ing. Jorge Luis Cué García PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

.....
Ing. Jorge Luis Cué García, PhD.

C.C.: 175460870-9

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del Trabajo de Integración Curricular “Evaluación del efecto de la fertilización en plantación de *Juglans neotropica*, Diels en San Roque, Imbabura” elaborado por Morales Iturriagui Nathaly Gabriela previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

.....

Ing. Jorge Luis Cué García, PhD.

C.C: 175460870-9

.....

Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez, Mgtr.

C.C: 110251120-9

DEDICATORIA

Este logro está dedicado, con todo mi cariño y gratitud, a mi familia, por haberme apoyado de manera incondicional a lo largo de este trayecto académico. Sin su amor, comprensión y constante aliento, este logro no habría sido posible.

A mis padres, Patricia Iturriagui y Segundo Méndez, quienes, con su esfuerzo, su amor y sus sabios consejos me enseñaron a seguir el camino correcto. Gracias por enseñarme a no rendirme y a dar siempre lo mejor de mí. Todo lo que he logrado es gracias a ustedes.

A mi abuelita Zoilita, que desde niña me cuidó y me enseñó a ser perseverante, fuerte y valiente, a ella que es mi segunda madre le dedico este logro.

También se lo dedicó a alguien muy especial que ya no está conmigo, mi querido Totto a quien le prometí que no me rendiría y seguiría adelante a pesar de las circunstancias.

Aunque ya no esté aquí, siempre lo llevo en mi corazón.

A mis hermanos, Alexis Méndez y Nayely Méndez, quienes, con sus sonrisas, sus palabras de aliento y su alegría, me dieron fuerzas cada día para seguir adelante. Gracias por motivarme con su cariño y apoyo.

Este logro no es solo un título, es el resultado del amor, la unión y el apoyo de una familia que siempre creyó en mí, incluso cuando yo dudaba. A todos ustedes, gracias por ser mi motor y mi inspiración en cada paso recorrido.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a la Carrera de Ingeniería Forestal por haberme permitido ser parte de esta gran familia universitaria. Haber formado parte de esta carrera no solo me permitió crecer como profesional, sino también como persona. Gracias por brindarme el conocimiento y los valores que me acompañarán a lo largo de mi vida profesional.

A mi director y asesora de tesis, Ing. Jorge Luis Cué García PhD e Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez Mgtr, quienes con su paciencia, dedicación y amplio conocimiento me guiaron y apoyaron durante este proceso. Gracias por su tiempo, su confianza y por impulsarme a dar siempre lo mejor de mí para poder culminar con éxito esta importante etapa. De manera especial extendiendo un agradecimiento al Mgrt. Carlos Arcos que me brindo su apoyo y confianza para poder realizar este estudio, de corazón muchas gracias.

A mis padres y hermanos, quienes han sido un pilar fundamental. Con sus consejos, su amor y su apoyo incondicional me han acompañado en cada paso de este camino. Gracias por creer en mí aun en los momentos más difíciles, por enseñarme a no rendirme y por estar siempre presentes con palabras de aliento y con el corazón lleno de orgullo.

A mis amigos Melany, Erick, Marcela, Joselyn y Lupita, quienes, con sus alegrías y sus ocurrencias de cada día hicieron que esta etapa universitaria fuera más especial. Gracias por las risas compartidas, las experiencias vividas y las anécdotas que se quedaran en nuestros corazones, ustedes son parte importante de esta historia.

Un agradecimiento muy especial a Jefferson Pérez, por estar siempre a mi lado, en los buenos y malos momentos. Gracias por su amor, su paciencia y su constante apoyo. Su compañía ha sido fundamental para mantenerme fuerte, motivada y enfocada en alcanzar esta meta.

De todo corazón, muchísimas gracias por permitirme ser parte de esta carrera, y sobre todo, por darme la oportunidad de conocer a personas tan valiosas, que sin duda han dejado una huella muy profunda en mi vida.

RESUMEN

El presente estudio trata sobre la fertilización en *Juglans neotropica* Diels, especie reconocida por su relevancia ecológica y económica, cuyo crecimiento depende de un manejo adecuado de la fertilización. La limitada información disponible sobre los efectos de la fertilización en las etapas iniciales de esta especie justificó evaluar estrategias que permitan mejorar su crecimiento en plantaciones. El objetivo fue analizar el efecto de diferentes tipos y dosis de fertilización en una plantación establecida el 1 de febrero de 2024 en San Roque, Imbabura, durante un periodo de seis meses. Se usó un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Durante el trasplante se realizó una fertilización de fondo con NPK (10-30-10) en dosis de 200 (T1) g y 400 g (T2) por planta, humus de lombriz en volúmenes de 0.5 L (T3) y 1.5 L (T4), además de un tratamiento testigo sin fertilizante (T5). Se evaluaron variables dasométricas como, altura, diámetro basal, número de hojas, longitud de hoja y diámetro de copa y variables fisiológicas que fueron, área foliar, área foliar específica y pigmentos clorofílicos. Los resultados evidenciaron que el tratamiento (T2) con 400 g de NPK obtuvo el mejor desempeño en las variables: altura total con 71.53 cm, diámetro basal con 17.29 mm, longitud de hoja con 43.55 cm y diámetro de copa con 114.56 cm. Aunque el número de hojas no presentó diferencias significativas entre tratamientos en área foliar (AF) y área foliar específica (AFE), (T2) registró las mayores medias con 303.75 dm² y 42.92 cm², respectivamente. En cuanto a los pigmentos clorofílicos, el tratamiento (T4) con 1.5 L de fertilizante orgánico (humus de lombriz) alcanzó la mayor concentración con 376.5 µmol/m². En general, la fertilización genera un efecto positivo en el desarrollo inicial de la especie, siendo recomendable la aplicación de la misma para optimizar el crecimiento y la salud fisiológica de *Juglans neotropica* Diels en plantaciones forestales.

Palabras clave: Plantación forestal, fertilización, dasometría, variables fisiológicas, *Juglans neotropica* Diels.

ABSTRACT

The present study focuses on fertilization in *Juglans neotropica* Diels, a species recognized for its ecological and economic relevance, whose growth depends on adequate fertilization management. The limited information available on the effects of fertilization during the early stages of this species justified the evaluation of strategies aimed at improving its growth in plantations. The objective was to analyze the effect of different types and doses of fertilization in a plantation established on February 1, 2024, in San Roque, Imbabura, over a six-month period. A randomized complete block design (RCBD) was used, with four treatments and three replications. During transplanting, a basal fertilization was applied using NPK (10-30-10) at doses of 200 g (T1) and 400 g (T2) per plant, and vermicompost (earthworm humus) at volumes of 0.5 L (T3) and 1.5 L (T4), in addition to an unfertilized control treatment (T5). Dasometric variables evaluated included height, basal diameter, number of leaves, leaf length, and crown diameter, while physiological variables included leaf area, specific leaf area, and chlorophyll pigments. The results showed that treatment T2 with 400 g of NPK exhibited the best performance in the variables of total height (71.53 cm), basal diameter (17.29 mm), leaf length (43.55 cm), and crown diameter (114.56 cm). Although the number of leaves did not show significant differences among treatments, for leaf area (LA) and specific leaf area (SLA), T2 recorded the highest mean values, with 303.75 dm² and 42.92 cm², respectively. Regarding chlorophyll pigments, treatment T4 with 1.5 L of organic fertilizer (vermicompost) achieved the highest concentration, with 376.5 µmol/m². Overall, fertilization had a positive effect on the initial development of the species, and its application is recommended to optimize growth and physiological health of *Juglans neotropica* Diels in forest plantations.

Keywords: Forest plantation, fertilization, dendrometry, physiological variables, *Juglans neotropica* Diels.

LISTA DE SIGLAS

AFE	Área foliar específica
MAATE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición ecológica
IAF	Índice del área foliar
DAP	Diámetro a la altura del pecho
NADPH	Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato reducido
MAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
AEFA	Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes
WFO	World Flora Online

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
LISTA DE SIGLAS.....	9
INTRODUCCIÓN	15
Problema de investigación	15
Justificación	15
Objetivos.....	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos.....	16
Hipótesis	16
CAPITULO I.....	17
MARCO TEÓRICO	17
1.1 Plantaciones forestales.....	17
1.1.1 Importancia de las plantaciones forestales	17
1.1.2 Tipos de plantaciones forestales en el Ecuador.....	18
1.1.3 Establecimiento de las plantaciones forestales.....	19
1.2 Fertilización en las plantaciones forestales	19
1.2.1 Tipos de fertilizantes	20
1.2.2 Dosis de fertilizantes	20
1.3 Nutrición mineral de las plantas	21
1.3.1 Función de los macronutrientes en las plantas	21
1.3.2 Función de los micronutrientes en las plantas	23
1.4 Descripción botánica de <i>Juglans neotropica</i> Diels.	25
1.4.1 Descripción taxonómica	25
1.4.2 Características botánicas	26
1.4.3 Distribución de la especie <i>Juglans neotropica</i> Diels.....	26
1.4.4 Morfología de la especie	26
1.5 Dasometría de las plantas	27

1.5.1	<i>Altura total de la planta</i>	27
1.5.2	<i>Diámetro basal de la planta</i>	27
1.5.3	<i>Número de hojas</i>	28
1.5.4	<i>Diámetro de copa</i>	28
1.6	Fisiología de las plantas	29
1.6.1	<i>Área foliar</i>	29
1.6.2	<i>Pigmentos clorofílicos</i>	29
1.6.3	<i>Área foliar específica</i>	29
CAPÍTULO II.....		30
MATERIALES Y MÉTODOS		30
2.1	Tipo de investigación.....	30
2.2	Ubicación.....	30
2.2.1	<i>Ubicación política</i>	30
2.2.2	<i>Ubicación geográfica</i>	30
2.3	Caracterización edafo-climática.....	31
2.4	Materiales, equipos y métodos.....	31
2.5	Métodos, técnicas e instrumentos	32
2.5.1	<i>Diseño experimental</i>	32
2.5.2	<i>Muestreo</i>	34
2.5.3	<i>Diseño de la matriz para el registro de los datos dasométricos</i>	34
2.5.4	<i>Diseño de la matriz para el registro de los datos fisiológicos</i>	34
2.6	Instalación del experimento	35
2.7	Matriz de operacionalización de variables	35
2.8	Procedimiento y análisis de datos	37
CAPITULO III		38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		38
3.1.	Clima del área de estudio.....	38
3.2.	Resultados de las variables dasométricas de la especie <i>Juglans neotropica</i> Diels	39
3.2.1	<i>Altura total</i>	39

3.2.2	<i>Diámetro basal</i>	41
3.2.3	<i>Número de hojas de la planta</i>	43
3.2.4	<i>Longitud de la hoja</i>	45
3.2.5	<i>Diámetro de copa</i>	47
3.3	Resultados de las variables fisiológicas de la especie <i>Juglans neotropica</i> Diels.....	50
3.3.1	<i>Área foliar</i>	50
3.3.2	<i>Pigmentos clorofílicos</i>	52
3.3.3	<i>Área foliar específica</i>	54
CAPÍTULO IV		56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		56
4.1	Conclusiones.....	56
4.2	Recomendaciones	56
Referencias		58
Anexos.....		64

Índice de figuras

Figura 1 <i>Mapa de ubicación del experimento de Juglans neotropica Diels</i>	31
Figura 2 <i>Comportamiento de la precipitación y temperatura en Antonio Ante, año 2024...</i>	38
Figura 3 <i>Crecimiento de altura total de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.</i>	40
Figura 4 <i>Crecimiento del diámetro basal de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.</i>	42
Figura 5 <i>Crecimiento de la variable número de hojas de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.</i>	44
Figura 6 <i>Crecimiento de la variable longitud de la hoja de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.</i>	46
Figura 7 <i>Crecimiento de la variable diámetro de copa de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.</i>	48
Figura 8 <i>Crecimiento del área foliar de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.</i>	51
Figura 9 <i>Resultados de la variable pigmentos clorofílicos de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.</i>	53
Figura 10 <i>Resultados de la variable área foliar específica de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de dos meses.</i>	54

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Materiales, equipos y software utilizados en la investigación.</i>	32
Tabla 2	<i>Esquema de distribución de tratamiento en el diseño experimental</i>	33
Tabla 3	<i>Tabla para el registro de los datos primarios de las variables dasométricas.....</i>	34
Tabla 4	<i>Tabla para el registro de los datos primarios de las variables fisiológicas.</i>	34

INTRODUCCIÓN

Problema de investigación

- Problemática a investigar

Comprender los efectos de la fertilización en el desarrollo de la especie *Juglans neotropica* Diels es fundamental para garantizar su crecimiento sostenible a lo largo del tiempo, dado que esta especie cumple un rol fundamental brindando diferentes servicios ecosistémicos. Por ello, es fundamental tener en cuenta los factores que influyen en la respuesta de la especie a la fertilización, siendo el suelo y el clima los más importantes.

Para los técnicos forestales, tomar decisiones respecto a las prácticas de fertilización sostenibles en plantaciones forestales es un desafío debido a la limitada información que existe sobre el tema. Para la especie *Juglans neotropica* Diels, los estudios sobre la aplicación de fertilizantes son insuficientes, lo que dificulta saber qué tipos y dosis de fertilizantes son los adecuados para el buen desarrollo y manejo de esta especie.

El desafío principal consiste en comprender a detalle cómo la fertilización impacta en el crecimiento y desarrollo de la especie forestal *Juglans neotropica* Diels, en la parroquia de San Roque. Para abordar este desafío se analizó los efectos de distintos fertilizantes aplicados en la plantación de *Juglans neotropica* Diels.

- Formulación del problema de investigación

Escasa disponibilidad de información científica sobre los efectos de fertilización en el desarrollo inicial de una plantación forestal de *Juglans neotropica* Diels, en San Roque, Imbabura, Ecuador.

Justificación

La rápida desaparición de esta especie forestal debido a la explotación maderera resalta la urgencia de entender cómo mejorar su crecimiento y rentabilidad para asegurar su sostenibilidad. Una investigación exitosa sobre la fertilización de *Juglans neotropica* Diels, repercute en beneficios económicos, científicos, sociales y ambientales para una variedad de personas como, agricultores, dueños de plantaciones, investigadores e industrias madereras.

Para asegurar el éxito de la investigación, se realizó una recopilación de datos con un seguimiento mensual durante seis meses, utilizando equipos adecuados que sirvieron para evaluar el efecto de la fertilización en el crecimiento inicial de *Juglans neotropica* Diels. La fertilización puede mejorar el crecimiento y desarrollo de esta especie, aumentando su valor

económico, no obstante, el aprovechamiento de este recurso se debe realizar de forma responsable y sostenible. Además, *Juglans neotropica* Diels contribuye a la captura de carbono, y al potenciar su crecimiento mediante la fertilización, se incrementa su capacidad de almacenamiento.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de la fertilización en la plantación de *Juglans neotropica* Diels en San Roque, Imbabura, durante seis meses de crecimiento.

