



**Evaluación del aporte de nutrientes de hojarasca de tres especies arbóreas exóticas
plantadas en las celdas de lodos y rípios Secoya 26 en la Amazonía ecuatoriana**

Caiza Quinga, Marjorie Estefania

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Villacís Buenaño, Jaime Emiliano Ph.D.

15 de agosto del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura
Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Evaluación del aporte de nutrientes de hojarasca de tres especies arbóreas exóticas plantadas en las celdas de lodos y rípios Secoya 26 en la Amazonía ecuatoriana**; fue realizado por la señorita: **Caiza Quinga, Marjorie Estefania**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de agosto del 2023



Firmado electrónicamente por:
JAIME EMILIANO
VILLACÍS BUENAÑO

Ing. Villacís Buenaño, Jaime Emiliano Ph.D.

C.C. 171000407-6

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos



TRABAJO DE TITULACION UIC-CAIZA ...

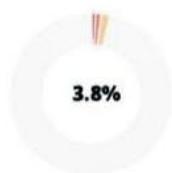
Scan details

Scan time:
August 15th, 2023 at 18:49 UTC

Total Pages:
31

Total Words:
7534

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
● Identical	0.9%	66
● Minor Changes	1.1%	81
● Paraphrased	1.8%	137
○ Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
● AI text
○ Human text



VILLACIS BUENANO
JAIME EMILIANO

Ing. Villacís Buenaño, Jaime Emiliano Ph.D.

C.C. 171000407-6



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura
Carrera Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **Caiza Quinga, Marjorie Estefania**, con cedula de ciudadanía No. 172662004-8, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Evaluación del aporte de nutrientes de hojarasca de tres especies arbóreas exóticas plantadas en las celdas de lodos y rípios Secoya 26 en la Amazonía ecuatoriana**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 15 de agosto del 2023

Caiza Quinga, Marjorie Estefania

C.C. 172662004-8



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura
Carrera Agropecuaria

Autorización de Publicación:

Yo, **Caiza Quinga, Marjorie Estefania**, con cedula de ciudadanía No. 172662004-8, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Evaluación del aporte de nutrientes de hojarasca de tres especies arbóreas exóticas plantadas en las celdas de lodos y ripios Secoya 26 en la Amazonía ecuatoriana**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de agosto del 2023

Caiza Quinga, Marjorie Estefania

C.C. 172662004-8

Dedicatoria

A mis padres quienes han sido mis pilares inquebrantables toda mi vida, por su trabajo y esfuerzo se han convertido en mi inspiración y apoyo constante, durante todo este tiempo han sido testigos de mis esfuerzos, triunfos y desafíos, alentándome a alcanzar lo mejor de mí en todo momento.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la salud y vida que me ha dado.

A mis padres Marisol y Carlos que me han brindado su amor incondicional, apoyo y consejos desde siempre, gracias por creer en mí y enseñarme a trabajar con honestidad y responsabilidad.

A mi hermano que Daniel que me ha ayudado a ver el mundo de manera diferente y a apreciar las pequeñas cosas que a menudo pasan desapercibidas.

A mis abuelitos María, Susana y Delfín por siempre estar pendientes de mí y brindarme sus palabras de sabiduría.

A mi tía Tránsito y familia, por el apoyo constante y deseos de superación hacia mi persona.

A mi tío Pablo por siempre tener palabras de aliento durante todo este proceso de mi vida estudiantil.

A mi madrina Lola y a mi tío Raúl que sé que me apoyan constantemente y que esperan lo mejor de mí.

A mis tías Luisa y Fabiola por sus consejos y las oportunidades de trabajo que me han dado.

A la Ing. Jessenia Espín y a Doris Ortiz por ayudarme a crecer profesionalmente y por sus consejos de superación personal.

A mis amigos Jefferson y Lulú por ayudarme a no desanimarme en los momentos difíciles de mi vida.

A Lenin por su compañía y apoyo incondicional, gracias por los momentos de felicidad y tristeza que has compartido conmigo.

Al Ing. Jaime Villacís por impartir sus conocimientos hacia mi persona y por darme la oportunidad de formar parte de su proyecto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria por la oportunidad de formarme como profesional.

A todos mis amigos y familia por compartir momentos de risas y aprendizaje, gracias por todos estos años que hemos compartido.

Marjorie Caiza Q.

Índice de contenidos

Carátula	1
Certificación	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos	7
Índice de contenidos	8
Índice de tablas.....	11
Índice de figuras.....	13
Resumen.....	14
Abstract.....	15
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN	16
Antecedentes	16
Justificación.....	17
Objetivos	18
General.....	18
Específicos	18
Hipótesis	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO	19
Perturbación del bosque en la Amazonía ecuatoriana.....	19
Celdas de lodos y rípios (CLR).....	19
Especies arbóreas	19

<i>Syzygium malaccensis</i> L. (Pomarrosa colombiana).....	19
<i>Syzygium jambos</i> L. (Pomarrosa ecuatoriana).....	20
<i>Nephelium lappaceum</i> L. (Achotillo).....	20
Dinámica de nutrientes de la hojarasca	21
CAPÍTULO III.....	22
METODOLOGÍA.....	22
Área de estudio	22
Fase de campo	23
Selección de especies forestales	23
Implementación del experimento.....	24
Recolección de muestras	26
Fase de laboratorio	26
Variables a estudio	26
Análisis de la información.....	27
CAPÍTULO IV	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
Resultados	28
Biomasa.....	28
Concentración de macronutrientes de la biomasa	29
Concentración de micronutrientes de la biomasa	30
Concentración de macronutrientes de las bolsas de descomposición.....	32
Concentración de micronutrientes de las bolsas de descomposición	34
Aporte de macronutrientes	36
Aporte de micronutrientes	38
Discusión.....	41
Producción de biomasa	41

Aporte de nutrientes	42
CAPÍTULO V	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
Conclusiones.....	44
Recomendaciones	45
BIBLIOGRAFÍA	46

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Datos de temperatura, humedad y precipitación diaria de la provincia de Sucumbíos del sector Secoya 26</i>	23
Tabla 2 <i>Promedio ± error estándar de la producción de biomasa total (Mg/ha/año) de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento</i>	28
Tabla 3 <i>Análisis de la varianza del contenido de macronutrientes de la biomasa de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento</i>	29
Tabla 4 <i>Promedio ± error estándar del contenido de N, P y K de la biomasa de tres especies forestales exóticas</i>	29
Tabla 5 <i>Promedio ± error estándar del contenido de macronutrientes de la biomasa de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento</i>	30
Tabla 6 <i>Análisis de la varianza del contenido de micronutrientes de la biomasa de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento</i>	31
Tabla 7 <i>Promedio ± error estándar del contenido de Fe, Na, Zn y Cu de la biomasa de tres especies forestales exóticas</i>	31
Tabla 8 <i>Promedio ± error estándar del contenido de micronutrientes de la biomasa de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento</i>	32
Tabla 9 <i>Análisis de la varianza del contenido de macronutrientes de las bolsas de descomposición de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento</i>	33
Tabla 10 <i>Promedio ± error estándar del contenido de N, P y K de las bolsas de descomposición de tres especies exóticas</i>	33

Tabla 11 <i>Promedio \pm error estándar del contenido de macronutrientes de las bolsas de descomposición de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento</i>	34
Tabla 12 <i>Análisis de la varianza del contenido de micronutrientes de las bolsas de descomposición de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento</i>	35
Tabla 13 <i>Promedio \pm error estándar del contenido de Fe, Na, Zn y Cu de las bolsas de descomposición de tres especies forestales exóticas</i>	35
Tabla 14 <i>Promedio \pm error estándar del contenido de micronutrientes de las bolsas de descomposición de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento</i>	36
Tabla 15 <i>Análisis de la varianza del aporte de macronutrientes de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento</i>	37
Tabla 16 <i>Promedio \pm error estándar del aporte de N, P y K de tres especies exóticas</i>	37
Tabla 17 <i>Promedio \pm error estándar del aporte de macronutrientes de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento</i>	38
Tabla 18 <i>Análisis de la varianza del aporte de micronutrientes de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento</i>	39
Tabla 19 <i>Promedio \pm error estándar del aporte de Fe, Na, Zn y Cu de tres especies forestales exóticas</i>	39
Tabla 20 <i>Promedio \pm error estándar del aporte de micronutrientes de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento</i>	40

Índice de figuras

Figura 1 <i>Mapa Provincia de Sucumbíos</i>	22
Figura 2 <i>Disposición de los árboles en la CLR Secoya 26</i>	24
Figura 3 <i>Implementación de las trampas en campo</i>	25
Figura 4 <i>Implementación de las bolsas de nylon en campo</i>	25

Resumen

El objetivo principal en este estudio fue cuantificar la cantidad de nutrientes que aporta la hojarasca de tres especies arbóreas plantadas hace 10 años en las celdas de lodos y ripios Secoya 26 en la Amazonía ecuatoriana. Se seleccionaron 3 individuos de cada especie y debajo de la copa de cada uno se colocó una trampa cuadrada de 0.25 m² para la recolección de hojarasca. Adicionalmente en la base de cada individuo se colocaron 9 bolsas de descomposición con 5 gramos de hojarasca para medir la cantidad de nutrientes aportada. Las muestras de las trampas fueron colectadas a los 30, 45 y 60 días y en cada una se determinó la biomasa total y los contenidos de N, P, K, Fe, Na, Zn y Cu. Las bolsas de descomposición fueron colectadas en los mismos tiempos y en cada una se determinó los contenidos de N, P, K, Fe, Na, Zn y Cu. El aporte de estos nutrientes al suelo se determinó restando los valores de la biomasa de la canasta y los valores de la biomasa de las bolsas de descomposición. La biomasa total producida por *Syzygium malaccensis* L., *Syzygium jambos* L. y *Nephelium lappaceum* L. plantadas en las celdas de lodos y ripios fue en promedio 2.50 Mg/ha/año. Los árboles de *Syzygium jambos* L. produjeron mayor cantidad de biomasa (2.74 Mg/ha/año) y aportaron mayor N (7.32 Kg/ha/año), K (1.01 Kg/ha/año) y Na (89.32 g/ha/año).

