

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE
DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**“Análisis de *Ochroma pyramidale* como planta nodriza en el
establecimiento de la regeneración natural en áreas abandonadas por
la minería aurífera, Tambopata, Madre Dios”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**

AUTOR:

Bach: CHAMPI HUAYTA, Ervin Paul

ASESOR:

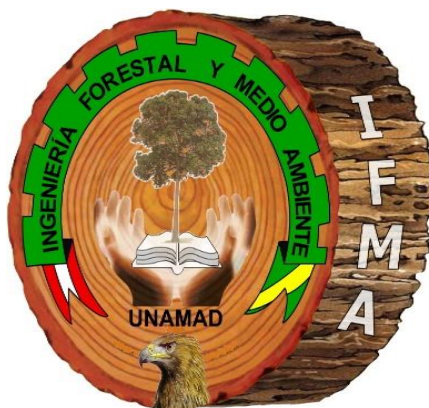
Dr. GARATE QUISPE, Jorge Santiago

Puerto Maldonado, noviembre 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE
DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**“Análisis de *Ochroma pyramidale* como planta nodriza en el
establecimiento de la regeneración natural en áreas abandonadas por
la minería aurífera, Tambopata, Madre Dios”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**

AUTOR:

Bach: CHAMPI HUAYTA, Ervin Paul

ASESOR:

Dr. GARATE QUISPE, Jorge Santiago

Puerto Maldonado, noviembre 2025

DEDICATORIA

A Dios por haberme guiado en cada paso de mi vida, brindándome salud, fortaleza y perseverancia para culminar este proyecto de tesis con éxito.

A mis padres y hermanos, por ser cimiento y mi fortaleza y a mis hermanas Mariluz y Esther por ser cómplices en esta etapa de mi vida profesional, por estar siempre presentes y constantes en cada paso que pise y por ser ejemplo de perseverancia que han sido para mí pilares que me permitieron alcanzar este logro profesional.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mí a asesor de tesis, Dr. Jorge Santiago Garate Quispe, por su invaluable guía, paciencia y conocimiento brindados a lo largo de este proceso; su confianza en el proceso de trabajo y sus acertadas observaciones fueron fundamentales para la culminación de este proyecto.

Agradezco a mi Universidad amazónica de Madre de Dios, por refugiarme en sus aulas durante toda esta etapa de aprendizaje a lo largo de mi profesión.

A nivel personal, mis más profundos agradecimientos a mi familia. A mis padres Florencio y Fortunata, por su apoyo incondicional, por ser mi pilar fundamental y por haberme enseñado el valor de la perseverancia. A mis hermanas Mariluz y Esther, por sus constantes alientos. A mis amigos por comprender mis ausencias y brindarme momentos de distensión cuando más lo necesitaba.

Agradezco al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios y al programa de becas ACIERTA-AMAZONIA, del Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA), por el financiamiento de la presente investigación.

Por último, a todas las personas y compañeros que fueron parte de mi crecimiento personal y profesional.

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unamad.edu.pe

Fuente de Internet

13%

2

www.scielo.cl

Fuente de Internet

1%

3

publicaciones.inecol.mx

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

PRESENTACIÓN

El presente proyecto de tesis se enfocó en analizar la capacidad y el efecto como planta pionera nodriza de *Ochroma pyramidale* en el establecimiento de la regeneración natural en áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios. (Perú). El presente estudio brinda información primaria sobre la función que cumpliría *O. pyramidale* como planta nodriza, ya que evaluaremos las condiciones microclimáticas que genera *O. pyramidale* para favorecer el establecimiento de regeneración natural bajo sus copas. Para que esta información pueda ser aplicado en futuros proyecto de reforestación. Ya que en estudios previos en bosques secundarios post agricultura *O. pyramidale* favorece el establecimiento y crecimiento de vegetación leñosa (Vleut et al. 2013). Por lo mencionado anteriormente, el presente estudio buscó llenar ese vacío de información en sobre la función de *O. pyramidale* como planta nodriza en la recuperación de la cobertura vegetal en áreas abandonadas por la minería aurífera en Madre de Dios.

Con la finalidad de conseguir los objetivos planteados, y considerando el reglamento de grados y títulos de la UNAMAD, el presente proyecto se estructuró en tres capítulos además de las Referencias y los Anexos. En el Capítulo I se describe el problema de investigación, se definieron los objetivos, justificación y las hipótesis planteadas. En el Capítulo II se presenta el Marco Teórico del estudio, con la información de literatura actualizada que soporte el planteamiento del proyecto. Finalmente, en el Capítulo III describimos la metodología a emplear para cumplir con los objetivos planteados.

INTRODUCCIÓN

La facilitación es el proceso por el cual una planta nodriza mejora el establecimiento, crecimiento o supervivencia de una planta objetivo (Fagundes et al. 2022). Este proceso suele darse en entornos estresantes como los ecosistemas áridos, semiáridos y alpinos (Fagundes et al. 2022), y también en bosques tropicales (Vleut et al. 2013).

En el presente estudio se evaluó el potencial de *O. pyramidale*, especie pionera, que suele establecerse como especie pionera en áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en Madre de Dios (Amazonia peruana) (Garate-Quispe et al. 2023; Alarcón-Aguirre et al. 2023; Chambi-Legoas et al. 2021). Esto considerando que estudios previos en bosque abandonados por agricultura o ganadería (pastizales), *O. pyramidale* puede acelerar el crecimiento estructural comparando la altura, densidad y área basal bajos sus copas (Wishnie et al. 2007; Diemont et al. 2011; Toledo-Aceves et al. 2022).

Por otro lado, Vleut et al. (2013) han demostrado que *O. pyramidale* es capaz de facilitar la sucesión secundaria, en términos de diversidad y densidad de plántulas establecidas (árboles y arbustos), y el área basal y la densidad de plántulas de especies de sucesión temprana y tardía entre distintos tipos de bosque. Asimismo, demostraron que el grosor de la hojarasca y la apertura del dosel se correlacionan con la diversidad y densidad de arbustos y plántulas de árboles Vleut et al. (2013). En esto radica la importancia del presente estudio, ya que demostramos como *O. pyramidale* favorece la regeneración natural en áreas degradadas por la minería aurífera en Madre de Dios.

RESUMEN

En Madre de Dios la minería causa los efectos más severos en los ecosistemas, lo cuales limitan la regeneración natural de estos ecosistemas. El objetivo del estudio fue analizar la capacidad y el efecto como planta pionera nodriza de *Ochroma pyramidale* en el establecimiento de la regeneración natural en áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios. Se seleccionaron 10 árboles de *O. pyramidale* con un diámetro de la altura del pecho (DAP) mayor de 20 cm. Se evaluó las comunidades vegetales leñosas con una altura mayor a 10 cm en parcelas de 2,5 m × 5 m en tres microhábitats identificados en cada árbol nodriza (centro, borde y fuera de la copa). En cada árbol nodriza se cuantificó el microclima ambiental y edáfico. Para evaluar la diversidad se utilizó los números de Hill y para comparar la similitud florística se utilizó el índice de Bray-Curtis. Los resultados mostraron un efecto nodriza significativo de los árboles *O. pyramidale* en los microclimas bajos sus copas ($p < 0.001$). El porcentaje de humedad ambiental fue 11,5 % más dentro las copas de *O. pyramidale*, y la temperatura ambiental fue en promedio 5.3°C menos dentro las copas de *O. pyramidale* que fuera de ellas. La humedad del suelo fue en promedio 9.7% más dentro las copas de *O. pyramidale* que fuera de ellas. Mientras que la temperatura del suelo fue en promedio 2.7°C más bajo dentro las copas de *O. pyramidale* que fuera de las copas. Por otro lado, se encontró un efecto significativo de *O. pyramidale* en la colonización de la regeneración natural bajo sus copas, ya que la abundancia, riqueza y diversidad de especies fueron significativamente superiores dentro de las copas que fuera de ellas ($p < 0.05$). Los resultados sugieren que arboles con un mayor DAP, altura de inserción de copa y diámetro de copa tienden a albergar una mayor abundancia y diversidad de regeneración natural. El PERMANOVA sugiere un efecto nodriza significativo de *O. pyramidale* en la composición de especies de regeneración natural que se establecen bajos sus copas ($p = 0.003$). Se concluye que *O. pyramidale* tuvo un efecto significativo en la regulación microclimática y la abundancia y diversidad de la regeneración natural.

Palabras clave: Efecto nodriza, microclima, restauración ecológica, sucesión secundaria.

ABSTRACT

In Madre de Dios, mining causes the most severe effects on ecosystems, limiting their natural regeneration. The objective of the study was to analyze the capacity and effect of *Ochroma pyramidale* as a pioneer nurse plant in establishing natural regeneration in areas degraded and abandoned by gold mining in the Amazon region of Madre de Dios. Ten *O. pyramidale* trees with a diameter at breast height (DBH) greater than 20 cm were selected. Woody plant communities taller than 10 cm were evaluated in 2.5 m × 5 m plots in three microhabitats identified in each nurse tree (center, edge, and outside the canopy). The environmental and edaphic microclimate was quantified for each nurse tree. Hill numbers were used to assess diversity, and the Bray-Curtis index was used to compare floristic similarity. The results showed a significant nurse effect of *O. pyramidale* trees on the microclimates under their canopies ($p < 0.001$). The percentage of environmental humidity was 11.5% higher than the canopies of *O. pyramidale*, and the environmental temperature was on average 5.3°C lower within the canopies of *O. pyramidale* than outside them. Soil moisture was on average 9.7% higher within the canopies of *O. pyramidale* than outside them. Meanwhile, soil temperature was on average 2.7°C lower within the *O. pyramidale* canopy than outside it. On the other hand, a significant effect of *O. pyramidale* was found on the colonization of natural regeneration under its canopy, as species abundance, richness, and diversity were significantly higher within the canopy than outside it ($p < 0.05$). The results suggest that trees with greater DBH, crown insertion height, and crown diameter tend to harbor greater abundance and diversity of natural regeneration. PERMANOVA suggests a significant nurse effect of *O. pyramidale* on the species composition of natural regeneration established under its canopy ($p = 0.003$). We concluded that *O. pyramidale* had a significant effect on microclimate regulation and the abundance and diversity of natural regeneration.

Keywords: Ecological restoration, microclimate, Nurse Effect, Secondary succession

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

PRESENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

ABSTRACT

TABLAS

FIGURAS

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general:	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Variables	4
1.5. Operacionalización de variables	5
1.6. Hipótesis	7
1.7. Justificación	7
1.8. Consideraciones éticas	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes de estudio	10
2.1.1. Antecedentes Internacionales	10
2.1.2. Antecedentes nacionales y regionales	15
2.2. Bases teóricas	16
2.2.1. Descripción taxonómica de la especie nodriza	16
2.2.2. Distribución y hábitat	17
2.2.3. Plantas nodriza	18
2.2.4. Dispersión y colonización	21

2.2.5. Factores ecológicos que influyen en el efecto positivo de las plantas nodrizas	21
2.2.6. Métricas de diversidad	21
2.3. Definición de términos	23
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	25
3.1. Tipo de estudio	25
3.2. Diseño del estudio	25
3.3. Población y muestra	25
3.3.1. Población	25
3.3.2. Muestra	25
3.4. Métodos y técnicas	25
3.4.1. Lugar de estudio	26
3.4.2. Evaluación de la población de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i>	27
3.4.3. Selección de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> como plantas nodriza	27
3.4.4. Muestreo de la vegetación bajo la copa de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i>	28
3.4.5. Medición de las condiciones microclimáticas bajo la copa de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i>	30
3.5. Tratamientos de datos	31
3.5.1. Manejo de base de datos	31
3.5.2. Análisis estadístico	31
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
CONCLUSIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXO	70

Índice de tablas

Tabla 1. operacionalización de variables para el presente estudio.	5
Tabla 2. Clasificación taxonómica de <i>Ochroma pyramidale</i>	17
Tabla 3. Características dasométricas de los árboles evaluados de <i>O. pyramidale</i>	33
Tabla 4. Características morfométricas de copa de los árboles evaluados de <i>O. pyramidale</i>	34
Tabla 5. Resultados de modelo lineal mixto para evaluar el efecto de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> en la humedad relativa del ambiente. Efectos aleatorios los individuos de <i>O. pyramidale</i> y la fecha de registro; y el efecto nodriza (dentro y fuera de copa) y el momento de evaluación durante el día (mañana, tarde y noche). $R^2_c = R^2$ condicional; $R^2_m = R^2$ marginal.	35
Tabla 6. Resultados de modelo lineal mixto para evaluar el efecto de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> en la temperatura ambiental. Efectos aleatorios los individuos de <i>O. pyramidale</i> y la fecha de registro; y el efecto nodriza (dentro y fuera de copa) y el momento de evaluación durante el día (mañana, mediodía y tarde). $R^2_c = R^2$ condicional; $R^2_m = R^2$ marginal.	38
Tabla 7. Resultados de modelo lineal mixto para evaluar el efecto de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> en la humedad del suelo. Teniendo como efecto aleatorio los individuos de <i>O. pyramidale</i> ; y como factor fijo el efecto nodriza (dentro y fuera de copa). $R^2_c = R^2$ condicional; $R^2_m = R^2$ marginal.	41
Tabla 8. Resultados de modelo lineal mixto para evaluar el efecto de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> en la temperatura del suelo. Teniendo como efecto aleatorio los individuos de <i>O. pyramidale</i> ; y como factor fijo el efecto nodriza (dentro y fuera de copa). $R^2_c = R^2$ condicional; $R^2_m = R^2$ marginal.	43
Tabla 9. Resultados de modelo lineal mixto para evaluar el efecto de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> en la conductividad del suelo. Teniendo como efecto aleatorio los individuos de <i>O. pyramidale</i> ; y como factor fijo el efecto nodriza (dentro y fuera de copa). $R^2_c = R^2$ condicional; $R^2_m = R^2$ marginal.	45
Tabla 10. Abundancia de las especies registradas en el estudio según la influencia de la copa de <i>O. pyramidale</i> y fuera de ellas, ...	48

Tabla 11. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la abundancia, riqueza (q^0) y diversidad de especies (q^1 y q^2) dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> mediante un modelo lineal mixto. Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.	52
Tabla 12. Resultados de PERMANOVA basado en la distancia de Bray-Curtis para evaluar el efecto nodriza de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> en la composición de especies. Teniendo como efecto aleatorio los individuos de <i>O. pyramidale</i> ; y como factor fijo el efecto nodriza (dentro [centro y borde] y fuera de copa).	55
Tabla 13. Resultados de las comparaciones múltiples del PERMANOVA basado en la distancia de Bray-Curtis para evaluar el efecto nodriza de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> en la composición de especies.	55
Tabla 14. Comparaciones del promedio de similitud en la composición de especies entre dentro (centro y borde) y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i>	55
Tabla 15. Resultados de PERMANOVA basado en la distancia de Bray-Curtis para evaluar el efecto nodriza de árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> en la composición de especies y su relación con las variables dasométricas y de morfometría de copa de los árboles nodriza.	56

Índice de figuras

Figura 1. Distribución geográfica de <i>Ochroma pyramidale</i> . Fuente: https://powo.science.kew.org/	18
Figura 2. Marco conceptual para los mecanismos abióticos y bióticos de los efectos de las plantas nodrizas. Fuente: (Filazzola y Lortie 2014).....	19
Figura 3. Diagrama que muestran los tres mecanismos de sucesión: (A) facilitación, (B) tolerancia e (C) inhibición de la sucesión. Las líneas discontinuas (A) representan una perturbación que desplaza a la comunidad a una fase anterior de la sucesión. Fuente: (Craft 2022).	20
Figura 4. Ubicación del área de estudio, área degradada y abandonada por la minería en rojo, en tres concesiones mineras en el distrito de Inambari, Madre de Dios (Perú).....	26
Figura 5. Diagrama de mediciones de variables dasométricas de los árboles. Fuente: (Garate-Quispe et al. 2022).	27
Figura 6. Diseño de campo para evaluar el efecto nodriza de <i>Ochroma pyramidale</i> en el establecimiento de la regeneración natural en áreas degradadas por la minería en la Amazonia de Madre de Dios.	29
Figura 7. Fotografías de campo sobre la regeneración natural bajo la copa de los árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> (a), mediciones para el establecimiento de las parcelas y el diámetro de copa (b y c).....	29
Figura 8. Fotografía que muestra el diseño de evaluación de la regeneración natural bajo y fuera de las copas de <i>Ochroma pyramidale</i>	30
Figura 9. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de humedad relativa (%) del ambiente en diferentes momentos del día (mañana, tarde y noche) dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> . Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.	36
Figura 10. Comparaciones de las medias marginales estimadas ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de humedad relativa (%) del ambiente dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> según en momentos del día (mañana, tarde y noche). Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.	36

Figura 11. Comparación de los promedios predichos ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de humedad relativa (%) del ambiente dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> según en momentos del día (mañana, medio día y tarde).....	37
Figura 12. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de temperatura en diferentes momentos del día (mañana, tarde y noche) dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> . Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.	39
Figura 13. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de temperatura dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> según en momentos del día (mañana, tarde y noche). Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.	39
Figura 14. Comparación de los promedios predichos ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de temperatura del ambiente dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> según en momentos del día (mañana, medio día y tarde).	40
Figura 15. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la humedad del suelo dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> . Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.	42
Figura 16. Comparación de los promedios predichos ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de la humedad del suelo dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i>	42
Figura 17. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la temperatura del suelo dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> . Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.	44
Figura 18. Comparación de los promedios predichos ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de la temperatura del suelo dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i>	44
Figura 19. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la conductividad del suelo dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> . Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.	46

Figura 20. Comparación de los promedios predichos ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de la conductividad del suelo dentro y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i>	46
Figura 21. Comparación del número de individuos registrados según clase de altura entre el centro, borde y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i>	50
Figura 22. Comparación del número de individuos registrados según clase de diámetro entre el centro, borde y fuera de la copa de <i>Ochroma pyramidale</i> .	51
Figura 23. Correlación entre las variables dasométricas y de morfometría de copa de los árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> con la abundancia, riqueza y diversidad de especies de la regeneración natural encontrada en la parte central de la copa de <i>O. pyramidale</i> . Los valores de cada celda corresponden a valores del coeficiente de correlación Pearson. Los asteriscos representan relaciones significativas ($p < 0,05$).	53
Figura 24. Correlación entre las variables dasométricas y de morfometría de copa de los árboles de <i>Ochroma pyramidale</i> con la abundancia, riqueza y diversidad de especies de la regeneración natural encontrada en el borde de la copa de <i>O. pyramidale</i> . Los valores de cada celda corresponden a valores del coeficiente de correlación Pearson. Los asteriscos representan relaciones significativas ($p < 0,05$).	54

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

Los suelos de los bosques tropicales son importantes a nivel mundial para el ciclo del carbono y del agua, y a nivel local para el ciclo y la retención de nutrientes (van der Sande et al. 2023). Los cambios en el uso del suelo, como la deforestación para convertirlo en tierras de cultivo o pastos, son habituales en las zonas tropicales (König et al. 2023). Tal como ocurre en Madre de Dios, en la cual a pesar que la agricultura es la que genera la mayor deforestación en Madre de Dios (Alarcon-Aguirre et al. 2021), es la minería la que causa los efectos más severos en los ecosistemas (Román-Dañobeytia et al. 2021; Velásquez et al. 2021) y de esta manera estarían limitando la regeneración natural de estos ecosistemas (Garate-Quispe et al. 2023).

Los yacimientos de oro de Madre de Dios se clasifican como yacimientos secundarios o aluviales porque se formaron por la meteorización y erosión de minerales de roca dura en los Andes, que produjeron finos granos de oro que luego fueron arrastrados por los ríos hasta las tierras bajas de Madre de Dios. Estas finas partículas de oro se asientan en depósitos a lo largo del interior de los meandros de los ríos y han formado depósitos cerca de la superficie en las llanuras de inundación de estos ríos a lo largo del tiempo debido a los cambios en la geomorfología de los ríos y las inundaciones estacionales (Leiva 2022). En Madre de Dios para obtener oro los mineros utilizan un proceso de extracción a cielo abierto. En este tipo de operaciones, hay que cortar toda la vegetación que se encuentra por encima del suelo y retirar completamente la tierra. Luego, durante las operaciones de dragado, los suelos que contienen oro se bombean desde los pozos profundos (de hasta 10 m de profundidad) hasta una caja de esclusa, que recoge las partículas de

oro (Garate-Quispe et al. 2023). En el área de estudio las minas de área pequeña, sin embargo, tienen un patrón espacial agregado, que se juntan a medida que avanzan las actividades y estas pueden llegar a cubrir un área de hasta 100 ha. Esta alta densidad de pequeñas minas causa una gran deforestación y fragmentación de los bosques (Caballero et al. 2018). La minería afecta a la dinámica natural de la vegetación y la degradación del suelo, transformando el paisaje en material alterado sin horizontes de suelo bien desarrollados y sustratos pedregosos que limitan el ritmo y la forma de recolonización natural de los lugares abandonados por las plantas y la biota del suelo (Alarcón-Aguirre et al. 2023; Timsina et al. 2022). Además, en el área de estudio las minas son generalmente abandonadas después de su explotación y no se aplican acciones de restauración o rehabilitación.

Las plantas nodrizas son aquellas que facilitan el crecimiento y desarrollo de otras especies vegetales (especies objetivo) bajo su dosel porque ofrecen microhábitats benignos que son más favorables para la germinación de semillas y/o el reclutamiento de plántulas que su entorno circundante (Ren, Yang y Liu 2008). El fenómeno de la planta nodriza es una forma importante de interacción facilitadora en la que una planta nodriza proporciona refugio frente al estrés abiótico o biótico a una planta beneficiaria (Peláez et al. 2019). En bosques secundarios Vleut et al. (2013) han demostrado que *O. pyramidale* es capaz de facilitar la sucesión secundaria en términos de diversidad, abundancia y estructura de la vegetación. Mientras que estudios previos en Madre de Dios han reportado la abundancia y dominancia de especies pioneras en la vegetación espontánea (regeneración natural) en áreas degradadas por la minería aurífera en Madre de Dios (Garate-Quispe et al. 2023; Chambi-Legoas et al. 2021). Dentro de estas especies dominantes de la sucesión inicial se encontraron *Ochroma pyramidale* (Alarcón-Aguirre et al. 2023; Garate-Quispe et al. 2023; Chambi-Legoas et al. 2021), *Cecropia membranacea* y *Chromolaena laevigata* (Alarcón-Aguirre et al. 2023; Garate-Quispe et al. 2023). Considerando que *O. pyramidale* es dominante en la sucesión inicial de las áreas abandonadas por la minería aurífera, en el presente estudio se pretende evaluar el potencial de la especie arbórea de

crecimiento rápido *O. pyramidale*, que suele establecerse como especie pionera en áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en Madre de Dios (Amazonia peruana).

En este contexto se planteó el presente estudio para brindar información primaria sobre la función que cumple *O. pyramidale* como planta nodriza, ya que se evaluó las condiciones microclimáticas que genera *O. pyramidale* que puedan favorecer el establecimiento de regeneración natural bajo sus copas. Para que esta información pueda ser aplicada en futuros proyectos de reforestación. Ya que en estudios previos en bosques secundarios post agricultura *O. pyramidale* tiene un rápido crecimiento, rápida renovación de algunas de las hojas más grandes entre los árboles neotropicales, capaz de crear una espesa cubierta de biomasa de hojarasca, y tiene una copa estrecha y delgada, y un ciclo de vida corto que permite que llegue algo de luz al sotobosque y se espera que favorezca el establecimiento y crecimiento de plántulas de árboles (Vleut et al. 2013). De esta manera podríamos avanzar en la comprensión de estas interacciones positivas y las funciones de *O. pyramidale* como planta nodriza (Fagundes et al. 2022).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general:

¿Cuál será la capacidad y el efecto como planta pionera nodriza de *Ochroma pyramidale* en el establecimiento de la regeneración natural en áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios?