Objetivos Específicos

- Determinar características dasométricas de la plantación de *Juglans neotropica* Diels, bajo los tipos y dosis de fertilizantes aplicados, en seis meses de crecimiento.
- Determinar características fisiológicas de la plantación de *Juglans neotropica* Diels, bajo los tipos y dosis de fertilizantes aplicados, en seis meses de crecimiento.

Hipótesis

H₀: Los tratamientos de fertilización aplicados no mostraron diferencias significativas en los seis meses de evaluación en la plantación de *Juglans neotropica* Diels

H_a: Al menos uno de los tratamientos de fertilizantes aplicados tiene un efecto significativamente diferente en seis meses de crecimiento en la plantación de *Juglans neotropica* Diels.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Plantaciones forestales

Una plantación forestal se define como un área que se ha diseñado específicamente para el establecimiento y crecimiento de especies arbóreas, con el fin de producir madera, productos forestales no maderables, servicios ambientales, entre otros. Estas plantaciones deben cumplir con ciertos requisitos, como la selección de especies adecuadas, el diseño de la plantación, la preparación del suelo y la gestión sostenible (Westdary, 2025).

En el mundo casi el 4 % de los bosques son plantaciones forestales establecidas para proporcionar una variedad de servicios ecosistémicos, principalmente madera. Además de estos servicios, las plantaciones forestales proporcionan beneficios a la biodiversidad a través de la provisión de hábitat para una amplia gama de especies, y al reducir los impactos negativos en los bosques naturales al compensar la necesidad de extraer sus recursos (Pawson et al., 2013).

1.1.1 Importancia de las plantaciones forestales

Las plantaciones son importantes porque proporcionan madera y productos forestales renovables, reduciendo la presión sobre los bosques naturales. Además, cumplen un papel fundamental en la conservación del suelo y del agua, ayudando a prevenir la erosión y a mantener la calidad de las cuencas hidrográficas. También contribuyen a la captura de carbono y la mitigación del cambio climático, regulan el microclima y pueden ofrecer hábitats para ciertas especies de flora y fauna. A nivel socioeconómico, las plantaciones forestales generan empleo y desarrollo local, impulsando actividades vinculadas a la madera y productos forestales no maderables. Por estas razones, las plantaciones son importante para la sostenibilidad ambiental, económica y social (Espinosa et al., 2017).

Las plantaciones forestales son a menudo un componente importante de la restauración a escala del paisaje, ya que pueden hacer que las tierras degradadas vuelvan a ser productivas y mejorar la provisión de servicios ecosistémicos. Si se manejan bien las plantaciones forestales tienen el potencial de suministrar de manera sostenible una proporción sustancial de los bienes y servicios requeridos por la sociedad, por lo tanto, permiten que otras áreas forestales sean manejadas para objetivos de conservación y protección (Freer et al., 2019).

1.1.2 Tipos de plantaciones forestales en el Ecuador

Los tipos de plantaciones forestales presentes en el Ecuador pueden ser diversos, esto se debe al objetivo el cual se desea alcanzar.

1.1.2.1 Plantación forestal comercial

Se trata de la plantación forestal con fines de aprovechar los productos forestales madereros y sus derivados. Por lo tanto, aunque la plantación incluya más de un individuo dentro del área forestal esta será denominada monocultivo, es decir que solo contiene una especie de árbol. La principal ventaja de un monocultivo es la uniformidad de crecimiento y desarrollo de las especies, lo que facilita la aplicación de prácticas silviculturales que maximizan el rendimiento de la plantación (Mercedes, 2020).

1.1.2.2 Plantación forestal protectora

Las plantaciones forestales protectoras son las que se establecen en áreas protectoras ya sea para proteger o recuperar algún recurso natural renovable. En ella se puede adelantar el aprovechamiento de productos forestales no maderables y desarrollar actividades de manejo silvicultural asegurando la persistencia de este recurso. Además, el aprovechamiento y demás actuaciones relacionadas con las plantaciones forestales productoras deberá ser autorizada por autoridades ambientales regionales (Lozano, 2019).

1.1.2.3 Plantaciones forestales para restauración ecológica

Las plantaciones forestales para restauración ecológica brindan servicios ambientales que contemplan la restauración y reforestación con especies nativas en áreas degradadas, así también la reforestación con fines comerciales, especialmente con especies nativas, para reducir la presión sobre los bosques nativos. La restauración y la regeneración natural de áreas son importantes para la provisión de alimentos y otros servicios relacionados con la biodiversidad (Ministerio de Ambiente y Energía, 2019).

1.1.2.4 Plantaciones forestales mixtas

Este tipo de plantaciones combinan varias especies de árboles, pueden incluir especies nativas y exóticas, dependiendo del objetivo de la plantación y las condiciones ambientales. Las plantaciones forestales mixtas han generado expectativas sobre el aprovechamiento sucesivo de las especies en la producción e industrialización de la madera (López et al., 2010).

1.1.3 Establecimiento de las plantaciones forestales

El establecimiento de una plantación forestal es un proceso clave para asegurar la supervivencia y el buen desarrollo de las especies forestales. Inicia con la selección y evaluación del sitio, considerando características del suelo, clima y topografía para determinar la especie adecuada. Luego se realiza la preparación del terreno mediante limpieza, creación de áreas de protección y, cuando es necesario, labores de labranza. El diseño para el establecimiento de las plantaciones forestales incluye, la distribución de plantas, la apertura de caminos, cortafuegos y la delimitación del área. El material vegetal que se utiliza debe ser de buena calidad y provenir de viveros calificados. Preferentemente las plantaciones se establecen en épocas lluviosas, asegurando un adecuado manejo del suelo. Finalmente, en la plantación, se llevan a cabo actividades de manejo como, control de malezas, fertilización, monitoreo de plagas y evaluación de variables dasométricas para garantizar el crecimiento sostenible de la plantación (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2023).

1.2 Fertilización en las plantaciones forestales

La fertilización es una práctica común en la silvicultura de plantaciones forestales, donde frecuentemente se observan incrementos significativos y sostenidos en el crecimiento después de aplicar fertilizantes. Los árboles han desarrollado diversos mecanismos para adquirir nutrientes en suelos con baja disponibilidad. Además, en los suelos forestales se encuentran cantidades significativas de nutrientes orgánicos que contribuyen a la nutrición de las plantaciones forestales (Fox et al., 2010).

El desarrollo forestal requiere del establecimiento de plantaciones con mejores rendimientos, para lograr lo propuesto, se requiere un manejo adecuado y profundo de todas las etapas del desarrollo de las especies. Así, el manejo de la nutrición vegetal se debe potencializar y mejorar, por lo tanto, es importante tomar acciones necesarias para garantizar la nutrición y buen desarrollo de las especies, en tal sentido, actividades como definir la especie adecuada, realizar análisis del suelo y fertilización son actividades imprescindibles para alcanzar el desarrollo forestal que requerirá la plantación (Rojas, 2016).

1.2.1 Tipos de fertilizantes

Los fertilizantes desempeñan un papel crucial en la agricultura y la silvicultura al proporcionar los nutrientes que son de suma importancia para las plantas en cuanto a su crecimiento y desarrollo. Por ello, existen diversos tipos de fertilizantes, cada uno con características diferentes, que aportan de manera significativa al crecimiento de la planta, además, estos fertilizantes también pueden clasificarse según su origen y composición química.

1.2.1.1 Fertilizantes orgánicos

Los fertilizantes orgánicos, también llamados abonos, provienen de materiales animales o vegetales. Aunque sus nutrientes son menos solubles y las plantas los absorben más lentamente, ofrecen beneficios importantes como la mejora de la estructura del suelo y una mayor retención de agua y nutrientes, por lo que son ampliamente utilizados en la agricultura ecológica y en sistemas de manejo sostenible. Entre los fertilizantes orgánicos más comunes se encuentran el estiércol de diferentes animales, el compost y los abonos verdes (Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA), 2023).

1.2.1.2 Fertilizantes inorgánicos

Los fertilizantes inorgánicos también conocidos como fertilizantes sintéticos o químicos son compuestos producidos mediante métodos industriales que proporcionan a las plantas los nutrientes vitales. Éstos compuestos nutren a las plantas con macronutrientes básicos como, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Los fertilizantes inorgánicos también aportan micronutrientes, como calcio, magnesio, y azufre. Estos fertilizantes también suelen incluir micronutrientes como hierro, zinc y manganeso (Williams, 2024).

1.2.2 Dosis de fertilizantes

La correcta aplicación de dosis de fertilizante es fundamental para maximizar el rendimiento del cultivo y asegurar un uso eficiente de los recursos. Dosis inferiores a las requeridas provocan deficiencias nutricionales y reducen la producción, mientras que aplicaciones excesivas no generan beneficios adicionales y pueden causar efectos negativos como salinidad del suelo, toxicidad y disminución de la calidad del cultivo. La determinación de la dosis adecuada debe basarse en el análisis de los nutrientes disponibles en el suelo y el agua de riego, así como en la demanda nutricional del cultivo, la cual depende de su potencial productivo y de las condiciones edáficas y climáticas de cada sitio (Albornoz, 2017).

1.3 Nutrición mineral de las plantas

La nutrición mineral, estudia los elementos minerales esenciales que las plantas requieren para crecer, desarrollarse y completar su ciclo de vida. Estos elementos son absorbidos principalmente a través de las raíces y son indispensables para su funcionamiento fisiológico y metabólico. Los nutrientes provienen del aire y el agua, en estos se pueden encontrar el carbono, hidrógeno y oxígeno, y minerales del suelo como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre que cumplen funciones vitales en la regulación enzimática y fisiológica, la adecuada nutrición mineral permite el correcto desarrollo estructural y fisiológico de las plantas, influyendo en procesos como la fotosíntesis, la síntesis de compuestos orgánicos y el crecimiento (Pérez, 2017).

1.3.1 Función de los macronutrientes en las plantas

1.3.1.1 Nitrógeno (N)

El nitrógeno es un nutriente esencial para las plantas, ya que interviene directamente en procesos como la fotosíntesis y el crecimiento vegetal. Forma parte de la clorofila, las proteínas, los aminoácidos y las enzimas, elementos indispensables para la división celular y el desarrollo de los tejidos. Una adecuada disponibilidad de nitrógeno favorece el crecimiento vegetativo, el vigor de la planta y la productividad, mientras que su deficiencia limita el desarrollo y reduce el rendimiento. Por ello, el manejo adecuado del nitrógeno mediante la fertilización resulta clave para asegurar un crecimiento óptimo de las plantas (Acosta, 2021).

1.3.1.2 Fósforo (P)

El fósforo es un nutriente esencial para las plantas, obtenido principalmente en forma de fosfato del suelo, y es crítico para su crecimiento y desarrollo. Niveles bajos de fósforo reducen significativamente el crecimiento vegetal y pueden afectar la productividad de las plantas. Para adaptarse a la escasez de fosfato, las plantas han desarrollado mecanismos complejos para percibir y responder tanto interna como externamente a la disponibilidad de este elemento, lo que incluye cambios fisiológicos como modificaciones en la arquitectura de las raíces para mejorar la absorción del nutriente. La respuesta al estrés por falta de fósforo implica también señales hormonales y moleculares que ayudan a optimizar su uso bajo condiciones limitantes (Satheesh et al., 2022).

1.3.1.3 Potasio (K)

El potasio es un nutriente esencial que regula múltiples funciones fisiológicas en las plantas. Participa en el mantenimiento del equilibrio hídrico mediante el control de la apertura y cierre de estomas, lo que favorece la fotosíntesis y reduce las pérdidas de agua. Contribuye al transporte interno de agua, azúcares y nutrientes a través del xilema y floema, y es fundamental para el ajuste osmótico y la turgencia celular. Además, el potasio fortalece la tolerancia al estrés ambiental, como sequía, salinidad y ataques de plagas, al mantener la estabilidad de membranas, la homeostasis iónica y la actividad enzimática. También interviene en la formación y funcionamiento de los cloroplastos, apoyando así la eficiencia fotosintética (Sardans & Peñuelas, 2021).

1.3.1.4 Calcio (Ca)

El calcio Ca es un nutriente esencial que cumple funciones vitales en las plantas, principalmente como un mensajero clave en la señalización celular. Este elemento ayuda en la regulación, absorción y transporte de los minerales, favoreciendo al mantenimiento y equilibrio iónico. El calcio ayuda en la respuesta a diferentes tipos de estrés como, sequía, salinidad y toxicidad por metales, mediante la generación de “firmas de calcio”, patrones de concentración que activan proteínas censoras y desencadenan respuestas adaptativas. Además, el calcio preserva la integridad de las membranas celulares y permite a la planta reaccionar de forma eficiente frente a condiciones adversas (Wang et al., 2023).

1.3.1.5 Magnesio (Mg)

El magnesio es un nutriente esencial para el funcionamiento metabólico de las plantas, debido a su participación directa en procesos claves como la fotosíntesis, la síntesis de clorofila y la activación de diversas enzimas metabólicas. Una proporción significativa del magnesio absorbido se incorpora a la clorofila, mientras que el resto contribuye a la estabilidad de los cloroplastos, la síntesis de proteínas y la translocación de carbohidratos desde las hojas hacia otros órganos de la planta. Además, el magnesio es cofactor de más de 300 enzimas, lo que lo convierte en un elemento fundamental para el crecimiento vegetal. La deficiencia de magnesio provoca clorosis, reducción de la fotosíntesis, acumulación de azúcares en hojas maduras y desequilibrios en la distribución de biomasa, afectando de manera directa el rendimiento y la calidad de los cultivos (Ishfaq et al., 2022).

1.3.1.6 Azufre (S)

El azufre interviene directamente en la formación de aminoácidos como la cisteína y la metionina, que son esenciales para la producción de proteínas en las plantas. Participando en la síntesis de compuestos como el glutatión, que ayuda a proteger a la planta frente al estrés y al daño oxidativo. También, el azufre contribuye a que los micronutrientes como el hierro, zinc y cobre sean mejor absorbidos y utilizados dentro de la planta. La deficiencia de azufre afecta en el crecimiento y limita la productividad vegetal, lo que destaca su importancia en los programas de nutrición y fertilización (Chorianopoulou & Bouranis, 2022).

1.3.2 Función de los micronutrientes en las plantas

1.3.2.1 Hierro (Fe)

El hierro es un micronutriente esencial para las plantas debido a su participación en procesos bioquímicos fundamentales, entre ellos la fotosíntesis, la respiración celular y la asimilación de nitrógeno y azufre. Aunque el hierro es abundante en el suelo, muchas veces no está disponible para las plantas, especialmente en suelos con pH neutro o alcalino, donde se encuentra en formas que no pueden absorberse fácilmente. Además, mantener un equilibrio adecuado de hierro es fundamental, ya que su falta afecta el crecimiento de la planta y su exceso puede causar daños por la formación de compuestos tóxicos. El hierro no solo es indispensable para el metabolismo y el desarrollo vegetal, sino que también cumple un papel regulador en la respuesta a condiciones ambientales y de suelo (Li et al., 2023).