Palabras clave: BIOMASA, NUTRIENTES, ESPECIES, ARBÓREAS

Abstract

The main objective of this study was to quantify the amount of nutrients contributed by the leaf litter of three tree species planted 10 years ago in the Secoya 26 mud and gravel cells in the Ecuadorian Amazon. Three individuals of each species were selected, and beneath the canopy of each one, a square trap measuring 0.25 m² was placed for leaf litter collection. Additionally, 9 decomposition bags containing 5 grams of leaf litter were placed at the base of each individual to measure the nutrient quantity contributed. Trap samples were collected at 30, 45, and 60 days, and in each sample, total biomass and contents of N, P, K, Fe, Na, Zn, and Cu were determined. Decomposition bags were collected at the same time intervals, and the contents of N, P, K, Fe, Na, Zn, and Cu were determined for each bag. The contribution of these nutrients to the soil was calculated by subtracting the values of biomass from the trap and the values of biomass from the decomposition bags. The total biomass produced by *Syzygium malaccensis* L., *Syzygium jambos* L., and *Nephelium lappaceum* L. planted in the mud and gravel cells averaged 2.50 Mg/ha/year. The *Syzygium jambos* L. trees produced a higher amount of biomass (2.74 Mg/ha/year) and contributed more N (7.32 Kg/ha/year), K (1.01 Kg/ha/year), and Na (89.32 g/ha/year).

Keywords: BIOMASS, NUTRIENTS, SPECIES, TREES

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Ecuador posee una de las mayores reservas de petróleo en América del Sur (Maddela *et al.*, 2017) jugando un papel importante en la economía del país (Peñaherrera, 2022). La contaminación durante la extracción de petróleo afecta negativamente la composición química, estructura y las propiedades del suelo disminuyendo su fertilidad (Stepanova *et al.*, 2022). El proceso de extracción del petróleo inicia con la selección del sitio donde se elimina la capa superior del suelo, luego comienza la construcción de las plataformas en los puntos de perforación (Woodward, 1996), durante el proceso de perforación se generan materiales de desecho denominados lodos y ripios de perforación que son depositados en las celdas de lodos y ripios (CLR) (Sierra *et al.*, 2021).

Las empresas petroleras han planteado el objetivo de reforestar con especies arbóreas nativas y exóticas sobre las celdas de lodos y ripios y en el resto de suelo perturbado, esto con el fin de acelerar el proceso de remediación de los suelos contaminados (Maddela *et al.*, 2015). Para la siembra de árboles en suelos perturbados se seleccionan las que sean capaces de soportar condiciones adversas durante su crecimiento (Villacís *et al.*, 2016). Algunas de las especies exóticas de árboles identificados dentro de la región amazónica que se pueden utilizar para este fin son: Pomarrosa colombiana (*Syzygium malaccensis* L.), Pomarrosa ecuatoriana (*Syzygium jambos* L.), Achotillo (*Nephelium lappaceum* L.), estudios realizados indican que estas especies tiene la capacidad de sobrevivir y establecerse elevando sus poblaciones en diferentes suelos (Patel *et al.*, 2017). Durante el crecimiento de los árboles se produce la caída de hojarasca la cual porta nutrientes llegando al suelo y realizándose un intercambio dinámico que puede mantener un equilibrio entre los nutrientes del suelo y las proporciones requeridas para el crecimiento de las plantas (Zhang *et al.*, 2017)

Justificación

La extracción de petróleo puede alterar el ciclo de nutrientes en los ecosistemas al provocar la pérdida de nutrientes, interrumpir el proceso de descomposición de la materia orgánica, contaminar el suelo con compuestos inorgánicos y disminuir la fertilidad del suelo (O'Brien *et al.*, 2017). Estos efectos pueden tener importantes repercusiones en la productividad y la salud de los ecosistemas, así como en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y otros organismos que dependen de ellos (Mendelssohn *et al.*, 2012).

Los primeros esfuerzos para recuperar tierras boscosas después de la perturbación se centraron en la revegetación debido a que el ecosistema forestal rico y diverso se ve gravemente afectado (Heredia *et al.*, 2016). En el año 2012 las especies exóticas *Syzygium malaccensis* L., *Syzygium jambos* L. y *Nephelium lappaceum* L. fueron seleccionadas para la reforestación de las celdas de lodos y ripios (CLR) por la capacidad de establecimiento y adaptación en suelos contaminados siendo denominadas como medianamente potenciales para la reforestación de suelos perturbados por actividades petrolíferas en la Amazonia ecuatoriana (Villacís *et al.*, 2016)

Durante el crecimiento de los árboles se produce la caída de hojarasca la cual porta nutrientes llegando al suelo y realizándose un intercambio dinámico que puede lograr y mantener un equilibrio entre los nutrientes del suelo y las proporciones elementales requeridas para el crecimiento de las plantas (Zhang *et al.*, 2017). Se han realizado estudios de descomposición y la absorción de nutrientes en bosques naturales (Hegarty, 1991), pero es importante investigar la dinámica de nutrientes en suelos perturbados por la extracción de petróleo, por lo tanto, el presente estudio se llevó a cabo para evaluar el aporte de nutrientes de hojarasca de tres especies arbóreas exóticas *Syzygium malaccensis* L., *Syzygium jambos* L. y *Nephelium lappaceum* L. plantadas en las celdas de lodos y ripios Secoya 26 en la Amazonía ecuatoriana.

Objetivos

General

Evaluar el aporte de nutrientes de hojarasca de tres especies arbóreas plantadas en las celdas de lodos y rípios Secoya 26 en la Amazonía ecuatoriana.

Específicos

Cuantificar la cantidad de hojarasca aportada por tres especies arbóreas exóticas plantadas en suelos perturbados.

Determinar la cantidad de macronutrientes y micronutrientes aportada por la hojarasca de tres especies arbóreas plantadas en las celdas de lodos y rípios Secoya 26.

Hipótesis

Las especies forestales *Syzygium malaccensis* L., *Syzygium jambos* L. y *Nephelium lappaceum* L. plantadas en las celdas de lodos y rípios aportan cantidades similares de biomasa y nutrientes a las celdas de lodos y rípios.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Perturbación del bosque en la Amazonía ecuatoriana

Los bosques de la Amazonía ecuatoriana han sido zonas perturbadas por la explotación de petróleo desde principios de 1970 (Finer *et al.*, 2008). Esta actividad ha provocado la degradación del suelo debido al desplazamiento de la capa superior y la tala de árboles para la construcción de infraestructuras como carreteras, plataformas de perforación, pozos, tuberías y campamentos (Baynard *et al.*, 2013).

Celdas de lodos y ripios (CLR)

Una de las etapas del proceso de extracción de petróleo es la perforación en donde se producen desechos denominados lodos y ripios de perforación. Estos desechos son depositados en piscinas para su tratamiento denominadas celdas de lodos y ripios (CLR) donde los desechos son mezclados con materiales de cantera y productos químicos para acelerar su descomposición y disminuir los niveles de toxicidad. Posteriormente las piscinas son cubiertas con una capa de suelo en la que se espera el establecimiento de nueva vegetación (Sierra *et al.*, 2021).

Especies arbóreas

***Syzygium malaccensis* L. (Pomarrosa colombiana)**

Pertenece a la familia Myrtaceae, los árboles pueden alcanzar alturas de hasta 30 m y medir hasta 40 cm de diámetro de altura de pecho (Pino *et al.*, 2004). Las hojas tienen un peciolo corto, son simples, opuestas, ovadas, de 12 a 25 cm de largo y 6 a 12 cm de ancho, coriáceas, de color verde intenso brillante en la parte superior y verde claro en la parte inferior (Oliveira *et al.*, 2011). Las flores son pequeñas, rojas o rosadas, y se agrupan en inflorescencias terminales. Los frutos son bayas carnosas obovoides, largas de 4 a 8 cm, tienen

color rojo oscuro a púrpura cuando está maduro y contiene una sola semilla globosa de color marrón claro (Arumugam *et al.*, 2014).

La pomarroza colombiana es nativa de Asia, prefiere climas cálidos y húmedos, con una precipitación anual de al menos 1.500 mm. Se adapta bien a diferentes tipos de suelos, siempre y cuando sean bien drenados (Batista *et al.*, 2017).

***Syzygium jambos* L. (Pomarroza ecuatoriana)**

Esta especie de la familia Myrtaceae, puede alcanzar alturas 20 m y diámetro a la altura del pecho 60 cm. Las hojas son opuestas, simples, de forma elíptica y acuminada, con un color verde oscuro y textura coriácea (Sobeh *et al.*, 2018). Las flores son pequeñas, blancas o cremosas, y están agrupadas en inflorescencias axilares (Djado Djipa *et al.*, 2000). El fruto de la pomarroza ecuatoriana es una baya globosa, de color amarillo con tintes rosados que contiene semillas poliembriónicas de color castaño (Begum *et al.*, 2015).

La pomarroza ecuatoriana es originaria de Malasia, ha sido introducida en varios países, incluyendo Ecuador (Rosete Blandariz, 2019). Prefiere climas cálidos y húmedos, con una precipitación anual de al menos 1.500 mm y con una temperatura promedio entre 20°C y 30°C (Shrinath *et al.*, 2018). Se adapta bien a diferentes tipos de suelos, siempre y cuando sean bien drenados y también puede tolerar condiciones de sequía (Ochieng *et al.*, 2022).

***Nephelium lappaceum* L. (Achotillo)**

Es una especie de árbol frutal perteneciente a la familia Sapindaceae, que puede alcanzar alturas de 20 m y diámetros de 60 cm (Reyes *et al.*, 2020). Las hojas son compuestas, alternas y de color verde brillante, con folíolos lanceolados u ovalados (Thitilertdecha *et al.*, 2008). Las flores son pequeñas de color blanco o crema y están agrupadas en inflorescencias terminales (Sukmandari *et al.*, 2017). Los frutos del achotillo son de forma redonda u ovalada, cubiertos de pelos rojizos o amarillos que les dan un aspecto característico (Thitilertdecha *et al.*, 2008).