1.2.2. Problemas específicos

PE1: ¿Cómo serán las características dasométricas y morfometría de copa de individuos de *Ochroma pyramidale* en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios?

PE2: ¿Cómo será la estructura, riqueza, diversidad y composición florística de la regeneración natural establecida en bajo la cobertura de copa de *Ochroma pyramidale* en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios?

PE3: ¿Cuáles serán las condiciones microclimáticas generadas *Ochroma pyramidale* bajo su cobertura de copa en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar y analizar la capacidad y el efecto como planta pionera nodriza de *Ochroma pyramidale* en el establecimiento de la regeneración natural en áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios.

1.3.2. Objetivos específicos

OE1: Evaluar la morfometría de copa de individuos de *Ochroma pyramidale* en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios.

OE2: Evaluar la estructura, riqueza, diversidad y composición florística de la regeneración natural establecida en bajo la cobertura de copa de *Ochroma pyramidale* en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios.

OE3: Evaluar las condiciones microclimáticas generadas *Ochroma pyramidale* bajo su cobertura de copa en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios.

1.4. Variables

Variables dependientes.

- Estructura de la regeneración natural.
- Abundancia de la regeneración natural.
- Diversidad de la regeneración natural.
- Composición florística de la regeneración natural

Variables independientes.

- Morfometría de copa de *O. Pyramidale*.
- Variables dasométricas de los árboles de *O. Pyramidale*.
- Condiciones microclimáticas bajo la copa de *O. pyramidale*.

1.5. Operacionalización de variables

En la Tabla 1 se muestra la operacionalización de variables para el presente estudio.

Tabla 1. operacionalización de variables para el presente estudio.

	Variable	Dimensión	Indicador	Tipo	Definición para el estudio	Instrumentos	Escala
Variables independientes	Variables dasométricas de los árboles de <i>O. Pyramidale</i>	• Variables de tallo. • Variables de copa	• DAP • Altura de inserción de copa. • Altura total • Longitud de copa. • Diámetro de copa	Cuantitativa	Se considerarán a las características morfológicas de tallo y copa de árboles de <i>O. Pyramidale</i> .	• Cinta diamétrica • Clinómetro • Wincha	• cm • m
	Morfometría de copa de <i>O. Pyramidale</i>	• Índices de copa	• forma de copa (FC) • índice de abragencia (IA) • proporción de copa (PC) • grado de esbeltez (GE) • índice de saliencia (IS)	Cuantitativa	Se considerarán a cinco índices de morfometría de copa para analizar la estabilidad y estructura de los árboles de <i>O. Pyramidale</i> que se han establecido en las áreas degradadas por la minería aurífera en el área de estudio.	• Ecuaciones	• Porcentaje (%) • Adimensional
	Condiciones microclimáticas bajo la copa de <i>O. pyramidale</i>	• Cobertura de copa • Hojarasca • Temperatura • Luminosidad • Características fisicoquímicas del suelo	• Cobertura de dosel • Capa de hojarasca • Temperatura ambiental • luminosidad • pH del suelo • Humedad del suelo • Conductividad eléctrica del suelo • Temperatura del suelo	Cuantitativa	Para el presente estudio se considerarán como condiciones microclimáticas, las condiciones ambientales y del suelo generadas por <i>O. pyramidale</i> bajo sus copas. Para estos se medirán variables ambientales bajo la copa de <i>O. pyramidale</i> y se compararán con variables medidas fuera de la influencia de las copas.	• Densiómetro esférico • Flexómetro • Termómetro • HOBO ONSET • Multiparámetros para suelos	• Porcentaje (%) • cm • °C • lux • Porcentaje (%) • Adimensional • mS/cm • °C

Continuación Tabla 1. operacionalización de variables para el presente estudio.

Variables dependientes	Variable	Dimensión	Indicador	Tipo de variable	Definición para el estudio	Instrumento	Escala
	Estructura de la regeneración natural	- Estructura vertical - Estructura horizontal	- Clase de altura - Clase de diámetro	Cualitativa (ordinal)	Para el estudio se considerará el número de individuos agrupados según categorías de altura (cada 1 m) y como el número de individuos agrupados según categorías de diámetro (cada 2 cm).	Evaluación	- Número de individuos / Clase de altura - Número de individuos / Clase de diámetro
	Abundancia de la regeneración natural	Densidad de individuos	Número de individuos	Cuantitativa	Para el estudio será el número de individuos leñosos registrados por unidad de muestreo (parcela), total y según categorías de regeneración natural.	Evaluación	Número de individuos por parcela
	Diversidad de la regeneración natural	Índices de diversidad alfa	- Números de Hill - Índice de diversidad α-Fisher	Cuantitativa	Valores de los índices de diversidad de los números de Hill y α -Fisher por unidad de muestreo (parcela), total bajo la copa de <i>O. pyramidale</i> y según categorías de regeneración	Ecuación	Adimensional
	Composición florística de la regeneración natural	Composición de especies	Similitud florística	Cuantitativa	Porcentaje de similitud, obtenido mediante los índices de similitud de Bray-Curtis y Chao-Jaccard para cada parcela y para toda la vegetación encontrada bajo la copa de <i>O. pyramidale</i> .	Ecuación	Porcentaje (%)

1.6. Hipótesis

El efecto de facilitación de las plantas nodriza generalmente acelera la sucesión ecológica proporcionando microhábitats favorables a otras plantas. En este contexto, una planta nodriza puede ser un candidato prometedor para la restauración (Oh y Lee 2021) de las áreas severamente degradadas por la minería aurífera en Madre de Dios. Debido a esto se espera que *O. pyramidale*, como planta nodriza, tenga una buena capacidad y un efecto facilitador en las áreas abandonadas por la minería aurífera y que pueda acelerar la restauración natural de las áreas degradadas y abandonadas por las actividades mineras en el área de estudio.

HE1: Se espera encontrar variaciones en la morfometría de copa de *O. pyramidale* según variables dasométricas.

HE2: Se espera encontrar una mayor abundancia, riqueza y diversidad de especies bajo la copa de *O. pyramidale* que fuera de la proyección vertical de las copas.

HE3: Se espera encontrar una mejora en el microclima bajo la copa de *O. pyramidale*, es decir los microclimas bajo la copa de los árboles tendrán una menor temperatura ambiental y edáfica, y una mayor humedad relativa en comparación con sitios sin la cobertura de *O. pyramidale*.

1.7. Justificación

Para contribuir a la recuperación de la biodiversidad, se ha recomendado el uso de árboles pioneros en combinación con árboles de sucesión intermedia o tardía, ya que estos pueden generar un microentorno lumínico favorable y amortiguar las temperaturas extremas, aumentando la humedad del suelo y el contenido en nutrientes (Toledo-Aceves et al. 2022).

Las plantas nodrizas pueden ser una opción adecuada para la revegetación de áreas degradadas, ya que pueden inducir efectos de isla fértil, es decir, potenciar la acumulación de carbono orgánico y nutrientes en los suelos bajo su dosel, promover la actividad microbiana del suelo, acelerar posteriormente el ciclo de nutrientes y reducir las concentraciones de metales en los suelos

(Zhou et al. 2022). Sin embargo, a la fecha no se han evaluado los efectos de *O. pyramidale*, como planta nodriza, en el establecimiento de la regeneración natural bajo sus copas en áreas degradadas por la minería aurífera en Madre de Dios.

Las plantas nodrizas se han estudiado sobre todo en condiciones de estrés abiótico, como las ejercidas en entornos con recursos limitados o restrictivos (Perea, Peláez y Fernandes 2021), como es el caso del área de estudio. El presente estudio es importante porque brinda información sobre la función de *O. pyramidale* como planta nodriza en la sucesión secundaria espontánea luego del abandono por las actividades mineras en los ecosistemas de Madre de Dios. Con el presente estudio se resolverá el vacío de información sobre los procesos de regeneración natural en áreas degradadas por la minería aurífera en Madre de Dios, y de esta manera se podrá generar recomendaciones para futuros proyectos de reforestación.

Las situaciones que incentivaron al presente proyecto fueron (1) la lenta recuperación de la cobertura vegetal arbórea luego del abandono por las actividades mineras, (2) escasos estudios sobre el enfoque de uso de plantas nodrizas en la restauración ecológicas, (3) potencial de *O. pyramidale* como planta nodriza facilitadora del establecimiento de la regeneración natural, tal como ha sido reportado en estudios de sucesión secundaria en pastizales, pero estudios similares en áreas degradadas por minería son escasos.

1.8. Consideraciones éticas

El presente estudio consideró lo establecido por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) en el Código Nacional de la Integridad Científica. Asimismo, se reconoció los créditos correspondientes a todos los autores y trabajos utilizados como referencia en el presente estudio, se citará de forma adecuada.

Para el planteamiento del presente estudio se consideró todos los reglamentos establecidos por la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), como, por ejemplo: El Reglamento de Grados y Títulos, y el Reglamento de Originalidad para trabajos de investigación.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Para esta sección se realizó la descripción de los antecedentes regionales, nacionales e internacionales. Sin embargo, debido a que no se encontraron estudios de plantas nodrizas en Madre de Dios los antecedentes nacionales y regionales se juntaron en un solo ítem.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Zhou et al. (2022) evaluaron el efecto nodriza de *Ficus tikoua* en los residuos mineros de Pb-Zn en China, con el fin de comprender mejor el posible mecanismo por el que *F. tikoua* influye en la calidad del suelo y el éxito de la vegetación. evaluaron las características de la vegetación, las propiedades nutritivas y el contenido en metales pesados de tres tipos diferentes de manchas de vegetación asociadas a *F. tikoua* en terrenos baldíos de residuos de Pb-Zn, que representaban diferentes fases de sucesión. La altura, cobertura y biomasa aérea y subterránea de estos parches de vegetación mostraron una tendencia creciente desde el parche de vegetación I (VP-I) hasta el parche III (VP-III). La reserva de nutrientes y las propiedades químicas de estos eriales de residuos se restablecieron gradualmente desde el erial BT hasta el VP-III. De VP-I a VP-III, el contenido total de metales pesados (es decir, Pb, Zn, Cu y Cd) y el contenido de Pb, Cu y Cd extraíble con DTPA disminuyeron significativamente, mientras que el contenido de Zn extraíble con DTPA permaneció invariable. Los resultados de Zhou et al. (2022) sugieren que *F. tikoua* ejerce un efecto distinto de planta nodriza al aumentar el contenido de nutrientes esenciales del suelo, reducir el contenido de metales pesados disponibles y, posteriormente, aumentar el número de especies de plantas y la biomasa. Por lo tanto, Zhou et al. (2022) recomiendan

que *F. tikoua* puede utilizarse como una prometedora planta nodriza para activar la revegetación y fitoestabilización de los vertederos de residuos de Pb-Zn en la fase inicial de remediación.

Sadat et al. (2022) analizaron el efecto de diferentes formas de nodriza en el establecimiento de la regeneración natural en los bosques de la región de Vezg, en la cuenca de Boyer-Ahmad (Irán). Seleccionaron un área de seis hectáreas y se midió el tipo de especies y formas de nodrizas, el tipo de especies objetivo (regeneración). Registraron 14 especies leñosas de plantas nodrizas con un total de 423 individuos en el área de investigación, entre ellas, dos especies espinosas incluyen *Amygdalus lycioides* y *Pyrus glabra* con 195 y 77, respectivamente, tienen el número más alto. Asimismo, de los 912 individuos de regeneración (especies objetivo) bajo el dosel de plantas nodrizas y rocas, el mayor número pertenecía a *Daphne mucronata*, *Amygdalus lycioides*, *Prunus sp* y *Lonicera nummulariifolia*. El análisis RDA también mostró que la regeneración de las especies objetivo se ve afectada por las plantas nodrizas *A. lycioides* y *P. glabra*. Los resultados de este estudio mostraron que la regeneración de las especies leñosas en esta zona, con la excepción de *A. lycioides*, depende de la conservación y de las plantas nodrizas. Esto indica el papel de las especies nodrizas en el establecimiento de la regeneración en los bosques semiáridos de Zagros, que puede utilizarse como modelo en programas de restauración forestal en otras partes de los bosques de Zagros.

Anthelme et al. (2021) evaluaron la sucesión vegetal a lo largo de una cronosecuencia postglaciar muy corta en los Andes tropicales de Ecuador (2-13 años después del retroceso glaciar). Registraron a todos los individuos vegetales en un área de 4200 m² dividida en parcelas de 1 m². Asimismo, cuantificaron las respuestas del microambiente, la diversidad vegetal y los rasgos de las plantas al tiempo transcurrido desde el retroceso glaciar. También permitió elaborar curvas especie-área y estimar las interacciones positivas entre especies. Los descensos de la temperatura del suelo, de la humedad del suelo y de los macronutrientes del suelo revelaron un estrés abiótico creciente para las plantas entre dos y trece años después del

retroceso glaciar. Este estrés creciente parece explicar la falta de correlación positiva entre la diversidad de plantas y el tiempo transcurrido desde el retroceso glaciar. Podría explicar el rendimiento decreciente de las plantas tanto a nivel de población (menor altura de las plantas) como de comunidad (menor riqueza de especies y menor acumulación de especies por área). Mientras tanto, las asociaciones espaciales poco frecuentes entre plantas indicaban un déficit de facilitación y las plantas dispersadas por animales estaban casi ausentes. Aunque la presencia de 21 especies en un área muestreada tan pequeña siete años después del retroceso glaciar podría parecer un éxito de colonización en primer lugar, el creciente estrés abiótico puede borrar en parte este éxito, reduciendo la riqueza de especies a 13 especies después de 13 años y aumentando la frecuencia de parches sin vegetación. Encontraron un déficit de plantas nodrizas que dificulta aún más el proceso de colonización de las comunidades vegetales. Este estudio detallado de la distribución arroja nueva luz sobre las respuestas de la naturaleza a los efectos del cambio climático en biomas fríos, sugiriendo que un retroceso glaciar más rápido no tendría por qué acelerar la colonización vegetal.

Anthelme et al. (2021) monitorearon la sucesión vegetal durante 40 meses tras la transposición de tierra vegetal en una zona de canga degradada por la minería de aluminio, sin ningún otro tipo de gestión, en Brasil. Utilizaron un diseño completamente aleatorizado con 70 parcelas permanentes (1 x 1 m). Se realizaron prospecciones fitosociológicas anuales y se construyeron espectros florísticos y estructurales con las formas de vida propuestas por Raunkiaer. Asimismo, compararon la composición florística con un lugar de referencia. En total, identificaron 105 especies. Tanto la flora como la vegetación cambiaron con el tiempo, aumentando el parecido con los bosques de referencia. Los espectros florístico y estructural de la vegetación tras cuatro años de deposición de tierra vegetal son similares a los prístinos. El espectro de vegetación mostró un aumento de la dominancia de fanerófitos y hemicriptófitos, mientras que los terófitos redujeron su proporción. La etapa sucesional temprana está dominada por malas hierbas, como en otros

estudios de restauración de cangas, pero no impidió la regeneración de especies autóctonas. Las especies de Cangas reclutaron bien a partir de tierra vegetal transpuesta. A diferencia de otros estudios con tierra vegetal fertilizada, nuestros resultados muestran la eficacia de la transposición de la tierra vegetal para proporcionar las condiciones iniciales para la regeneración de las especies autóctonas. transposición de la capa superior del suelo para proporcionar las condiciones iniciales para la restauración ecológica de este ecosistema.

Woods, Maleta y Ortmann (2021) Evaluaron las relaciones entre las plántulas de árboles, la composición de la comunidad de briófitos, la profundidad de los briófitos y el porcentaje de cobertura del dosel en 166 parcelas de 1 m² sobre troncos nodriza y el suelo del bosque en el bosque lluvioso de Hoh en Washington, Estados Unidos. Su hipótesis fue que las interacciones entre los briófitos y las plántulas de árboles cambian de facilitadoras a competitivas a medida que el tronco se descompone. La densidad de plántulas de árboles fue mayor en troncos jóvenes con especies de briófitos de colonización temprana (por ejemplo, *Rhizomnium glabrescens*) y menor en troncos en descomposición con *Hylocomium splendens*, un musgo de larga vida que alcanza profundidades >20 cm. Como resultado, la profundidad de los briófitos aumentó con el deterioro de los troncos y se asoció negativamente con la densidad de plántulas. La densidad de plántulas arbóreas era 4,6 veces mayor en los troncos nodriza que en el suelo del bosque, lo que probablemente se debía a la exclusión competitiva por parte de las plantas del suelo del bosque, como *H. splendens*. Los troncos nodriza tenían 17 especies de briofitas, mientras que el suelo del bosque tenía seis, lo que indica que los troncos nodriza contribuyen a mantener la diversidad de briofitas. Los troncos nodriza permiten tanto a las plántulas de árboles como a las especies de briófitos más pequeñas evitar la competencia con las plantas del suelo del bosque, incluyendo el briófito dominante, *H. splendens*. Es probable que *H. splendens* sea un impulsor generalizado de la estructura de la comunidad vegetal, dada su dominancia en los bosques templados del norte. Nuestros resultados indican que las interacciones planta-planta cambian con la sucesión en los

troncos nodriza, pasando de ser facilitadoras a competitivas y, por tanto, influyen en la estructura y dinámica de la comunidad forestal.

Perea, Peláez y Fernandes (2021) analizaron el papel de las especies *Baccharis* como facilitadoras, especialmente en entornos estresantes y dominados por herbívoros. Encontraron que el efecto facilitador neto de *Baccharis* depende en gran medida de múltiples factores (su tamaño y forma arquitectónica, el tipo y la intensidad del estrés, la fase ontogenética de las plantas beneficiarias, la presencia de congéneres, etc.). Su estudio se enfocó en que los *Baccharis* como micrositios de reclutamiento de árboles que mejoran tanto la cantidad como la calidad del reclutamiento a lo largo de muchos sistemas de las Américas (desde California hasta Chile) e impulsan la dinámica de la vegetación hacia etapas sucesionales tardías y sistemas funcionales. Además, destacamos el papel de algunas especies de *Baccharis* en la facilitación de especies herbáceas nativas frente a exóticas y su posible papel en la reducción de la colonización y expansión de plantas invasoras. Concluyeron que las plantas del género *Baccharis* tienen un enorme potencial para restaurar áreas degradadas y perturbadas y para controlar la invasión de plantas o recuperar áreas ya invadidas por plantas exóticas. El proceso de facilitación representa un increíble mecanismo de restauración que debe ser considerado en futuros proyectos ambientales y ecológicos donde las especies de *Baccharis* pueden jugar un papel prominente en muchas áreas de las Américas.

Vleut et al. (2013) evaluaron si *Ochroma pyramidale*, una especie de crecimiento rápido puede acelerar la sucesión secundaria en bosques secundarios de Chiapas, México. Para esto, evaluaron la sucesión forestal en bosques secundarios dominados por *O. pyramidale*, bosques secundarios diversos, ambos de 10-15 años desde el abandono, y bosques húmedos comparando la altura, densidad y área basal de todos los árboles (> 5 cm de DAP). Compararon la riqueza de especies de árboles y arbustos del sotobosque, y el área basal y la densidad de árboles de especies de sucesión temprana y tardía (< 5 cm DAP) entre tipos de bosque. El área basal y la

densidad ($1450 \pm 339 \text{ ha}^{-1}$) fueron menores en los bosques de *O. pyramidale* que, en los bosques diversos, y más similares a los bosques húmedos. Encontramos que el área basal arbórea ($32 \pm 0,9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y la altura ($12,4 \pm 1,8 \text{ m}$) de los árboles del dosel eran mayores, la diversidad de arbustos del sotobosque y la densidad y diversidad de plántulas arbóreas eran menores en los bosques de *O. pyramidale* que, en los bosques diversos, pero estos tipos de bosque tenían una densidad similar de árboles de sucesión temprana y tardía. La apertura del dosel ($>15\%$) y la hojarasca ($>10 \text{ cm}$) fueron ambas mayores en los bosques de *O. pyramidale*, lo que afectó positivamente a la densidad de árboles y arbustos del sotobosque y negativamente a la densidad de árboles de sucesión tardía. Concluyeron que los bosques de *O. pyramidale* presentaban características estructurales similares a las de los bosques húmedos, pero esto limitaba el establecimiento de especies arbóreas del sotobosque, especialmente de especies de crecimiento tardío.

2.1.2. Antecedentes nacionales y regionales

Alvarez-Montalván et al. (2022) estudiaron la función como planta nodriza a *Polylepis rodolfo-vasquezii*, una especie dominante en los últimos pisos altitudinales por encima de los 3200 m s.n.m. de la región Junín (Perú). Estos bosques de *Polylepis* son relictos y generan un efecto nodriza, que permite la existencia de una importante diversidad como *Gynoxis nitida*, *Miconia latifolia*, *Bomarea dulcis*, *Displostephium rupestri* y *Brachyotum rostratum*. Sin embargo, los impactos generan respuestas complejas de diversidad vegetal, donde el efecto nodriza puede convertirse en un efecto competencia, especialmente con *Gynoxis nitida*, que puede aprovechar el nicho ecológico para promover el aumento de la abundancia de sus individuos jóvenes frente a los de *P. rodolfo-vasquezii*, que se ve reducida por las actividades antrópicas.

Sotomayor, Lortie y Lamarque (2014) evaluaron los efectos de las plantas nodrizas en la biología de las semillas y la germinación de plantas anuales desérticas, en la costa peruana. Para esto utilizaron semillas de cinco

especies anuales desérticas del desierto costero de Atiquipa, en el sur de Perú, para examinar si las diferentes condiciones microambientales bajo las plantas nodrizas *Caesalpinia spinosa* Molina (Kuntze) conducen a diferencias en la biología de la semilla y la germinabilidad de las plantas anuales en relación con las condiciones abiertas, sin dosel. Su hipótesis planteada fue que las semillas recolectadas de plantas asociadas con plantas nodrizas serían (1) más grandes debido a las condiciones de crecimiento más favorables, (2) más viables y con mayores tasas de germinación, (3) menos variables en tamaño y viabilidad debido a la menor heterogeneidad ambiental, y (4) germinarían más rápido para evitar la aparente competencia con otras plantas anuales. Para esto utilizaron mediciones de los atributos de las semillas y ensayos de germinación en cámaras de crecimiento. Aunque la abundancia de plantas de sólo 2 de las 5 especies se vio fuertemente facilitada por la planta nodriza, no se encontraron diferencias significativas en la masa de semillas, la viabilidad o la variabilidad relativa entre los microhábitats de sotobosque y abiertos para ninguna de las especies. Contrariamente a lo que esperaban, las tasas finales de germinación de las semillas de microhábitats abiertos fueron más altas, y el tratamiento de microhábitat abierto fue más favorable para la germinación de las semillas tanto de ambientes abiertos como de sotobosque. Sus resultados sugieren que la facilitación planta-planta no afecta necesariamente a los rasgos biológicos de las semillas. Otros estudios que aborden rangos de distribución más amplios y/o gradientes de densidad de las especies del sotobosque arrojarán luz sobre los posibles efectos evolutivos de las plantas nodrizas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Descripción taxonómica de la especie nodriza

La clasificación taxonómica y verificación del nombre científico válido de *O. pyramidale* se realizó considerando la clasificación filogenética del APG-IV

(APG IV et al. 2016) y la página web especializada tropicos.org (<https://tropicos.org>).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de *Ochroma pyramidale*.