1.3.2.2 Zinc (Zn)

El zinc es un micronutriente esencial para las plantas porque participa en numerosas funciones estructurales, enzimáticas y regulatorias. Es importante porque ayuda a regular la producción de hormonas como la auxina, que controlan el crecimiento de las plantas. También participa en la comunicación interna de la planta y en el buen funcionamiento de proteínas esenciales. Además, contribuye al equilibrio de los minerales y protege a la planta del estrés. Cuando el suelo tiene poco zinc, el crecimiento de las plantas se ve afectado, disminuyendo el rendimiento y la calidad de los cultivos. (Saleem et al., 2022).

1.3.2.3 Cobre (Cu)

El cobre es un micronutriente esencial para las plantas debido a su participación en numerosos procesos fisiológicos clave. Actúa como cofactor en enzimas relacionadas con la fotosíntesis, la respiración celular y la detoxificación, que es el conjunto de procesos bioquímicos mediante los cuales las células neutralizan, transforman o eliminan sustancias tóxicas generados durante el metabolismo normal. El cobre es indispensable para el funcionamiento de la plastocianina, proteína fundamental en la cadena de transporte de electrones durante la fotosíntesis, así como para enzimas como el superóxido dismutasa cúprica, que protege a las células contra el estrés oxidativo. Sin embargo, su concentración debe mantenerse en un rango estrecho: la deficiencia provoca clorosis, marchitez, bajo crecimiento y alteración en la fertilidad floral, mientras que el exceso genera toxicidad, ocasionando formación de especies reactivas de oxígeno, peroxidación de membranas y daño en proteínas y ADN (Xu et al., 2024).

1.3.2.4 Manganeso (Mn)

El manganeso es un micronutriente esencial para las plantas, requerido en pequeñas cantidades, pero fundamental para su correcto desarrollo. Actúa como cofactor de numerosas enzimas involucradas en procesos metabólicos clave y es especialmente importante en la fotosíntesis, ya que forma parte del complejo de evolución de oxígeno del fotosistema, donde permite la fotólisis del agua y la liberación de oxígeno. Además, participa en la respiración celular y en la detoxificación del estrés oxidativo mediante enzimas antioxidantes como el superóxido dismutasa dependiente de Mn. La adecuada regulación del manganeso en la planta es crucial, ya que su deficiencia como su exceso afectan negativamente el crecimiento y la eficiencia fisiológica (Schmidt & Husted, 2019).

1.3.2.5 Cloro (Cl)

El cloruro, la forma en que el cloro está presente dentro de las plantas, ha pasado de considerarse un ion tóxico o irrelevante a ser reconocido como un elemento nutritivo beneficioso cuya absorción y regulación están controladas por la planta. Aunque el Cl se necesita en cantidades muy pequeñas, investigaciones recientes muestran que puede mejorar el crecimiento y desarrollo vegetal al aumentar la biomasa fresca y seca, la expansión de hojas, la elongación de células, las relaciones hídricas de tejido y la eficiencia del uso del agua y del nitrógeno. También se han identificado genes específicos que regulan el transporte y la homeostasis dentro de las células vegetales, lo cual es crucial para mantener el turgor celular, la nutrición y la tolerancia al estrés (Colmenero et al., 2019)

1.3.2.6 Molibdeno (Mo)

El molibdeno es uno de los micronutrientes menos abundantes pero esencial para las plantas, jugando un papel clave en su metabolismo. Este elemento es indispensable para procesos fisiológicos importantes. Entre sus funciones más destacadas se encuentran la participación en la biosíntesis de clorofila, el metabolismo del carbono, la fijación biológica del nitrógeno y la activación de enzimas clave necesarias para la transformación de nitratos absorbidos del suelo en formas utilizables dentro de la planta. La disponibilidad de molibdeno en suelos depende de factores como el pH, el contenido de materia orgánica y los mecanismos de adsorción, disponible en suelos alcalinos y en suelos ácidos (Rana et al., 2025)

1.3.2.7 Boro (B)

El boro es un micronutriente esencial para las plantas, absorbido principalmente como ácido bórico, y cumple un papel clave en la estructura y estabilidad de la pared celular y de las membranas, ya que participa en la formación de enlaces con componentes de la pared que mantienen la integridad de los tejidos. Además, es fundamental para la división y elongación celular, el crecimiento de raíces, el transporte de azúcares, iones y hormonas, y procesos reproductivos como la germinación del polen y el desarrollo del tubo polínico. El artículo destaca que el boro tiene un rango nutricional muy estrecho, por lo que tanto su deficiencia como su toxicidad afectan negativamente la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento de los cultivos, y que la respuesta al boro varía según la especie y el genotipo vegetal (Brdar, 2020).

1.4 Descripción botánica de *Juglans neotropica* Diels.

1.4.1 Descripción taxonómica

La descripción taxonómica de *Juglans neotropica* Diels (World Flora Online (WFO), 2025), es:

Familia: *Juglandaceae*

Género: *Juglans*

Especie: *neotropica*

Nombre científico: *Juglans neotropica* Diels

Nombre común: Nogal, Tocte

1.4.2 Características botánicas

(Toro & Roldan, 2018) Mencionan que “es una especie forestal de una altura entre 15 m y 48 m; con raíces pivotantes que pueden alcanzar hasta más de tres metros de profundidad, su fuste es cilíndrico, recto, con una corteza externa fisurada color gris oscuro y una corteza interna fibrosa color crema”.

Las hojas son compuestas alternas e imparipinadas, agrupadas al final de las ramas; miden entre 20 cm y 60 cm de largo y 18 cm a 30 cm de ancho, nacen a partir de una yema terminal muy delgada y puntiaguda que es protegida por una bráctea fácil de visualizar y alargada. Contienen entre 7 y 19 foliolos dispuestos de manera opuesta en un raquis (Toro & Gómez, 2018).

Las flores de esta especie son flores masculinas dispuestas en amentos péndulos, con estambres numerosos flores femeninas de un ovario ínfero con un óvulo, se encuentran en los extremos de las ramas nuevas en grupos de cuatro a nueve; además, presenta un fruto tipo drupa color pardo a negro (Lozano, 2015).

1.4.3 Distribución de la especie *Juglans neotropica* Diels

Está ampliamente distribuida en bosques montanos y premontanos de Centro y Suramérica, entre los 1000 y 3500 ms.n.m. En Ecuador, se encuentra a lo largo de la región andina dentro de ese mismo rango altitudinal. En los valles interandinos suele cultivarse cerca de viviendas y áreas agrícolas, y es común observarla en los márgenes de los ríos de Cuenca y zonas cercanas. Sumado a ello, *Juglans neotropica* no solo crece de manera natural, sino que también se cultiva como cerca de viviendas y zonas agrícolas (Minga & Verdugo, 2016).

1.4.4 Morfología de la especie

La floración de esta especie se produce durante los meses de mayo y junio en Imbabura. No obstante, estos factores ambientales como el régimen de lluvias y la altitud en la que se encuentra la planta pueden causar una variación en este proceso. En general, se observa que, al aumentar la altitud, la cantidad de flores disminuye. Esto puede deberse a las condiciones climáticas y a cambios en la disponibilidad de nutrientes. También se indica que los frutos tardan entre 4 y 5 meses en madurar y la época de producción suele iniciar con la aparición de los primeros frutos jóvenes, generalmente entre los meses de mayo y octubre. No obstante, por lo general es durante los meses de junio y agosto cuando se experimenta el periodo de mayor producción de frutos. La causa de esto puede ser el clima favorable durante esos meses, que favorece el crecimiento óptimo de los frutos y aumenta su productividad (Vallejos et al., 2023).

1.5 Dasometría de las plantas

La dasometría es una rama importante ya que se encarga de medir y analizar las características físicas de los árboles para conocer su estructura, crecimiento y potencial producción. Esta disciplina es clave para desarrollar ecuaciones que permiten estimar el volumen, la biomasa y el carbono de los árboles en bosques manejados. Para ello, se utilizan variables como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la longitud del tronco, la densidad de la madera y el contenido de carbono, con las cuales se elaboran modelos que describen la estructura del bosque y ayudan a cuantificar los recursos forestales disponibles. De este modo, la dasometría se presenta como una herramienta indispensable para el manejo forestal sostenible, ya que proporciona la información necesaria para evaluar la productividad del bosque, estimar el almacenamiento de biomasa y carbono, y apoyar la toma de decisiones en relación con la conservación y el aprovechamiento responsable de los ecosistemas forestales (Romero et al., 2020).

1.5.1 Altura total de la planta

La altura de la planta se describe como un rasgo funcional fundamental que refleja la capacidad de un individuo para crecer verticalmente y competir por la luz. La altura total es utilizada no solo para comparar estrategias de crecimiento entre especies, sino también para modelar procesos ecológicos, ya que influye en la captura de luz, la asignación de biomasa, la capacidad de dispersión y las interacciones competitivas. Además, este rasgo permite predecir cómo las plantas responden a cambios ambientales como variaciones de temperatura o disponibilidad de agua y cómo afectan a su entorno, convirtiéndose así en un indicador clave tanto de respuesta al ambiente como de efecto en el ecosistema (Gya & Wilfahrt, 2019).

1.5.2 Diámetro basal de la planta

El diámetro basal es una medida fundamental en silvicultura y manejo forestal debido a su capacidad para proporcionar una estimación precisa y rápida de la superficie transversal de los árboles a una altura estándar de la base del tronco. Esta medida no solo ofrece información sobre la cantidad de espacio que ocupan los árboles en una determinada área forestal, sino que también se utiliza para estimar la productividad del bosque, la capacidad de carga y la disponibilidad de recursos para el crecimiento de los árboles (Pérez, 2023).

Chuangye et al., (2021), menciona que los equipos que se utilizan para medir el diámetro basal son:

- **Cinta métrica:** Es el más utilizado y funciona envolviendo el tallo para leer directamente el diámetro gracias a una calibración basada en π .
- **Vernier mecánico o digital:** Tiene brazos metálicos que envuelven el tallo y dan una lectura milimétrica del tamaño transversal tronco.
- **Forcípula forestal:** Mide el diámetro mediante dos brazos rígidos que se abren y ajustan perpendicularmente al tronco.
- **Láser y reconocimiento de imágenes por inteligencia artificial:** Detectan el contorno del tronco y calculan el diámetro sin contacto físico.

1.5.3 Número de hojas

El número de hojas es un rasgo morfológico fundamental que refleja la capacidad de una planta para interceptar luz, realizar fotosíntesis y sostener su crecimiento. Es un indicador directo del grado de desarrollo foliar y del potencial fotosintético de la especie, ya que las hojas funcionan como la principal superficie de captura de energía luminosa. El número de hojas está estrechamente vinculado con la intensidad del follaje un parámetro que considera cuántas hojas produce la planta en relación con la masa o el volumen del tallo, las plantas que desarrollan un mayor número de hojas suelen presentar hojas más pequeñas, mientras que aquellas que producen menos hojas tienden a tener hojas de mayor tamaño (Sun et al., 2019).

1.5.4 Diámetro de copa

El diámetro de copa es un parámetro morfológico que describe la extensión horizontal de la corona de un árbol o planta, proyectada sobre el suelo, y refleja directamente la cobertura del follaje y la superficie de captación de luz, también, se puede decir que es un indicador clave del desarrollo vegetativo, ya que está relacionado con la cantidad de follaje que puede sostener el árbol, la capacidad fotosintética y la competencia por luz dentro del dosel. Además, esta medida permite inferir la densidad de plantación, la distribución espacial de la cobertura arbórea y la eficiencia en la acumulación de biomasa, siendo un rasgo dasométrico de gran utilidad para estudios de crecimiento forestal y manejo de plantaciones (Gonzalez et al., 2022).

1.6 Fisiología de las plantas

La fisiología vegetal, rama de la biología vegetal se centra en el funcionamiento de las plantas y su interacción con los factores ambientales que influyen en su germinación, crecimiento, desarrollo, maduración, reproducción y muerte. Esta disciplina analiza los procesos vitales de las plantas como la fotosíntesis, la respiración, la absorción y translocación de nutrientes, la regulación hormonal y las respuestas a estímulos ambientales, explicando sus fundamentos físicos y químicos en diferentes niveles estructurales, desde la molécula hasta la planta completa y la comunidad vegetal. De esta manera, la fisiología vegetal permite comprender los principios y mecanismos del crecimiento y desarrollo, así como su adaptación a factores ambientales físicos, químicos y biológicos, ofreciendo herramientas esenciales para mejorar la producción agrícola (Torres García et al., 2018).

1.6.1 Área foliar

El Índice de Área Foliar, IAF, indica el área total de superficie de hojas por unidad de área terrestre (m^2), es una medida colectiva de la porción foliar de la estructura del dosel de la vegetación. La medida subraya la primacía de la superficie en muchos procesos fundamentales de las interacciones entre la vegetación y el medio ambiente. Por ello, el IAF no solo indica la cantidad de follaje, sino también la capacidad de la vegetación para interceptar luz, producir biomasa y regular el balance de energía y agua con el ambiente (Parker, 2020).

1.6.2 Pigmentos clorofilicos

La concentración de clorofila en las hojas es un factor importante. Parámetro que se mide periódicamente como indicador del contenido de cloroplastos, mecanismo fotosintético y del metabolismo vegetal. La clorofila es un compuesto antioxidante que está presente y es almacenado en los cloroplastos de las plantas de hoja verde, principalmente en la zona verde de las hojas, tallos, flores y raíces (Kamble et al., 2016).

1.6.3 Área foliar específica

El área foliar específica (AFE) es un indicador morfológico que expresa la relación entre el área de una hoja y su masa seca. Este rasgo refleja la estrategia funcional de la planta frente a su ambiente: hojas con alta AFE son delgadas y ligeras, lo que favorece una rápida captación de luz y crecimiento en condiciones favorables; mientras que hojas con baja AFE son más gruesas y densas, lo que permite conservar agua y resistir ambientes secos o pobres en nutrientes (Liu et al., 2017).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Tipo de investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, ya que se basó en la recopilación y análisis de datos numéricos y pruebas estadísticas que permitieron responder las preguntas de investigación y comprobar las hipótesis planteadas. Su finalidad fue aplicada, dado que se orientó al uso de teorías, métodos y conceptos científicos para resolver un problema práctico relacionado con el crecimiento y desarrollo de *Juglans neotropica* Diels. El alcance fue explicativo, ya que, se utilizaron pruebas estadísticas de inferencia que posibilitaron establecer relaciones entre las variables analizadas y demostrar los resultados obtenidos. También, el diseño de investigación fue experimental, en el que se incorporó dos variables independientes como factores de estudio para evaluar sus efectos en el comportamiento de la especie. En cuanto al tiempo fue sincrónica, porque se desarrolló en un mismo periodo y contexto, permitiendo la interacción directa entre el investigador y el objeto de estudio. Por último, en relación con el lugar, la investigación fue de campo, ya que se llevó a cabo en una plantación de *Juglans neotropica* Diels, ubicada en Imbabura, cantón Antonio Ante, parroquia San Roque donde se observaron y midieron las variables en estudio.