Es nativo de las regiones tropicales de Asia y se ha extendido a varias partes del mundo, incluyendo América Latina (Reyes *et al.*, 2020). El achotillo prefiere climas cálidos y húmedos, con una temperatura promedio entre 25°C y 30°C. se adapta bien a una variedad de suelos, siempre y cuando sean bien drenados (Hernández-Hernández *et al.*, 2019). Es una especie que requiere luz solar directa para un buen crecimiento y producción de frutos (Mahmood *et al.*, 2018).

Dinámica de nutrientes de la hojarasca

Es un proceso cíclico y equilibrado, en el cual los nutrientes son constantemente reciclados y redistribuidos dentro del ecosistema (Del Valle-Arango, 2003). Por ejemplo, las hojas caídas de los árboles son descompuestas por microorganismos en el suelo, liberando nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos minerales que son nuevamente absorbidos por las raíces de las plantas cercanas (Castellanos-Barliza y Peláez, 2011).

La dinámica de nutrientes permite mantener la fertilidad del suelo y la productividad de los ecosistemas ya que, cuando los nutrientes son limitantes, pueden afectar el crecimiento de las plantas y la salud del ecosistema en general (Krishna y Mohan, 2017). Por esta razón, comprender y gestionar adecuadamente la dinámica de nutrientes es fundamental para la conservación y sustentabilidad de los recursos naturales y la biodiversidad (Posada *et al.*, 2012).

El ciclaje de los nutrientes también está influenciada por factores ambientales, como el clima, la disponibilidad de agua, la calidad del suelo y la biodiversidad (Isaac *et al.*, 2018). Los ecosistemas tropicales, por ejemplo, tienden a tener una descomposición más rápida debido a las altas temperaturas y la mayor actividad microbiana que, en contraste, los ecosistemas más fríos pueden experimentar una descomposición más lenta y una acumulación de materia orgánica en el suelo (Ribeiro *et al.*, 2002).

CAPÍTULO III

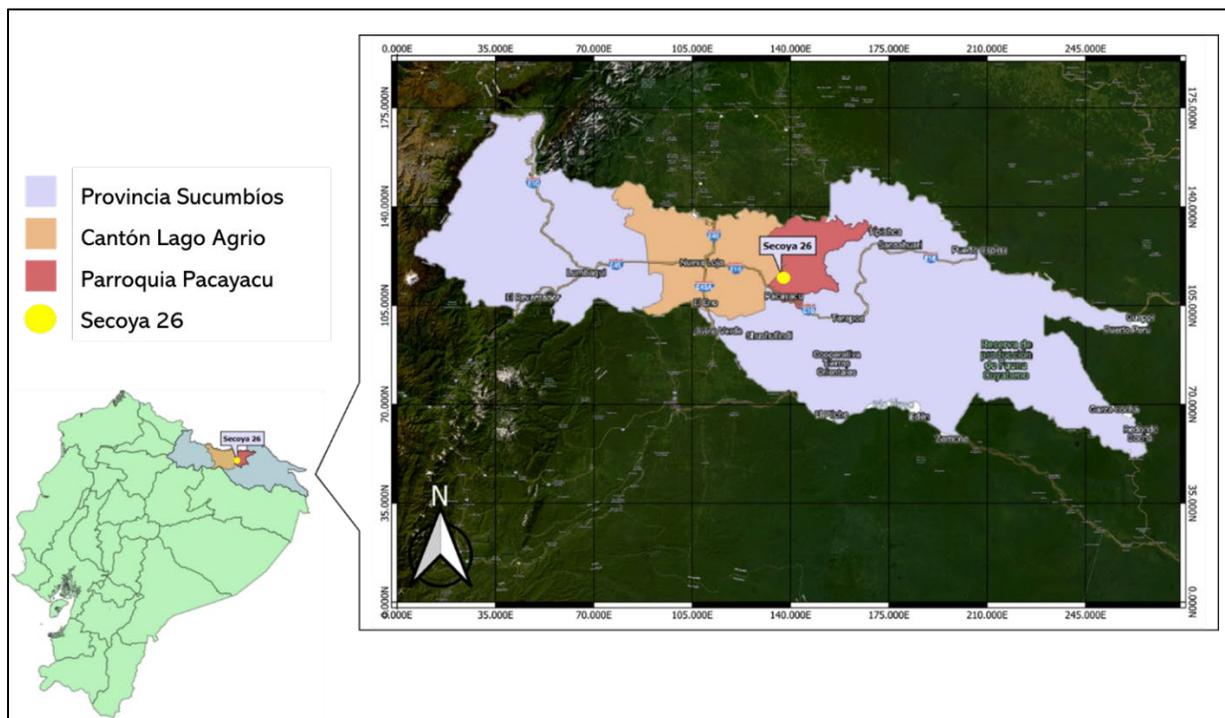
METODOLOGÍA

Área de estudio

La fase de campo se realizó en las celdas de lodos y rípios (CLR) de la plataforma de extracción de la EP Petroamazonas Secoya 26, ubicada en la Parroquia Pacayacu, Cantón Lago Agrio, Provincia de Sucumbíos, en las coordenadas NO322323 UTM1003990 a 283 msnm (Figura 1).

Figura 1

Mapa Provincia de Sucumbíos



Nota. En el mapa se muestra el lugar donde se llevó a cabo el experimento. Autoría propia.

La temperatura, humedad y precipitación que se presentaron durante la implementación del estudio y las recolecciones de las muestras se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1

Datos de temperatura, humedad y precipitación diaria de la provincia de Sucumbíos del sector Secoya 26

Actividad	Fecha	Temperatura (° C)	Humedad (%)	Precipitación (mm)
	20/10/2022	24.01	90.5	4.63
Implementación del estudio	21/10/2022	24.12	89.75	5.62
	22/10/2022	25.17	89.44	6.16
	23/10/2022	23.42	93.75	19.12
Primera recolección de muestras	03/11/2022	19.95	91.88	9.88
Segunda recolección de muestras	18/11/2022	23.87	91.5	12.95
Tercera recolección de muestras	03/12/2022	24.32	89.56	43.36
Cuarta recolección de muestras	16/12/2022	24.21	88.25	41.20

Nota. Adaptado de POWER | Data Access Viewer (Sparks, 2023)

La fase de laboratorio se realizó en el laboratorio de Suelos, Aguas y Foliar perteneciente al Campus de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria ubicada en la Hacienda El Prado IASA I, y en el laboratorio del Centro de Nanociencia y Nanotecnología CENCINAT, ambos pertenecientes a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

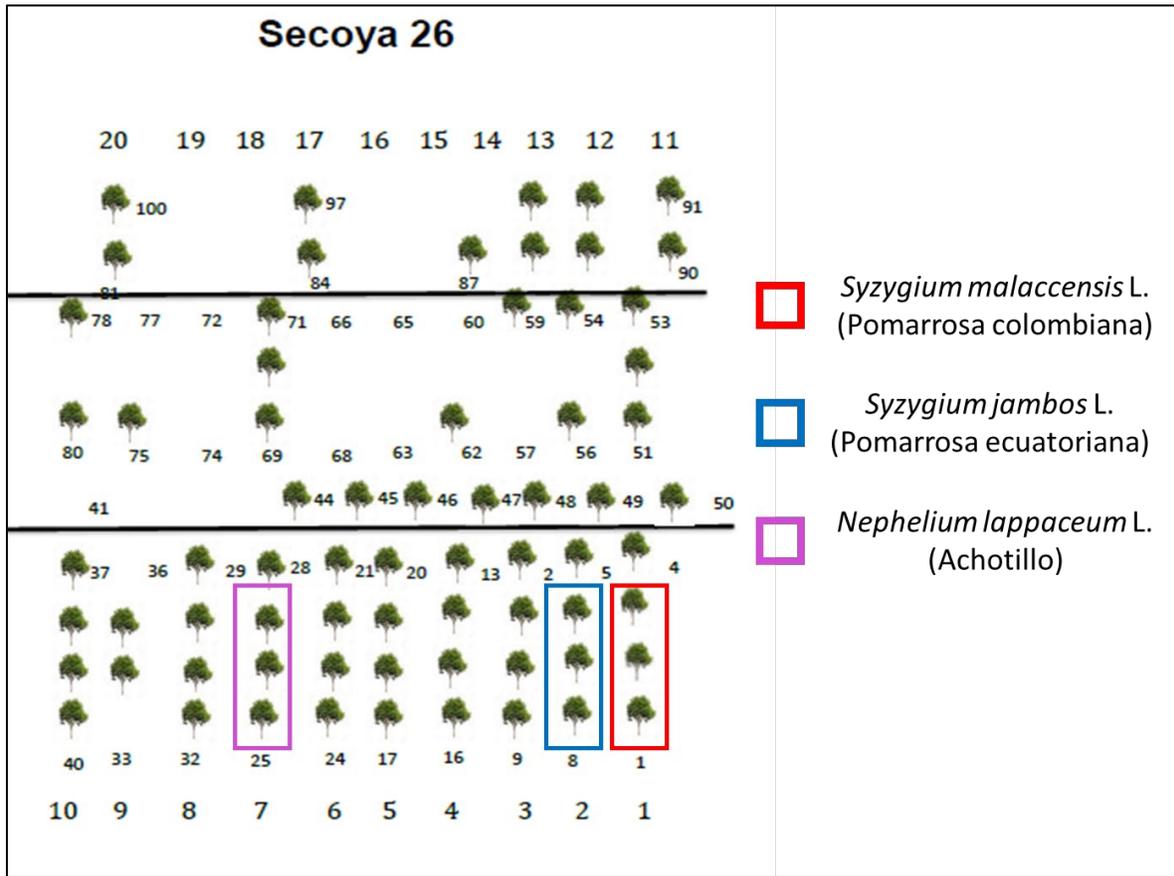
Fase de campo

Selección de especies forestales

Las tres especies forestales exóticas seleccionadas fueron *Syzygium malaccensis* L. (Pomarrosa colombiana), *Syzygium jambos* L. (Pomarrosa ecuatoriana) y *Nephelium lappaceum* L. (Achotillo) por presentar mayor supervivencia que el resto de las especies. Los árboles están plantados en las CLR Secoya 23 como se puede observar en la Figura 2.