Taxón	Descripción
Clase	Equisetopsida C. Agardh
Subclase	Magnoliidae Novák ex Takht.
Super orden	Rosanae Takht.
Orden	Malvales Juss.
Familia	Malvaceae Juss.
Género	Ochroma Sw.
Especie (nombre aceptado)	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.
Sinonimia	<i>Bombax angulata</i> Sessé & Moc.
	<i>Bombax angulatum</i> Sessé & Moc.
	<i>Bombax pyramidale</i> Cav. ex Lam.
	<i>Ochroma bicolor</i> Rowlee
	<i>Ochroma bolivianum</i> Rowlee
	<i>Ochroma concolor</i> Rowlee
	<i>Ochroma grandiflorum</i> Rowlee
	<i>Ochroma lagopus</i> Sw.
Nombre común	Topa

Fuente: <https://tropicos.org>

2.2.2. Distribución y hábitat

Es un árbol tropical perenne perteneciente a la familia Malvaceae-Bombacoideae distribuido desde México y las Antillas hasta el sur de Sudamérica. hasta el sur de Sudamérica (Morante-Alarcón, Rojas-idrogo y Delgado-paredes 2014).

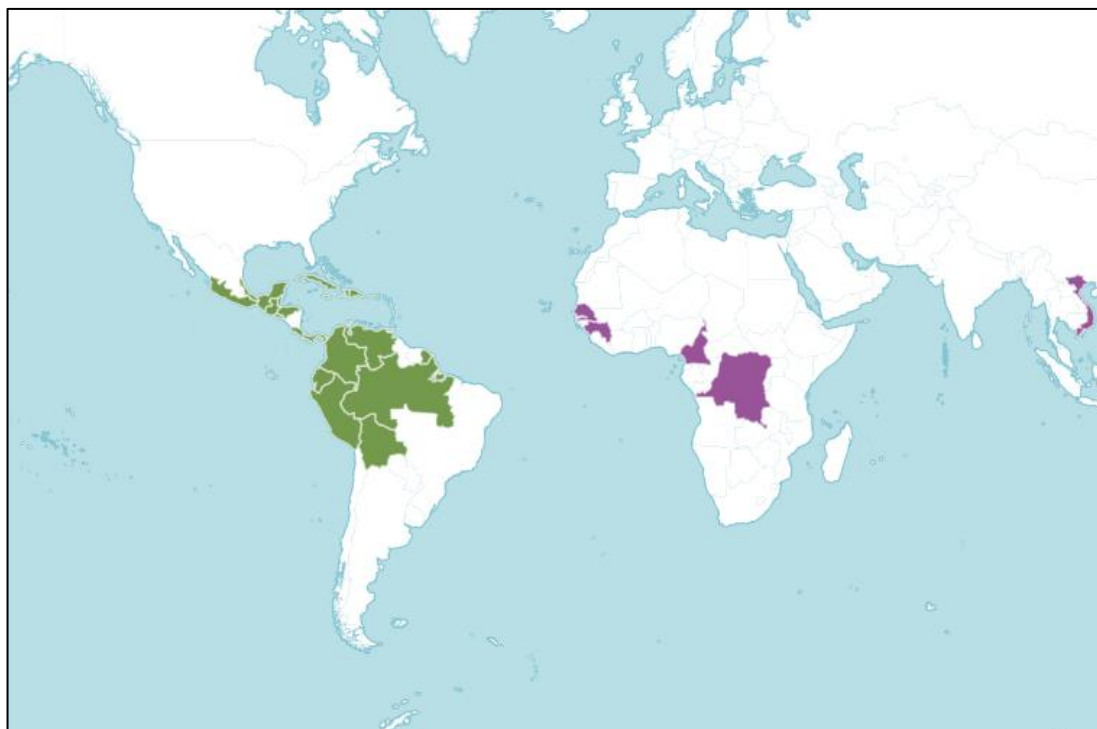


Figura 1. Distribución geográfica de *Ochroma pyramidale*. Fuente: <https://powo.science.kew.org/>

Descripción de la especie

La planta es un árbol de hasta 30 m de altura y 1,8 m de altura sobre el nivel del mar, con corteza lisa lenticelada de color gris; hojas de 15x15 - 30x30 cm, ovadas, a menudo de 3-5 lóbulos; cápsula $\pm$ leñosa, estrechamente elipsoide, de 15-18 cm de longitud; la madera ligera (peso específico 0,13) se utiliza internacionalmente para la fabricación de maquetas y localmente para balsas, y el kapok para rellenar cojines (Morante-Alarcón, Rojas-idrogo y Delgado-paredes 2014).

2.2.3. Plantas nodriza

Las interacciones planta-planta son complejas y pueden variar de facilitadoras a competitivas en función de la gravedad del entorno exterior (Woods, Maleta y Ortmann 2021). Las plantas nodrizas son aquellas que facilitan el crecimiento y desarrollo de otras especies vegetales (especies objetivo) bajo su dosel porque ofrecen microhábitats benignos que son más favorables para la germinación de semillas y/o el reclutamiento de plántulas que su entorno

circundante (Ren, Yang y Liu 2008). La selección de las plantas nodriza determina el éxito del proyecto de restauración ecológica. En los últimos años se han confirmado algunas plantas nodriza y especies objetivo en el estudio de los principales biomas del mundo. En el medio ambiente extremadamente degradado, las mejores plantas nodrizas son las especies autóctonas que ofrecen un microhábitat para el establecimiento o el reclutamiento de la planta objetivo (Ren, Yang y Liu 2008).

Filazzola y Lortie (2014) describen ocho mecanismos sobre las interacciones documentadas actualmente de las plantas nodrizas con otras especies vegetales (Figura 1). Filazzola y Lortie (2014) resumen los mecanismos mediante los cuales interactúan las plantas nodrizas con otras especies vegetales, y muestran esta interacción en formato de reloj. En el cual cada parte del anillo representa una vía mecanicista potencial estudiada empíricamente, y el movimiento en el sentido de las agujas del reloj representa la progresión de las etapas de las plantas favorecidas por las plantas nodrizas.

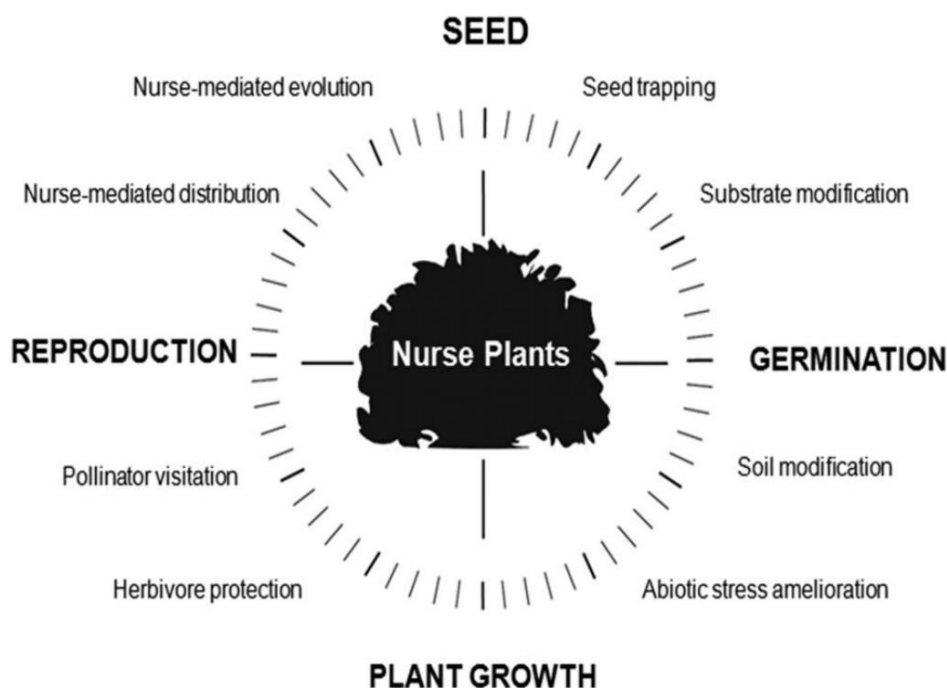


Figura 2. Marco conceptual para los mecanismos abióticos y bióticos de los efectos de las plantas nodrizas. Fuente: (Filazzola y Lortie 2014).

Mecanismo de la facilitación por las plantas nodrizas

La comunidad vegetal como una entidad orgánica caracterizada por cuatro etapas: formación, crecimiento, madurez y muerte. Las primeras especies que llegan a un lugar se conocen como pioneras y consisten principalmente en plantas anuales y otras especies ruderales. Con el tiempo, las especies pioneras son sustituidas por diferentes conjuntos de especies. La sustitución de los conjuntos de especies continúa hasta que, finalmente, la comunidad vegetal alcanza una especie de equilibrio con el medio ambiente (Craft 2022).

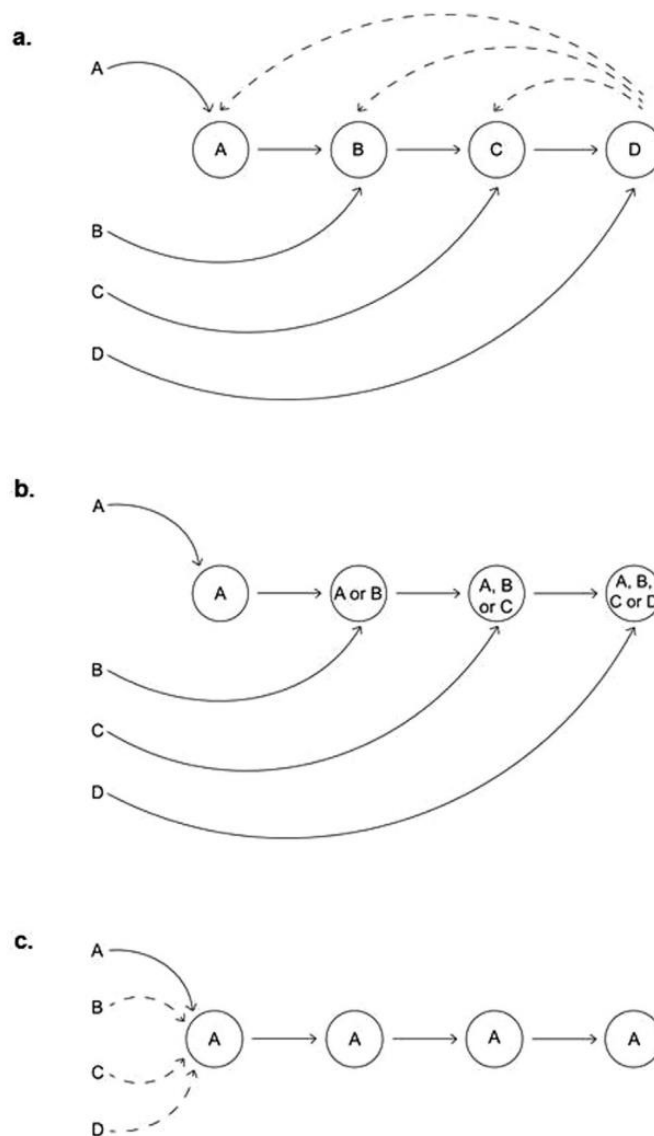


Figura 3. Diagrama que muestran los tres mecanismos de sucesión: (A) facilitación, (B) tolerancia e (C) inhibición de la sucesión. Las líneas discontinuas (A) representan una perturbación que desplaza a la comunidad a una fase anterior de la sucesión. Fuente: (Craft 2022).

2.2.4. Dispersión y colonización

El restablecimiento de la vegetación en lugares alterados depende de los propágulos que se dispersan por el lugar y de la revegetación mediante propágulos de las especies supervivientes. En los lugares muy alterados o en los humedales recién creados, el suelo desnudo presenta una oportunidad ideal para la colonización. El establecimiento de propágulos procedentes de fuera del lugar depende de cuatro pasos secuenciales: dispersión, germinación, supervivencia y edad adulta. Las especies que producen un gran número de semillas dispersadas por el viento o el agua son las primeras en llegar (Craft 2022).

2.2.5. Factores ecológicos que influyen en el efecto positivo de las plantas nodrizas

Aunque se produzca un efecto positivo entre la planta nodriza y la especie objetivo, las condiciones ambientales (como las precipitaciones, la humedad del suelo, la intensidad del pastoreo y el microhábitat) influyen en la radiación, el suelo, la temperatura y la humedad bajo la corona de la planta nodriza, modificando así el efecto de cuidado. El efecto positivo de la planta nodriza aumenta con las condiciones abióticas estresantes, que son obviamente más fuertes en las primeras fases de restauración de los ecosistemas degradados. En un hábitat relativamente agradable, la asociación espacial entre plantas puede ser negativa, pero no positiva. En un hábitat fértil no fue positiva al utilizar la planta nodriza para su agotamiento de los recursos del suelo. Sin embargo, en un hábitat poco fértil, los cultivos de pequeña copa y escaso crecimiento pueden facilitar la supervivencia de las plántulas (Ren, Yang y Liu 2008).

2.2.6. Métricas de diversidad

Tradicionalmente se considera que la diversidad es una función tanto de la riqueza como de la uniformidad, y que las comunidades menos uniformes son menos diversas de lo que indicaría su riqueza por sí sola (Magurran y McGill 2011). De acuerdo con Magurran y McGill (2011) las principales métricas de diversidad son: (1) Shannon H', (2) Simpson, (3) Hulbert, (4) Números de Hill.

Por otro lado, entre las medidas semiparamétricas de diversidad se tienen a: (1) α -Fisher, (2) Lognormal y (3) α -Gambin (Magurran y McGill 2011).

Para el presente estudio se considerarán los índices de diversidad de Shannon, números de Hill y α -Fisher, por ser los más utilizados en los estudios de vegetación.

a) Índice de Shannon

Para calcular la diversidad, el índice de Shannon (H' o D Shannon) utiliza la teoría de la información de Shannon (Magurran y McGill 2011).

$$D_{\text{Shannon}} = -\sum p_i \ln p_i \quad (1)$$

P_i es la proporción de la abundancia por especie ($p_i = N_i/N$).

N =abundancia total

N_i = es la abundancia de la i especie después de la clasificación

b) Número de Hill

Hill (2013) propuso utilizar criterios basados en la información para obtener números "ponderados" de especies, basados en el grado de dominancia. Valores de α entre 0 y 0,5 proporcionan la mejor discriminación en los datos empíricos conocidos de diferentes comunidades (Magurran y McGill 2011).

$$H_{\alpha} = \left[\sum p_i^{\alpha} \right]^{1/(1-\alpha)} \quad (2)$$

P_i es la proporción de la abundancia por especie ($p_i = N_i/N$).

c) α -Fisher

Este índice se ha recomendado como un estimador de riqueza independiente del tamaño de la muestra (Magurran y McGill 2011).

$$\alpha\text{Fisher} = \alpha \ln \left(1 + \frac{n}{\alpha} \right) \quad (3)$$

Donde:

S = es el número de especies

n = el número de individuos

α = el alfa de Fisher

2.3. Definición de términos

a. Disturbio

La perturbación es la alteración de la estructura y la función ecológicas causada por actividades humanas que degradan el lugar con respecto a su estado natural (Craft 2022).

b. Categorías de tamaño de la vegetación

Según sus dimensiones en diámetro y altura la vegetación puede ser clasificada como brinzal, latizal, fustal y árbol maduro (Orozco y Brumér 2002). Siendo: (1) Brinzal, individuos de entre 30 cm hasta 1,5 m de altura y diámetro menor a 5 cm. (2) Latizal, individuos con un diámetro entre 5 a 9,9 cm. (3) Fustales, individuos a partir de 10 cm de diámetro. (4) Árboles maduros, individuos con un diámetro mayor a 40 cm.

c. Grupos ecológicos

El comportamiento de los grupos ecológicos es determinado por sus estrategias de reproducción y desarrollo, y principalmente relacionados por sus diferentes exigencias de luz durante su desarrollo (Orozco y Brumér 2002). Estas se pueden distinguir entre: especies exigente de luz, especies tolerantes a la sombra y especies heliófilas durables.

d. Producto forestal no maderable

Se definen como productos del bosque diferentes de la madera de aserrío (Orozco y Brumér 2002).

e. Altura

Se refiere a la altura desde la base del fuste del árbol hasta la primera bifurcación o ramificación significativa (Leaño y Saravia 1998)

f. Bosque clímax

Es considera la etapa final de la sucesión forestal, generalmente compuesta por de especies tolerantes a la sombra que se autoperpetúan sin una perturbación (Montagnini y Jordan 2005).

g. Sucesión forestal

El bosque nunca es estático, cambia constantemente su composición, estructura y carácter general; la dinámica temporal de estos cambios da origen a la sucesión forestal, tanto bajo condiciones naturales como perturbadas (González 2003).

h. Densiómetro esférico

Es un instrumento para medir la cobertura del dosel de los bosques. Este aparato, en la parte central, tiene 25 cuadros, en los que se debe estimar el número de cuadros cubiertos por la vegetación (Mostacedo y Fredericksen 2000).

i. Planta nodriza

Una planta nodriza es una planta adulta cuya estrecha asociación espacial con plántulas de plantas jóvenes de otra especie tiene un efecto positivo sobre ellas (Craft 2022)

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio

El presente estudio fue cuantitativo, según el alcance fue de tipo correlacional y según su finalidad fue investigación básica (Hernández-Sampieri y Mendoza 2018).

3.2. Diseño del estudio

El diseño de estudio fue no experimental de corte transversal, ya que no se realizaron manipulación de las variables y que las variable o fenómenos a evaluar ya ocurrieron (Hernández-Sampieri y Mendoza 2018).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Para el presente estudio se consideraron a todos los árboles de *O. pyramidale* con un diámetro a la altura del pecho mayor a 10 cm ($DAP > 10$ cm) establecidos en el área de estudio, un área degradado y abandonado por la minería aurífera en la Amazonia de Madre de Dios.

3.3.2. Muestra

La estrategia de muestreo para seleccionar el tamaño de muestra fue no probabilística. La muestra seleccionada no dependió de la probabilidad, sino por conveniencia, es decir por razones relacionadas con las características de los árboles, la presencia de regeneración natural bajo sus copas, autorización de ingreso a la concesión y accesibilidad (Hernández-Sampieri y Mendoza 2018; González 2021). Considerando la accesibilidad, diámetro mínimo ($DAP > 20$ cm) y distancia mínima (50 m) entre árboles a considerar en el estudio se consideró como muestra 10 árboles de *O. pyramidale*.

3.4. Métodos y técnicas

3.4.1. Lugar de estudio

El estudio se desarrolló en áreas degradada y abandonadas por la minería aurífera en el distrito de Inambari, región Madre de Dios (Figura 4). El área de estudio, en la cual se ubicaron los árboles nodriza de *O. pyramidale*, se ubicó dentro de tres concesiones minera (Nancy uno, Travieso corazón y Angelina), (Figura 4). El área de estudio es un paisaje deforestado, fragmentado y con pozas de agua dispersas y abandonadas por la actividad minera.

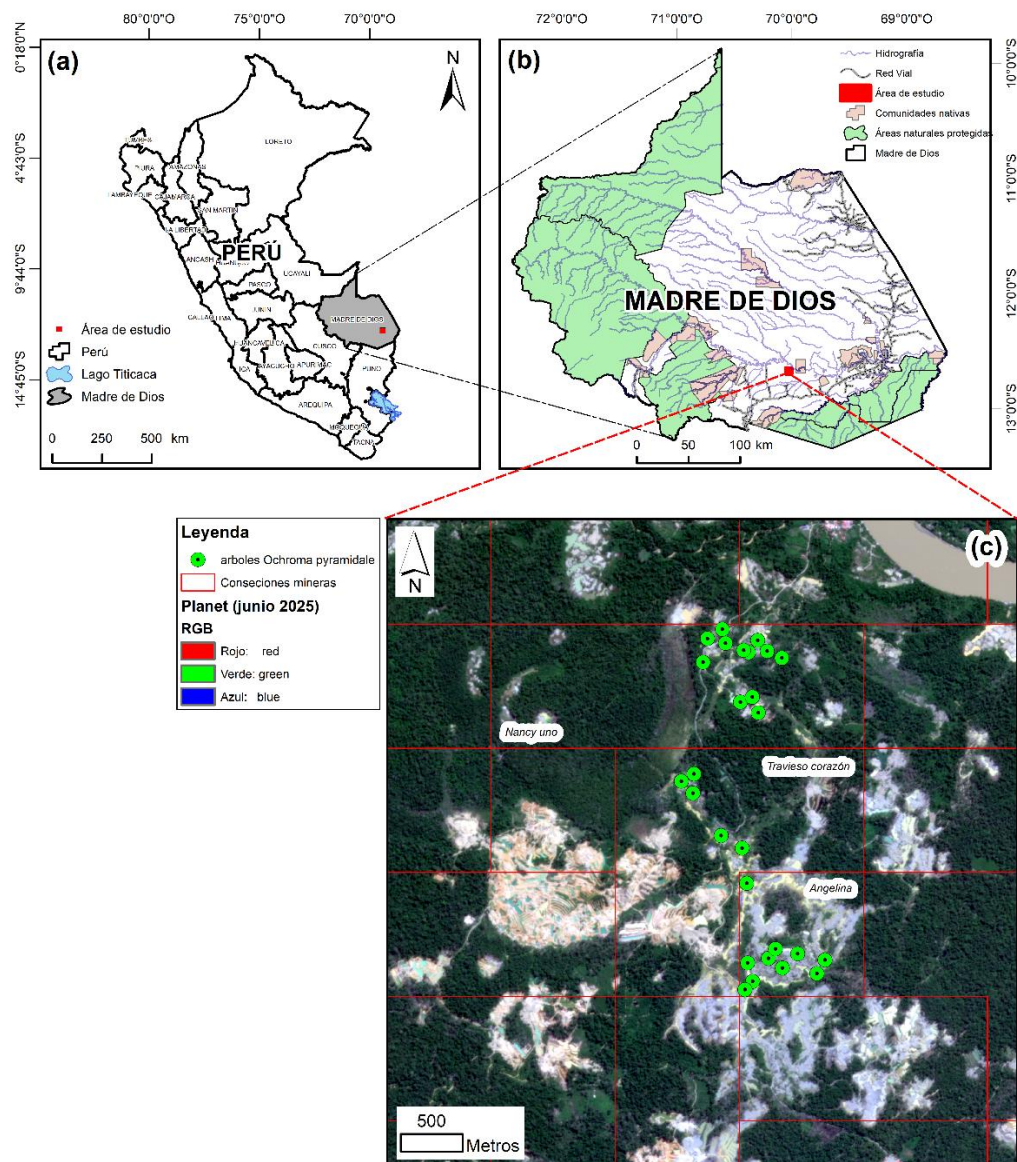


Figura 4. Ubicación del área de estudio, área degradada y abandonada por la minería en rojo, en tres concesiones mineras en el distrito de Inambari, Madre de Dios (Perú).

3.4.2. Evaluación de la población de árboles de *Ochroma pyramidale*

En el área de estudio se identificaron a todos los árboles de *O. pyramidale* con un DAP > 10 cm y que estén distanciados uno de otro al menos de 50 m (Figura 4). Además, se describió si hay presencia de regeneración natural leñosa bajo la copa de los árboles de *O. pyramidale*.