2.2 Ubicación

El área de estudio se encuentra situada en la parroquia de San Roque, por lo que a continuación se detalla su ubicación política y geográfica de manera más detallada.

2.2.1 Ubicación política

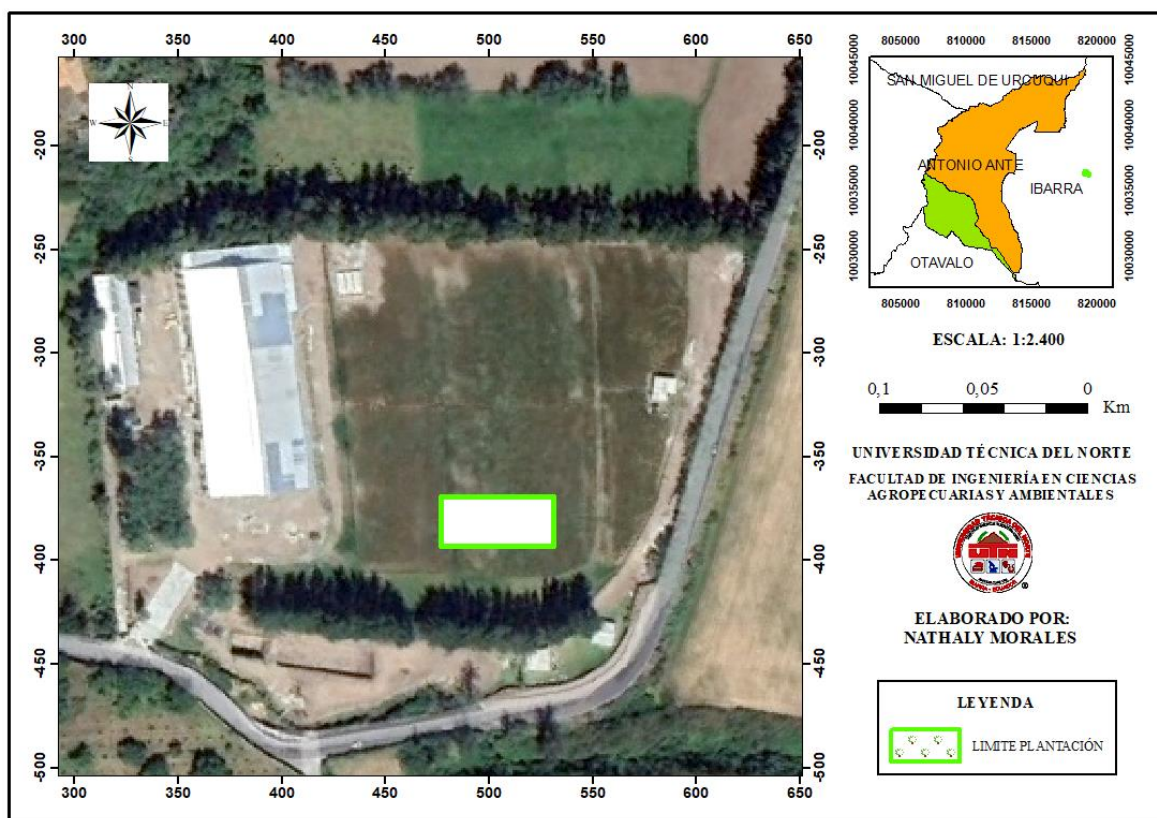
La plantación de *Juglans neotropica* Diels, se ubica en la provincia de Imbabura, cantón Antonio Ante, parroquia San Roque.

2.2.2 Ubicación geográfica

La plantación de *Juglans neotropica* Diels, se encuentra a una latitud de 00°19'04.22" N, una longitud de 78°14'19.53" W y a una altitud de 2230 ms.n.m.

Figura 1

Mapa de ubicación del experimento de Juglans neotropica Diels



2.3 Caracterización edafo-climática

- **Suelo**

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2015) “La parroquia de San Roque presenta un suelo molisol, es un suelo mineral, profundo con excelentes propiedades químicas y físicas, además se considera uno de los suelos más productivos del Ecuador”.

- **Clima**

La temperatura promedio es de 14 °C y una pluviosidad anual de 1025mm. Otro factor importante es el número de meses secos ya que en toda la franja oriental de la parroquia de San Roque existe un máximo de cuatro meses secos los cuales son junio, julio, agosto y septiembre (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Antonio Ante, 2023).

2.4 Materiales, equipos y métodos

Los materiales, equipos, instrumentos, insumos y software que se usaron en el desarrollo de la investigación se puntualizan en la Tabla 1.

Tabla 1

Materiales, equipos y software utilizados en la investigación.

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Equipos	Software
Azadón	Balanza electrónica	Calibrador pie de rey	ArcGIS 10.8
Hoyadora	Apogee MC-100	GPS	Microsoft 365
Cinta métrica		Computador portátil	Image J
Piola		Brújula	
Libreta de campo		Cámara fotográfica	
Barra			
Lápiz			
Vidrio			
Cartulina blanca			
Fertilizante orgánico			
Fertilizante inorgánico			
85 plantas de <i>Juglans Neotropica</i> Diels			
Portapapeles			

2.5 Métodos, técnicas e instrumentos

2.5.1 *Diseño experimental*

El diseño experimental fue de bloques al azar, en el cual se utilizaron cuatro tratamientos y tres repeticiones.

Tratamientos

T1: Fertilizante inorgánico, NPK (10-30-10) 200 g/planta

T2: Fertilizante inorgánico, NPK (10-30-10) 400 g/planta

T3: Fertilizante orgánico, humus de lombriz, 0.5 L /planta

T4: Fertilizante orgánico, humus de lombriz, 1.5 L /planta

T5: Testigo

Tabla 2

Esquema de distribución de los tratamientos en el diseño experimental

RI	RII	RIII
T1	T3	T5
T4	T2	T3
T5	T1	T4
T2	T5	T1
T3	T4	T2

- **Modelo estadístico del experimento**

El modelo estadístico del diseño experimental, ecuación 1, fue el siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + T_j + \beta_j + E_{ij} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- Y_{ij} : Es la observación (i – j) -ésima
- μ : media general
- T_i : efecto del i-ésimo tratamiento
- B_j : efecto del j-ésimo del bloque
- ε_{ij} : error experimental en la unidad j del tratamiento i

Tabla para el registro de los datos primarios de las variables fisiológicas.

- **Número de hojas**

Se contabilizó las hojas que estaban totalmente desarrolladas, con la finalidad de tener una precisión y consistencia en los datos que se obtuvo. Este conteo se realizó una vez al mes.

- **Longitud de la mayor hoja**

Se tomó la hoja de mayor longitud que presentó la planta y se midió desde la base del raquis de la hoja hasta la parte final, mediante el empleo de una cinta métrica (cm). Esta medición se realizó mensualmente.

- **Diámetro de copa de la planta**

Se midió la distancia de la copa en dos direcciones diferentes con una cinta métrica (cm) y se calculó sacando el promedio entre las dos distancias obtenidas, estas mediciones se realizaron una vez al mes.

Objetivo 2: Determinar características fisiológicas de la plantación de *Juglans neotropica* Diels, bajo los tipos y dosis de fertilizantes aplicados, en seis meses de crecimiento.

- **Área foliar**

Se empleó una alternativa no destructiva. Con ayuda de un portapapeles y un vidrio se colocó la hoja en medio de estos dos objetos para posteriormente tomar una foto, muy clara y definida, con cámara resolución 16 Mpx. Este proceso se llevó a cabo con todas las hojas desarrolladas que presentaron los individuos. Finalmente, con ayuda de un software denominado *Image J* se determinó el área foliar. Se realizó mediciones una vez al mes y se expresaron en dm^2 como unidad de medida.

- **Pigmentos clorofílicos**

En cada individuo se tomó una hoja desarrollada, de la cual se seleccionó tres folíolos, tomados en el ápice de la hoja hacia su base, de manera secuencial ubicados en el mismo lado de la hoja. Se utilizó el equipo medidor de concentración de pigmentos clorofílicos denominado Apogee MC-100. Se realizó mediciones una vez al mes y se expresó en μmol de clorofila por m^2 como unidad de medida.

- **Área foliar específica**

Se recolectaron dos hojas por cada individuo y se midió el área foliar de cada hoja. Posteriormente se ingresó las hojas en la estufa a 65°C durante 48 horas; una vez retiradas de la estufa se determinó el peso seco para finalmente calcular el área foliar específica mediante la ecuación 2. Se realizó dos mediciones, una al tercer mes y la otra al sexto mes, y se expresó en dm²/g como unidad de medida.

$$AFE = Af/Ps \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde

AFE = área foliar específica

Af = área foliar

Ps = peso seco

2.8 Procedimiento y análisis de datos

Para determinar si los datos obtenidos seguían una distribución normal, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, la cual permitió evaluar la normalidad de los datos. De manera complementaria, se utilizó la prueba de Levene para comprobar la homogeneidad de varianzas entre los tratamientos. Cuando los datos no cumplían con dichos supuestos, se aplicó transformaciones estadísticas con el fin de estabilizar la varianza y aproximar los datos a una distribución normal. Posteriormente, cuando los resultados evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos y se confirmaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se procedió a aceptar el análisis de varianza (ANOVA). Finalmente, se aplicó la prueba de comparación de Tukey para determinar el tratamiento más efectivo, mediante agrupamiento.

CAPITULO III

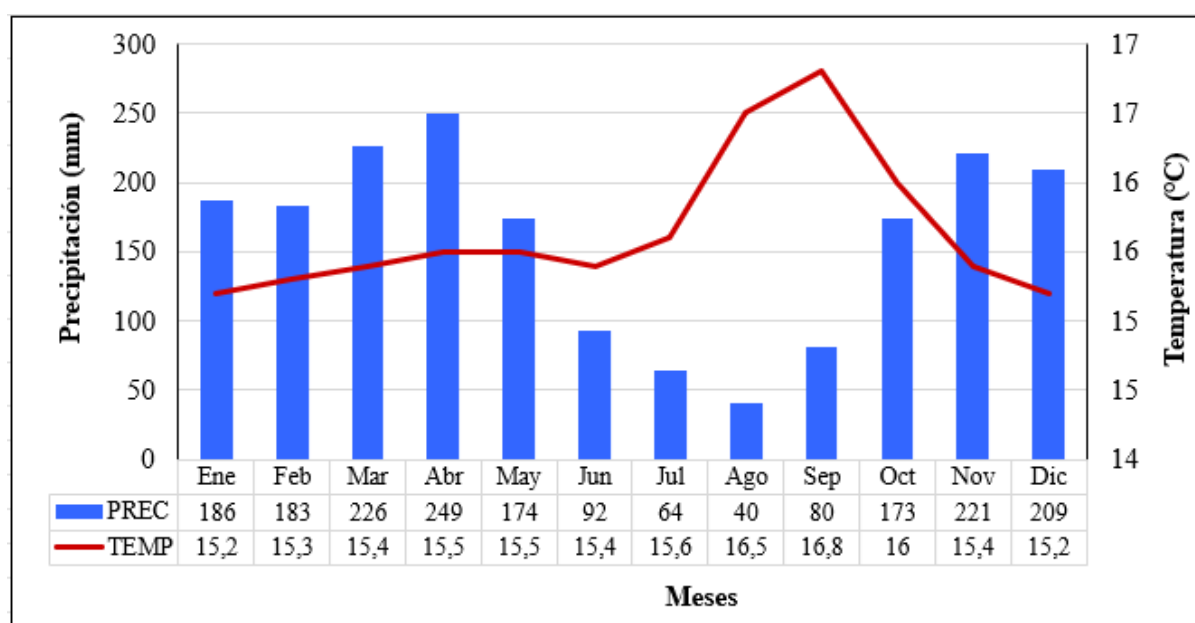
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.Clima del área de estudio

Los datos climatológicos registrados en el área de estudio, ubicado en la provincia de Imbabura, cantón Antonio Ante, parroquia San Roque se presentan en la (Figura 2).

Figura 2

Comportamiento de la precipitación y temperatura en Antonio Ante, año 2024.



Fuente: *Elaboración propia*

El climograma registra dos periodos en el cual se incluyen el lluvioso y seco. La precipitación presenta un incremento progresivo desde enero, alcanzando su máximo entre marzo (226 mm) y abril (249 mm), meses en los que se registran los valores más altos de lluvia del año. El total fue de 1897mm. Posteriormente, se observó una elevada temperatura en los siguientes meses, junio 15,4 °C, julio 15,6 °C, agosto 16,5 °C y septiembre 16,8 °C conformando el periodo más seco del año, donde la precipitación mantiene los valores más bajos. A partir de octubre se inicia una recuperación progresiva de la precipitación y con ello el segundo periodo lluvioso entre noviembre (221 mm) y diciembre (209 mm).

Este comportamiento climático influye directamente en los procesos fisiológicos de la planta y en la dinámica del crecimiento y desarrollo de la misma, determinando los periodos en los que la especie forestal *Juglans neotropica* Diels puede desarrollarse mejor o puede verse afectada.

3.2. Resultados de las variables dasométricas de la especie *Juglans neotropica* Diels

3.2.1 *Altura total*

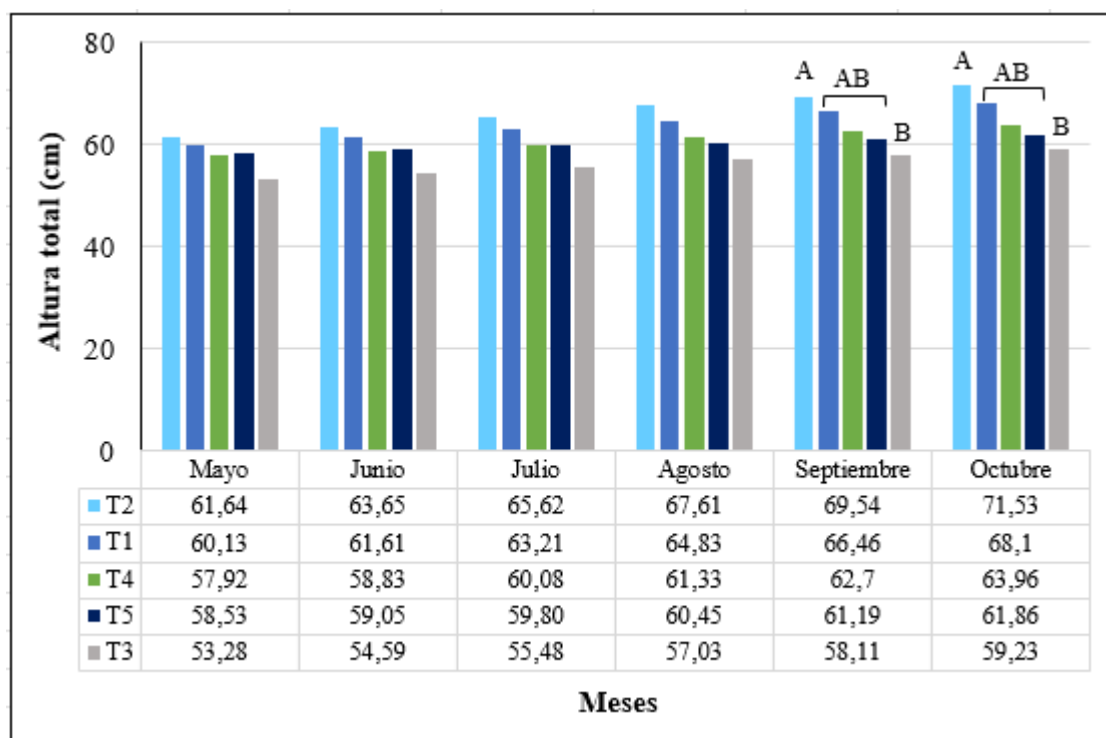
La variable altura total de la planta, evaluada en un periodo de seis meses en la plantación de *Juglans neotropica* Diels, cumplió con los supuestos del ANOVA. La normalidad, mediante la prueba de Shapiro-Wilk, se demostró con base a los p-valores siguientes: mayo 0.5534, junio 0.2933, julio 0.2777, agosto 0.2247, septiembre 0.1908 y octubre 0.1819. De igual manera, la prueba de Levene confirmó la homogeneidad de varianzas entre tratamientos en todos los meses evaluados, los resultados encontrados de los p-valores fueron: mayo 0.6475, junio 0.1218, julio 0.0757, agosto 0.0638, septiembre 0.0531 y octubre 0.0541.