Figura 2

Disposición de los árboles en la CLR Secoya 26



Nota. En la figura se señalan las especies forestales que se evaluaron en este experimento. Autoría propia.

El establecimiento de estas especies forestales se realizó en el año 2012. Las especies plantadas en las CLR han presentado una buena adaptabilidad y una tasa de sobrevivencia del 70-100 % (Espinoza, 2018). En el año 2022, 10 años después del establecimiento se verificó que *S. malaccensis* L., *S. jambos* L. y *N. lappaceum* L., se adaptaron de manera exitosa en las celdas de lodos y ripios Secoya 26.

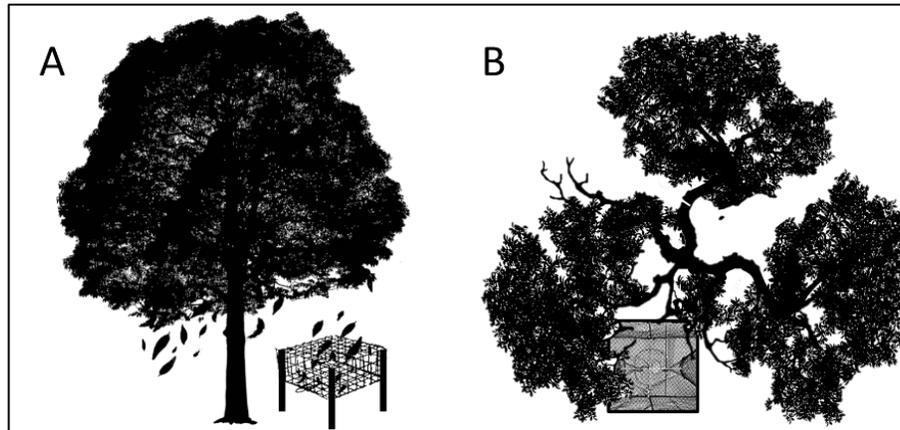
Implementación del experimento

Con el fin de conocer la cantidad de biomasa producida se colocó una trampa cuadrada de 0.50 x 0.50 cm de malla fina debajo de la copa de cada árbol, a una distancia de 0.50 m del

fuste (Figura 3), esto se realizó en los tres individuos de cada especie forestal siendo en total 9 trampas.

Figura 3

Implementación de las trampas en campo

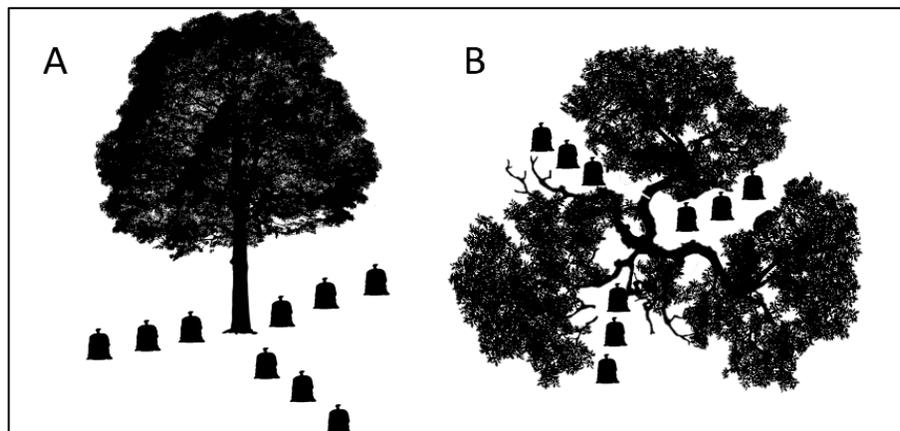


Nota. (A) Vista lateral y (B) vista superior de las trampas colocadas debajo de la copa de cada árbol. Autoría propia.

Para el análisis de aporte de nutrientes se implementaron 9 bolsas de descomposición de hojarasca de nylon de 15x20 cm, en la base de cada individuo evaluado. Cada bolsa contenía 5 g de hojarasca previamente recolectada del mismo árbol, se colocaron en grupos de 3 en la base del tronco separadas cada 15 cm (Figura 4) y después se cubrieron con hojarasca.

Figura 4

Implementación de las bolsas de nylon en campo



Nota. (A) Vista lateral y (B) vista superior de las trampas colocadas en la base del tronco de cada árbol. Autoría propia.

Recolección de muestras

La hojarasca de las trampas se recolectó a los 30, 45 y 60 días de implementado el experimento, al igual que la hojarasca de las bolsas de descomposición. Las muestras se colocaron en bolsas de papel etiquetadas con la información correspondiente para su transporte.

Fase de laboratorio

Las muestras recolectadas de hojarasca y bolsas de descomposición se trasladaron al laboratorio luego de cada recolección, se eliminaron residuos que no correspondían a cada muestra y secaron en una estufa a 70° C por 24 horas con el fin de detener el ciclo de descomposición. Cada una de las muestras fue pesada en una balanza de precisión, después se molieron en un molino de laboratorio y finalmente se almacenaron en frascos estériles etiquetados. Se realizaron análisis de N, P, K, Fe, Na, Zn y Cu a cada una de las muestras.

VARIABLES A ESTUDIO

En el análisis se procesaron 27 muestras de hojarasca y 27 muestras de bolsas de descomposición, en total 54 muestras.

Para la interpretación de la biomasa aportada en Megagramos/Hectárea/año (Mg/ha/año) se aplicó las siguientes transformaciones de unidades:

$$\text{Biomasa (Mg/ha/año)} = \frac{b}{a \times d} \times \frac{1 \text{ Mg}}{1000000 \text{ g}} \times \frac{10000 \text{ m}^2}{1 \text{ Ha}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}}$$

Donde:

a = Área de la trampa en m^2

b = Peso de biomasa seca en gramos

d = número de días en los que se recolectó la biomasa

La determinación de nitrógeno mediante el método Kjeldahl, aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ N} = \frac{1,4 \times N \times (V1-V0)}{m}$$

Donde:

N = Normalidad del Ácido clorhídrico

$V1$ = Gasto del Ácido clorhídrico de la muestra

$V0$ = Gasto del Ácido clorhídrico del blanco

m = Masa de la muestra en gramos

El contenido de fósforo se determinó por el método de calcinación y colorimetría con nitro-vanado-molibdato, utilizando un espectrofotómetro se leyeron las absorbancias a 466 nm. Los contenidos de potasio, hierro, sodio, zinc y cobre se obtuvieron por el método de espectrofotometría de absorción atómica con llama de gas acetileno y agregando óxido de lantano.

Análisis de la información

Las variables evaluadas se analizaron mediante estadística descriptiva (media y error estándar). Para comparar todas las variables medidas en el tiempo (30, 45 y 60 días) y entre especies, se realizaron análisis de varianza en modelos mixtos para un diseño completamente al azar en parcela dividida bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = u + A_i + S_{k(i)} + T_j + (AT)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Producción de biomasa / Contenido de nutrientes

u = Media general

A_i = Efecto principal de la i – ésima especie forestal

$S_{k(i)}$ = Error de la especie forestal

T_j = Efecto principal del j - ésimo tiempo de recolección

$(AT)_{ij}$ = Efecto de la interacción de la especie forestal \times tiempo de recolección

E_{ijk} = Error del tiempo de recolección

Además, se realizaron pruebas de comparación de medias de LSD al 5% para especies, tiempos e interacciones. Todos los análisis se realizaron en el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Biomasa

No se encontró un efecto significativo de la interacción Especie × Tiempo para la producción de biomasa ($F_{4,12} = 0.41$; $p = 0.7960$). Tampoco se encontró un efecto significativo de la especie ($F_{2,6} = 0.78$; $p = 0.4728$), ni del tiempo sobre la producción de biomasa ($F_{2,12} = 0.07$; $p = 0.9349$).

Los árboles de *Syzygium jambos* L. en promedio tendieron a aportar mayor biomasa de 2.74 ± 0.40 Mg/ha/año, que los árboles de *Syzygium malaccensis* L. (2.62 ± 0.24 Mg/ha/año) y *Nephelium lappaceum* L. (2.15 ± 0.31 Mg/ha/año).

Los árboles de *Syzygium jambos* L. tendieron a aportar mayor cantidad de biomasa que los árboles de las otras especies a los 45 días de recolección (Tabla 2).

Tabla 2

Promedio ± error estándar de la producción de biomasa total (Mg/ha/año) de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento

Especie	Tiempo de recolección (días)	Biomasa Total (Mg/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	30	2.63 ± 0.20 a
	45	2.31 ± 0.34 a
	60	2.91 ± 0.67 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	30	2.91 ± 0.54 a
	45	2.93 ± 1.20 a
	60	2.38 ± 0.31 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	30	1.74 ± 0.37 a
	45	2.18 ± 0.86 a
	60	2.52 ± 0.31 a

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD; $p > 0,05$).

Autoría propia.

Concentración de macronutrientes de la biomasa

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo de la interacción Especie × Tiempo para el contenido de N, P y K de la biomasa; sin embargo, mostró un efecto significativo de la especie sobre el contenido de N (Tabla 3).

Tabla 3

Análisis de la varianza del contenido de macronutrientes de la biomasa de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuentes de variación	gl	N (Kg/ha/año) p-valor	P (Kg/ha/año) p-valor	K (Kg/ha/año) p-valor
Especie	2	0.0005	0.1254	0.2036
Tiempo	2	0.1564	0.7864	0.3543
Especie × Tiempo	4	0.3333	0.5552	0.6470

Nota. Las variables especie y tiempo se consideran factores fijos. gl = grados de libertad. Autoría propia.