3.4.3. Selección de árboles de *Ochroma pyramidale* como plantas nodriza

Para la evaluación de la capacidad y el efecto como planta pionera nodriza de *O. pyramidale*, se seleccionaron 10 árboles. De cada individuo se midió su DAP, diámetro de copa y altura total, con una cinta diamétrica, wincha, e hipsómetro, respectivamente. Para evaluar la morfometría de copa de individuos de *O. pyramidale* se midió la altura de inserción de copa y diámetro de copa; siguiendo el diagrama mostrado en la Figura 5:

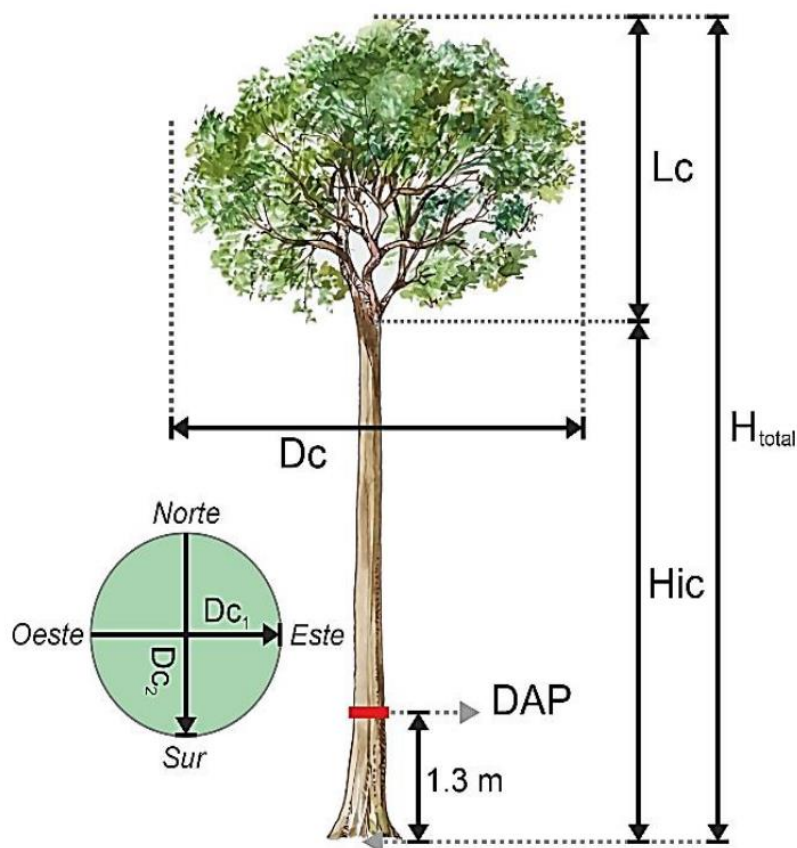


Figura 5. Diagrama de mediciones de variables dasométricas de los árboles. Fuente: (Garate-Quispe et al. 2022).

Con las mediciones realizadas de las variables dasométricas se calcularon cinco índices de morfometría de copa, siguiendo la metodología de Tonini et al. (2005) estos fueron: forma de copa (FC, ecuación 5), índice de abragencia (IA, ecuación 4), proporción de copa (PC, ecuación 1), grado de esbeltez (GE, ecuación 2) y índice de saliencia (IS, ecuación 3).

$$PC = \left(\frac{Lc}{Ht} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$GE = \left(\frac{Ht}{DAP} \right) \quad (2)$$

$$IS = \left(\frac{Dc}{DAP} \right) \quad (3)$$

$$IA = \left(\frac{Dc}{Ht} \right) \quad (4)$$

$$FC = \left(\frac{Dc}{Lc} \right) \quad (5)$$

3.4.4. Muestreo de la vegetación bajo la copa de árboles de *Ochroma pyramidale*

Se evaluó las comunidades vegetales leñosas establecidas bajo las copas de los árboles nodriza de *O. pyramidale*. Para esto se utilizó una versión modificada de la metodología propuesta por Al-Namazi y Bonser (2022). Por lo tanto, se identificaron tres microhábitats en cada árbol de *O. pyramidale*: (1) al centro de la copa (a menos de 3 m del tallo del árbol); (2) en el borde de la proyección vertical de la copa (a ± 50 cm del borde); y (3) fuera de la proyección vertical de la copa de los árboles de *O. pyramidale* (entre 5 a 10 m de la copa) (Figura 6). En cada microhábitat de cada árbol nodriza se establecieron dos parcelas de $2,5 \times 5$ m ($12,5$ m²), es decir dos parcelas al centro de la copa, 2 al borde y 2 fuera de las copas de los individuos de *O. pyramidale*, en total seis en cada árbol, en dos direcciones (Norte y Sur) (Figura 7 y Figura 8).

En cada parcela se identificaron a todos los individuos leñosos con una altura mayor a 10 cm; y según su forma de crecimiento en árboles y arbustos, los árboles se distinguían de los arbustivos por su forma de crecimiento monopodial (Vleut et al. 2013). Para los individuos con un diámetro mayor a 1 cm se midió el DAP y altura, mientras que los individuos con un DAP menor de 1 cm se midió solo la altura de la planta (Vleut et al. 2013). La identificación

en campo se realizó con un especialista botánico del herbario Alwyn Gentry de la UNAMAD.

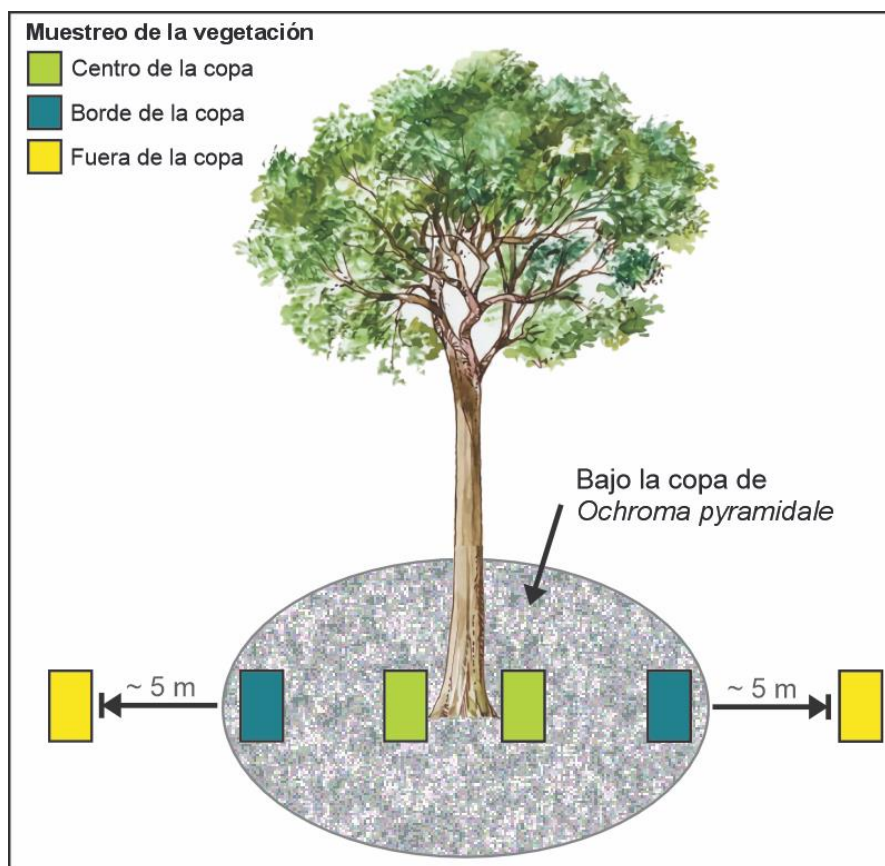


Figura 6. Diseño de campo para evaluar el efecto nodriza de *Ochroma pyramidale* en el establecimiento de la regeneración natural en áreas degradadas por la minería en la Amazonia de Madre de Dios.

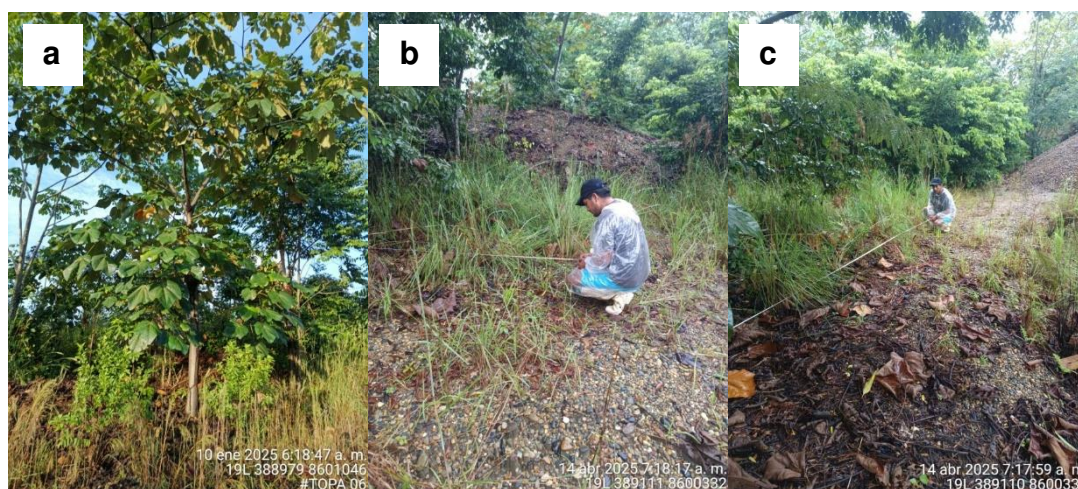


Figura 7. Fotografías de campo sobre la regeneración natural bajo la copa de los árboles de *Ochroma pyramidale* (a), mediciones para el establecimiento de las parcelas y el diámetro de copa (b y c).



Figura 8. Fotografía que muestra el diseño de evaluación de la regeneración natural bajo y fuera de las copas de *Ochroma pyramidale*.

Considerando cada árbol nodriza, se calculó el número especies, número de individuos, diversidad de especies (alfa) y composición florística (diversidad beta) de cada microambiente. Para la diversidad alfa se consideró como índices de diversidad a los números de Hill y el índice de diversidad de α -Fisher. Para comparar la similitud en la composición de especies se utilizó el índice de Bray-Curtis. La estructura de la vegetación se analizará mediante clases de diámetro y altura de la vegetación encontrada bajo la copa de *O. pyramidale*.

3.4.5. Medición de las condiciones microclimáticas bajo la copa de árboles de *Ochroma pyramidale*

a. Cobertura de dosel (%)

Se estimó el porcentaje de apertura del dosel en cuatro puntos (N, S, E y O) bajo la copa de cada árbol de *O. pyramidale*, utilizando un densiómetro de copa semiesférico cóncavo (Forestry Suppliers, Inc, Jackson, USA).

$$\text{ApD} = \frac{N + S + E + O}{4} \text{ --- (ecuacion 1)}$$

Donde:

ApD: Apertura del dosel (%)

N: Norte

S: Sur

E: Este

O: Oeste

b. Monitoreo de temperatura y luminosidad bajo la copa de árboles de *Ochroma pyramidale*

Para el monitoreo de la temperatura y luminosidad se utilizaron registradores de datos de temperatura y luz HOBO ONSET UA-002-64. Estos se instalaron durante 15 días en dos de los microhábitats estudiados, bajo la copa de 10 árboles de *O. pyramidale* y 10 fuera de la proyección vertical de la copa. Esto con la finalidad de comparar las variaciones durante el día de las condiciones climáticas dentro y fuera de la copa de *O. pyramidale*.

c. Medición de variables ambientales del suelo bajo la copa de árboles de *Ochroma pyramidale*

En campo, en cada parcela identificada se realizaron mediciones de en el suelo de: humedad, conductividad eléctrica y temperatura. Esto se realizaron con dos multiparámetros Soil Survey Instrument and Soil Moisture Meter S-1000.

3.5. Tratamientos de datos

3.5.1. Manejo de base de datos

Toda la información recopilada en campo, fueron ordenados, filtrados y almacenados en la hoja de cálculo de Microsoft Excel 365.

3.5.2. Análisis estadístico

Para caracterizar la estructura poblacional y la morfometría de copa de *O. pyramidale* se utilizó estadística descriptiva. Para evaluar el efecto de árboles de *Ochroma pyramidale* en los microclimas bajo sus copas y en la abundancia y diversidad de especies se utilizaron modelos lineales mixtos (MLM). Para el

análisis de los microclimas se consideraron como factores aleatorios los individuos de *O. pyramidale* y la fecha de registro, mientras que el efecto nodriza (dentro y fuera de copa) y el momento de evaluación durante el día (mañana, tarde y noche) fueron considerados como factores fijos. Para el análisis de la abundancia y diversidad de especies, en el MLM se consideraron como factores aleatorios los individuos de *O. pyramidale*, mientras que el efecto nodriza (dentro y fuera de copa) fue considerado como factor fijo. En los MLM, para evaluar diferencias significativas en los factores fijos se utilizó el método el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey. Para generar el mejor MLM se utilizó el Criterio de Información de Akaike (AIC) en la función dredge del paquete MuMIn en R.

Para analizar la relación entre las variables dasométricas y morfométricas de copa de los árboles nodriza de *O. pyramidale* con la abundancia y diversidad de especies de la regeneración natural se utilizó el análisis de correlación de Pearson, y se representó en un correlograma.

Para evaluar el efecto diferencias en la composición de especies bajo la copa de *O. pyramidale* y fuera de estas, y como se relaciona con las variables dasométricas y de morfometría de copa, se utilizó el Análisis de Varianza Multivariante Permutacional (PERMANOVA).

Todos los análisis se desarrollaron utilizando los paquetes estadísticos R, Primer 7, SigmaPlot v16 y OriginPro2025; a un 5% de probabilidad de error.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Morfometría de copa de árboles de *Ochroma pyramidale* en un área degradada y abandonada por la minería

4.1.1. Características dasométricas de los árboles evaluados

El análisis descriptivo de las características dasométricas de los árboles evaluados se muestran en la Tabla 3. El DAP de los árboles de *O. pyramidale* varió entre 20,9 a 34,2 cm ($25,4 \pm 4,3$ cm), la altura total varió entre 9 a 18 m (14 ± 3 m), y el diámetro de copa varió entre 8,9 a 13,7 m ($11,3 \pm 1,5$ cm). El DAP, altura total y diámetro de copa tuvieron una baja variabilidad (coeficiente de variación entre 13 a 21,3), mientras que la altura de inserción de copa y la longitud de copa presentaron una alta variabilidad (34 a 39,8%).

Tabla 3. Características dasométricas de los árboles evaluados de *O. pyramidale*.

	Número de árboles	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar	Mediana	Coefficiente de variación (%)
DAP (cm)	10	20,9	34,2	25,4	4,3	24,1	16,8
Altura total (m)	10	9	18	14	3,0	14,5	21,3
Altura de inserción de copa (m)	10	3	10,5	6,85	2,7	6,5	39,8
Longitud de copa (m)	10	4	11	7,15	2,5	6,3	34,3
Diámetro de copa (m)	10	8,9	13,7	11,3	1,5	11,1	13,0

DAP = diámetro a la altura del pecho, medido a 1,3 de altura.

4.1.2. Morfometría de copa de los árboles evaluados

La caracterización morfométrica de copa de los árboles evaluados se muestra en la Tabla 4. La proporción de copa de los árboles de *O. pyramidale* varió entre 37,5 a 78,6 ($51,2 \pm 15,3$), la forma de copa varió entre 0,9 a 2,7 ($1,7 \pm 0,6$), el grado de esbeltez varió entre 0,4 a 0,7 ($0,5 \pm 0,1$), y el índice de saliencia varió entre 0,4 a 0,54 ($11,3 \pm 1,5$). El grado de esbeltez, índice de saliencia e índice de abragencia tuvieron una baja variabilidad (coeficiente de variación $< 20\%$), mientras que la proporción de copa y forma de copa presentaron una alta variabilidad (29,8 a 32,5).

Tabla 4. Características morfométricas de copa de los árboles evaluados de *O. pyramidale*.

	Número de árboles	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar	Mediana	Coefficiente de variación (%)
Proporción de copa	10	37,5	78,6	51,2	15,3	47,2	29,8
Grado de esbeltez	10	0,38	0,74	0,555	0,1	0,6	17,4
Índice de saliencia	10	0,4	0,54	0,449	0,0	0,4	10,4
Índice de abragencia	10	0,68	1,21	0,831	0,2	0,8	19,6
Forma de copa	10	0,9	2,7	1,7	0,6	1,8	32,5

4.2 Condiciones microclimáticas generadas por *Ochroma pyramidale* bajo su cobertura de copa en un área degradada y abandonada por la minería aurífera

4.2.1 Temperatura y humedad ambiental

a) Humedad relativa

El mejor modelo lineal mixto (LMM) para analizar el efecto de *O. pyramidale* en la humedad relativa fue el que considera la interacción entre el efecto nodriza (dentro y fuera de copa) y el momento de evaluación durante el día (mañana, tarde y noche) (AIC = 1069,5) (Tabla 5). El LMM mostró que los dos factores fijos y la interacción de estos tuvieron un efecto significativo ($p < 0,001$) en la humedad relativa del ambiente. Asimismo, los factores aleatorios

también tuvieron un efecto significativo en la humedad relativa, árbol ($p < 0,001$) y tiempo ($p < 0,05$), aunque el tiempo ($1,7 \pm 1,3$) explicó una menor varianza que entre los árboles ($3,6 \pm 1,9$). En general, el modelo completo (factores fijos + aleatorios) ajustado explica un 83% de la variabilidad en la temperatura, mientras que los factores fijos explican el 79% de la variabilidad en la humedad relativa.

Tabla 5. Resultados de modelo lineal mixto para evaluar el efecto de árboles de *Ochroma pyramidale* en la humedad relativa del ambiente. Efectos aleatorios los individuos de *O. pyramidale* y la fecha de registro; y el efecto nodriza (dentro y fuera de copa) y el momento de evaluación durante el día (mañana, tarde y noche). R^2_c = R^2 condicional; R^2_m = R^2 marginal.

Factores fijos			R ² _c	R ² _m
Factor	F	p		
Efecto nodriza	25,738	< 0,001		
Momento	367,422	< 0,001		
Nurse × Momento	39,257	< 0,001		
Factores aleatorios			0,83	0,79
Grupos	Varianza	P		
Topa	3,6 ± 1,9	< 0,001		
Fecha	1,7 ± 1,3	0,013		
Residual	19,8 ± 4,5			

Las comparaciones múltiples del efecto nodriza y entre momentos del día en la humedad relativa ambiental se muestran en la Figura 9 y Figura 10. La humedad relativa difirió de forma significativa entre los tres momentos del día ($p < 0,001$), independiente del efecto nodriza (dentro y fuera de la copa) (Figura 9).

Por otro lado, comparando la humedad relativa bajo las copas de *O. pyramidale* según momento del día, solo se encontró diferencias significativas ($p < 0,001$) en la humedad relativa entre dentro y fuera de las copas al medio día (12 horas). Mientras que por la mañana (7 horas) y tarde (17 horas) no se encontraron diferencias significativas en la humedad relativa dentro y fuera de las copas de los árboles de *O. pyramidale* ($p > 0,05$) (Figura 10).

Figura 9. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de humedad relativa (%) del ambiente en diferentes momentos del día (mañana, tarde y noche) dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*. Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.

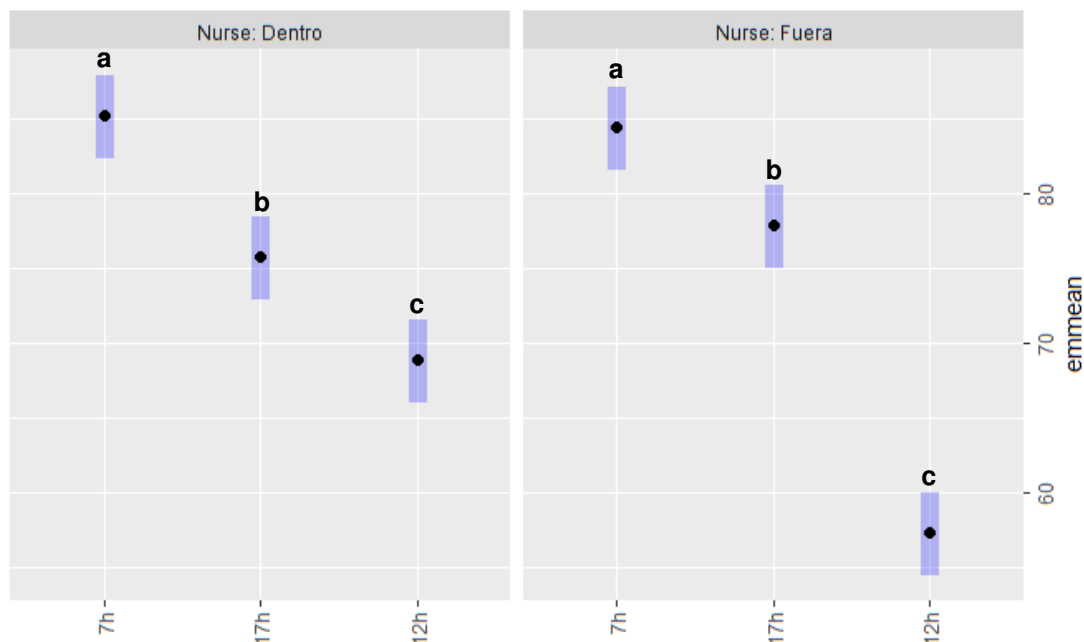
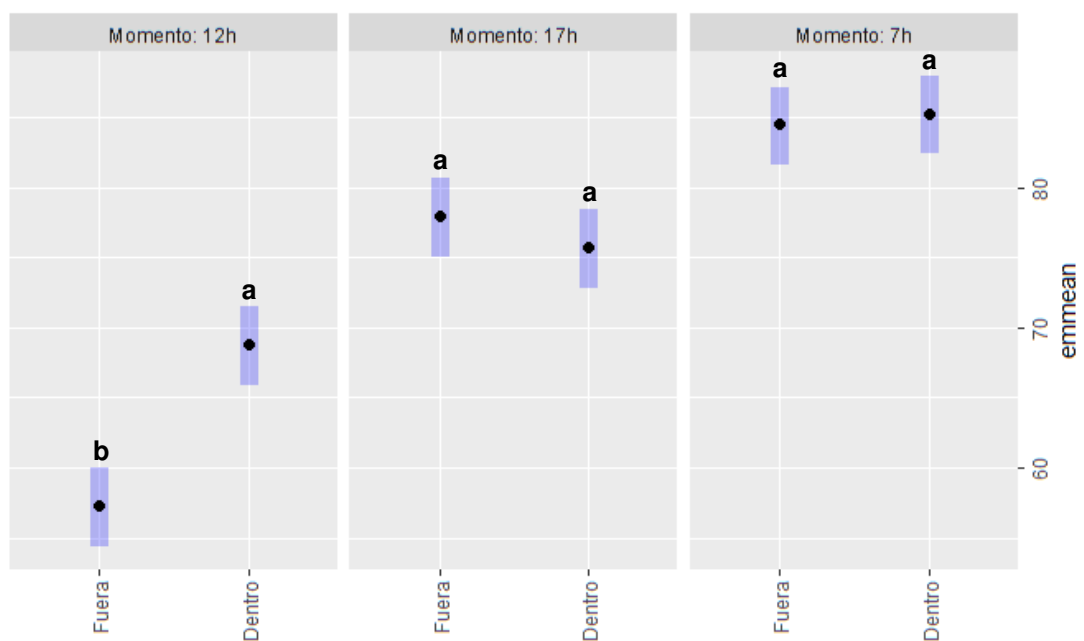
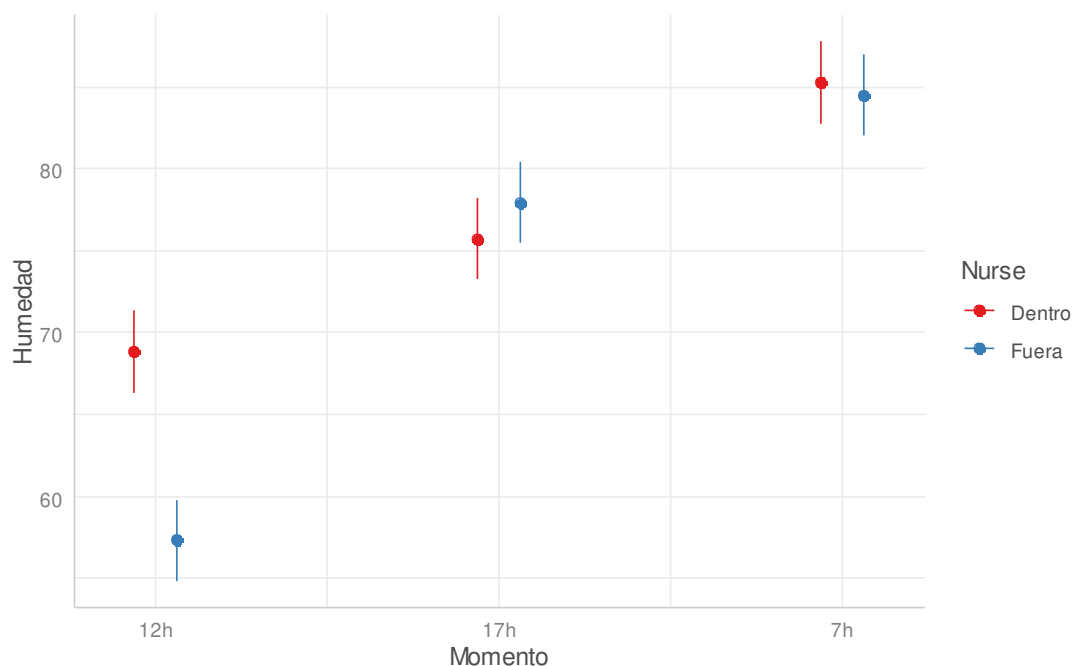


Figura 10. Comparaciones de las medias marginales estimadas ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de humedad relativa (%) del ambiente dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale* según en momentos del día (mañana, tarde y noche). Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.