En el ANOVA para $\alpha = 0.05$, los primeros meses de evaluación no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, los p-valores que se obtuvieron fueron: mayo 0.1895, junio 0.1238, julio 0.0749 y agosto 0.0599, sin embargo, en septiembre 0.0480 y octubre 0.0324 los valores fueron inferiores al nivel de significancia lo que indica que existe diferencias significativas entre los tratamientos por ende se rechaza la hipótesis nula del estudio.

El tratamiento T2 correspondiente a la aplicación de fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 400g por planta fue el que mostró los mejores resultados al sexto mes de evaluación, tal como se muestra en la (Figura 3) obteniendo una media de 71.53cm, ubicándose en el rango A. Los tratamientos T1 con 200g de NPK (10-30-10), T4 con 1.5L de (humus de lombriz) y T5 el testigo se ubicaron en el rango AB y por lo tanto mostraron ser estadísticamente iguales. Finalmente, el tratamiento T3, con fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 0.5L por planta fue el de menor crecimiento con 59.23cm y se ubicó en el rango B.

Figura 3

Crecimiento de altura total de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.



Nota. T1: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 200 g; T2: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 400 g; T3: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 0.5 L; T4: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 1.5 L; T5: Testigo (sin fertilizante).

Los tratamientos T3 con 0.5L de (humus de lombriz) y T4 con 1.5 L de (humus de lombriz) mostraron respuestas que no coincidieron notablemente. El tratamiento T3, que recibió una dosis reducida de fertilizante orgánico, no generó una mejora significativa en la altura de *Juglans neotropica* Diels, manteniéndose incluso por debajo del testigo. Este comportamiento puede darse debido a las dosis bajas de fertilizante orgánicos, ya que, liberan nutrientes lentamente en las etapas iniciales de la plantación. Esto demuestra que, en fertilización orgánica, la efectividad depende a las dosis aplicadas, y que en dosis menores no se pueden generar beneficios visibles a comparación con el testigo sin fertilización.

Igualmente, el fósforo aportado por el fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) favoreció al crecimiento de las plantas al proporcionando la energía necesaria para sus procesos fisiológicos, lo que ayudo a un mejor desarrollo del sistema radicular, haciendo que haya una absorción más eficiente de agua y nutrientes.

En un estudio realizado en la Granja Experimental Tunshi ubicada en Chimborazo, se evaluó el efecto de distintas dosis de fertilizante inorgánico (10-30-10) en una plantación de *Juglans neotropica* Diels, los tratamientos fueron (T1) sin fertilizante, (T2) con 100g de fertilizante, (T3) con 200g de fertilizante y (T4) con 250g de fertilizante. Tras 120 días de evaluación, se observó que el tratamiento con 250g de fertilizante inorgánico produjo el mayor crecimiento, con una altura promedio de 58,2cm, superando significativamente a los demás tratamientos (Rosero, 2011).

Por otro lado, en un estudio realizado en la Universidad Técnica del Norte, en el campus experimental Yuyucocha ubicada en la ciudad de Ibarra, habla sobre la incidencia de diferentes tipos de fertilización y métodos de ahoyado en la plantación inicial de *Junglas neotropica* Diels, demostró que el tratamiento de fertilizante químico con hoyado mejorado que consistió en la combinación del hoyado tradicional más la remoción del suelo en un radio de 50cm, tuvo el mejor rendimiento en cuanto a esta variable con un resultado de 39.68 cm, puesto que la combinación del fertilizante y el tipo de hoyado, mejoraron las condiciones del suelo y facilitaron a la planta la absorción de nutrientes (Mediavilla, 2023).

3.2.2 Diámetro basal

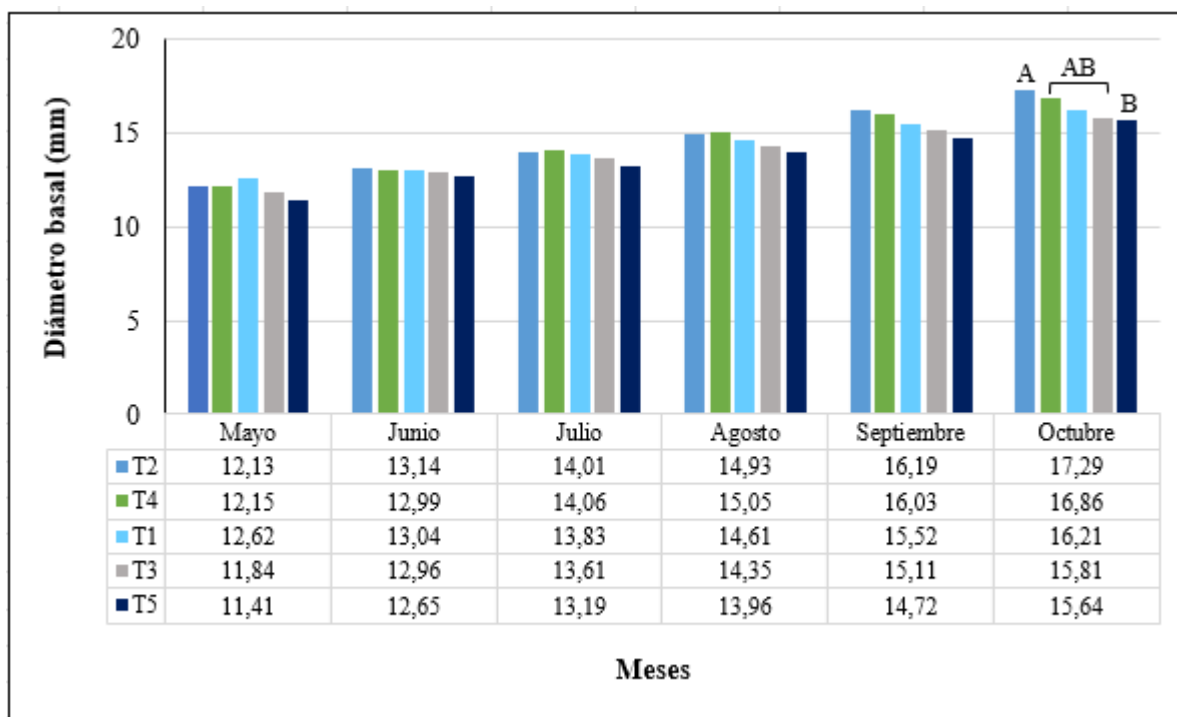
La variable diámetro basal de las plantas mostró diferencias en el crecimiento entre los tratamientos aplicados, la prueba de Shapiro-Wilk arrojó valores superiores al nivel de significancia en los seis meses de evaluación, lo que evidencia que los datos presentan una distribución normal. Los p-valores obtenidos en este análisis estadístico fueron los siguientes: mayo 0.6238, junio 0.4529, julio 0.3559, agosto 0.2197, septiembre 0.1111 y octubre 0.2552. De manera similar, la prueba de Levene confirmó la homogeneidad de varianzas entre los tratamientos en los seis meses de evaluación analizados, registrando valores de: mayo 0.6676, junio 0.4763, julio 0.3943, agosto 0.3670, septiembre 0.5934 y octubre 0.3817.

Se rechaza la hipótesis nula del ANOVA con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, dado que en el mes de octubre se registró un resultado de 0.0325, evidenciando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Por otro lado, en mayo 0.5432, junio 0.6686, julio 0.2883, agosto 0.1397 y septiembre 0.0542, no se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Durante el período de evaluación de seis meses de la variable diámetro basal, se observó que el tratamiento T2, correspondiente a la aplicación de 400g de fertilizante inorgánico por planta, produjo un mayor diámetro basal con 17.29mm. De manera similar, T4 con 1.5L de (humus de lombriz) mostró buenos resultados esto puede atribuirse a que el humus de lombriz mejoró gradualmente las condiciones del suelo, permitiendo un crecimiento similar del diámetro basal por parte de ambos tratamientos. Por otro lado, el tratamiento T5 correspondiente al testigo obtuvo el resultado más bajo con una media de 15.64mm. Los resultados se presentan en la (Figura 4).

Figura 4

Crecimiento del diámetro basal de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.



Nota. T1: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 200 g; T2: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 400 g; T3: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 0.5 L; T4: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 1.5 L; T5: Testigo (sin fertilizante).

Estas diferencias de resultados podrían deberse a la combinación de fertilizantes químicos y orgánicos y las condiciones climáticas que presenta cada sitio. Esto sugiere que, aunque las dosis de fertilizantes inorgánicos favorecieron con el aporte de nutrientes esenciales y ayudaron en el incremento del diámetro basal, la eficiencia del tratamiento también depende del entorno de la plantación.

En el estudio realizado por la Universidad Nacional de Loja donde se utilizaron tratamientos con fertilización de NPK (13-40-13) en dosis de (100-150-200 y 250 g/planta) promovieron un mayor incremento en el diámetro basal de *Juglans neotropica* Diels respecto a los tratamientos con urea en dosis de (100-150-200-205 g/planta) y uno sin fertilizante. Los resultados mostraron que el diámetro basal con fertilización NPK (13-40-13) en dosis de 250 g/planta obtuvo el mejor resultado de 11,8mm al cabo de 12 meses de evaluación (Palacios et al., 2025).

Por el contrario, en el estudio realizado por la Universidad Técnica del Norte a los seis meses de evaluación, el análisis estadístico mostró que los tratamientos aplicados no presentaron diferencias significativas en el crecimiento en diámetro basal, sin embargo, se muestra que el tratamiento que presentó el mayor rendimiento fue el fertilizante químico NPK (10-30-10) más fertilizante orgánico con hoyado mejorado, teniendo un resultado de 12,43mm (Mediavilla, 2023).

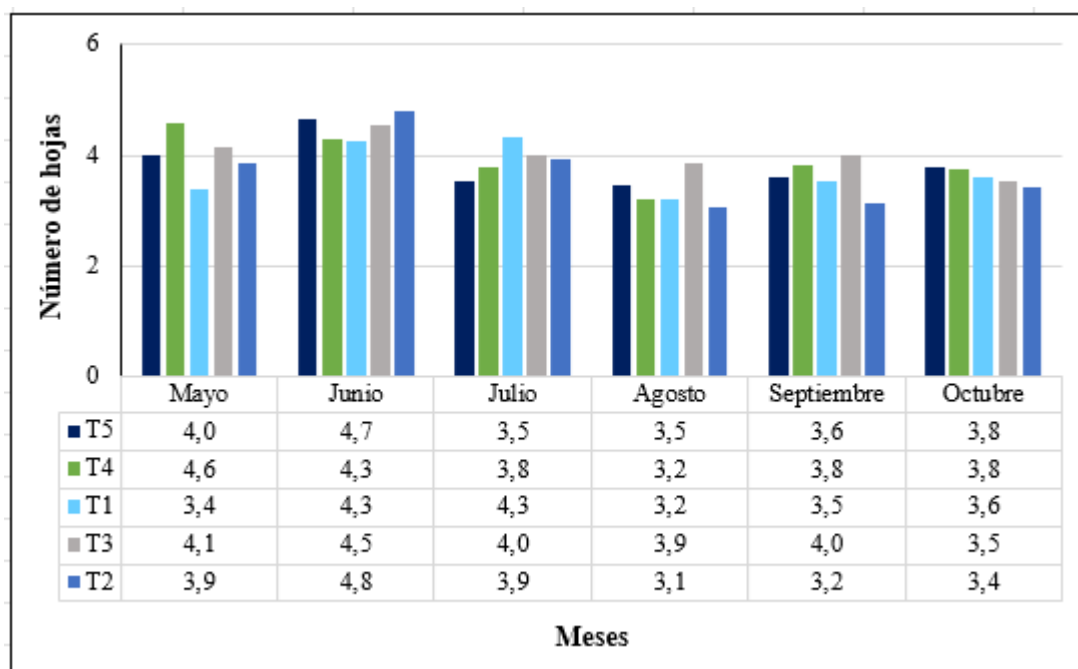
3.2.3 Número de hojas de la planta

Durante el periodo de evaluación de seis meses de la plantación, la variable número de hojas cumplió con los supuestos de análisis; en este sentido, la prueba de Shapiro-Wilk indicó un p-valor > 0.05 durante los seis meses de evaluación, mayo 0.3939, junio 0.3047, julio 0.3922, agosto 0.9755, septiembre 0.8795 y octubre 0.8491, lo que confirma que los residuos se distribuyen normalmente y, por tanto, los datos cumplen con el supuesto de normalidad. De manera complementaria, la prueba de Levene también mostró valores mayores al nivel de significancia, mayo 0.2663, junio 0.7946, julio 0.4169, agosto 0.3177, septiembre 0.4769 y octubre 0.0831, demostrando que existe homogeneidad de varianzas entre los tratamientos. El análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias significativas en los seis meses de evaluación ya que los resultados obtenidos fueron: mayo 0.2435, junio 0.2750, julio 0.0637, agosto 0.1305, septiembre 0.0617 y octubre 0.1289, con estos valores se acepta la hipótesis nula del estudio.

Los tratamientos T4 y T5 mostraron la mayor cantidad de hojas con valores promedios de 3.8, indicando una mejor persistencia en el número de hojas. Sin embargo, T2 tiene la menor media, lo que sugiere un descenso más marcado en el número de hojas respecto a los meses anteriores obtenido un valor de 3.4, esto puede deberse a la adaptación y estrés que sufre la planta ante su nuevo hábitat, estos resultados se presentan en la (Figura 5).