Los árboles de *Syzygium jambos* L. presentaron mayor N en la biomasa, en comparación con *Nephelium lappaceum* L. y *Syzygium malaccensis* L., no existieron diferencias significativas entre especies para el contenido de P y K (Tabla 4).

Tabla 4

Promedio ± error estándar del contenido de N, P y K de la biomasa de tres especies forestales exóticas

Especie	N (Kg/ha/año)	P (Kg/ha/año)	K (Kg/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	2.69 ± 0.25 b	1.19 ± 0.19 a	0.97 ± 0.16 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	8.12 ± 1.50 a	0.85 ± 0.17 a	1.28 ± 0.25 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	2.77 ± 0.68 b	1.68 ± 0.37 a	0.75 ± 0.17 a

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD; p > 0,05). Autoría propia.

La biomasa de los árboles de *Syzygium jambos* L., a los 60 días tendió a presentar el mayor contenido de N y a los 30 días tendió a presentar el mayor contenido de K que las demás especies en los diferentes periodos de tiempo, además la biomasa de los árboles de *Nephelium lappaceum* L. a los 60 días tendió a presentar mayor contenido de P que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo (Tabla 5).

Tabla 5

Promedio ± error estándar del contenido de macronutrientes de la biomasa de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento

Especie	Tiempo	N (Kg/ha/año)	P (Kg/ha/año)	K (Kg/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	30	2.70 ± 0.20 a	1.52 ± 0.39 a	1.26 ± 0.41 a
	45	2.37 ± 0.35 a	0.69 ± 0.27 a	0.67 ± 0.10 a
	60	2.99 ± 0.69 a	1.35 ± 0.14 a	0.99 ± 0.23 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	30	4.64 ± 0.53 a	1.08 ± 0.18 a	1.67 ± 0.58 a
	45	9.02 ± 3.69 a	1.03 ± 0.41 a	1.14 ± 0.51 a
	60	10.69 ± 1.79 a	0.45 ± 0.08 a	1.04 ± 0.18 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	30	1.79 ± 0.38 a	1.47 ± 0.58 a	0.65 ± 0.24 a
	45	3.94 ± 2.03 a	1.56 ± 0.61 a	0.51 ± 0.37 a
	60	2.58 ± 0.32 a	2.01 ± 0.92 a	1.08 ± 0.24 a

Nota. Medias con una letra común entre filas no son significativamente diferentes (LSD; $p > 0,05$). Autoría propia.

Concentración de micronutrientes de la biomasa

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo de la interacción Especie × Tiempo sobre el contenido de Fe, Na, Zn y Cu en la biomasa; sin embargo, mostró efecto significativo de las especies sobre los contenidos de Fe y Na (Tabla 6).

Tabla 6

Análisis de la varianza del contenido de micronutrientes de la biomasa de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuentes de variación	gl	Fe	Na	Zn	Cu
		(g/ha/año) p-valor	(g/ha/año) p-valor	(g/ha/año) p-valor	(g/ha/año) p-valor
Especie	2	0.0187	0.0023	0.7777	0.3029
Tiempo	2	0.7175	0.7488	0.4054	0.4463
Especie × Tiempo	4	0.3282	0.6030	0.6107	0.6527

Nota. Las variables especie y tiempo se consideran factores fijos. gl = grados de libertad. Autoría propia.

Los árboles de las especies *Syzygium malaccensis* L. y *Nephelium lappaceum* L. presentaron mayores contenidos de Fe que *Syzygium jambos* L. La especie *Syzygium jambos* L. presentó mayor contenido de Na que *Syzygium malaccensis* L. y *Nephelium lappaceum* L. Además, no existieron diferencias significativas de Zn y Cu entre especies (Tabla 7).

Tabla 7

Promedio ± error estándar del contenido de Fe, Na, Zn y Cu de la biomasa de tres especies forestales exóticas

Especie	Fe (g/ha/año)	Na (g/ha/año)	Zn (g/ha/año)	Cu (g/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	392.83 ± 65.19 a	53.32 ± 3.31 a	37.05 ± 8.61 a	14.02 ± 1.67 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	158.89 ± 21.74 b	90.75 ± 12.79 b	30.93 ± 4.21 a	18.45 ± 3.58 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	373.03 ± 72.19 a	40.63 ± 5.97 b	34.25 ± 3.49 a	20.50 ± 2.86 a

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD; $p > 0,05$). Autoría propia.

La biomasa de los árboles de *Syzygium malaccensis* L. tendió a presentar el mayor contenido de Zn a los 60 días que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo. La biomasa de los árboles de *Syzygium jambos* L. tendió a presentar el mayor

contenido de Na a los 45 días que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo. Además, la biomasa de los árboles de *Nephelium lappaceum* L. tendió a presentar el mayor contenido de Fe a los 45 días y Cu a los 60 días que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo (Tabla 8).

Tabla 8

Promedio ± error estándar del contenido de micronutrientes de la biomasa de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Especie	Tiempo	Fe (g/ha/año)	Na (g/ha/año)	Zn (g/ha/año)	Cu (g/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	30	425.37 ± 65.92 a	57.88 ± 4.11 a	27.48 ± 4.00 a	14.01 ± 1.79 a
	45	288.74 ± 43.71 a	50.12 ± 7.01 a	30.49 ± 11.99 a	11.02 ± 1.92 a
	60	464.38 ± 190.36 a	51.94 ± 6.99 a	53.17 ± 23.09 a	17.01 ± 4.21 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	30	148.83 ± 34.86 a	84.54 ± 24.42 a	27.73 ± 5.97 a	14.11 ± 3.37 a
	45	156.82 ± 54.24 a	111.53 ± 22.69 a	35.49 ± 11.40 a	23.75 ± 10.31 a
	60	171.02 ± 37.25 a	76.18 ± 22.59 a	29.56 ± 5.55 a	17.47 ± 3.51 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	30	235.89 ± 99.70 a	34.76 ± 8.75 a	27.52 ± 5.62 a	15.77 ± 3.65 a
	45	517.33 ± 116.43 a	39.67 ± 17.50 a	40.56 ± 7.94 a	20.83 ± 7.76 a
	60	365.88 ± 138.59 a	47.45 ± 1.93 a	34.67 ± 3.04 a	24.90 ± 1.98 a

Nota. Medias con una letra común entre filas no son significativamente diferentes (LSD; $p > 0,05$). Autoría propia.

Concentración de macronutrientes de las bolsas de descomposición

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo de la interacción Especie × Tiempo para el contenido de N, P y K de las bolsas de descomposición. Tampoco existió un efecto significativo para el contenido de N y P por especie y por tiempo, pero mostró un efecto significativo sobre el contenido de K por especie y por tiempo (Tabla 9).

Tabla 9

Análisis de la varianza del contenido de macronutrientes de las bolsas de descomposición de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuentes de variación	gl	N (Kg/ha/año) p-valor	P (Kg/ha/año) p-valor	K (Kg/ha/año) p-valor
Especie	2	0.4865	0.5930	0.0035
Tiempo	2	0.8810	0.9178	0.0482
Especie × Tiempo	4	0.8279	0.7966	0.2899

Nota. Las variables especie y tiempo se consideran factores fijos. gl = grados de libertad.

Autoría propia.

Las bolsas de descomposición de los árboles de *Syzygium jambos* L. y *Syzygium malaccensis* L. presentaron mayores contenidos de K que *Nephelium lappaceum* L. No existieron diferencias significativas por especies para el contenido de N y P (Tabla 10).

Tabla 10

Promedio ± error estándar del contenido de N, P y K de las bolsas de descomposición de tres especies exóticas

Especie	N (Kg/ha/año)	P (Kg/ha/año)	K (Kg/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	0.55 ± 0.10 a	0.48 ± 0.10 a	0.26 ± 0.04 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	0.79 ± 0.25 a	0.43 ± 0.14 a	0.27 ± 0.08 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	0.48 ± 0.13 a	0.31 ± 0.08 a	0.04 ± 0.01 b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD; $p > 0,05$).

Autoría propia.

El contenido de K de las bolsas de descomposición (0.28 ± 0.05 Kg/ha/año) fue mayor a los 30 días que a los 60 días ($F_{2,12} = 3.61$; $p = 0.0482$).

Las bolsas de descomposición de los árboles de *Syzygium jambos* L. tendieron a presentar el mayor contenido de N a los 45 días y a los 30 días tendieron a presentar mayor contenido de K que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo. Además, las bolsas de descomposición de los árboles de *Syzygium malaccensis* L. tendieron a presentar mayor contenido de P que las demás especies en los diferentes periodos de tiempo (Tabla 11).

Tabla 11

Promedio ± error estándar del contenido de macronutrientes de las bolsas de descomposición de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento

Especie	Tiempo	N (Kg/ha/año)	P (Kg/ha/año)	K (Kg/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	30	0.61 ± 0.08 a	0.45 ± 0.09 a	0.36 ± 0.03 a
	45	0.45 ± 0.13 a	0.38 ± 0.10 a	0.20 ± 0.06 a
	60	0.61 ± 0.28 a	0.61 ± 0.31 a	0.21 ± 0.07 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	30	0.82 ± 0.31 a	0.44 ± 0.19 a	0.45 ± 0.13 a
	45	1.04 ± 0.75 a	0.57 ± 0.43 a	0.26 ± 0.17 a
	60	0.52 ± 0.12 a	0.29 ± 0.08 a	0.09 ± 0.03 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	30	0.33 ± 0.13 a	0.20 ± 0.07 a	0.04 ± 0.01 a
	45	0.57 ± 0.40 a	0.34 ± 0.24 a	0.05 ± 0.04 a
	60	0.53 ± 0.12 a	0.38 ± 0.08 a	0.02 ± 0.01 a

Nota. Medias con una letra común entre filas no son significativamente diferentes (LSD; $p > 0,05$). Autoría propia.