Las medias marginales estimadas del LMM muestran el efecto nodriza de los árboles *O. pyramidale* en los microclimas bajos sus copas (Figura 10), ya que el porcentaje de humedad ambiental fue 11,5 % ($\pm 1,3\%$) más dentro las copas de *O. pyramidale* que fuera de ellas, tal como se puede observar también en los valores predichos del modelo (Figura 12).

Figura 11. Comparación de los promedios predichos ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de humedad relativa (%) del ambiente dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale* según en momentos del día (mañana, medio día y tarde).



a) Temperatura

El mejor LMM para analizar el efecto de *O. pyramidale* en la temperatura ambiental fue el que considera la interacción entre el efecto nodriza (dentro y fuera de copa) y el momento de evaluación durante el día (mañana, tarde y noche) (AIC = 690,1) (Tabla 6). El LMM mostró que los dos factores fijos y la interacción de estos tuvieron un efecto significativo ($p < 0,001$) en la temperatura ambiental. Asimismo, los factores aleatorios también tuvieron un efecto significativo en la temperatura ambiental, árbol ($p < 0,001$) y tiempo ($p < 0,05$), aunque el tiempo ($0,13 \pm 0,4$) explicó una menor varianza que entre los árboles ($0,77 \pm 0,9$). En general, el modelo completo (factores fijos + aleatorios) ajustado explica un 90% de la variabilidad en la temperatura, de

este porcentaje los factores fijos explican el 85% de la variabilidad en la temperatura.

Tabla 6. Resultados de modelo lineal mixto para evaluar el efecto de árboles de *Ochroma pyramidale* en la temperatura ambiental. Efectos aleatorios los individuos de *O. pyramidale* y la fecha de registro; y el efecto nodriza (dentro y fuera de copa) y el momento de evaluación durante el día (mañana, mediodía y tarde). R^2_c = R^2 condicional; R^2_m = R^2 marginal.

Factores fijos			R^2_c	R^2_m
Factor	F	p	0,90	0,85
Efecto nodriza	80,9	< 0,001		
Momento	641,5	< 0,001		
Nurse × Momento	59,0	< 0,001		
Factores aleatorios			0,90	0,85
Grupos	Varianza	P		
Topa	0,77 ± 0,9	< 0,001		
Fecha	0,13 ± 0,4	0,043		
Residual	2,2 ± 1,5			

Las comparaciones múltiples del efecto nodriza y entre momentos del día en la temperatura ambiental se muestran en la Figura 12 y Figura 13. Bajo la copa de *O. pyramidale* la temperatura difirió de forma significativa entre los tres momentos del día ($p < 0,05$). Sin embargo, fuera de la copa de *O. pyramidale* entre la mañana y tarde no se encontraron diferencias significativas, aunque estas dos tuvieron los valores de temperatura significativamente inferiores a la temperatura del medio día (Figura 12).

Por otro lado, comparando la temperatura bajo las copas de *O. pyramidale* según momento del día, solo se encontró diferencias significativas en la humedad relativa entre dentro y fuera de las copas al medio día ($p < 0,001$) y en la mañana ($p < 0,001$). Mientras que por la tarde no se encontraron diferencias significativas en la temperatura ambiental dentro y fuera de las copas de los árboles de *O. pyramidale* ($p > 0,05$) (Figura 10).

Figura 12. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de temperatura en diferentes momentos del día (mañana, tarde y noche) dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*. Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.

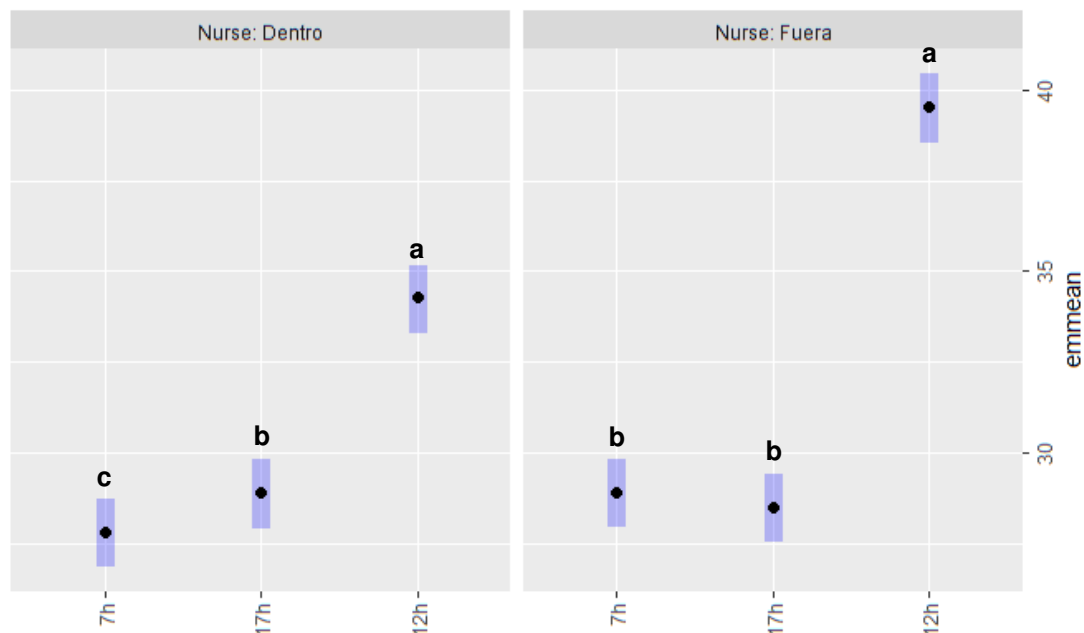
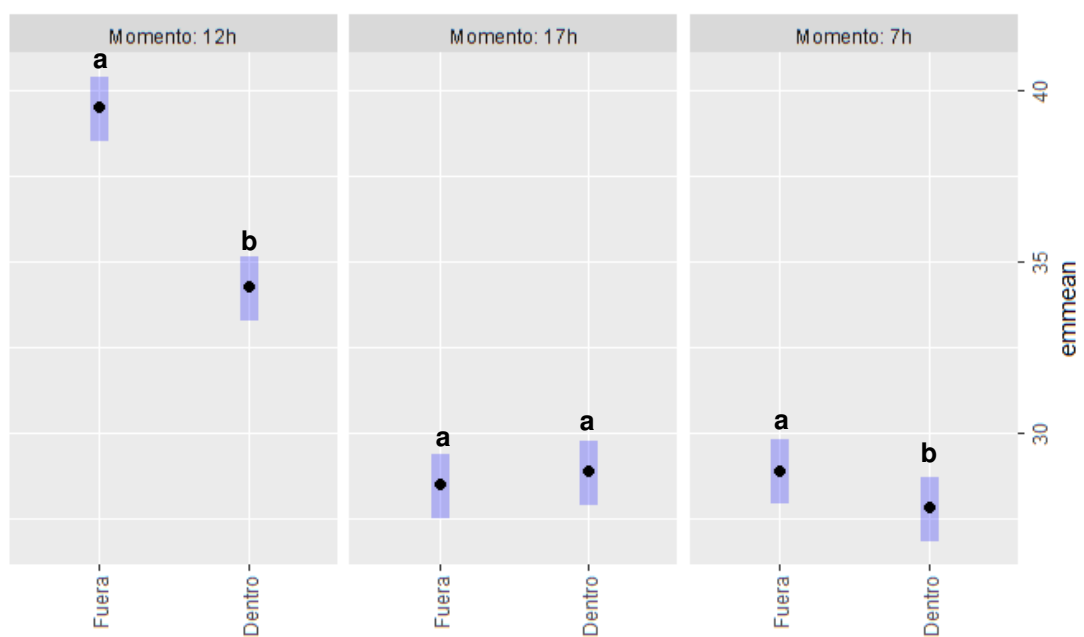
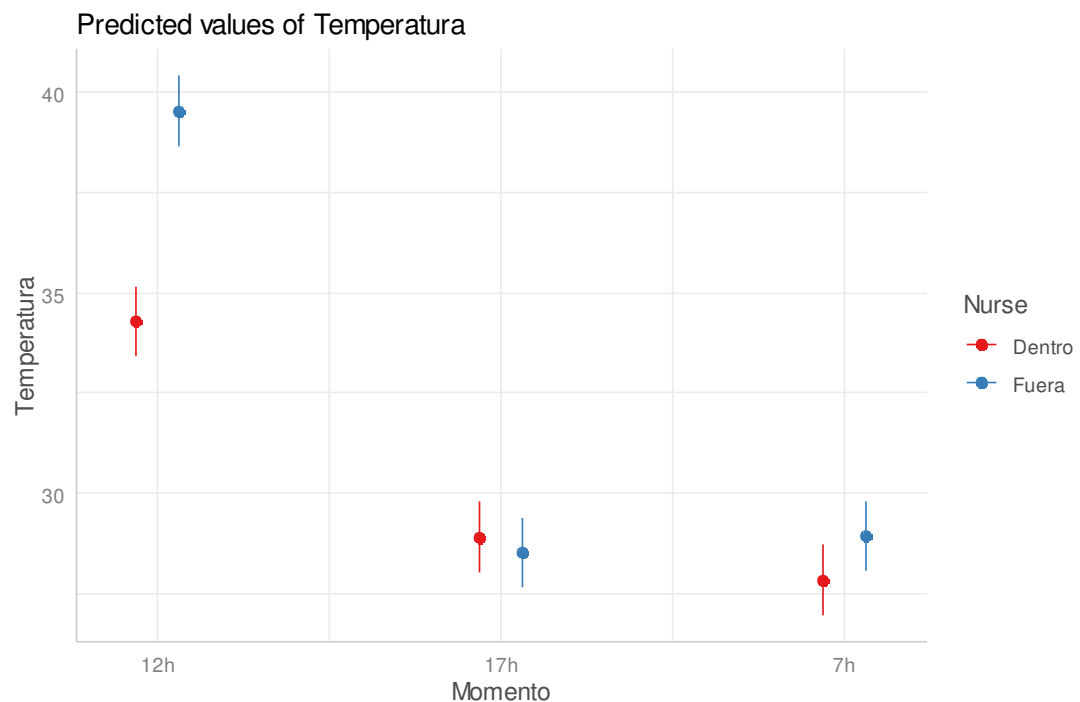


Figura 13. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de temperatura dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale* según en momentos del día (mañana, tarde y noche). Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.



Las medias marginales estimadas del LMM muestran el efecto nodriza de los árboles *O. pyramidale* en el microclima bajos sus copas (Figura 13), ya que la temperatura ambiental al medio día fue en promedio 5,3°C ($\pm 0,4$) menos dentro las copas de *O. pyramidale* que fuera de ellas. Mientras que por la mañana la temperatura ambiental fue en promedio 1,1°C ($\pm 0,4$) menos dentro las copas de *O. pyramidale* que fuera de ellas tal como se puede observar también en los valores predichos del modelo (Figura 14).

Figura 14. Comparación de los promedios predichos ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de temperatura del ambiente dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale* según en momentos del día (mañana, medio día y tarde).



4.4.1. Propiedades del suelo

b) Humedad del suelo

El LMM mostró que los árboles de *O. pyramidale* tuvieron un efecto significativo en el incremento de humedad del suelo ($p < 0,001$). Además, el factor aleatorio (árbol) también tuvo un efecto significativo en la variabilidad de la humedad del suelo ($p < 0,001$). En general, el modelo completo (efecto nodriza + factor aleatorio) ajustado explica un 66% de la variabilidad en la humedad del suelo, de este porcentaje solo el efecto nodriza explica el 31% de la variabilidad en la humedad del suelo.

Tabla 7. Resultados de modelo lineal mixto para evaluar el efecto de árboles de *Ochroma pyramidale* en la humedad del suelo. Teniendo como efecto aleatorio los individuos de *O. pyramidale*; y como factor fijo el efecto nodriza (dentro y fuera de copa). R^2_c = R^2 condicional; R^2_m = R^2 marginal.

Factores fijos			R^2_c	R^2_m
Factor	F	p	0,31	0,66
Efecto nodriza	70,7	< 0,001		
Factores aleatorios				
Factor	Varianza	p		
Topa	28,4 ± 5,3	< 0,001		
Residual	26,6 ± 5,1			

Las comparaciones del efecto nodriza de *O. pyramidale* en la humedad del suelo mostraron que la humedad del suelo bajo las copas de *O. pyramidale* fue significativamente superior a la humedad fuera de las copas ($p < 0,001$). Las medias marginales estimadas del LMM muestran el efecto nodriza de los árboles *O. pyramidale* en el microclima bajos sus copas (Figura 15), ya que la humedad del suelo fue en promedio 9,7% ($\pm 1,2$) más dentro las copas de *O. pyramidale* que fuera de ellas, tal como se puede observar también en los valores predichos del modelo (Figura 16).

Figura 15. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la humedad del suelo dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*. Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.

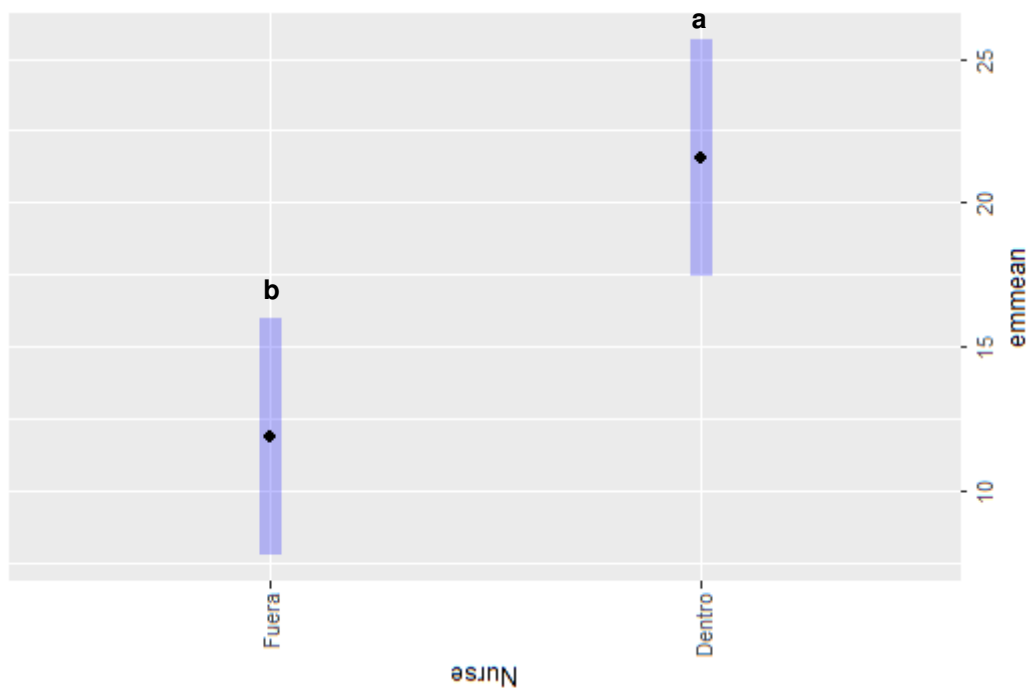
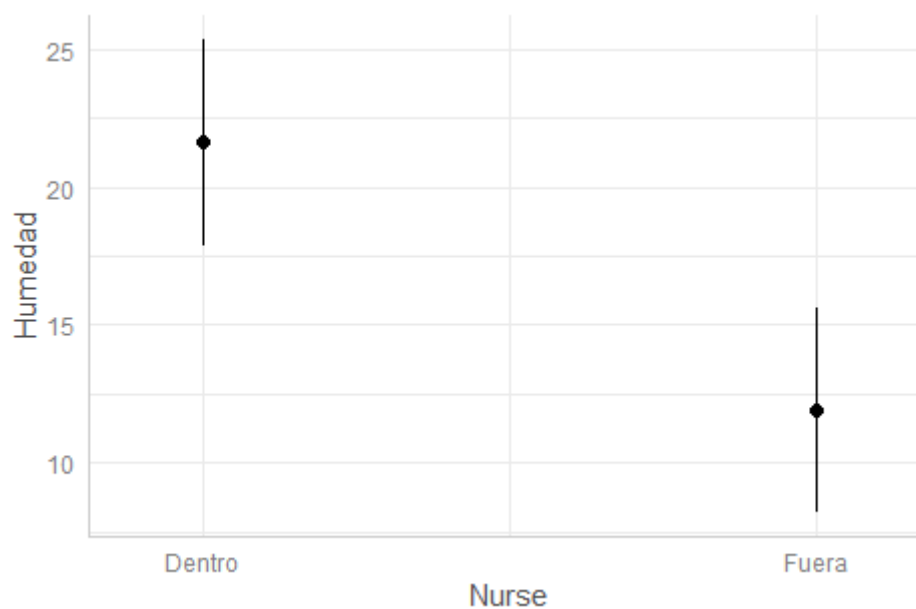


Figura 16. Comparación de los promedios predichos ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de la humedad del suelo dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*.



c) temperatura del suelo

El LMM mostró que los árboles de *O. pyramidale* tuvieron un efecto significativo en la disminución de la temperatura del suelo ($p < 0,001$). Además, el factor aleatorio (árbol) también tuvo un efecto significativo en la variabilidad de temperatura del suelo ($p < 0,001$). En general, el modelo completo ajustado (efecto nodriza + factor aleatorio) explica un 80% de la variabilidad en la temperatura del suelo, de este porcentaje solo el efecto nodriza explica el 58% de la variabilidad en la humedad del suelo.

Tabla 8. Resultados de modelo lineal mixto para evaluar el efecto de árboles de *Ochroma pyramidale* en la temperatura del suelo. Teniendo como efecto aleatorio los individuos de *O. pyramidale*; y como factor fijo el efecto nodriza (dentro y fuera de copa). R^2_c = R^2 condicional; R^2_m = R^2 marginal.

Factores fijos			R ² _c	R ² _m
Factor	F	p		
Efecto nodriza	231,8	< 0,001		
Factores aleatorios				
Factor	Varianza	p		
Topa	0,66 ± 0,8	< 0,001		
Residual	0,61 ± 0,7			

Las comparaciones del efecto nodriza de *O. pyramidale* en la humedad del suelo mostraron que la temperatura del suelo bajo las copas de *O. pyramidale* fue significativamente inferior a la temperatura fuera de las copas ($p < 0,001$). Las medias marginales estimadas del LMM muestran el efecto nodriza de los árboles *O. pyramidale* en el microclima bajos sus copas (Figura 17), ya que la temperatura del suelo fue en promedio 2,7°C ($\pm 1,2$) más bajos dentro las copas de *O. pyramidale* que fuera de ellas, tal como se puede observar también en los valores predichos del modelo (Figura 18).

Figura 17. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la temperatura del suelo dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*. Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.

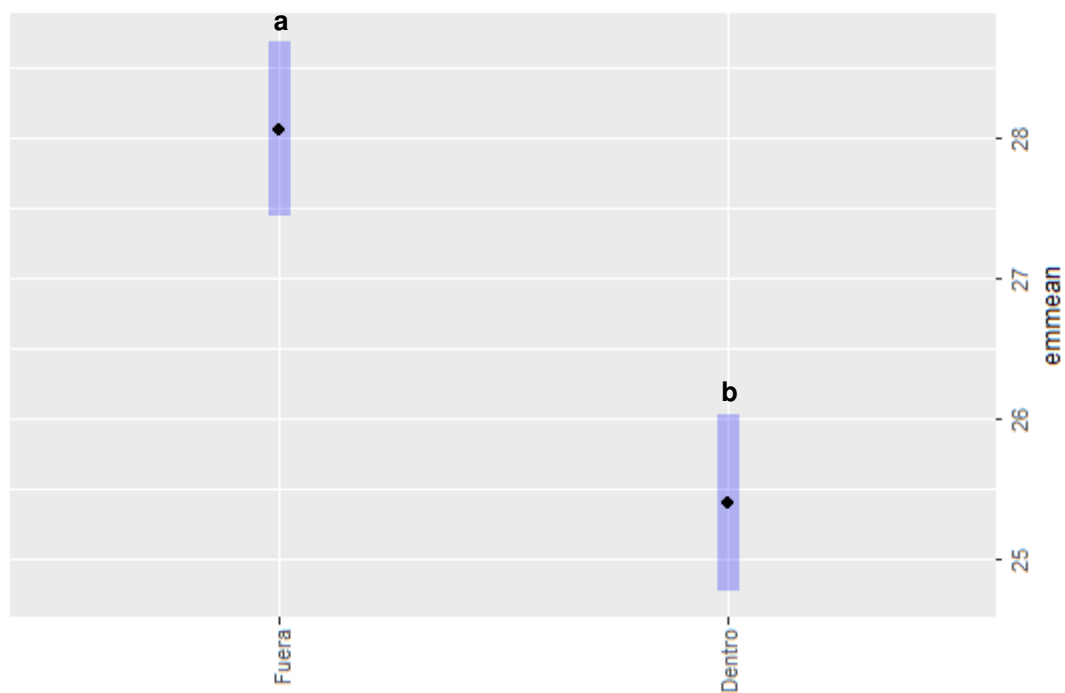


Figura 18. Comparación de los promedios predichos ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de la temperatura del suelo dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*.



d) Conductividad del suelo

El LMM mostró que los árboles de *O. pyramidale* tuvieron un efecto significativo en el incremento de conductividad del suelo ($p < 0,001$). Además, el factor aleatorio (árbol) también tuvo un efecto significativo en la variabilidad de la conductividad del suelo ($p < 0,001$). En general, el modelo completo (efecto nodriza + factor aleatorio) ajustado explica un 56% de la variabilidad en la conductividad del suelo, de este porcentaje el efecto nodriza explica el 25% de la variabilidad en la conductividad del suelo.