Figura 5

Crecimiento de la variable número de hojas de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.



Nota. T1: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 200 g; T2: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 400 g; T3: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 0.5 L; T4: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 1.5 L; T5: Testigo (sin fertilizante).

El número de hojas cambia a lo largo de los meses y está relacionado principalmente con la cantidad de lluvia. Los valores más altos se presentaron en mayo y junio, meses con mayor precipitación, lo que favoreció al desarrollo de las hojas, así mismo, en julio y agosto, la reducción de la lluvia provocó un estrés por falta de agua, lo que refleja un menor número de hojas.

Por otro lado, la cantidad en el número de hojas está relacionada a un proceso natural conocido como defoliación, que consiste en la caída de las hojas de manera natural, esta ocurre en la fase de adaptación de la planta a nuevas condiciones del sitio. Este resultado indica que, bajo las condiciones del experimento, las distintas dosis y tipos de fertilizantes no generaron un efecto diferente, así también, la reserva de nutrientes del suelo, la eficiencia de absorción radicular y las condiciones climáticas pudieron influir en el desarrollo de esta variable.

En este estudio, las diferencias observadas entre tratamientos reflejan que aquellos con mayor aporte nutricional tuvieron una mayor emisión foliar, especialmente durante los meses

con condiciones climáticas favorables. El crecimiento foliar está directamente influenciado por la disponibilidad de nutrientes, por lo que contar las hojas permite evaluar la respuesta de la planta a diferentes tratamientos. Un mayor número de hojas refleja una mejor absorción de nutrientes y mayor actividad metabólica, lo que convierte a este parámetro en una herramienta útil para comparar la efectividad de distintos tratamientos de fertilización (Taiz et al., 2022).

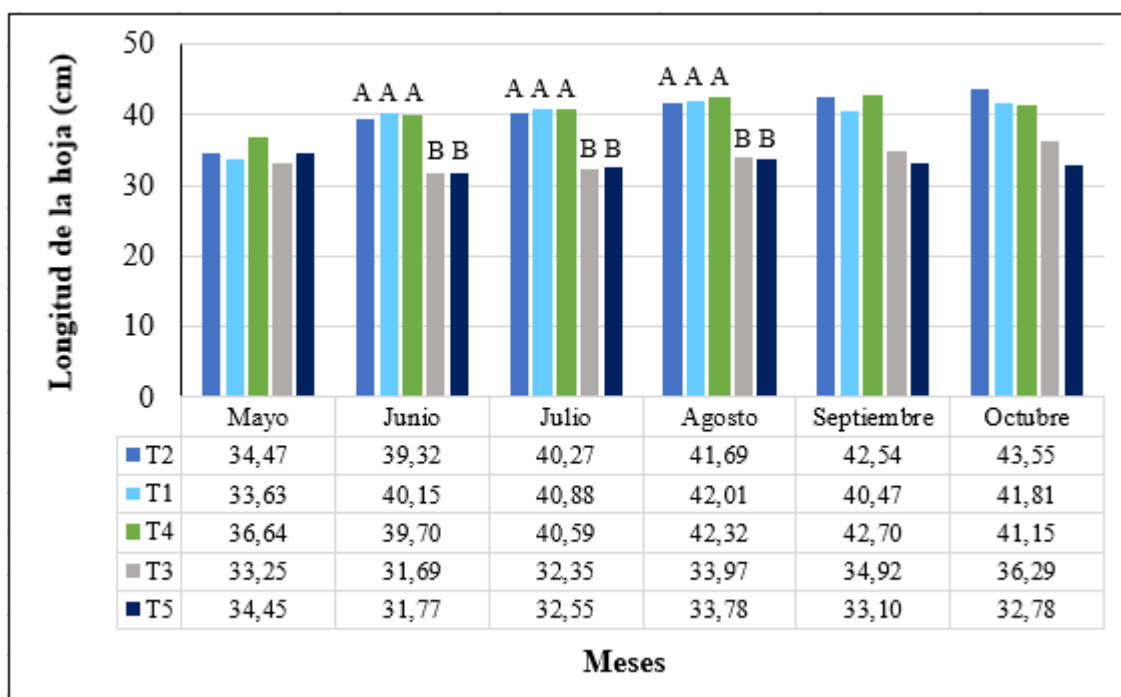
3.2.4 Longitud de la hoja

Durante los seis meses de evaluación, la variable longitud de la hoja presentó una distribución normal, lo cual se evidencio con la prueba de Shapiro-Wilk, indicando p-valores > 0.05 en todos los meses: mayo 0.2805, junio 0.8973, julio 0.8787, agosto 0.9346, septiembre 0.4946 y octubre 0.7654. La homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene también fue aceptable en cada periodo ya que los valores obtenidos fueron de: mayo 0.1653, junio 0.0582, julio 0.0535, agosto 0.0686, septiembre 0.1023 y octubre 0.1639. Sin embargo, los resultados del ANOVA muestran que no todos los meses siguen la misma tendencia. En mayo 0.5622, septiembre 0.0856 y octubre 0.1018 no se evidencian diferencias significativas entre tratamientos, mientras que en junio 0.0420, julio 0.0427 y agosto 0.0474 sí se presentan diferencias significativas, por lo que en estos meses se rechaza la hipótesis nula.

El tratamiento T2 con 400g de NPK (10-30-10) obtuvo el mejor desempeño con la longitud de la hoja de 43,55cm, superando a los tratamientos, los tratamientos T1 con 41,81 cm y T4 con 41,15 cm también mostraron resultados favorables, mientras que T3 alcanzó 36,29 cm, evidenciando un crecimiento moderado, y T5, con 32,78 cm, presentó el valor más bajo, estos se presentan en la (Figura 6).

Figura 6

Crecimiento de la variable longitud de la hoja de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.



Nota. T1: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 200 g; T2: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 400 g; T3: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 0.5 L; T4: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 1.5 L; T5: Testigo (sin fertilizante).

La longitud de las hojas puede llegar a ser un indicador clave que muestra el crecimiento de la planta, además, un aumento en la longitud de la hoja indica una mejor absorción de los nutrientes, lo que muestra la efectividad de los tratamientos que se aplicaron.

Como señala Marschner, (2011), “el tamaño de las hojas son indicadores sensibles de la nutrición mineral, y su medición permite evaluar y optimizar la fertilización para maximizar el rendimiento. La expansión foliar depende principalmente del nitrógeno, que estimula la síntesis de clorofila y proteínas estructurales del fósforo, que participa en la transferencia de energía necesaria para la división celular”.

3.2.5 *Diámetro de copa*

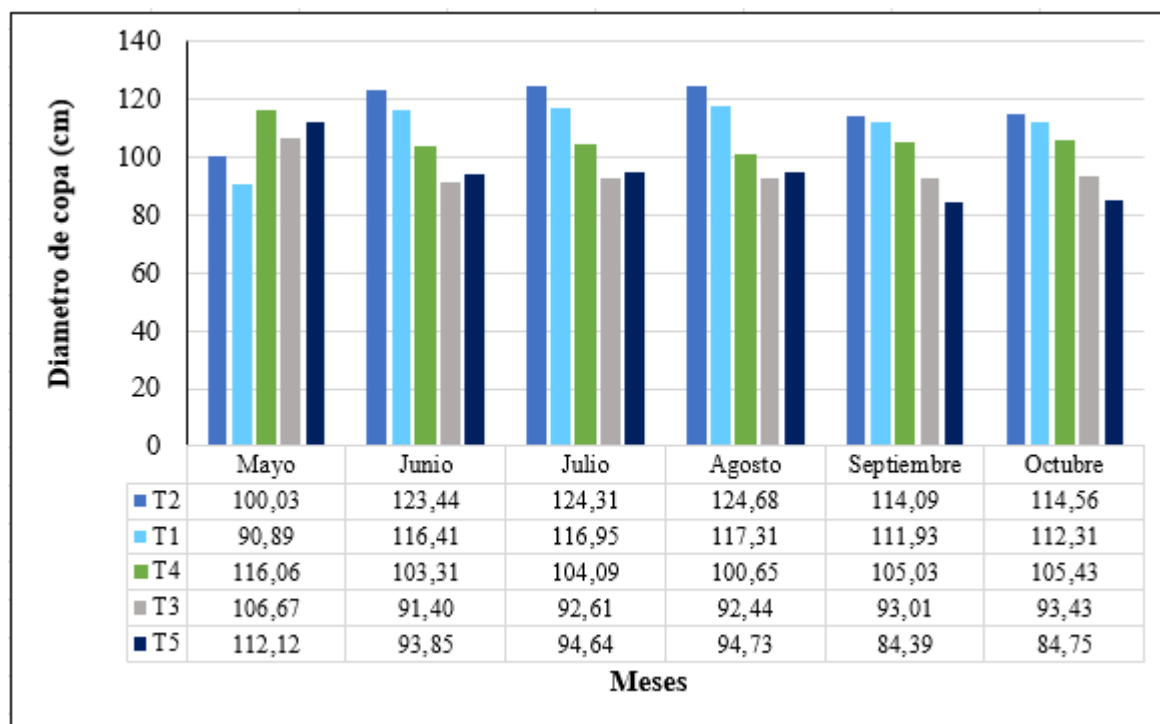
Al evaluar durante un periodo de seis meses la variable diámetro de copa de *Juglans neotropica* Diels, la verificación de los supuestos del ANOVA mostró que los datos cumplieron con la prueba de normalidad según la prueba de Shapiro-Wilk arrojó p-valores > 0.05 en todos los meses evaluados: mayo 0.7168, junio 0.4749, julio 0.4620, agosto 0.4723, septiembre 0.1647 y octubre 0.1664, lo que confirma que la distribución de los datos tiene normalidad. Del mismo modo, la prueba de Levene evidenció homogeneidad de varianzas entre tratamientos, ya que los valores obtenidos superan el nivel de significancia: mayo 0.6462, junio 0.2100, julio 0.2061, agosto 0.1856, septiembre 0.8856 y octubre 0.8857.

En cuanto al análisis de varianza, los p-valores obtenidos muestran que no se presentaron diferencias significativas en el diámetro de copa entre tratamientos durante ningún mes, los resultados fueron: mayo 0.2571, junio 0.0741, julio 0.0808, agosto 0.0632, septiembre 0.3137 y octubre 0.3141, con estos resultados obtenidos aceptamos la hipótesis nula del estudio.

El tratamiento T2 presentó el mayor diámetro de copa con 114.56 cm, consolidándose como el tratamiento de mejor rendimiento en esta variable, seguido de T1 con 112.31 cm, que también mantuvo valores elevados y estables, finalmente el tratamiento T5 registró el valor más bajo con 84.75 cm, como se muestra en la (Figura 7).

Figura 7

Crecimiento de la variable diámetro de copa de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.



Nota. T1: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 200 g; T2: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 400 g; T3: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 0.5 L; T4: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 1.5 L; T5: Testigo (sin fertilizante).

En el estudio realizado por Mediavilla, (2023), “muestra que el tratamiento con el mejor resultado es la del fertilizante químico más orgánico con hoyado mejorado con 48,65 cm, a diferencia del testigo con hoyado tradicional el cual obtuvo el menor valor en esta variable”. Los fertilizantes químicos son mejores para aumentar el diámetro de la copa de las plantas ya que proporcionan nutrientes en formas solubles, que son fácilmente absorbidos por las plantas. Además, la composición química contiene nutrientes que ayuda al crecimiento vigoroso y rápido, que ayudan en el desarrollo y expansión de las ramas y hojas. Pese a esto, los resultados obtenidos presentaron variaciones debido a la caída de las hojas, un fenómeno natural presente en este tipo de especie.

Así también, en un estudio realizado en Perú la aplicación de guano (fertilizante orgánico natural) en dosis de 105 g y 140 g por planta durante seis meses produjo un aumento significativo del diámetro de copa, alcanzando un promedio de 237.8 cm frente a 133.1 cm en plantas sin fertilización. El análisis estadístico confirmó que la fertilización influyó

significativamente en esta variable ($p = 0.024$), evidenciando que el aporte de nutrientes como N-P-K y microbacterias que estimulan la expansión foliar y el desarrollo de una copa más amplia (Abad, 2023).

La tendencia decreciente del diámetro de copa puede deberse a procesos fisiológicos, especialmente la defoliación, en la cual la planta pierde hojas viejas como parte de su ciclo normal. Este proceso, junto con la disponibilidad de agua, nutrientes y la redistribución de recursos hacia otras partes de la planta, reduce el crecimiento foliar y el tamaño de la copa, haciendo que en el transcurso de evaluación del estudio esta tienda a tener variaciones causadas por sus procesos fisiológicos naturales.

3.3 Resultados de las variables fisiológicas de la especie *Juglans neotropica* Diels

3.3.1 Área foliar

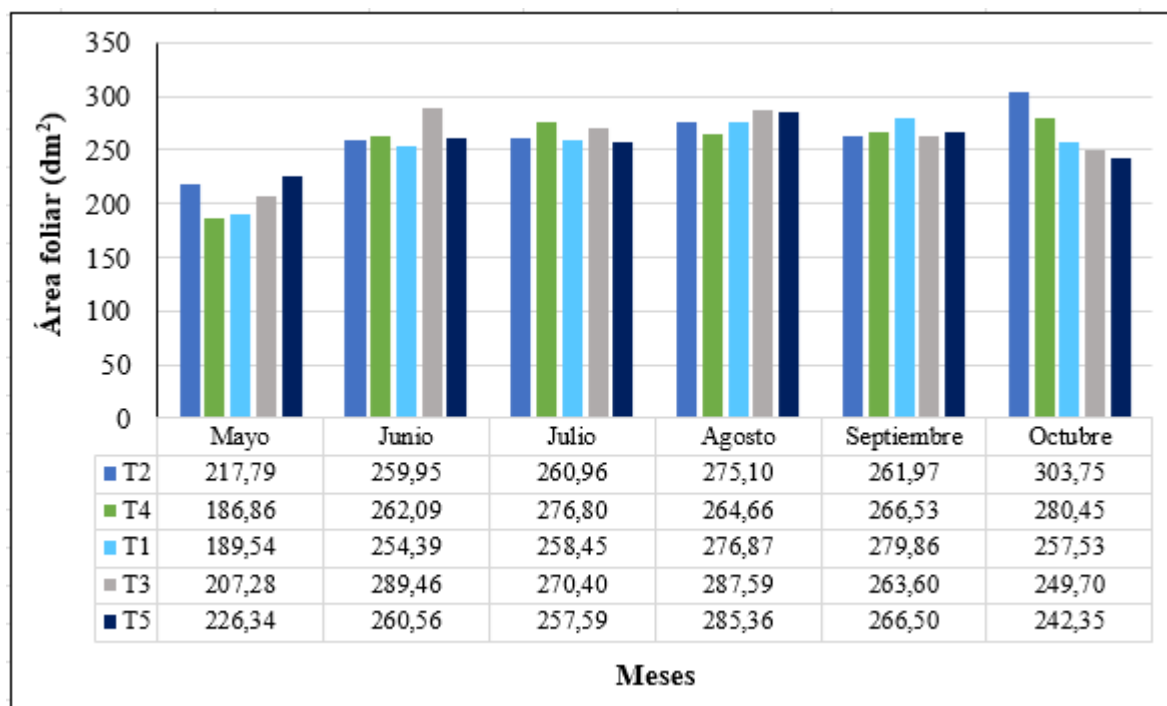
A los seis meses de evaluación de la plantación de *Juglans neotropica* Diels, se determinó que la variable área foliar cumplió con los supuestos estadísticos requeridos. La prueba de Shapiro-Wilk mostró p-valores superiores a 0.05 en todos los meses evaluados mayo 0.1880, junio 0.4622, julio 0.9790, agosto 0.0523, septiembre 0.7428 y octubre 0.0936 lo que indica que los valores presentan una distribución normal. Por otra parte, la prueba de Levene confirmó que las varianzas entre los tratamientos cumplen con el supuesto de homogeneidad, los resultados obtenidos fueron: mayo 0.1293, junio 0.1194, julio 0.5844, agosto 0.8510, septiembre 0.4423 y octubre 0.2492.