Concentración de micronutrientes de las bolsas de descomposición

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo para la interacción Especie × Tiempo sobre el contenido de Fe, Na, Zn y Cu de las bolsas de descomposición.

Además, no mostró un efecto significativo para el contenido de Fe, Na, Zn y Cu por especies ni por tiempo (Tabla 12).

Tabla 12

Análisis de la varianza del contenido de micronutrientes de las bolsas de descomposición de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuentes de variación	gl	Fe (g/ha/año) p-valor	Na (g/ha/año) p-valor	Zn (g/ha/año) p-valor	Cu (g/ha/año) p-valor
Especie	2	0.1878	0.2373	0.7578	0.9846
Tiempo	2	0.4481	0.9028	0.5750	0.6879
Especie × Tiempo	4	0.7096	0.5277	0.8041	0.7221

Nota. Las variables especie y tiempo se consideran factores fijos. gl = grados de libertad. Autoría propia.

Las bolsas de descomposición de los árboles de *Syzygium malaccensis* L. tendieron a presentar mayor contenido de Fe, Na y Cu que *Syzygium jambos* L. y *Nephelium lappaceum* L., además las bolsas de descomposición de los árboles *Syzygium jambos* L. tendieron a presentar mayor contenido de Zn que *Syzygium malaccensis* L. y *Nephelium lappaceum* L. (Tabla 13).

Tabla 13

Promedio ± error estándar del contenido de Fe, Na, Zn y Cu de las bolsas de descomposición de tres especies forestales exóticas

Especie	Fe (g/ha/año)	Na (g/ha/año)	Zn (g/ha/año)	Cu (g/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	32.43 ± 12.42 a	1.09 ± 0.26 a	0.61 ± 0.16 a	0.30 ± 0.07 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	26.47 ± 8.20 a	1.44 ± 0.48 a	0.89 ± 0.34 a	0.28 ± 0.09 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	8.79 ± 1.73 a	0.58 ± 0.13 a	0.76 ± 0.20 a	0.29 ± 0.08 a

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD; p > 0,05). Autoría propia.

Las bolsas de descomposición de los árboles de *Syzygium malaccensis* L. tendieron a presentar el mayor contenido de Fe y Cu a los 60 días que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo, además las bolsas de descomposición de los árboles de *Syzygium jambos* L. tendieron a presentar el mayor contenido de Na y Zn a los 45 días que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo (Tabla 14).

Tabla 14

Promedio ± error estándar del contenido de micronutrientes de las bolsas de descomposición de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Espece	Tiempo	Fe (g/ha/año)	Na (g/ha/año)	Zn (g/ha/año)	Cu (g/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	30	20.47 ± 5.63 a	0.77 ± 0.10 a	0.46 ± 0.09 a	0.24 ± 0.04 a
	45	20.54 ± 5.68 a	0.85 ± 0.30 a	0.47 ± 0.12 a	0.22 ± 0.06 a
	60	56.28 ± 36.88 a	1.65 ± 0.68 a	0.89 ± 0.46 a	0.44 ± 0.20 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	30	20.67 ± 7.75 a	1.66 ± 0.48 a	0.69 ± 0.18 a	0.27 ± 0.08 a
	45	32.31 ± 24.13 a	1.90 ± 1.45 a	1.31 ± 1.07 a	0.37 ± 0.27 a
	60	26.42 ± 11.43 a	0.76 ± 0.36 a	0.65 ± 0.21 a	0.20 ± 0.05 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	30	5.69 ± 1.80 a	0.42 ± 0.15 a	0.42 ± 0.16 a	0.18 ± 0.07 a
	45	8.07 ± 4.05 a	0.74 ± 0.39 a	0.91 ± 0.60 a	0.33 ± 0.23 a
	60	12.60 ± 2.03 a	0.59 ± 0.10 a	0.94 ± 0.07 a	0.36 ± 0.09 a

Nota. Medias con una letra común entre filas no son significativamente diferentes (LSD; $p > 0,05$). Autoría propia.

Aporte de macronutrientes

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo de la interacción Espece × Tiempo sobre el aporte de N, P y K, pero mostró un efecto significativo de la especie sobre los contenidos de N y P (Tabla 15).

Tabla 15

Análisis de la varianza del aporte de macronutrientes de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuentes de variación	gl	N (Kg/ha/año) p-valor	P (Kg/ha/año) p-valor	K (Kg/ha/año) p-valor
Especie	2	0.0001	0.0414	0.3976
Tiempo	2	0.0762	0.6579	0.3674
Especie × Tiempo	4	0.1457	0.7623	0.7945

Nota. Las variables especie y tiempo se consideran factores fijos. gl = grados de libertad.

Autoría propia.

Los árboles de *Syzygium jambos* L. presentaron mayores aportes de N que *Syzygium malaccensis* L. y *Nephelium lappaceum* L. Los árboles de *Nephelium lappaceum* L. presentaron mayores aportes de P que *Syzygium jambos* L. Además, no se mostraron diferencias significativas entre especies para el aporte de K (Tabla 16).

Tabla 16

Promedio ± error estándar del aporte de N, P y K de tres especies exóticas

Especie	N (Kg/ha/año)	P (Kg/ha/año)	K (Kg/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	2.13 ± 0.15 b	0.71 ± 0.22 ab	0.72 ± 0.16 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	7.32 ± 1.36 a	0.42 ± 0.10 b	1.01 ± 0.18 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	2.29 ± 0.56 b	1.37 ± 0.32 a	0.71 ± 0.16 a

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD; p > 0,05).

Autoría propia.

Los árboles de *Syzygium jambos* L. tendieron a presentar el mayor aporte de N a los 60 días y a los 30 días tendió a presentar el mayor aporte de K que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo. Además, los árboles de *Nephelium lappaceum* L. tendieron a

presentar mayor aporte de P a los 60 días que las demás especies en los diferentes periodos de tiempo (Tabla 17).

Tabla 17

Promedio ± error estándar del aporte de macronutrientes de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento

Especie	Tiempo	N (Kg/ha/año)	P (Kg/ha/año)	K (Kg/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	30	2.09 ± 0.12 a	1.07 ± 0.40 a	0.90 ± 0.40 a
	45	1.92 ± 0.21 a	0.31 ± 0.33 a	0.48 ± 0.15 a
	60	2.39 ± 0.40 a	0.75 ± 0.40 a	0.77 ± 0.29 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	30	3.82 ± 0.70 a	0.64 ± 0.21 a	1.22 ± 0.46 a
	45	7.98 ± 2.94 a	0.46 ± 0.16 a	0.88 ± 0.34 a
	60	10.17 ± 1.68 a	0.16 ± 0.06 a	0.95 ± 0.16 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	30	1.46 ± 0.25 a	1.27 ± 0.51 a	0.62 ± 0.23 a
	45	3.37 ± 1.63 a	1.22 ± 0.38 a	0.46 ± 0.33 a
	60	2.05 ± 0.19 a	1.63 ± 0.89 a	1.06 ± 0.24 a

Nota. Medias con una letra común entre filas no son significativamente diferentes (LSD; $p > 0,05$). Autoría propia.

Aporte de micronutrientes

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo de la interacción Especie × Tiempo sobre el aporte de Fe, Na, Zn y Cu; sin embargo, mostró efecto significativo de la especie sobre el aporte de Fe y Na (Tabla 18).

Tabla 18

Análisis de la varianza del aporte de micronutrientes de tres especies forestales exóticas a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuentes de variación	gl	Fe	Na	Zn	Cu
		(g/ha/año) p-valor	(g/ha/año) p-valor	(g/ha/año) p-valor	(g/ha/año) p-valor
Especie	2	0.0168	0.0020	0.7491	0.2839
Tiempo	2	0.8083	0.7450	0.4078	0.4419
Especie × Tiempo	4	0.3583	0.5943	0.6076	0.6469

Nota. Las variables especie y tiempo se consideran factores fijos. gl = grados de libertad.

Autoría propia.

Los árboles de *Syzygium malaccensis* L. y *Nephelium lappaceum* L. presentaron mayores aportes de Fe que *Syzygium jambos* L. Los árboles de *Syzygium jambos* L. presentaron mayores aportes de Na que *Syzygium malaccensis* L. y *Nephelium lappaceum* L. Además, no se mostraron diferencias significativas entre especies sobre el aporte de Zn y Cu (Tabla 19).

Tabla 19

Promedio ± error estándar del aporte de Fe, Na, Zn y Cu de tres especies forestales exóticas

Especie	Fe (g/ha/año)	Na (g/ha/año)	Zn (g/ha/año)	Cu (g/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	360.40 ± 66.40 a	52.23 ± 3.17 b	36.44 ± 8.48 a	13.71 ± 1.61 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	132.42 ± 15.14 b	89.32 ± 12.40 a	30.04 ± 3.94 a	18.17 ± 3.51 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	364.24 ± 72.10 a	40.05 ± 5.86 b	33.49 ± 3.37 a	20.21 ± 2.79 a

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (LSD; p > 0,05).

Autoría propia.

Los árboles de *Nephelium lappaceum* L. tendieron a presentar el mayor aporte de Fe a los 45 días y a los 60 días tendieron a presentar el mayor aporte de Cu que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo. Los árboles de *Syzygium jambos* L. tendieron a presentar el mayor aporte de Na a los 45 días que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo. Además, los árboles de *Syzygium malaccensis* L. tendieron a presentar el mayor aporte de Zn a los 60 días que las demás especies en los tres diferentes periodos de tiempo (Tabla 20).