Tabla 9. Resultados de modelo lineal mixto para evaluar el efecto de árboles de *Ochroma pyramidale* en la conductividad del suelo. Teniendo como efecto aleatorio los individuos de *O. pyramidale*; y como factor fijo el efecto nodriza (dentro y fuera de copa). $R^2_c = R^2$ condicional; $R^2_m = R^2$ marginal.

Factores fijos			R ² _c	R ² _m
Factor	F	p	0.56	0.25
Efecto nodriza	44,2	< 0,001		
Factores aleatorios				
Factor	Varianza	p		
Topa	0,007 ± 0,03	< 0,001		
Residual	0,001 ± 0,03			

Las comparaciones del efecto nodriza de *O. pyramidale* en la conductividad del suelo mostraron que la conductividad del suelo bajo las copas de *O. pyramidale* fue significativamente superior a la conductividad del suelo fuera de las copas ($p < 0,001$). Las medias marginales estimadas del LMM muestran el efecto nodriza de los árboles *O. pyramidale* en el microclima edáfico bajo sus copas (Figura 19), ya que la conductividad del suelo fue en promedio 0,05 dS m⁻¹ ($\pm 0,01$) más dentro las copas de *O. pyramidale* que fuera de ellas, tal como se puede observar también en los valores predichos del modelo (Figura 20).

Figura 19. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la conductividad del suelo dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*. Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.

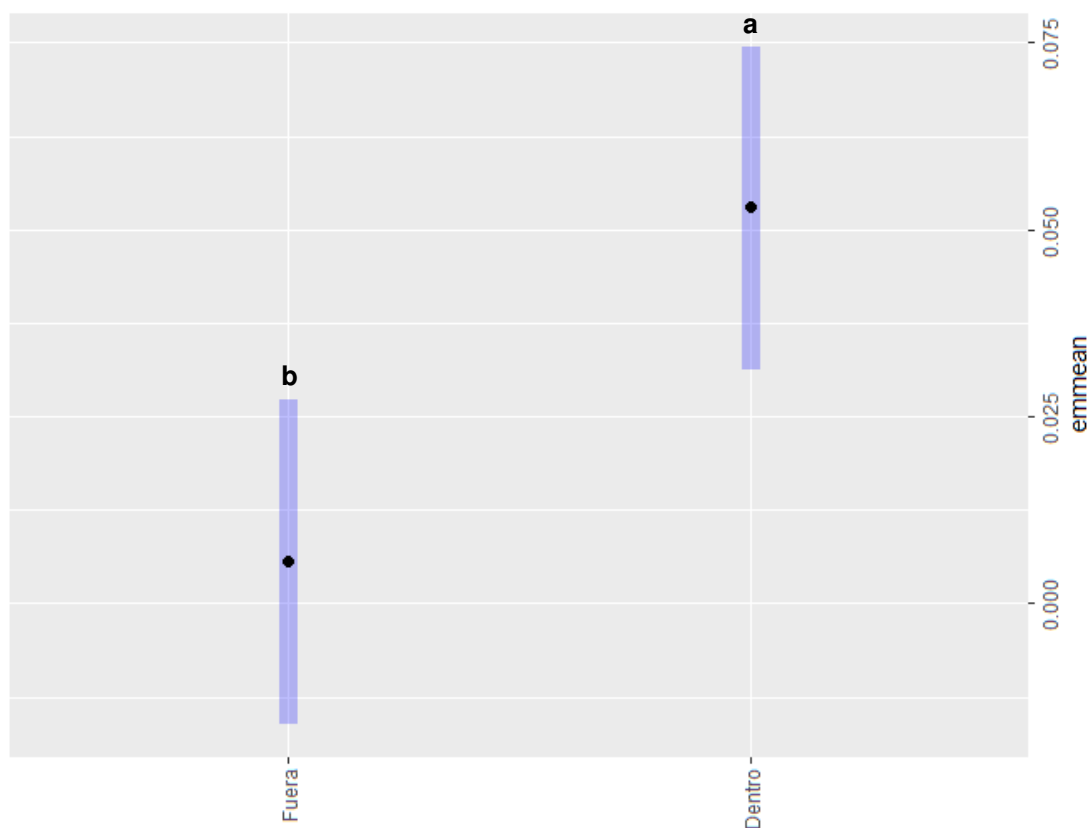


Figura 20. Comparación de los promedios predichos ($\pm$ intervalo de confianza 95%) de la conductividad del suelo dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*.



4.3 Estructura, riqueza, diversidad y composición florística de la regeneración natural establecida en bajo la cobertura de copa de *Ochroma pyramidale* en un área degradada y abandonada por la minería aurífera

Se registraron 348 individuos durante las evaluaciones de campo, distribuidos en 58 especies (Tabla 10 y Anexo 5), 43 géneros y 20 familias botánicas. En las parcelas ubicadas en el centro de la copa de *O. pyramidale* se encontró el mayor número de especies (48), seguido por las parcelas ubicadas en el borde de la copa, mientras que fuera de la copa solo se registraron 16 especies.

Tessaria integrifolia, *Ochroma pyramidale* y *Cecropia membranacea*, especies pioneras, fueron las especies más abundantes registradas en el estudio. Estas especies representaron en conjunto al 37,7% de los individuos registrados en el estudio. Por otro lado, las especies pertenecientes a sucesión temprana (por ejemplo, *Terminalia oblonga*, *Jacaranda glabra* y *Casearia arborea*) y tardía (por ejemplo, *Astronium lecointei*, *Handroanthus chrysanthus* y *Sapium marmieri*) fueron más abundantes en el centro de la copa de *O. pyramidale*. Mientras que 17 especies fueron tuvieron solo un registro en el estudio.

Tabla 10. Abundancia de las especies registradas en el estudio según la influencia de la copa de *O. pyramidale* y fuera de ellas,

Especie	Influencia de copa de <i>O. pyramidale</i>				Fuera de copa	
	Centro		Borde		Abundancia	Abundancia
	Abundancia	Abundancia	Abundancia	Abundancia		
		relativa (%)		relativa (%)		relativa (%)
<i>Tessaria integrifolia</i>	25	7,2	11	3,2	17	4,9
<i>Ochroma pyramidale</i>	18	5,2	10	2,9	13	3,7
<i>Cecropia membranacea</i>	14	4,0	20	5,7	3	0,9
<i>Solanum velutinum</i>	13	3,7	3	0,9		
<i>Ficus americana</i>	6	1,7	5	1,4	5	1,4
<i>Guazuma ulmifolia</i>	6	1,7	1	0,3		
<i>Chromolaena laevigata</i>	5	1,4	11	3,2	1	0,3
<i>Vernonanthura patens</i>	5	1,4	5	1,4	1	0,3
<i>Ficus pertusa</i>	5	1,4	3	0,9	1	0,3
<i>Machaerium hirtum</i>	5	1,4	1	0,3	1	0,3
<i>Lonchocarpus spiciflorus</i>	5	1,4	5	1,4		
<i>Cecropia engleriana</i>	5	1,4				
<i>Apeiba membranacea</i>	4	1,1	2	0,6	1	0,3
<i>Inga alba</i>	4	1,1				
<i>Terminalia amazonia</i>	4	1,1				
<i>Ceiba samauma</i>	3	0,9	1	0,3	1	0,3
<i>Schizolobium parahyba</i>	3	0,9	6	1,7		
<i>Ageratum conyzoides</i>	3	0,9	5	1,4		
<i>Laetia procera</i>	3	0,9	2	0,6		
<i>Senegalia polyphylla</i>	3	0,9	1	0,3		
<i>Andira inermis</i>	3	0,9				
<i>Barnebydendron riedelii</i>	3	0,9				
<i>Solanum grandiflorum</i>	2	0,6	2	0,6	1	0,3
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	2	0,6	1	0,3		
<i>Handroanthus serratifolius</i>	2	0,6	1	0,3		
<i>Annona hypoglauca</i>	2	0,6				
<i>Guatteria tomentosa</i>	2	0,6				
<i>Jacaranda glabra</i>	2	0,6				
<i>Muntingia calabura</i>	2	0,6				
<i>Myrcia splendens</i>	2	0,6				
<i>Sapium marmieri</i>	2	0,6				
<i>Vismia baccifera</i>	2	0,6				
<i>Warszewiczia coccinea</i>	2	0,6				
<i>Astronium lecontei</i>	1	0,3	3	0,9	2	0,6
<i>Senna multijuga</i>	1	0,3	3	0,9	1	0,3
<i>Casearia gossypiosperma</i>	1	0,3	1	0,3		
<i>Dalbergia monetaria</i>	1	0,3	1	0,3		
<i>Erechtites hieraciifolius</i>	1	0,3	1	0,3		
<i>Annona papilionella</i>	1	0,3				

<i>Casearia arborea</i>	1	0,3		
<i>Cecropia sciadophylla</i>	1	0,3		
<i>Erythrina poeppigiana</i>	1	0,3		
<i>Guatteria hirsuta</i>	1	0,3		
<i>Handroanthus chrysanthus</i>	1	0,3		
<i>Miconia crenata</i>	1	0,3		
<i>Ouratea iquitosensis</i>	1	0,3		
<i>Pseudalbizzia niopoides</i>	1	0,3		
<i>Sapium glandulosum</i>	1	0,3		
<i>Pterocarpus santalinoides</i>			2	0,6
<i>Pseudobombax septenatum</i>			1	0,3
<i>Terminalia oblonga</i>			1	0,3
<i>Ficus gomelleira</i>		2	0,6	
<i>Jacaranda copaia</i>		2	0,6	
<i>Calycophyllum megistocaulum</i>		1	0,3	
<i>Ceiba pentandra</i>		1	0,3	
<i>Ficus insipida</i>		1	0,3	
<i>Helia alata</i>		1	0,3	
<i>Himatanthus sucuuba</i>		1	0,3	

4.2.1 Efecto nodriza de *Ochroma pyramidale* en la estructura de la regeneración natural

a. Estructura vertical

Con respecto a la estructura vertical, se observó que bajo las copas de los árboles de *O. pyramidale* existe una mayor abundancia de la regeneración natural y se encontró individuos en todas las clases de altura (hasta 16 a < 18 cm), aunque varió según su ubicación entre dentro y fuera de la copa de los árboles. En las parcelas evaluadas en la parte central de la copa de *O. pyramidale* se encontraron individuos en todas las clases de altura, mientras que en las parcelas de borde de bosque solo se encontraron individuos en las primeras seis clases de altura, ya que solo se registraron individuos de menos de 12 m de altura. Por otro lado, fuera de la copa de los árboles se encontraron individuos en las primeras cinco clases de altura (<10 m). En todas las clases de altura la abundancia de los individuos de regeneración natural registrados fuera de la copa de *O. pyramidale* fue inferior a los registrados en centro y borde de la copa (Figura 21).

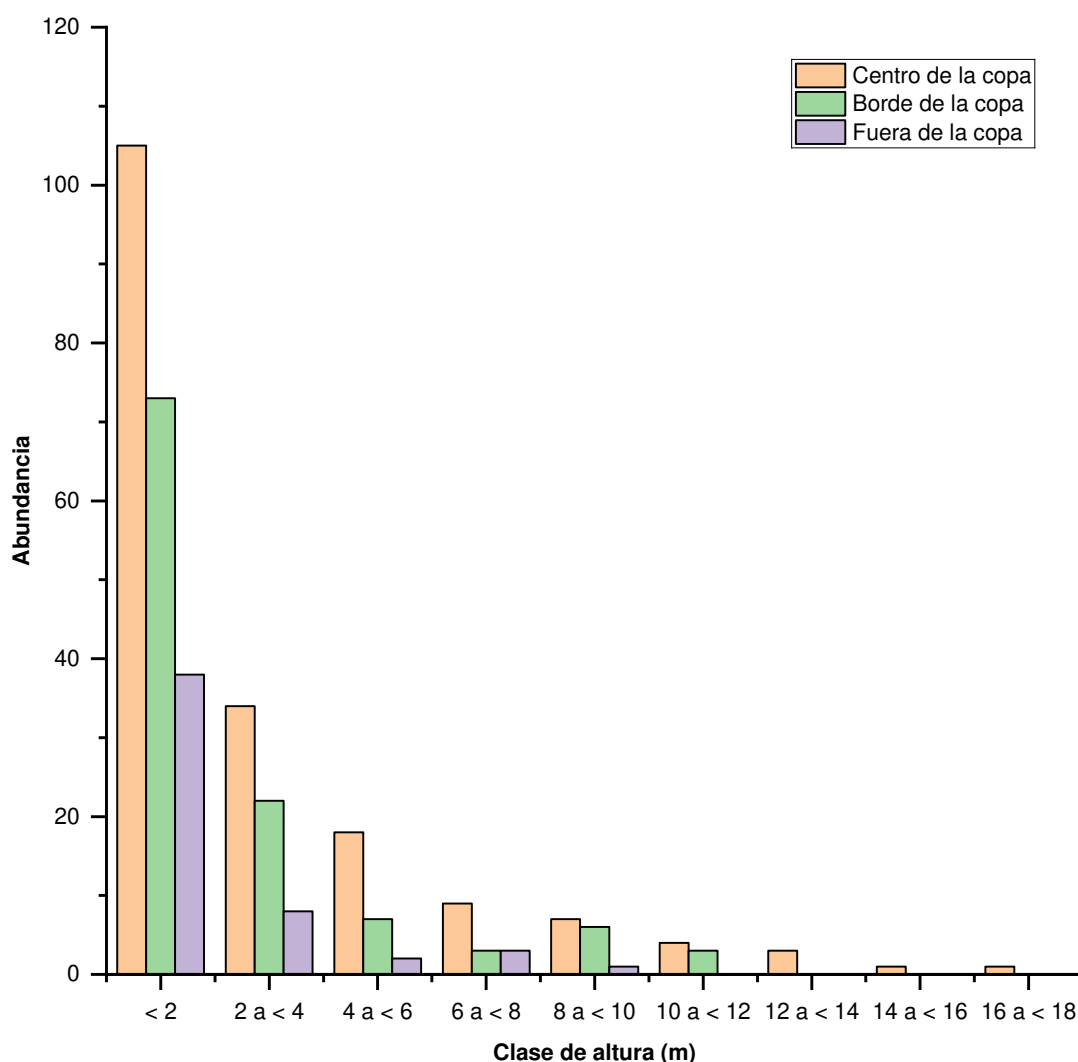


Figura 21. Comparación del número de individuos registrados según clase de altura entre el centro, borde y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*.

b. Estructura horizontal

Con respecto a la estructura horizontal, se observó que bajo las copas de los árboles de *O. pyramidale* existe una mayor abundancia de la regeneración natural y se encontró individuos en todas las clases de diámetro (hasta 16 a < 18 cm), aunque varió según su ubicación entre dentro y fuera de la copa de los árboles. En las parcelas evaluadas en la parte central de la copa de *O. pyramidale* se encontraron individuos en todas las clases de diámetro, mientras que en las parcelas de borde de bosque solo se encontraron individuos en las primeras seis clases de altura, ya que solo se registraron individuos de menos de 10 cm de diámetro. Por otro lado, fuera de la copa de

los árboles se encontraron individuos en las primeras cinco clases de altura (<10 cm). En todas las clases de altura la abundancia de los individuos de regeneración natural registrados fuera de la copa de *O. pyramidale* fue inferior a los registrados en centro y borde de la copa (Figura 22).

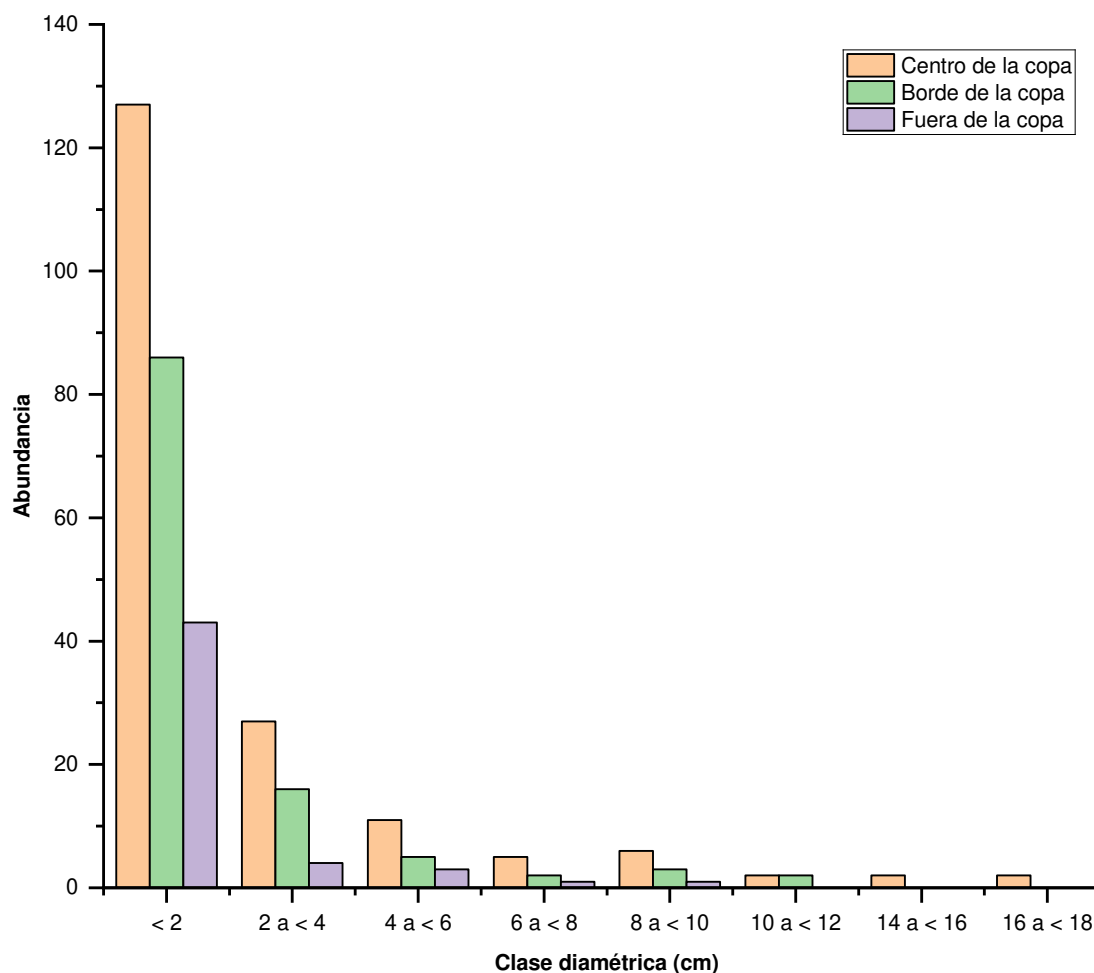


Figura 22. Comparación del número de individuos registrados según clase de diámetro entre el centro, borde y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*.

4.2.2 Efecto nodriza de *Ochroma pyramidale* Abundancia y diversidad de la regeneración natural

Se encontró un efecto significativo de *O. pyramidale* en el establecimiento de la regeneración natural bajo sus copas, ya que la abundancia, riqueza (q^0) y diversidad de especies (q^1 y q^2) fueron significativamente superiores dentro de la cobertura de las copas que fuera de ellas ($p < 0,05$). Las diferencias en la abundancia y diversidad de especies más grandes se observaron entre las parcelas ubicadas en el centro de la copa de los árboles y las ubicadas fuera

de la copa de *O. pyramidale*, ya que fueron entre 3,5 a 8,5 veces más. Por otro lado, se encontraron diferencias significativas en entre el centro de copa y el borde copa ($p < 0,05$), ya que la abundancia y diversidad de especies (q^0 , q^1 y q^2) fue entre 1,5 a 2,1 veces más que la encontrada en el borde de la copa de los árboles de *O. pyramidale* (Tabla 11).

Tabla 11. Comparación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la abundancia, riqueza (q^0) y diversidad de especies (q^1 y q^2) dentro y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale* mediante un modelo lineal mixto. Letras diferentes representan diferencias significativas utilizando el método Kenward-Roger con el ajuste Tukey.

	Bajo copa de <i>O. pyramidale</i>		Fuera de copa de <i>O. pyramidale</i>
	Centro de copa	Borde de copa	Fuera de copa
Abundancia	18,20 $\pm$ 5,05 a	11,40 $\pm$ 2,46 b	5,20 $\pm$ 3,08 c
q^0	11,10 $\pm$ 2,69 a	6,70 $\pm$ 2,16 b	2,80 $\pm$ 1,69 c
q^1	9,73 $\pm$ 2,57 a	6,07 $\pm$ 2,06 b	2,53 $\pm$ 1,66 c
q^2	8,55 $\pm$ 2,48 a	5,57 $\pm$ 1,96 b	2,41 $\pm$ 1,64 c
Fisher	15,12 $\pm$ 8,04 a	7,37 $\pm$ 6,37 b	1,77 $\pm$ 2,64 b

Los resultados del análisis de correlación las variables dasométricas y de morfometría de copa de los árboles de *Ochroma pyramidale* con la abundancia, riqueza y diversidad de especies de la regeneración natural encontrada bajo las copas de *O. pyramidale* se muestran en la Figura 23 y Figura 24. En la parte central de la copa, el DAP se relacionó de forma positiva y significativa con la diversidad de especies ($r > 0,6$; $p < 0,05$), la altura de inserción de copa y diámetro de copa se relacionaron de forma positiva y significativa con la abundancia y riqueza de especies ($r > 0,65$; $p < 0,05$). Mientras que la proporción de copa se relacionó de forma inversa y significativa con la riqueza de especies (q^0 , $r = 0,64$; $p < 0,05$). Esto sugiere que arboles con un mayor DAP, altura de inserción de copa y diámetro de copa tienden a albergar una mayor abundancia y diversidad de especies (Figura 23). Por otro lado, considerando las parcelas ubicadas en el borde de la copa de *O. pyramidale*, no se encontró relaciones significativas entre las

características dasométricas y morfométricas de copa con la abundancia, riqueza y diversidad de especies ($p > 0,05$) (Figura 24).