Con estos supuestos cumplidos el ANOVA indica que, en los p-valores obtenidos no hubo diferencias estadísticas en área foliar. Los valores reportados fueron: mayo 0.2025, junio 0.5858, julio 0.5182, agosto 0.4353, septiembre 0.4793 y octubre 0.2960. Con base a los resultados obtenidos, se sostiene la hipótesis nula del estudio.

Como se observa en la (figura 7), en el último mes de evaluación, el tratamiento T2 con 200g de NPK (10-30-10) obtuvo el mayor valor de área foliar con 303,75 dm², destacándose claramente sobre los demás tratamientos, el tratamiento T4 alcanzó 280,45 dm², manteniéndose como uno de los de mejor desempeño y T5 el testigo, con 242,35 dm² fue el que presentó el valor más bajo en esta variable evaluada.

Figura 8

Crecimiento del área foliar de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.



Nota. T1: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 200 g; T2: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 400 g; T3: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 0.5 L; T4: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 1.5 L; T5: Testigo (sin fertilizante).

El estudio realizado por Mediavilla, (2023) menciona que “La plantación de *Juglans neotropica* Diels, el tratamiento que alcanzó mayor área foliar fue fertilizante químico más orgánico, con hoyado tradicional con 2884,42 cm²; mientras que el que presentó menor valor en esta variable fue testigo con hoyado tradicional con 1784,68 cm²”. La mayor área foliar en el tratamiento con fertilizante químico más orgánico puede atribuirse a la combinación que mejoró la disponibilidad de nutrientes y mejoró las condiciones físicas del suelo, haciendo que la planta tenga un crecimiento más vigoroso en cuanto a las hojas.

Del mismo modo, la variable de área foliar mostró una variación a lo largo de los seis meses de evaluación. Esto puede atribuirse, en gran medida, a procesos de defoliación natural característicos del crecimiento de *Juglans neotropica* Diels, así como a factores ambientales que influyen directamente en la permanencia y el desarrollo de las hojas. Estos factores provocaron la pérdida de las hojas previamente seleccionadas para la medición, haciendo que fueran remplazadas por otras de la misma planta en cada evaluación, esto con el fin de mantener la continuidad del muestreo al momento de la recopilación de los datos.

3.3.2 Pigmentos clorofilicos

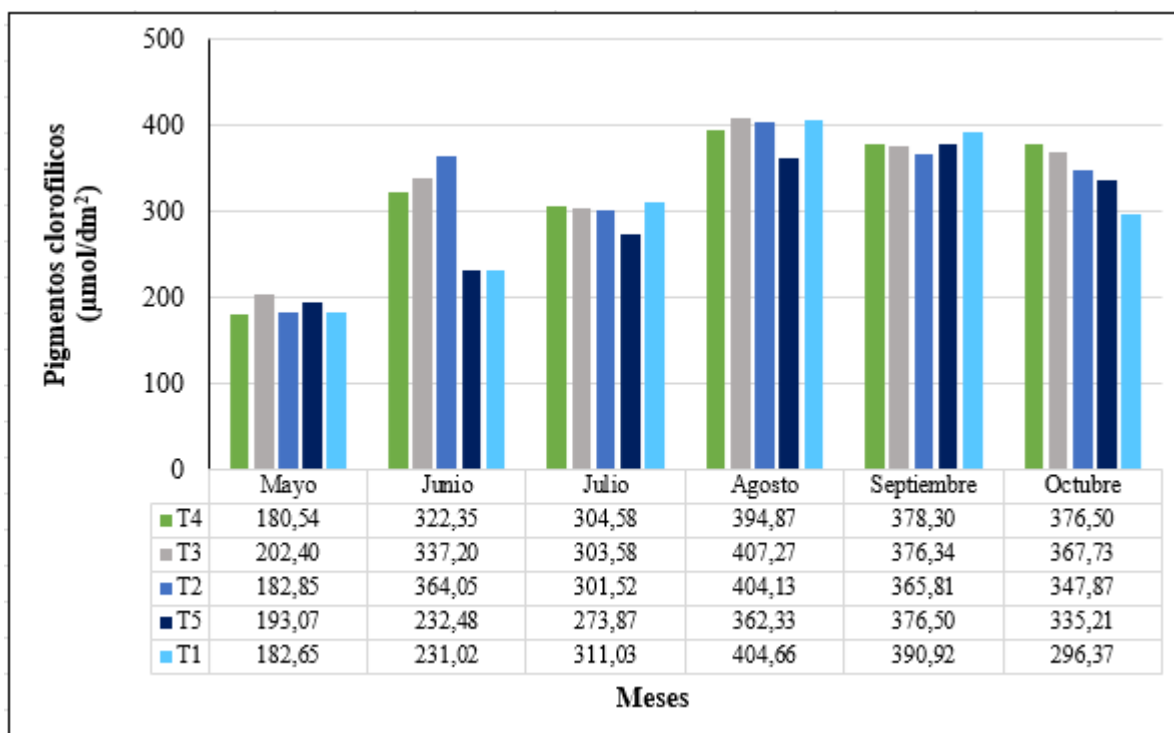
A los seis meses de evaluación de la variable pigmentos clorofilicos de la especie *Juglans neotropica* Diels, la prueba estadística de Shapiro-Wilk indico p-valores superiores al ($p\text{-valor} > 0.05$). Los valores registrados fueron: mayo 0.140), junio 0.3980, julio 0.0508, agosto 0.0492, septiembre 0.0892 y octubre 0.0555; por consiguiente, los datos presentan una distribución normal. De forma similar, la prueba de Levene verificó la homogeneidad de varianzas entre los tratamientos en todos los meses analizados, obteniendo los siguientes resultados: mayo 0.1883, junio 0.3915, julio 0.0792, agosto 0.1620, septiembre 0.7419 y octubre 0.1876.

En relación con el análisis de varianza, para $\alpha = 0.05$ se rechaza la hipótesis nula del ANOVA debido a que se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, en junio 0.0014 y octubre 0.0184. Por otra parte, los p-valores obtenidos de: mayo 0.7571, julio 0.8112, agosto 0.0752 y septiembre 0.5057 no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Se determinó que el tratamiento que mejor respuesta presentó fue el tratamiento T4, en el que se aplicó fertilizante orgánico en dosis de 1.5 L obteniendo valores de $376.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2$, esto se indica en la (figura 8). Este resultado sugiere que el aporte de materia orgánica favoreció la síntesis y estabilidad de los pigmentos clorofilicos. Por el contrario, el tratamiento uno T1, con aplicación de 200 g de fertilizante inorgánico, mostró la menor influencia en esta variable teniendo un resultado de $296.37 \mu\text{mol}/\text{m}^2$.

Figura 9

Resultados de la variable pigmentos clorofílicos de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de seis meses.



Nota. T1: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 200 g; T2: Fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) de 400 g; T3: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 0.5 L; T4: Fertilizante orgánico (humus de lombriz) de 1.5 L; T5: Testigo (sin fertilizante).

En una revista del grupo editorial Springer Nature publicada por *Scientific Reports* indica que el uso de fertilizantes orgánicos influye positivamente en la concentración de pigmentos clorofílicos, ya que, mejora la eficiencia fotosintética y potencia en el rendimiento de la planta. Este efecto se debe a que los fertilizantes orgánicos aportan nutrientes esenciales de liberación lenta, especialmente nitrógeno, magnesio y hierro, que son elementos clave en la síntesis y estabilidad de la clorofila. Asimismo, promueven una mayor actividad microbiana, ya que la materia orgánica sirve de sustrato para microorganismos beneficiosos que participan en la mineralización y liberación de nutrientes esenciales, como nitrógeno, magnesio y hierro, necesarios para la síntesis de clorofila (Carreño et al., 2023).

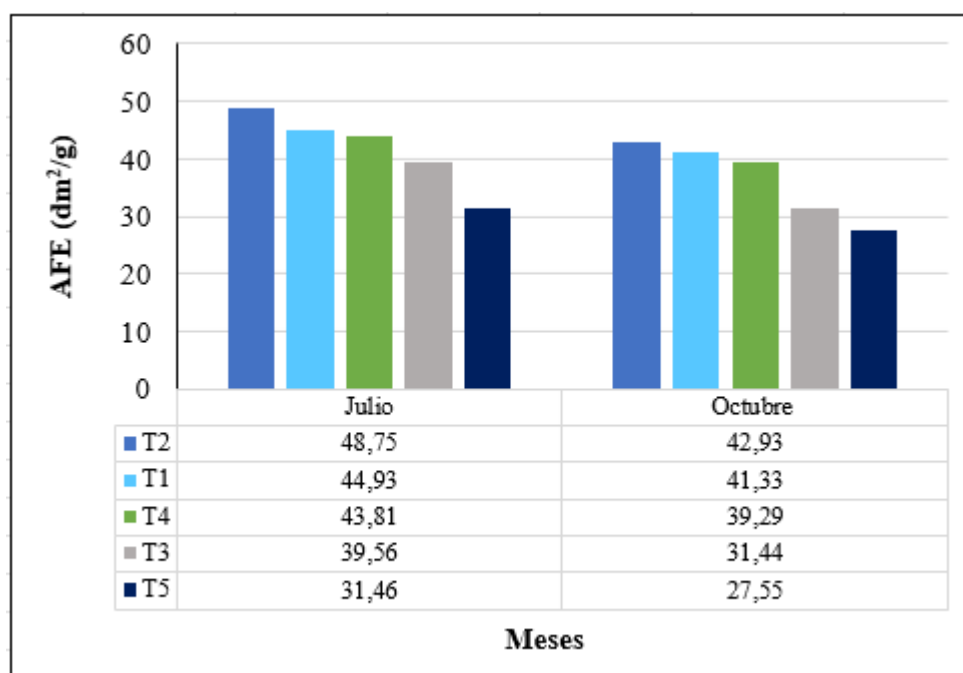
3.3.3 Área foliar específica

Durante los dos meses de evaluación, el área foliar específica (AFE) de *Juglans neotropica* Diels no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, además, los resultados del área foliar específica mostraron que los datos cumplen con los supuestos del ANOVA. La prueba de Shapiro-Wilk indicó normalidad en los dos meses evaluados, con p-valores de 0.2410 en junio y 0.6668 en octubre. La prueba de Levene reflejó homogeneidad de varianzas entre los tratamientos, ya que mostraron p-valores de 0.0566 en junio y 0.3541 en octubre.

Al aplicar la prueba estadística ANOVA, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el área foliar específica AFE, se acepta la hipótesis nula del estudio, ya que los resultados obtenidos fueron 0.0668 para junio y 0.3223 para octubre, lo que afirma que los tratamientos no generaron efectos estadísticamente significativos. La (Figura 9) presenta que, en el mes de octubre, el valor más alto de AFE lo obtuvo el tratamiento T2 con 42,926 dm^2/g , mientras que el valor más bajo correspondió al tratamiento T5, con 27,550 dm^2/g .

Figura 10

Resultados de la variable área foliar específica de la especie Juglans neotropica Diels bajo los efectos de la fertilización durante un periodo de dos meses.



Nota. T1: Tratamiento inorgánico NPK (10-30-10) de 200 g; T2: Tratamiento inorgánico NPK (10-30-10) de 400 g; T3: Tratamiento orgánico (humus de lombriz) de 0.5 L; T4: Tratamiento orgánico (humus de lombriz) de 1.5 L; T5: Testigo (sin fertilizante).

Un estudio sobre el área foliar específica que se realizó en Nueva Zelanda, analizó la variación del AFE en 36 individuos donde se encontró que las especies caducifolias tienden a tener valores más altos de AFE en comparación con las especies perennes, y que el tamaño de la hoja y la posición en la rama son factores importantes que afectan esta variación (Jo, Maule, & Brandt, 2024).

El estudio realizado en la Amazonía central en la cuenca del río Amazonas en Sudamérica, demuestra que el área foliar específica (AFE) varía según la altura del dosel, siendo mayor en hojas inferiores con menor luz, y presenta una fuerte correlación con el contenido de nitrógeno por área ($r^2 \approx 0.69$). Esto indica que el AFE no solo refleja características morfológicas, sino también funcionales, asociadas a la eficiencia fotosintética y al uso del nitrógeno (Carswell et al. , 2000).

En los resultados obtenidos en este estudio actual se evidencia que la disminución del área foliar específica (AFE) entre julio y octubre refleja un proceso fisiológico natural de *Juglans neotropica* Diels, asociado a la maduración de las hojas y a la adaptación de las plantas a las nuevas condiciones ambientales, haciendo que las hojas se vuelvan más gruesas y pesadas para poder evitar la pérdida de agua y reducir el estrés hasta que la planta se adapte a su nuevo ambiente.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La aplicación de 400 g de fertilizante inorgánico (NPK 10-30-10) por planta promovió el mayor crecimiento en las variables dasométricas (altura total, diámetro basal, longitud foliar y diámetro de copa) de *Juglans neotropica* Diels, evidenciando que la dosis de fertilización inorgánica aplicada favorece de manera significativa el desarrollo inicial de la especie.
- El fertilizante inorgánico NPK (10-30-10) presentó la mayor altura debido al aporte de fósforo, el cual favorece el desarrollo del sistema radicular y, al ser de rápida disolución, permite una disponibilidad inmediata de nutrientes para la planta.
- El tratamiento con 1.5 L de humus de lombriz presentó los valores más altos en el contenido de pigmentos clorofílicos, lo que indica que los fertilizantes orgánicos mejoran las condiciones fisiológicas de las plantas al optimizar la actividad fotosintética y la estructura del suelo facilitando la expansión radicular, mejor retención del agua y compactación.
- La fertilización, tanto orgánica como inorgánica, muestra efectos diferenciados en el crecimiento de la especie, demostrando que los dos tipos de fertilizantes cumplen funciones complementarias: los inorgánicos estimulan un crecimiento rápido, mientras que los orgánicos fortalecen la salud y la calidad fisiológica de las plantas.
- Los resultados obtenidos evidencian que la fertilización constituye una práctica silvicultural clave que ayuda en el rendimiento y la sostenibilidad de las plantaciones forestales especialmente en la etapa inicial de crecimiento de las especies.