Tabla 20

Promedio ± error estándar del aporte de micronutrientes de tres especies forestales exóticas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Especie	Tiempo	Fe (g/ha/año)	Na (g/ha/año)	Zn (g/ha/año)	Cu (g/ha/año)
<i>Syzygium malaccensis</i> L.	30	404.90 ± 61.51 a	57.11 ± 4.04 a	27.02 ± 4.00 a	13.76 ± 1.81 a
	45	268.20 ± 46.56 a	49.27 ± 6.72 a	30.02 ± 11.99 a	10.81 ± 1.91 a
	60	408.11 ± 201.45 a	50.29 ± 6.39 a	52.28 ± 22.64 a	16.57 ± 4.01 a
<i>Syzygium jambos</i> L.	30	128.16 ± 31.17 a	82.88 ± 23.94 a	27.04 ± 5.85 a	13.84 ± 3.29 a
	45	124.51 ± 31.21 a	109.64 ± 21.29 a	34.18 ± 10.48 a	23.39 ± 10.06 a
	60	144.60 ± 26.30 a	75.43 ± 22.24 a	28.92 ± 5.38 a	17.27 ± 3.47 a
<i>Nephelium lappaceum</i> L.	30	230.20 ± 98.27 a	34.35 ± 8.65 a	27.10 ± 5.50 a	15.59 ± 3.58 a
	45	509.26 ± 117.86 a	38.93 ± 17.12 a	39.65 ± 7.59 a	20.50 ± 7.53 a
	60	353.28 ± 138.84 a	46.86 ± 1.90 a	33.73 ± 3.01 a	24.54 ± 1.91 a

Nota. Medias con una letra común entre filas no son significativamente diferentes (LSD; $p > 0,05$). Autoría propia.

Discusión

Este estudio presenta información sobre la cantidad de biomasa y el aporte de nutrientes de hojarasca de tres especies forestales exóticas plantadas en las celdas de lodos y rípios evaluadas a los 30, 45 y 60 días. En términos generales la producción de biomasa de las tres especies forestales fue similar en los tres periodos de tiempo y el ingreso de macronutrientes y micronutrientes fueron similares para las tres especies en los tres diferentes periodos de tiempo.

Producción de biomasa

Los individuos de las tres especies plantadas en las celdas de lodos y rípios aportaron en promedio 2.50 Mg/ha/año de hojarasca. Este valor es inferior al reportado por Pande (2005), quien evaluó la productividad de la biomasa en una plantación forestal de *Tectona grandis* de 16 años plantados en suelos perturbados por la actividad de minería en un bosque tropical deciduo de la India (3.70 Mg/ha/año). También es inferior al valor reportado por Yang y Chen (2009), de 3.96 Mg/ha/año de hojarasca de *Pometia tomentosa* en un bosque de clima húmedo tropical, ubicado al suroeste de China durante la época lluviosa. Sin embargo, Hegarty (1991), reportó un valor de biomasa producido por *Diploglottis australis* de 5.4 Mg/ha/año, en un parque forestal de Australia de clima lluvioso subtropical. Estas diferencias podrían deberse a la edad que presentaron las plantaciones al momento de realizar la evaluación; en el presente estudio la producción de biomasa fue evaluada a los 10 años de edad, mientras que en los estudios realizados por Pande (2005), Yang y Chen (2009) y Hegarty (1991), las plantaciones fueron evaluadas a edades superiores a los 16 años. En este sentido, los árboles de mayor edad tienen mayor superficie foliar y mayor capacidad de producción de follaje (Bond, 2000). Además, los ensayos realizados por Yang y Chen (2009) y Hegarty (1991), fueron fertilizados, lo que pudo haber incrementado la producción de biomasa (Nicholls *et al.*, 2015).

La producción promedio de biomasa de *Syzygium malaccensis* L. (2.62 Mg/ha/año) y *Syzygium jambos* L. (2.74 Mg/ha/año) obtenida en este estudio fue mayor a la biomasa de

Syzygium cumini de 0.6 Mg/ha/año reportado por Pragasan y Parthasarathy (2005), en un estudio realizado en un bosque seco tropical del sur de la India. Sin embargo, Mathooko *et al.* (2001), reportaron un aporte de biomasa de *Syzygium cordatum* de 9.37 Mg/ha/año en un bosque cálido húmedo en Kenia. Estas diferencias se podrían explicar debido a que los árboles del género *Syzygium* se comportan como semicaducifolios en bosques húmedos tropicales y como perennifolio en bosques secos tropicales (Visalakshi, 1995).

La cantidad de biomasa aportada por *Nephelium lappaceum* L. de 2.15 Mg/ha/año, fue inferior a la reportada por Daryl Janiola *et al.* (2016), de 3.93 Mg/ha/año en su estudio realizado en el sur de Filipinas y por Sari *et al.* (2022), de 5.4 Mg/ha/año en un sistema agroforestal de cacao en Indonesia. En los estudios realizados por Daryl Janiola *et al.* (2016) y Sari *et al.* (2022). Los árboles de las plantaciones y sistemas agroforestales fueron fertilizados lo que pudo a ver incrementado la producción de biomasa (Nicholls *et al.*, 2015).

Aporte de nutrientes

El aporte promedio de N de los individuos de las tres especies plantadas en las celdas de lodos y ripios es de 3.92 Kg/ha/año, fue similar al reportado por Van Langenhove *et al.* (2020), quienes obtuvieron ingresos de 3.64 Kg/ha/año de N en su estudio realizado en un bosque tropical lluvioso de la comuna Kourou en la Guayana Francesa. Contrariamente Mani y Cao (2019), reportaron ingresos de 8.3 Kg/ha/año en su estudio realizado en un bosque ubicado al suroeste de Yunnan Provincia de China. El aporte mayor de N puede deberse a que los suelos de este bosque son volcánicos, contienen mayores niveles de materia orgánica y que favorece la descomposición de hojarasca y la liberación de N (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2015).

Los niveles de P promedio aportados por las tres especies arbóreas de 0.83 Kg/ha/año, fueron mayores a los valores reportados por Turner y Engelbrecht (2011) quienes encontraron ingresos de 0.72 Kg/ha/año de P de hojarasca de árboles presentes en un bosque húmedo tropical. Los menores ingresos de P se pueden atribuir a que los suelos de estos bosques se encontraron en erosión activa limitando el proceso de descomposición de la hojarasca y

evitando el aporte de nutrientes de la hojarasca (Zhu y Cheng, 2022). Por otro lado Vincent *et al.* (2010), reportaron ingresos mayores de 3.99 Kg/ha/año de hojarasca aportada por árboles en un bosque semicaducifolio de Panamá, lo que se podría deber a la fertilización con P por un periodo de 11 años, que pudo aumentar la tasa de descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca (Kaspari *et al.*, 2008).

Los niveles promedio de K aportados por las especies arbóreas de 0.81 Kg/ha/año fueron similares a los niveles reportados por Maisto *et al.* (2011), de 0.86 Kg/ha/año, quienes estudiaron la dinámica de nutrientes de hojarasca recolectadas durante el período de máxima caída en el sur de Italia. Sin embargo Han *et al.* (2011), reportaron aportes de 8.32 Kg/ha/año en un estudio sobre la liberación de nutrientes durante la descomposición de hojarasca de manzana (*Malus domestica*) en clima templado ubicado al Norte de China, lo que podría deberse a los altos niveles de materia orgánica en el suelo y a la fertilización realizada a la plantación (Rawat *et al.*, 2016).

En relación con el contenido de microelementos los aportes promedios de Fe (285.69 g/ha/año), Na (60.53 g/ha/año), Zn (33.32 g/ha/año) y Cu (17.36 g/ha/año), fueron mayores a los valores señalados por Del Valle-Arango (2003), en su estudio realizado en bosques pantanosos en Colombia, quienes obtuvieron valores de 102 g/ha/año de Fe, 24 g/ha/año de Na, 22 g/ha/año de Zn y 10 g/ha/año de Cu, esto puede deberse a que un suelo inundado limita la movilización y liberación de los nutrientes (Nawaz *et al.*, 2014).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El promedio de la biomasa total producida por los individuos de las tres especies forestales (*Syzygium malaccensis* L., *Syzygium jambos* L. y *Nephelium lappaceum* L.) plantadas en las celdas de lodos y ripios fue de 2.50 Mg/ha/año.
- Los árboles de *Syzygium jambos* L. presentaron mayor contenido de biomasa (2.74 Mg/ha/año), además presentaron mayor aporte de N a los 60 días, mayor aporte de K a los 30 días y mayor aporte de Na a los 45 días que las demás especies en los diferentes periodos de tiempo.
- Los árboles de *Nephelium lappaceum* L. presentaron mayor aporte de P a los 60 días, presentaron mayor aporte de Fe a los 45 días y mayor aporte de Cu a los 60 días que las demás especies en los diferentes periodos de tiempo.
- Los árboles de *Syzygium malaccensis* L. presentaron mayor aporte de Zn a los 60 días que las demás especies forestales en los diferentes periodos de tiempo.

Recomendaciones

- Continuar con las evaluaciones del aporte de biomasa y nutrientes de los árboles sobre suelos perturbados durante un período más largo de tiempo para determinar si las enmiendas realizadas en el suelo son sostenibles.
- Utilizar a *Syzygium jambos* L. para programas de reforestación por producir mayor cantidad de biomasa y aportar mayor N, K y Na.
- Realizar análisis de más elementos en hojas, flores y frutos para determinar si existe transferencia de metales pesados desde el suelo a las plantas y así evaluar la seguridad de consumo humano y por la fauna.
- Realizar un análisis de suelo tanto antes como después de la investigación para conocer el grado de remediación y si es necesario implementar medidas adicionales para continuar con la restauración del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Arumugam, B., Manaharan, T., Heng, C. K., Kuppusamy, U. R., y Palanisamy, U. D. (2014). Antioxidant and antiglycemic potentials of a standardized extract of *Syzygium malaccense*. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 707-712. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.041>
- Batista, Â. G., Da Silva, J. K., Betim Cazarin, C. B., Biasoto, A. C. T., Sawaya, A. C. H. F., Prado, M. A., y Maróstica Júnior, M. R. (2017). Red-jambo (*Syzygium malaccense*): Bioactive compounds in fruits and leaves. *LWT - Food Science and Technology*, 76(1), 284-291. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.013>
- Baynard, C. W., Ellis, J. M., y Davis, H. (2013). Roads, petroleum and accessibility: The case of eastern Ecuador. *GeoJournal*, 78(4), 675-695. <https://doi.org/10.1007/s10708-012-9459-5>
- Begum, M., Haque, M., Ferdous, R., Hasan, M., Tarek, H., Alam, N., Hossain, B., Uddin, N., Begum, T., y Mahmood, C. (2015). Screening of antioxidant and antimicrobial properties of the *Syzygium jambos* L. *American Journal of BioScience*, 3(2), 23. <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.s.2015030201.15>
- Bond, B. J. (2000). Age-related changes in photosynthesis of woody plants. *Trends in plant science*, 5(8), 349-353. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01691-5](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01691-5)
- Castellanos-Barliza, J., y Peláez, J. D. L. (2011). Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(1), 113-128. <https://doi.org/10.15517/rbt.v59i1.3182>
- Daryl Janiola, M. C., Marin, R. A., y Author, C. (2016). Carbon sequestration potential of fruit tree plantations in southern Philippines. *Biodiversity and Environmental Sciences*, 8(5), 164-174. <https://n9.cl/33inr>