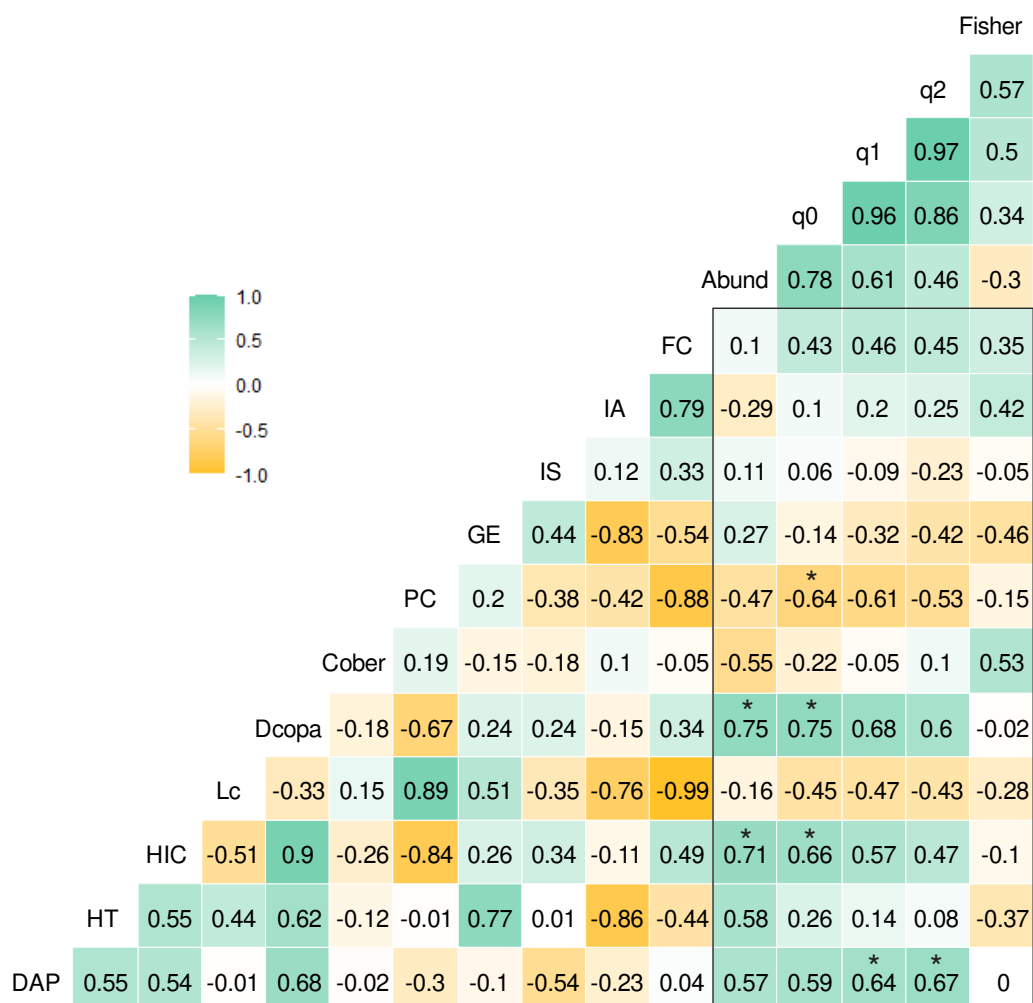


Figura 23. Correlación entre las variables dasométricas y de morfometría de copa de los árboles de *Ochroma pyramidale* con la abundancia, riqueza y diversidad de especies de la regeneración natural encontrada en la parte central de la copa de *O. pyramidale*. Los valores de cada celda corresponden a valores del coeficiente de correlación Pearson. Los asteriscos representan relaciones significativas ($p < 0,05$).

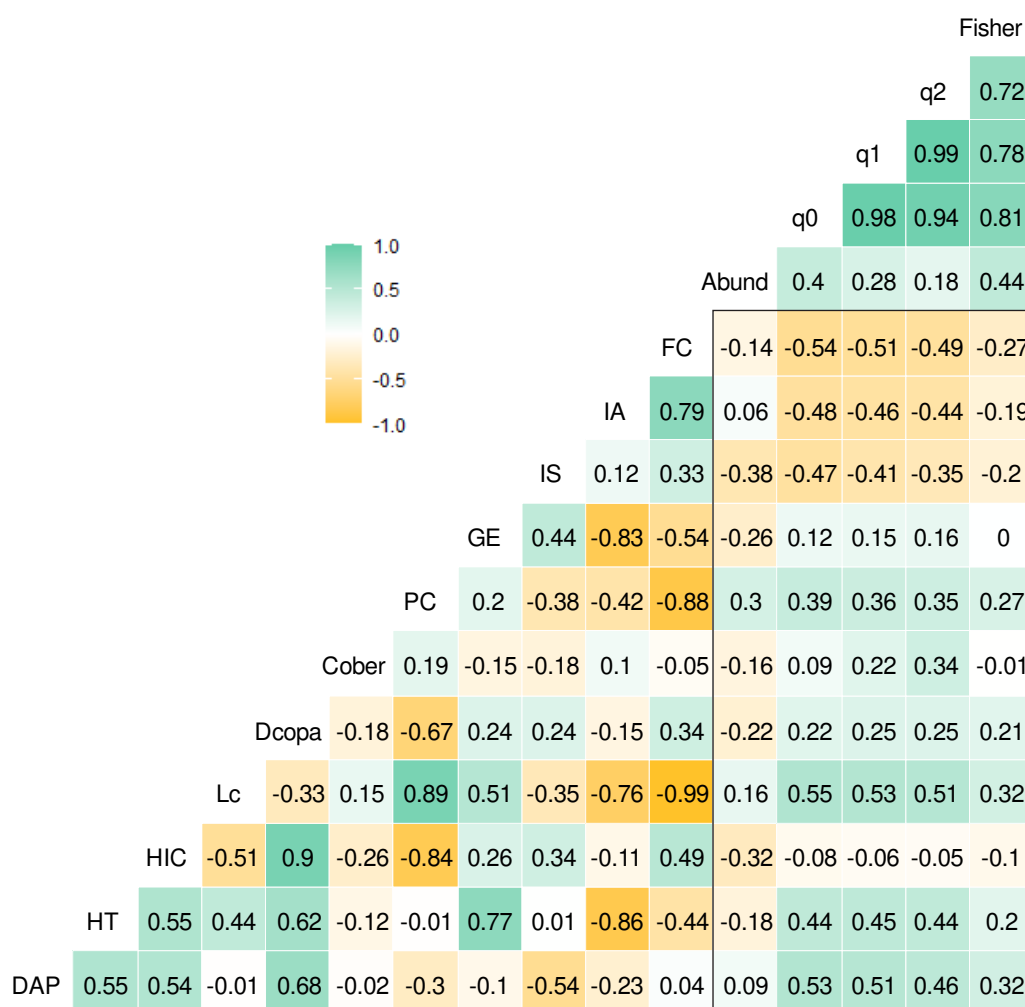


Figura 24. Correlación entre las variables dasométricas y de morfometría de copa de los árboles de *Ochroma pyramidale* con la abundancia, riqueza y diversidad de especies de la regeneración natural encontrada en el borde de la copa de *O. pyramidale*. Los valores de cada celda corresponden a valores del coeficiente de correlación Pearson. Los asteriscos representan relaciones significativas ($p < 0,05$).

4.2.1 Efecto nodriza de *Ochroma pyramidale* en la composición de especies de la regeneración natural

Los resultados del PERMANOVA sugieren un efecto nodriza significativo de *O. pyramidale* en la composición de especies de regeneración natural que se establecen bajos sus copas ($p = 0,003$). Además, se encontró que un 17% de la variación en la composición de especies está relacionado con el factor fijo,

mientras que el factor aleatorio (árbol) explicaría un 31% de la variabilidad en la composición de especies.

Tabla 12. Resultados de PERMANOVA basado en la distancia de Bray-Curtis para evaluar el efecto nodriza de árboles de *Ochroma pyramidale* en la composición de especies. Teniendo como efecto aleatorio los individuos de *O. pyramidale*; y como factor fijo el efecto nodriza (dentro [centro y borde] y fuera de copa).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Pseudo-F	<i>p</i>
Efecto nodriza (fijo)	10832	2,29	0,003
Topa (aleatorio)	47985	2,26	0,001
Residual	42536		

Mediante las comparaciones múltiples del PERMANOVA, se encontraron diferencias significativas en la composición de especies entre las parcelas que estuvieron en el centro de la copa y en el borde de copa ($p < 0,05$), y entre el centro de copa y fuera de la copa ($p < 0,05$). Estas diferencias se justifican en la baja similitud en la composición de especies (14-21%). Sin embargo, entre las parcelas ubicadas en el borde de la copa y fuera de la copa de *O. pyramidale* no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 13. Resultados de las comparaciones múltiples del PERMANOVA basado en la distancia de Bray-Curtis para evaluar el efecto nodriza de árboles de *Ochroma pyramidale* en la composición de especies.

Comparación de similitud en la composición de especies	<i>t</i>	<i>p</i>
Borde de copa vs Centro de copa	1.6008	0.029
Borde de copa vs Fuera de copa	1.2895	0.144
Centro de copa vs Fuera de copa	1.663	0.015

Tabla 14. Comparaciones del promedio de similitud en la composición de especies entre dentro (centro y borde) y fuera de la copa de *Ochroma pyramidale*.

	Borde de copa	Centro de copa	Fuera de copa
Borde de copa	21,5 %		
Centro de copa	21,4 %	26,3 %	
Fuera de copa	15,2 %	14,1 %	13,8 %

Por otro lado, para analizar que variables dasométricas o morfométricas de los árboles de *O. pyramidale* se relacionan significativamente con la composición de especies se realizó un PERMANOVA considerando a estas como covariables. Los resultados mostraron que la composición de especies bajo la copa de los árboles estaría afectada de forma significativa por el DAP (PERMANOVA, $p < 0,05$), grado de esbeltez de los árboles de *O. pyramidale* (PERMANOVA, $p < 0,05$) y por el porcentaje de cobertura de copa (PERMANOVA, $p < 0,05$) generado por estas.

Tabla 15. Resultados de PERMANOVA basado en la distancia de Bray-Curtis para evaluar el efecto nodriza de árboles de *Ochroma pyramidale* en la composición de especies y su relación con las variables dasométricas y de morfometría de copa de los árboles nodriza.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Pseudo-F	<i>p</i>
DAP	5346,3	2,00	0,031
Altura total	3009,2	1,13	0,343
Altura de inserción de copa	4040	1,51	0,14
Diámetro de copa	3319,7	1,24	0,255
Cobertura de copa	9635,9	3,61	0,002
Proporción de copa	4195,4	1,57	0,113
Grado de esbeltez	6322,9	2,37	0,016
Índice de saliencia	3915,3	1,47	0,153
Efecto nodriza	10832	2,03	0,008
Residual	50737		

4.4 Discusiones

Morfometría de copa

Las mediciones de la copa también son importantes para la gestión forestal de plantas nodrizas, ya que estas características son indicadores de la vitalidad de los árboles (Machado et al. 2017; Garate-Quispe et al. 2022) y permiten la modificación de los microclima bajo sus copa, por lo tanto desempeñan un rol clave para varios procesos ecológicos (Melo-cruz y Rodríguez-santos 2012) que permiten el establecimiento de regeneración natural bajo las copas de los árboles nodriza.

En la sucesión temprana de las áreas degradadas por la minería en el área de estudio, la forma y estructura de la copa de *O. pyramidale* estarían creando un entorno ideal para las especies vegetales que requieren mucha luz en el sotobosque y, a su vez, proporcionan sombra para el establecimiento de especies arbóreas de sucesión media y tardía (Vleut et al. 2013).

El rápido crecimiento de *O. pyramidale* en áreas degradadas por la minería permite un mejor desarrollo de sus copas y, en consecuencia, una mayor asignación de biomasa a las ramas, lo que mejora el área de proyección y la longitud de la copa (de Oliveira et al. 2021). El promedio de proporción de copa (51%) de los árboles nodriza de *O. pyramidale* sugiere que estos árboles tiene tasas normales de crecimiento, ya que valores menores al 40% sugieren alta competencia (de Oliveira et al. 2021). Por otro lado, el rápido crecimiento de la copa de *O. pyramidale* genera una cobertura forestal cerrada bajo sus copas, creada por las grandes hojas y aumentan las oportunidades de competencia entre otras plantas (Vleut et al. 2013).

Efecto nodriza en la regeneración natural

La restauración es un proceso largo, ya que los ecosistemas afectados han perdido su biodiversidad y la mayor parte de sus funciones y servicios ecosistémico (Bashirzadeh, Shefferson y Farzam 2022). Al ser sésiles, las plantas son especialmente sensibles a las condiciones microambientales, ya que estas afectan directamente a su supervivencia, crecimiento y reproducción (Díaz-Talamantes et al. 2025). Esto es importante en un

contexto de áreas degradadas y abandonadas por la minería, que genera grandes extensiones de terreno con suelos severamente degradados, déficit hídrico, y altos niveles de temperatura debido a que están desprovistas de cobertura vegetal. Con el presente estudio se demuestra que *O. pyramidale* puede mejorar significativamente las condiciones microclimáticas. Por lo tanto, debido a su rápido crecimiento, *O. pyramidale* puede facilitar el reclutamiento de especies arbóreas nativas y mejorar el crecimiento de los bosques secundarios en términos de atributos estructurales hacia bosques en etapa de sucesión tardía (Vleut et al. 2013). Debido a que la biodiversidad suele asociarse con el aumento de las funciones o los servicios ecosistémicos (Bashirzadeh, Shefferson y Farzam 2022).

Estudiar todos los componentes de la biodiversidad vegetal es importante para comprender los procesos que dan forma a los patrones de biodiversidad y los efectos de las interacciones bióticas en ecosistemas severamente degradados (Rafiee et al. 2023). Estudios previos sugieren que la facilitación por parte de los arbustos o árboles nodriza puede promover la diversidad de las comunidades beneficiarias en condiciones de alto déficit hídrico al aumentar la supervivencia (Danet et al. 2024; Woods, Maleta y Ortmann 2021; Zhou et al. 2024). Esto coincide con los resultados del estudio, ya que la abundancia y diversidad de especies fue superior en las parcelas dentro de la cobertura de copa de *O. pyramidale* que fuera de ellas. Por lo tanto, los árboles nodriza de *O. pyramidale* permitirían el establecimiento y desarrollo (área basal y la altura de los árboles) de la vegetación en las áreas degradadas por la minería. Esto podría facilitar el proceso de restauración y recuperación de la estructura horizontal y vertical de la regeneración natural, además aumentaría la acumulación de materia orgánica en el suelo, debido a su rápida renovación foliar, y mejores condiciones microclimáticas para el establecimiento de plantas (Vleut et al. 2013).

Por otro lado, la baja diversidad y abundancia de especies fuera de la cobertura de copa de *O. pyramidale* se debería a que en condiciones de estrés ambiental que dificultan el rendimiento fotosintético de las plantas, la luz solar directa puede resultar perjudicial para las plantas, ya que el exceso de luz

absorbida no puede disiparse de forma segura (Norisada et al. 2005), generando de esta manera altas tasas de mortalidad. Por lo tanto, la menor la menor temperatura y mayor humedad observada bajo la cobertura de *O. pyramidale* sería un entorno favorable para el establecimiento de la regeneración natural.

Efecto nodriza en el microclima

Las especies nodrizas pueden proporcionar diferentes condiciones microclimáticas y edafológicas bajo su dosel (Venier et al. 2023), este efecto puede presentarse mediante la reducción de la radiación, la temperatura y la humedad relativa (Jiménez et al. 2024). Los resultados mostraron que el microclima cambió drásticamente bajo la copa de *O. pyramidale*, reduciendo la temperatura y apertura de dosel, y manteniendo una mayor humedad relativa. Por lo tanto, la menor temperatura, intensidad lumínica y mayor humedad bajo la copa de *O. pyramidale* resultaría favorable para el establecimiento y desarrollo de la regeneración natural (Randé et al. 2023; Rafiee et al. 2023). Ya que la menor intensidad lumínica y los menores déficits de presión de vapor observados bajo el dosel podrían reducir la evapotranspiración, lo que beneficiaría a las plántulas que crecen con un suministro de agua limitado (Norisada et al. 2005), como es el caso de las áreas degradadas por la minería.

Por otro lado, se observó que el efecto nodriza en la reducción de la temperatura fue mayor al medio día (-5.3°C en promedio), esto brindaría una ventaja adicional a la regeneración natural que se establezca bajo las copas de *O. pyramidale*. Debido a que las plántulas de los sitios sin sombra experimentan aumentos bruscos de la temperatura de las hojas cuando los estomas se cierran al mediodía (Norisada et al. 2005).

CONCLUSIONES

El diámetro promedio de los árboles de *O. pyramidale* fue de 25,4 cm ($\pm 4,3$), la altura promedio de los árboles fue de 14 m (± 3), y el diámetro de copa varió entre 8,9 a 13,7 m ($11,3 \pm 1,5$ cm). La proporción de copa promedio de los árboles de *O. pyramidale* fue de 51,2 ($\pm 15,3$), la forma de copa varió entre 0,9 a 2,7 ($1,7 \pm 0,6$), el grado de esbeltez varió entre 0,4 a 0,7 ($0,5 \pm 0,1$), y el índice de saliencia varió entre 0,4 a 0,54 ($11,3 \pm 1,5$).

Ochroma pyramidale tuvo un efecto significativo en la regulación microclimática y la abundancia y diversidad de la regeneración natural, ya que la temperatura ambiental y del suelo fueron superiores dentro las copas de los árboles que fuera de ellas (-2.7° a -5.3° °C), y la humedad relativa fue significativamente menor fuera de las copas ($+9.7\%$ a $+11.5\%$).

Por otro lado, la abundancia y diversidad de especies fue mayor en las copas de los árboles de *O. pyramidale* (centro y borde) que fuera de la proyección de copa. Los resultados sugieren que arboles con un mayor diámetro, altura de inserción de copa y diámetro de copa tienden a albergar una mayor abundancia y diversidad de especies de regeneración natural en sus copas. Por otro lado, se encontró un efecto nodriza significativo de *O. pyramidale* en la composición de especies de regeneración natural que se establecen bajo sus copas.

Finalmente, se acepta la hipótesis planteada sobre que *O. pyramidale* acelera la sucesión ecológica proporcionando microhábitats favorables a otras plantas, reduce significativamente la temperatura y mantiene una mayor humedad. Por lo tanto, puede facilitar el establecimiento de especies y estimular el crecimiento estructural de la vegetación en áreas degradadas por minería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-NAMAZI, A.A. y BONSER, S.P., 2022. Island biogeography, competition, and abiotic filtering together control species richness in habitat islands formed by nurse tree canopies in an arid environment. *Communicative and Integrative Biology* [en línea], vol. 15, no. 1, pp. 232-239. ISSN 19420889. DOI 10.1080/19420889.2022.2139471. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/19420889.2022.2139471>.
- ALARCON-AGUIRRE, G., CANAHUIRE ROBLES, R.R., GUEVARA DUAREZ, F.M., RODRÍGUEZ ACHATA, L., GALLEGOS CHACÓN, L.E. y GARATE-QUISPE, J., 2021. Dynamics of forest loss in the southeast of the Peruvian Amazon: a case study in Madre de Dios. *Ecosistemas* [en línea], vol. 30, no. 2, pp. 1-11. ISSN 16972473. DOI 10.7818/ECOS.2175. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/2175>.
- ALARCÓN-AGUIRRE, G., SAJAMI QUISPE, E., VÁSQUEZ ZAVALA, T., PONCE TEJADA, L.V., RAMOS ENCISO, D., RODRÍGUEZ ACHATA, L. y GARATE-QUISPE, J., 2023. Vegetation dynamics in lands degraded by gold mining in the southeastern Peruvian Amazon. *Trees, Forests and People* [en línea], vol. 11, pp. 100369. ISSN 26667193. DOI 10.1016/j.tfp.2023.100369. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100369>.
- ALVAREZ-MONTALVÁN, C., PARRA, C., ALVAREZ, J., CÓRDOVA-MENDOZA, P., JULIAN-LAIME, E. y LAREDO, I., 2022. High Andean Woody Plants, between Nursing and Competition Effects in a High Andean Polylepis Forests. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1009, no. 1, ISSN 17551315. DOI 10.1088/1755-1315/1009/1/012010.
- ANTHELME, F., CAUVY-FRAUNIE, S., FRANCOU, B., CÁCERES, B. y DANGLES, O., 2021. Living at the Edge: Increasing Stress for Plants 2–13 Years After the Retreat of a Tropical Glacier. *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 9, no. February, ISSN 2296701X. DOI 10.3389/fevo.2021.584872.
- APG IV, (Angiosperm Phylogeny Group), CHASE, M.W., CHRISTENHUSZ, M.J.M., FAY, M.F., BYNG, J.W., JUDD, W.S., SOLTIS, D.E., MABBERLEY, D.J., SENNIKOV, A.N., SOLTIS, P.S., STEVENS, P.F., BRIGGS, B., BROCKINGTON, S., CHAUTEMS, A., CLARK, J.C., CONRAN, J., HASTON, E., MÖLLER, M., MOORE, M., OLMSTEAD, R., PERRET, M., SKOG, L., SMITH,

- J., TANK, D., VORONTSOVA, M. y WEBER, A., 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 181, no. 1, pp. 1-20. DOI 10.1111/boj.12385.
- BASHIRZADEH, M., SHEFFERSON, R.P. y FARZAM, M., 2022. Plant–plant interactions determine natural restoration of plant biodiversity over time, in a degraded mined land. *Ecology and Evolution* [en línea], vol. 12, no. 5, pp. e8878. [consulta: 30 mayo 2025]. ISSN 2045-7758. DOI 10.1002/ECE3.8878. Disponible en: [/doi/pdf/10.1002/ece3.8878](https://doi/pdf/10.1002/ece3.8878).
- CABALLERO, J., MESSINGER, M., ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L. y SILMAN, M., 2018. Deforestation and Forest Degradation Due to Gold Mining in the Peruvian Amazon: A 34-Year Perspective. *Remote Sensing* [en línea], vol. 10, no. 12, pp. 1903. ISSN 2072-4292. DOI 10.3390/rs10121903. Disponible en: <http://www.mdpi.com/2072-4292/10/12/1903>.
- CHAMBI-LEGOAS, R., ORTEGA RODRIGUEZ, D.R., FIGUEIREDO, F. de M. de, PEÑA VALDEIGLESIAS, J., ZEVALLOS POLLITO, P.A., MARCELO-PEÑA, J.L. y ROTHER, D.C., 2021. Natural Regeneration After Gold Mining in the Peruvian Amazon: Implications for Restoration of Tropical Forests. *Frontiers in Forests and Global Change*, vol. 4, no. July, pp. 1-10. ISSN 2624893X. DOI 10.3389/ffgc.2021.594627.
- CRAFT, C., 2022. Ecological theory and restoration. *Creating and Restoring Wetlands* [en línea]. S.I.: Elsevier, pp. 57-91. ISBN 9780128239810. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128239810000058>.
- DANET, A., BAUTISTA, S., GÉNIN, A., BECKERMAN, A.P., ANTHELME, F. y KÉFI, S., 2024. Species diversity promotes facilitation under stressful conditions. *Oikos* [en línea], vol. 2024, no. 9, pp. e10303. [consulta: 30 mayo 2025]. ISSN 16000706. DOI 10.1111/oik.10303. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85190839805&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28nurse+plant%29&sessionSearchId=2834195d851f80c53801eee98dda51db&relpos=88>.
- DE OLIVEIRA, R.G., DE SOUZA, A.S., DOS SANTOS, V.A.H.F., DE LIMA, R.M.B. y

- FERREIRA, M.J., 2021. Long-term effects of plant spacing on the growth and morphometry of *Bertholletia excelsa*. *Acta Amazonica*, vol. 51, no. 3, pp. 181-190. ISSN 00445967. DOI 10.1590/1809-4392202003611.
- DÍAZ-TALAMANTES, R., GONZÁLEZ, E.J., MUÑOZ, R., ENRÍQUEZ, M., DÁVILA-HERNÁNDEZ, G., SANDOVAL-GRANILLO, V., LEBRIJA-TREJOS, E. y MEAVE, J.A., 2025. Successional Growth Dynamics of Woody Saplings in Tropical Dry Forest Understory. *Biotropica*, vol. 57, no. 3, ISSN 17447429. DOI 10.1111/BTP.70046.
- DIEMONT, S.A.W., BOHN, J.L., RAYOME, D.D., KELSEN, S.J. y CHENG, K., 2011. Forest Ecology and Management Comparisons of Mayan forest management , restoration , and conservation. *Forest Ecology and Management* [en línea], vol. 261, no. 10, pp. 1696-1705. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/j.foreco.2010.11.006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.006>.
- FAGUNDES, M.V., OLIVEIRA, R.S., FONSECA, C.R. y GANADE, G., 2022. Nurse-target functional match explains plant facilitation strength. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* [en línea], vol. 292, no. March, pp. 152061. ISSN 03672530. DOI 10.1016/j.flora.2022.152061. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2022.152061>.
- FILAZZOLA, A. y LORTIE, C.J., 2014. A systematic review and conceptual framework for the mechanistic pathways of nurse plants. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 23, no. 12, pp. 1335-1345. ISSN 14668238. DOI 10.1111/geb.12202.
- GARATE-QUISPE, J., VELÁSQUEZ, M., ALARCON-AGUIRRE, G., HERRERA-MACHACA, M. y DEL CASTILLO, D., 2023. Influence of Distance from Forest Edges on Spontaneous Vegetation Succession Following Small-Scale Gold Mining in the Southeast Peruvian Amazon. *Diversity* [en línea], vol. 15, no. 6, pp. 793. ISSN 1424-2818. DOI 10.3390/d15060793. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-2818/15/6/793>.
- GARATE-QUISPE, J.S., USCA-MANDUJANO, M., MACHACA, M.H. y ALARCÓN-AGUIRRE, G., 2022. Efecto del espaciamiento de plantación en la morfometría de copa de *Bertholletia excelsa* Bonpl . (castaña) en la Amazonía Peruana Effect of plant spacing on crown morphometry of *Bertholletia excelsa* Bonpl . (Brazil nut) in the Peruvian Amazon. *Informacion Tecnologica*, vol. 33, no. 3, pp.