4.2 Recomendaciones

- Continuar con la investigación sobre el crecimiento y desarrollo de *Juglans neotropica* Diels, incorporando nuevas variables fisiológicas y dasométricas, tales como biomasa aérea y radicular, tasa de crecimiento relativo y contenido de nitrógeno que permitan comprender de manera más integral el comportamiento de la especie bajo distintas condiciones de manejo.
- Socializar los resultados obtenidos con las comunidades locales y las autoridades municipales, a fin de apoyar la toma de decisiones sobre la aplicación de fertilizantes

en plantaciones forestales de *Juglans neotropica* Diels.

- Establecer un plan anual de manejo y monitoreo fenológico y fisiológico de las plantaciones, hasta los cinco años, para determinar las etapas de crecimiento donde la fertilización genera mayor impacto.
- Prolongar el periodo de evaluación más allá de los seis meses y analizar con mayor profundidad los cambios en el crecimiento y desarrollo de la plantación de *Juglans neotropica* Diels.

Referencias

- Abad Guerra, H. (2023). *Efecto de la fertilización edáfica con guano de islas sobre el crecimiento de Guazuma crinita (bolaina blanca) en una plantación en Tulumayo* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional Digital UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a577acff-ff38-47d8-b875-91295923efbd/content>
- Acosta, M. B. (2021). Función del nitrógeno en las plantas y su importancia. *EcologíaVerde*. <https://www.ecologiaverde.com/funcion-del-nitrogeno-en-las-plantas-y-su-importancia-2704.html>
- Albornoz, F. (2017). La dosis correcta, en el tiempo correcto, en el lugar correcto y de la fuente correcta. *Redagícola*. <https://redagricola.com/la-dosis-correcta-tiempo-correcto-lugar-correcto-la-fuente-correcta/>
- Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes (AEFA). (2022). *Fertilizantes orgánicos*. Recuperado de <https://aeфа-agronutrientes.org/fertilizantes-organicos?utm.com>
- Brdar-Jokanović, M. (2020). *Boron toxicity and deficiency in agricultural plants*. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 1424. <https://doi.org/10.3390/ijms21041424>
- Carreño Siqueira, J. A., Marques, D. J., Silva, M. C. G., & Silva, C. A. (2023). The use of photosynthetic pigments and SPAD can help in the selection of bean genotypes under organic and mineral fertilization. *Scientific Reports*, 13(1), 22610. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49582-4>
- Carswell, F. E., Meir, P., Wandelli, E. V., Bonates, L. C. M., Kruijt, B., Barbosa, E. M., Nobre, A. D., Grace, J., & Jarvis, P. G. (2000). Photosynthetic capacity in a central Amazonian rain forest. *Tree Physiology*, 20(3), 179–186. <https://doi.org/10.1093/treephys/20.3.179>
- Colmenero-Flores, J. M., Franco-Navarro, J. D., Cubero-Font, P., Peinado-Torrubia, P., & Rosales, M. A. (2019). *Chloride as a beneficial macronutrient in higher plants: New roles and regulation*. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(19), 4686. <https://doi.org/10.3390/ijms20194686>
- Chorianopoulou, S. N., & Bouranis, D. L. (2022). *The role of sulfur in agronomic biofortification with essential micronutrients*. *Plants*, 11(15), 1979. <https://doi.org/10.3390/plants11151979>

- Chuangye, S., Yang, B., Zhang, L., & Wu, D. (2021). *A handheld device for measuring the diameter at breast height of individual trees using laser ranging and deep-learning based image recognition*. *Plant Methods*, 17(1), 67. <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00748-z>
- Espinosa, M., Acuña, E., García, J., Rodríguez, R., & Rubilar, R. (2017). *Silvicultura de bosques plantados con fines productivos*. Universidad de Concepción. Recuperado de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/148603>
- Fox, T. R., Miller, B. W., Rubilar, R., Stape, J. L., & Albaugh, T. J. (2011). *Phosphorus nutrition of forest plantations: The role of inorganic and organic phosphorus*. En E. Bünemann, A. Oberson, & E. Frossard (Eds.), *Phosphorus in Action* (pp. 317-338). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15271-9_13
- Freer-Smith, P., Muys, B., Bozzano, M., Drössler, L., Farrelly, N., Jactel, H., Korhonen, J., Minotta, G., Nijnik, M., & Orazio, C. (2019). *Plantation forests in Europe: challenges and opportunities* (From Science to Policy No. 9). European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs093>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Antonio Ante. (2023). Parroquias. <https://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/parroquias/>
- Gonzalez-Benecke, C. A., Fernández, M. P., Gayoso, J., Pincheira, M., & Wightman, M. G. (2022). *Using Tree Height, Crown Area and Stand-Level Parameters to Estimate Tree Diameter, Volume, and Biomass of Pinus radiata, Eucalyptus globulus and Eucalyptus nitens*. *Forests*, 13(12), 2043. <https://doi.org/10.3390/f13122043>
- Gya, R., & Wilfahrt, P. (2019, 4 de noviembre). *4.16 Functional traits – Plant height*. En *CLIMEX Handbook*. Universidad de Bergen. <https://climexhandbook.w.uib.no/2019/11/04/functional-traits/>
- Ishfaq, M., Wang, Y., Yan, M., Wang, Z., Wu, L., Li, C., & Li, X. (2022). *Physiological essence of magnesium in plants and its widespread deficiency in the farming system of China*. *Frontiers in Plant Science*, 13, 802274. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.802274>
- Jo, I., Maule, H., & Brandt, A. J. (2024). Specific leaf area and its within-individual variation in understory evergreen and deciduous woody species in New Zealand. *Plant Ecology*, 225(8), 1071–1078. <https://doi.org/10.1007/s11258-024-01455-0>

- Kamble, P. N., Giri, S. P., Mane, R. S., & Tiwana, A. S. (2016). Estimation of chlorophyll content in young and adult leaves of some selected plants. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 5(6), 306–310. <https://www.environmentaljournal.org/5-6/ujert-5-6-5.pdf>
- Li, M., Watanabe, S., Gao, F., & Dubos, C. (2023). *Iron Nutrition in Plants: Towards a New Paradigm? Plants*, 12(2), 384. <https://doi.org/10.3390/plants12020384>
- Liu, M., Wang, Z., Li, S., Lü, X., Wang, X., & Han, X. (2017). Changes in specific leaf area of dominant plants in temperate grasslands along a 2 500-km transect in northern China. *Scientific Reports*, 7, 10780. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11133-z>
- López Ayala, J. L., Sánchez Monsalvo, V., & Hernández Máximo, E. (2010). Crecimiento inicial de una plantación mixta de especies tropicales en Veracruz. *Agroproductividad*, 3(2), 34–41. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322010000200006
- Lozano, P. (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador* [PDF]. Ministerio del Ambiente del Ecuador; FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55826.pdf>
- Lozano, R. (2019). *Decreto 1532 de 2019* [Norma]. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/decreto-1532-de-2019.pdf>
- Marschner, H. (Ed.). (2018). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3.^a ed.). Elsevier. <https://shop.elsevier.com/books/marschners-mineral-nutrition-of-higher-plants/marschner/978-0-12-384905-2>
- Mediavilla Mediavilla, J. S. (2013). *Crecimiento inicial de Juglans neotropica Diels, con fertilización química y orgánica en el campus Yuyucocha* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital UTN. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14285/2/03%20FOR%20359%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2020). *Manual de buenas prácticas en plantaciones forestales comerciales*. Subsecretaría de Producción Forestal. <https://spf.agricultura.gob.ec/spf/manuales/Manual-plantaciones-sep.pdf>

- Ministerio de Ambiente y Energía (MAE). (2019). *Restauración forestal*. REDD+ Ecuador. https://reddecuador.ambiente.gob.ec/redd/?page_id=568
- Palacios-Herrera, B., Pereira-Lorenzo, S., & Pucha-Cofrep, D. (2025). Phenotypic variability of *Juglans neotropica* Diels from different provenances during nursery and plantation stages in southern Ecuador. *Forests*, 16(7), 1141. <https://doi.org/10.3390/f16071141>
- Parker, G. G. (2020). Tamm review: Leaf Area Index (LAI) is both a determinant and a consequence of important processes in vegetation canopies. *Forest Ecology and Management*, 477, 118496. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118496>
- Pawson, S. M., Brin, A., Bockerhoff, E. G., Lamb, D., Payn, T. W., Paquette, A., & Parrotta, J. A. (2013). Plantation forests, climate change and biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 22(5), 1203–1227. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0458-8>
- Pérez, D. (2023, 14 de octubre). *Área basal*. Ecosistema Global. <https://ecosistemaglobal.org/2023/10/14/area-basal/>
- Pérez Leal, F. (2017). *Nutrición mineral*. En *Fisiología vegetal. Parte III: Nutrición mineral* (pp. 1–36). Universidad Nacional de Ucayali. Recuperado de <https://www.biblioteca.unu.edu.pe/wp-content/uploads/2016/06/LIBRO-P12.pdf>
- Rana, M., Sankhyam, N. K., Thakur, P., Babal, B., Anjali, ... & Kumar, P. (2025). *Molybdenum in soil-plant system: bioavailability, dynamics and implications for sustainable crop production*. *Discover Soil*, 2, 89. <https://doi.org/10.1007/s44378-025-00118-4>
- Rojas Restrepo, J. J. (2016). *Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Guainía, Colombia* (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55674/98452226.2016.pdf>
- Romero, F. M. B., Jacovine, L. A. G., Ribeiro, S. C., Torres, C. M. M. E., Silva, L. F. da, Gaspar, R. de O., Rocha, S. J. S. S. da, Staudhammer, C. L., & Fearnside, P. M. (2020). *Allometric equations for volume, biomass, and carbon in commercial stems harvested in a managed forest in the Southwestern Amazon: A case study*. *Forests*, 11(8), 874. <https://doi.org/10.3390/f11080874>
- Rosero Herrera, E. O. (2011). *Estudio del efecto de fertilización en el establecimiento del cultivo de nogal (Juglans neotropica Diels), en la Granja Experimental Tunshi* (Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Repositorio Institucional ESPOCH. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/779/1/33T0084.pdf>

- Saleem, M. H., Usman, K., Rizwan, M., Al Jabri, H., & Alsafran, M. (2022). *Functions and strategies for enhancing zinc availability in plants for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science, 13*, 1033092. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1033092>
- Sardans, J., & Peñuelas, J. (2021). *Potassium Control of Plant Functions: Ecological and Agricultural Implications. Plants, 10*(2), 419. <https://doi.org/10.3390/plants10020419>
- Satheesh, V., Tahir, A., Li, J., & Lei, M. (2022). *Plant phosphate nutrition: sensing the stress. Stress Biology, 2*(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s44154-022-00039-0>
- Sun, J., Wang, M., Lyu, M., Niklas, K. J., Zhong, Q., Li, M., & Cheng, D. (2019). *Stem and leaf growth rates define the leaf size vs. number trade-off. AoB PLANTS, 11*(6), plz063. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plz063>
- Schmidt, S. B., & Husted, S. (2019). *The biochemical properties of manganese in plants. Plants, 8*(10), 381. <https://doi.org/10.3390/plants8100381>
- Taiz, L., Møller, I. M., Murphy, A., & Zeiger, E. (2022). *Plant physiology and development* (7.^a ed.). Oxford University Press. <https://global.oup.com/ushe/product/plant-physiology-and-development-9780197577240?cc=ec&lang=en>
- Toro Murillo, J. L., & Gómez Restrepo, M. L. (2018). *Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del bosque húmedo tropical* (Boletín Técnico Biodiversidad). Corporación Autónoma Regional Del Centro De Antioquia (CORANTIOQUIA). <https://agris.fao.org/search/en/providers/122610/records/64745b7f542a3f9f03b4c0dc>
- Toro Vanegas, E., & Roldán Rojas, I. C. (2018). Estado del arte, propagación y conservación de *Juglans neotropica* Diels., en zonas andinas. *Madera y Bosques, 24*(1), e2411560. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411560>
- Torres García, A., Ardisana, E. F. H., Cué García, J. L., & Cevallos Vallejos, M. (2018). *Fisiología vegetal. Volumen I: Nutrición hídrica y mineral de las plantas*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte. Recuperado de <https://utm.edu.ec/ediciones/libros-de-texto/fisiologia-vegetal-volumen-i>
- Vallejos Álvarez, H. V., Vilema Vilema, G. A., Díaz Gómez, C. P., & Cué García, J. L. (2023). Estudio fenológico de *Juglans neotropica* Diels. en Imbabura – Ecuador. *Bosques Latitud Cero, 13*(2), 23–33. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1881>
- Wang, T., Chen, X., Ju, C., & Wang, C. (2023). *Calcium signaling in plant mineral nutrition:*

From uptake to transport. Plant Communications, 4(6), 100678.
<https://doi.org/10.1016/j.xplc.2023.100678>

Westdary. (2025). Definición de plantaciones forestales: Significado, ejemplos y autores. *DefinicionWiki*. Recuperado el 15 de octubre de 2025, de <https://definicionwiki.com/definicion-de-plantaciones-forestales-significado-ejemplos-autores/>

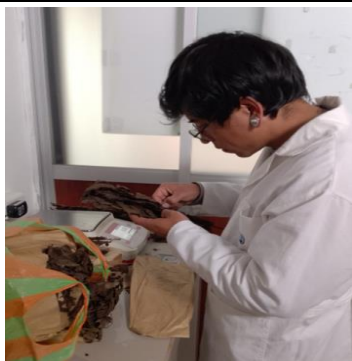
Williams, N. (2024). La guía definitiva sobre fertilizantes inorgánicos. *HANS*.
<https://www.hans-chem.com/es/la-guia-definitiva-sobre-fertilizantes-inorganicos/>

World Flora Online. (2025). *Juglans neotropica* (WFO Taxon ID: wfo-0000355125).
<https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000355125>

Xu, E., Liu, Y., Gu, D., Zhan, X., Li, J., Zhou, K., Zhang, P., & Zou, Y. (2024). *Molecular Mechanisms of Plant Responses to Copper: From Deficiency to Excess. International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 6993. <https://doi.org/10.3390/ijms25136993>

Anexos

	
Anexo 1. Instalación del experimento.	Anexo 2. Mantenimiento de la plantación.
	
Anexo 3. Medición de la variable altura total.	Anexo 4. Medición de la variable diámetro basal.
	
Anexo 5. Medición de la variable longitud de la hoja.	Anexo 6. Toma de datos de los pigmentos clorofílicos.



Anexo 7. Pesaje de hojas para la determinación del AFE.



Anexo 8. Mantenimiento de la plantación.