179-188. DOI 10.4067/S0718-07642022000300179.

GONZÁLEZ, E., 2003. *Ecología Forestal*. S.l.: s.n.

GONZÁLEZ, O.H., 2021. An approach to the different types of nonprobabilistic sampling. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, vol. 37, no. 3, pp. 6-8. ISSN 15613038.

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C., 2018. *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. S.l.: McGraw-Hill. ISBN 978-1-4562-6096-5.

HILL, M., 2013. Diversity and Evenness : A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*, vol. 54, no. 2, pp. 427-432. DOI 10.2307/1934352.

JIMÉNEZ, M.D., DELGADO, J.A., LUQUE-FERNÁNDEZ, C.R., PAUCA-TANCO, G.A. y VILLEGAS-PAREDES, L.N., 2024. A new approach for restoring tropical dry forests: Using local shrubs as nurse plants to improve the recruitment of *Tara spinosa* in Lomas de Atiquipa (Andean Region, Perú). *Global Ecology and Conservation* [en línea], vol. 53, pp. e03004. [consulta: 30 mayo 2025]. ISSN 2351-9894. DOI 10.1016/J.GECCO.2024.E03004. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989424002087?via%3Dihub>.

KÖNIG, L.A., MEDINA-VEGA, J.A., LONGO, R.M., ZUIDEMA, P.A. y JAKOVAC, C.C., 2023. Restoration success in former Amazonian mines is driven by soil amendment and forest proximity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 378, no. 1867, ISSN 14712970. DOI 10.1098/rstb.2021.0086.

LEAÑO, C. y SARAIVA, P., 1998. *Monitoreo de parcelas Permanentes de Medición en el Bosque Chimanes*. S.l.: s.n.

LEIVA, J.D., 2022. Appropriate technologies and the geosocial evolution of informal, small-scale gold mining in Madre de Dios, Peru. *Extractive Industries and Society* [en línea], vol. 12, pp. 101165. ISSN 2214790X. DOI 10.1016/j.exis.2022.101165. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101165>.

MACHADO, M.R., SOUZA, R.C. de, SAMPAIO, P. de T.B. y FERRAZ, J.B.S., 2017. Aspectos Silviculturais da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. e

- Bonpl.). *Biotaamazonia*, vol. 7, no. 3, pp. 41-44. DOI 10.18561/2179-5746.
- MAGURRAN, A.E. y MCGILL, B.J., 2011. *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment* [en línea]. New York: Oxford University Press. ISBN 0199580677. Disponible en: <http://www.amazon.co.uk/dp/0199580677>.
- MELO-CRUZ, O. y RODRÍGUEZ-SANTOS, N., 2012. PATRONES DE ARQUITECTURA FOLIAR ASOCIADOS AL CRECIMIENTO FUNCIONAL RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LA SABANA DE BOGOTÁ Foliar architecture patterns of five native woody species utilized for ecological restoration in Bogotá. *Colombia Forestal*, vol. 15, no. 1, pp. 119-130.
- MONTAGNINI, F. y JORDAN, C., 2005. *Tropical Forest Ecology* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 3-540-23797-6. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/b138811>.
- MORANTE-ALARCÓN, V.E., ROJAS-IDROGO, C. y DELGADO-PAREDES, G.E., 2014. IN VITRO SEED GERMINATION , CALLUS INDUCTION AND GERMPLASM CONSERVATION IN PALO DE Balsa [OCHROMA PYRAMIDALE (CAV . EX LAM .) Facultad de Ciencias Biológicas , Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo , Ciudad Universitaria , Juan Plant materials and seed. *International Journal of Plant, Animal and Enviromental Sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 290-297.
- MOSTACEDO, B. y FREDERICKSEN, T., 2000. *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en Ecología Vegetal*. S.l.: s.n. ISBN 1424407885.
- NORISADA, M., HITSUMA, G., KURODA, K., YAMANOSHITA, T., MASUMORI, M., TANGE, T., YAGI, H., NUYIM, T., SASAKI, S. y KOJIMA, K., 2005. Acacia mangium, a Nurse Tree Candidate for Reforestation on Degraded Sandy Soils in the Malay Peninsula. *Forest Science* [en línea], vol. 51, no. 5, pp. 498-510. [consulta: 20 abril 2023]. ISSN 0015-749X. DOI 10.1093/FORESTSCIENCE/51.5.498. Disponible en: <https://academic.oup.com/forestscience/article/51/5/498/4617298>.
- OH, M. y LEE, E.J., 2021. Cushion plant *Silene acaulis* is a pioneer species at abandoned coal piles in the High Arctic, Svalbard. *Journal of Ecology and Environment*, vol. 45, no. 1, pp. 1-9. ISSN 22881220. DOI 10.1186/s41610-020-00177-4.
- OROZCO, L. y BRUMÉR, C., 2002. *Inventarios Forestales Bosques Latifoliados* [en línea]. 2002. S.l.: s.n. Disponible en:

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Inventarios_Forestales_Bosques_Latifoliados_AC.pdf.

PELÁEZ, M., DIRZO, R., FERNANDES, G.W. y PEREA, R., 2019. Nurse plant size and biotic stress determine quantity and quality of plant facilitation in oak savannas. *Forest Ecology and Management* [en línea], vol. 437, no. February, pp. 435-442. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2019.02.010. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.010>.

PEREA, R., PELÁEZ, M. y FERNANDES, G.W., 2021. *Baccharis* as Nurse Plants. *Baccharis* [en línea]. Cham: Springer International Publishing, pp. 171-184. vol. CABI Compe. ISBN 9783030835101. Disponible en: https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-83511-8_7.

RAFIEE, F., BASHIRZADEH, M., ZARE, H., EJTEHADI, H. y FARZAM, M., 2023. Nurse shrubs influence plant biodiversity across environmental gradients in rocky outcrops and surrounding rangelands. *Journal of Vegetation Science*, vol. 34, no. 3, ISSN 16541103. DOI 10.1111/JVS.13188.

RANDÉ, H., MICHALET, R., NEMER, D., SAPPIN-DIDIER, V. y DELERUE, F., 2023. Contrasting soil- and canopy-nurse effects in metalliferous systems may be explained by dominant plant functional strategies. *Journal of Applied Ecology*, vol. 60, no. 2, pp. 278-290. ISSN 13652664. DOI 10.1111/1365-2664.14329.

REN, H., YANG, L. y LIU, N., 2008. Nurse plant theory and its application in ecological restoration in lower subtropics of China. *Progress in Natural Science*, vol. 18, no. 2, pp. 137-142. ISSN 10020071. DOI 10.1016/j.pnsc.2007.07.008.

ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., CABANILLAS, F., LEFEBVRE, D., FARFAN, J., ALFEREZ, J., POLO-VILLANUEVA, F., LLACSAHUANGA, J., VEGA, C.M., VELASQUEZ, M., CORVERA, R., CONDORI, E., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L.E. y SILMAN, M.R., 2021. Survival and early growth of 51 tropical tree species in areas degraded by artisanal gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, vol. 159, no. October 2020, ISSN 09258574. DOI 10.1016/j.ecoleng.2020.106097.

SADAT, M., ALVANINEZHAD, S., SALEHI, A., ASKARI, Y. y GHOLAMI, P., 2022. The importance of nurse species in establishing of natural regeneration in forests of South Zagros (Vezg forest, Yasouj) M. *Journal of Forest Research and Development*, vol. 8, no. 1, DOI 10.30466/jfrd.2021.53722.1554.

- SOTOMAYOR, D.A., LORTIE, C.J. y LAMARQUE, L.J., 2014. Nurse-plant effects on the seed biology and germination of desert annuals. *Austral Ecology*, vol. 39, no. 7, pp. 786-794. ISSN 14429993. DOI 10.1111/aec.12144.
- TIMSINA, S., HARDY, N.G., WOODBURY, D.J., ASHTON, M.S., COOK-PATTON, S.C., PASTERNAK, R. y MARTIN, M.P., 2022. Tropical surface gold mining: A review of ecological impacts and restoration strategies. *Land Degradation & Development* [en línea], vol. 33, no. 18, pp. 3661-3674. ISSN 1085-3278. DOI 10.1002/ldr.4430. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ldr.4430>.
- TOLEDO-ACEVES, T., LÓPEZ-BARRERA, F., VÁSQUEZ-REYES, V. y GÜNTHER, S., 2022. Restoration of tropical montane cloud forest in bracken dominated pastures: The role of nurse shrubs. *Forest Ecology and Management* [en línea], vol. 508, no. November 2021, pp. 120055. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2022.120055. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112722000494>.
- TONINI, H., ARCO-VERDE, M.F., PEDREIRA, S., SÁ, P. De, CHAVE, P. y HYMENAEA, L., 2005. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no Estado de Roraima - Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl .), Ipê-roxo (*Tabebuia avellaneda* Lorentz ex Griseb) e Jatobá (*Hymenaea courbaril* L .) , vol. 35, no. 3, pp. 353-362.
- VAN DER SANDE, M.T., POWERS, J.S., KUYPER, T.W., NORDEN, N., SALGADO-NEGRET, B., SILVA DE ALMEIDA, J., BONGERS, F., DELGADO, D., DENT, D.H., DERROIRE, G., DO ESPIRITO SANTO, M.M., DUPUY, J.M., FERNANDES, G.W., FINEGAN, B., GAVITO, M.E., HERNÁNDEZ-STEFANONI, J.L., JAKOVAC, C.C., JONES, I.L., DAS DORES MAGALHÃES VELOSO, M., MEAVE, J.A., MORA, F., MUÑOZ, R., PÉREZ-CÁRDENAS, N., PIOTTO, D., ÁLVAREZ-DÁVILA, E., CACERES-SIANI, Y., DALBAN-PILON, C., DOURDAIN, A., DU, D. V., GARCÍA VILLALOBOS, D., NUNES, Y.R.F., SANCHEZ-AZOFEIFA, A. y POORTER, L., 2023. Soil resistance and recovery during neotropical forest succession. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* [en línea], vol. 378, no. 1867, pp. 20210074. ISSN 0962-8436. DOI 10.1098/rstb.2021.0074. Disponible en: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2021.0074>.

- VELÁSQUEZ, M., DEL CASTILLO TORRES, D., GUERRERO BARRANTES, J., VÁSQUEZ BARDALES, J., THOMAS, E., CUSI AUCA, E., CHINEN GUSHIKEN, M., MUÑOZ DIAZ, B., RUSSO, R. y CORVERA GOMRINGER, R., 2021. Soil recovery of alluvial gold mine spoils in the Peruvian Amazon using *Stylosanthes guianensis*, a promising cover crop. *Land Degradation and Development*, vol. 32, no. 18, pp. 5143-5153. ISSN 1099145X. DOI 10.1002/ldr.4118.
- VENIER, P., FERRERAS, A.E., LÓPEZ LAUENSTEIN, D. y FUNES, G., 2023. Nurse plants and seed provenance in the restoration of dry Chaco forests of central Argentina. *Forest Ecology and Management* [en línea], vol. 529, pp. 120638. [consulta: 30 mayo 2025]. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/J.FORECO.2022.120638. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112722006326>.
- VLEUT, I., LEVY-TACHER, S.I., DE BOER, W.F., GALINDO-GONZÁLEZ, J. y RAMÍREZ-MARCIAL, N., 2013. Can a fast-growing early-successional tree (*Ochroma pyramidale* , Malvaceae) accelerate forest succession? *Journal of Tropical Ecology* [en línea], vol. 29, no. 2, pp. 173-180. ISSN 0266-4674. DOI 10.1017/S0266467413000126. Disponible en: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0266467413000126/type/journal_article.
- WISHNIE, M.H., DENT, D.H., MARISCAL, E., DEAGO, J., CEDEN, N., IBARRA, D. y CONDIT, R., 2007. Initial performance and reforestation potential of 24 tropical tree species planted across a precipitation gradient in the Republic of Panama. , vol. 243, pp. 39-49. DOI 10.1016/j.foreco.2007.02.001.
- WOODS, C.L., MALETA, K. y ORTMANN, K., 2021. Plant–plant interactions change during succession on nurse logs in a northern temperate rainforest. *Ecology and Evolution*, vol. 11, no. 14, pp. 9631-9641. ISSN 20457758. DOI 10.1002/ece3.7786.
- ZHOU, Y., SUN, K., MI, Y., LUO, B., XIANG, J. y MA, T., 2022. Insights into the nurse effect of a native plant *Ficus tikoua* on Pb–Zn tailing wastelands in western Hunan, China. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea], vol. 29, no. 11, pp. 15905-15914. ISSN 0944-1344. DOI 10.1007/s11356-021-16982-w. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16982-w>.
- ZHOU, Y., TAO, T., COX, F. y JOHNSON, D., 2024. Plant–soil feedback drives the

'nursing effect' on Sitka spruce. *Journal of Applied Ecology*, ISSN 13652664.
DOI 10.1111/1365-2664.14848.

ANEXO

Anexo 1. Matriz de consistencia para el presente estudio.

Título: “Análisis de <i>Ochroma pyramidale</i> como planta nodriza en el establecimiento de la regeneración natural en áreas abandonadas por la minería aurífera, Tambopata, Madre Dios”				
Planteamiento del problema	Objetivos de la Investigación	Hipótesis	Variables	Indicadores
Problema General				
¿Cuál será la capacidad y el efecto como planta pionera nodriza de <i>Ochroma pyramidale</i> en el establecimiento de la regeneración natural en áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios?	Determinar y analizar la capacidad y el efecto como planta pionera nodriza de <i>Ochroma pyramidale</i> en el establecimiento de la regeneración natural en áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios.	HE1: Se espera encontrar variaciones en la morfometría de copa de <i>O. pyramidale</i> según variables dasométricas y tiempo de abandono. HE2: Se espera encontrar una mayor abundancia, riqueza y diversidad de especies bajo la copa de <i>O. pyramidale</i> cuando las exista mejores condiciones microclimáticas. HE3: Se espera encontrar una mejora en el microclima bajo la copa de <i>O. pyramidale</i> , es decir una menor temperatura ambiental, luminosidad intermedia, menor temperatura del suelo y mayor pH del suelo, en comparación con sitios sin la cobertura de <i>O. pyramidale</i> .	Variables dependientes. • Estructura de la regeneración natural. • Abundancia de la regeneración natural. • Diversidad de la regeneración natural. • Composición florística de la regeneración natural Variables independientes. • Morfometría de copa de <i>O. Pyramidale</i>. • Variables dasométricas de los árboles de <i>O. Pyramidale</i>. • Condiciones microclimáticas bajo la copa de <i>O. pyramidale</i>.	• DAP • Altura de inserción de copa. • Altura total • Longitud de copa. • Diámetro de copa • forma de copa (FC) • índice de abragencia (IA) • proporción de copa (PC) • grado de esbeltez (GE) • índice de saliencia (IS) • Cobertura de dosel • Capa de hojarasca • Temperatura ambiental • luminosidad • pH del suelo • Humedad del suelo • Conductividad eléctrica del suelo • Clase de altura • Clase de diámetro • Número de individuos • Números de Hill • Índice de diversidad α-Fisher • Similitud florística
Problemas Específicos (PE)	Objetivos Específicos			
PE-2: PE2: ¿Cómo será la morfometría de copa de individuos de <i>Ochroma pyramidale</i> en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios?	OE2: Evaluar la morfometría de copa de individuos de <i>Ochroma pyramidale</i> en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios.			
PE-3: PE3: ¿Cómo será la estructura, riqueza, diversidad y composición florística de la regeneración natural establecida en bajo la cobertura de copa de <i>Ochroma pyramidale</i> en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios?	OE3: Evaluar la estructura, riqueza, diversidad y composición florística de la regeneración natural establecida en bajo la cobertura de copa de <i>Ochroma pyramidale</i> en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios.			
PE-4: PE4: ¿Cuáles serán las condiciones microclimáticas generadas <i>Ochroma pyramidale</i> bajo su cobertura de copa en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios?	OE4: Evaluar las condiciones microclimáticas generadas <i>Ochroma pyramidale</i> bajo su cobertura de copa en un área degradada y abandonada por la minería aurífera en la Amazonia de Madre Dios.			

Anexo 2. Formato de campo para cuantificar las características del microclima ambiental y edáfico.

Pág. 1

[illegible]

Anexo 3. Formato de campo cuantificar las características dasométricas de los árboles de la especie nodriza (*Ochroma pyramidale*).

Pág. 1

[illegible]

Anexo 4. Formato de campo cuantificar las características dasométricas de los árboles de la especie nodriza (*Ochroma pyramidale*).

Pág. 1

Localidad:					Fecha:			
Código parcela								
					Coordenadas GPS punto inicio (A)			
					S:			
					W:			
<u>Observaciones:</u>								
Nº	Subparcela	Tipo Parcela centro, borde - Fuera	Nombre común	Especie / Familia	DAP (cm)	HT	Observaciones	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								

Anexo 5. Constancia de identificación botánica de las especies registradas en el estudio.



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE DIOS
"Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú"
Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana

Centro Investigación Herbario Alwyn Gentry (HAG)

El que suscribe, director del Centro de Investigación Herbario Alwyn Gentry (HAG) de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), deja:

CONSTANCIA

Que el Bachiller **Ervin Paul CHAMPI HUAYTA**, Tesista de la carrera Ingeniería forestal y medio ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, han presentado 58 especímenes para su identificación. Los ejemplares provienen del sector Boca Caracol, ubicado en el distrito de Inambari, región Madre de Dios, estas fueron verificadas e identificadas en este Centro de Investigación HAG-UNAMAD.

Los especímenes en mención se detallan en el siguiente cuadro:

ID	Nombre Científico	Familia Segun APG IV (2016)
PCH-01	<i>Astronium lecointei</i>	Anacardiaceae
PCH-02	<i>Annona hypoglauca</i>	Annonaceae
PCH-03	<i>Annona papilionella</i>	Annonaceae
PCH-04	<i>Guatteria hirsuta</i>	Annonaceae
PCH-05	<i>Guatteria tomentosa</i>	Annonaceae
PCH-06	<i>Himatanthus sucuuba</i>	Apocynaceae
PCH-07	<i>Ageratum conyzoides</i>	Asteraceae
PCH-08	<i>Chromolaena laevigata</i>	Asteraceae
PCH-09	<i>Erechtites hieraciifolius</i>	Asteraceae
PCH-10	<i>Tessaria integrifolia</i>	Asteraceae
PCH-11	<i>Vernonanthura patens</i>	Asteraceae
PCH-12	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Bignoniaceae
PCH-13	<i>Handroanthus serratifolius</i>	Bignoniaceae
PCH-14	<i>Jacaranda copaia</i>	Bignoniaceae
PCH-15	<i>Jacaranda glabra</i>	Bignoniaceae
PCH-16	<i>Terminalia amazonia</i>	Combretaceae
PCH-17	<i>Terminalia oblonga</i>	Combretaceae
PCH-18	<i>Sapium glandulosum</i>	Euphorbiaceae
PCH-19	<i>Sapium marmieri</i>	Euphorbiaceae
PCH-20	<i>Andira inermis</i>	Fabaceae
PCH-21	<i>Barnebydendron riedelii</i>	Fabaceae
PCH-22	<i>Dalbergia monetaria</i>	Fabaceae
PCH-23	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Fabaceae
PCH-24	<i>Inga alba</i>	Fabaceae
PCH-25	<i>Lonchocarpus spiciflorus</i>	Fabaceae
PCH-26	<i>Machaerium hirtum</i>	Fabaceae



Ciudad Universitaria – Puerto Maldonado – Madre de Dios
Av. Jorge Chavez N° 1160



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

"Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú"

Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana



PCH-27	<i>Pseudobizzia niopoides</i>	Fabaceae
PCH-28	<i>Pterocarpus santalinoides</i>	Fabaceae
PCH-29	<i>Schizolobium parahyba</i>	Fabaceae
PCH-30	<i>Senegalia polyphylla</i>	Fabaceae
PCH-31	<i>Senna multijuga</i>	Fabaceae
PCH-32	<i>Helia alata</i>	Gentianaceae
PCH-33	<i>Vismia baccifera</i>	Hypericaceae
PCH-34	<i>Apeiba membranacea</i>	Malvaceae
PCH-35	<i>Ceiba pentandra</i>	Malvaceae
PCH-36	<i>Ceiba samauma</i>	Malvaceae
PCH-37	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae
PCH-38	<i>Ochroma pyramidale</i>	Malvaceae
PCH-39	<i>Pseudobombax septenatum</i>	Malvaceae
PCH-40	<i>Miconia crenata</i>	Melastomataceae
PCH-41	<i>Ficus americana</i>	Moraceae
PCH-42	<i>Ficus gomelleira</i>	Moraceae
PCH-43	<i>Ficus insipida</i>	Moraceae
PCH-44	<i>Ficus pertusa</i>	Moraceae
PCH-45	<i>Muntingia calabura</i>	Muntingiaceae
PCH-46	<i>Myrcia splendens</i>	Myrtaceae
PCH-47	<i>Ouratea iquitosensis</i>	Ochnaceae
PCH-48	<i>Calycophyllum megistocaulum</i>	Rubiaceae
PCH-49	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Rubiaceae
PCH-50	<i>Warszewiczia coccinea</i>	Rubiaceae
PCH-51	<i>Casearia arborea</i>	Salicaceae
PCH-52	<i>Casearia gossypiosperma</i>	Salicaceae
PCH-53	<i>Laetia procera</i>	Salicaceae
PCH-54	<i>Solanum grandiflorum</i>	Solanaceae
PCH-55	<i>Solanum velutinum</i>	Solanaceae
PCH-56	<i>Cecropia engleriana</i>	Urticaceae
PCH-57	<i>Cecropia membranacea</i>	Urticaceae
PCH-58	<i>Cecropia sciadophylla</i>	Urticaceae

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que considere conveniente.

Puerto Maldonado, 04 de julio de 2025

Atentamente

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE DIOS
Centro de Invest. Herbario A. V. Gentry
[Firma]
DIRECTOR DEL HERBARIO

Anexo 6. Listado de especies registradas en el estudio según árbol y entorno de la copa de *Ochroma pyramidale*. B = borde de la copa de los árboles. C = centro de la copa de los árboles. F = Fuera de la copa de los árboles.

[illegible]

[illegible]

[illegible]