- Del Valle-Arango, J. (2003). Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina en bosques pantanosos del Pacífico Sur colombiano. *Interciencia*, 28(8), 443-449.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908303>
- Delgado-Baquerizo, M., García-Palacios, P., Milla, R., Gallardo, A., y Maestre, F. T. (2015). Soil characteristics determine soil carbon and nitrogen availability during leaf litter decomposition regardless of litter quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 81(1), 134-142.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.009>
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada, M., y Robledo, C. (2020). *Infostat - Software estadístico*. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=pageid=15>
- Djado Djipa, C., Delmée, M., y Quetin-Leclercq, J. (2000). Antimicrobial activity of bark extracts of *Syzygium jambos* (L.) Alston (Myrtaceae). *Journal of Ethnopharmacology*, 71(1), 307-313. www.elsevier.com/locate/jethpharm
- Espinoza, E. (2018). *Relaciones entre las características edafológicas y las variables dasométricas de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados por la actividad petrolera* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14251/T-IASA%20I-005436.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Finer, M., Jenkins, C. N., Pimm, S. L., Keane, B., y Ross, C. (2008). Oil and gas projects in the Western Amazon: Threats to wilderness, biodiversity, and indigenous peoples. *PLoS ONE*, 3(8), 1-9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002932>
- Han, M. Y., Zhang, L. X., Fan, C. H., Liu, L. H., Zhang, L. S., Li, B. Z., y Alva, A. K. (2011). Release of nitrogen, phosphorus, and potassium during the decomposition of apple (*Malus domestica*) leaf litter under different fertilization regimes in Loess Plateau, China. *Soil Science and Plant Nutrition*, 57(4), 549-557.
<https://doi.org/10.1080/00380768.2011.593481>

- Hegarty, E. E. (1991). Leaf litter production by lianes and trees in a sub-tropical Australian rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 7(1), 201-214.
<https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/S0266467400005356>
- Heredia, M., De Decker, M., Villalta, V., y Vargas, M. (2016). Stochastic model on the mobility of petroleum in the soils of the Ecuadorian Amazon. *Producción Vegetal: Fitotecnia*, 7(1), 1-8. <https://sciforum.net/manuscripts/4634/slides.pdf>
- Hernández-Hernández, C., Aguilar, C. N., Rodríguez-Herrera, R., Flores-Gallegos, A. C., Morlett-Chávez, J., Govea-Salas, M., y Ascacio-Valdés, J. A. (2019). Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.): Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 85(3), 201-210. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.018>
- Isaac, S. R., Pushpakumari, R., y Varghese, J. (2018). Structural diversity, leaf litter recycling and allelopathic influences of leaf litter in an agroforestry homegarden of southern Kerala. *International Journal of Farm Sciences*, 8(4), 81-87.
<https://doi.org/10.5958/2250-0499.2018.00111.8>
- Kaspari, M., Garcia, M. N., Harms, K. E., Santana, M., Wright, S. J., y Yavitt, J. B. (2008). Multiple nutrients limit litterfall and decomposition in a tropical forest. *Ecology Letters*, 11(1), 35-43. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01124.x>
- Krishna, M. P., y Mohan, M. (2017). Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy, Ecology and Environment*, 2(4), 236-249. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0064-9>
- Maddela, N. R., Masabanda, M., y Leiva-Mora, M. (2015). Novel diesel-oil-degrading bacteria and fungi from the Ecuadorian Amazon rainforest. *Water Science and Technology*, 71(10), 1554-1561. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.142>
- Maddela, N. R., Scalvenzi, L., y Venkateswarlu, K. (2017). Microbial degradation of total petroleum hydrocarbons in crude oil: a field-scale study at the low-land rainforest of

- Ecuador. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 38(20), 2543-2550.
<https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1270356>
- Mahmood, K., Kamilah, H., Alias, A. K., y Ariffin, F. (2018). Nutritional and therapeutic potentials of rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* L.) and the by-products: a review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 1556-1571.
<https://doi.org/10.1007/s11694-018-9771-y>
- Maisto, G., De Marco, A., Meola, A., Sessa, L., y Virzo De Santo, A. (2011). Nutrient dynamics in litter mixtures of four Mediterranean maquis species decomposing in situ. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(3), 520-530. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.017>
- Mani, S., y Cao, M. (2019). Nitrogen and phosphorus concentration in leaf litter and soil in Xishuangbanna tropical forests: Does precipitation limitation matter?. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Forests*, 10(3), 1-12. <https://doi.org/10.3390/f10030242>
- Mathooko, J. M., Morara, G. O., y Leichtfried, M. (2001). Leaf litter transport and retention in a tropical Rift Valley stream: an experimental approach. *Hydrobiologia*, 443(3), 9-18.
<https://doi.org/10.1023/a:1017542617696>
- Mendelssohn, I. A., Andersen, G. L., Baltz, D. M., Caffey, R. H., Carman, K. R., Fleeger, J. W., Joye, S. B., Lin, Q., Maltby, E., Overton, E. B., y Rozas, L. P. (2012). Oil Impacts on Coastal Wetlands: Implications for the Mississippi River Delta Ecosystem after the Deepwater Horizon Oil Spill. *BioScience*, 62(6), 562-574.
<https://doi.org/10.1525/BIO.2012.62.6.7>
- Nawaz, M., Bourrie, G., y Sadaf Gul. (2014). Factors affecting redox reactions in hydromorphic soils. A review. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51(3), 517-523.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=97b62b3fd20194ab520d97b211d7006c644a0769>

- Nicholls, C. I., Henao, A., y Altieri, M. A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), 7-31.
<https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711>
- O'Brien, P. L., DeSutter, T. M., Casey, F. X. M., Wick, A. F., y Khan, E. (2017). Evaluation of soil function following remediation of petroleum hydrocarbons, a review of current remediation techniques. *Current Pollution Reports*, 3(3), 192-205.
<https://doi.org/10.1007/s40726-017-0063-7>
- Ochieng, M. A., Ben Bakrim, W., Bitchagno, G. T. M., Mahmoud, M. F., y Sobeh, M. (2022). Syzygium jambos L. Alston: An insight into its phytochemistry, traditional uses, and pharmacological properties. *Frontiers in Pharmacology*, 13(2), 2-16.
<https://doi.org/10.3389/fphar.2022.786712>
- Oliveira, F. I. P., Gallão, M. I., Rodrigues, S., y Fernandes, F. A. N. (2011). Dehydration of Malay Apple (*Syzygium malaccense* L.) using ultrasound as pre-treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 4(2), 610-615. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0351-3>
- Pande, P. K. (2005). Biomass and productivity in some disturbed tropical dry deciduous teak forests of Satpura plateau, Madhya Pradesh. *Tropical Ecology*, 46(2), 229-239.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&ytype=pdf&doi=eabc2720e1a05668a11a1e9f1a6c1a0114bfdb49>
- Patel, C. R., Rymbai, H., Patel, N. L., Ahlawat, T. R., Tandel, Y. N., Saravaiya, S. N., Nataraja, K. H., y Sabarad, A. I. (2017). Rose apple (*Syzygium jambos* (L.) Alston). *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, 2(1), 1133-1158.
<https://www.researchgate.net/publication/335240607>
- Peñaherrera, M. F. (2022). *Desarrollo de Sectores Productivos y estratégicos del Ecuador*.
<http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/807>

- Pino, J. A., Marbot, R., Rosado, A., y Vázquez, C. (2004). Volatile constituents of Malay rose apple (*Syzygium malaccense* (L.) Merr. y Perry). *Flavour and Fragrance Journal*, 19(1), 32-35. <https://doi.org/10.1002/ffj.1269>
- Posada, R. H., Madriñan, S., y Rivera, E. L. (2012). Relationships between the litter colonization by saprotrophic and arbuscular mycorrhizal fungi with depth in a tropical forest. *Fungal Biology*, 116(7), 747-755. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2012.04.003>
- Pragasam, L. A., y Parthasarathy, N. (2005). Litter production in tropical dry evergreen forests of south India in relation to season, plant life-forms and physiognomic groups. *Current Science*, 88(8), 1255-1263. <https://doi.org/10.2307/24110294>
- Rawat, J., Sanwal, P., y Saxena, J. (2016). Potassium and its role in sustainable agriculture. En *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture* (pp. 235-253). Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_17
- Reyes, M., García Eduardo, Chávez, S., Muratalla, A., Reyes, J., y Aguilar, J. (2020). Fertilización en rambután (*Nephelium lappaceum* L.) para mejorar la calidad de frutos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.19136/era.a7nl.2412>
- Ribeiro, C., Madeira, M., y Araújo, M. C. (2002). Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. *Forest Ecology and Management*, 171(1-2), 31-41. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112702004590>
- Rosete Blandariz, S. (2019). Phyto-resources of interest for tourism in the dry forests of the coastal region, Jipijapa, Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(2), 240-262. https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/download/435/pdf_1/4822

- Sari, R. R., Rozendaal, D. M. A., Saputra, D. D., Hairiah, K., Roshetko, J. M., y van Noordwijk, M. (2022). Balancing litterfall and decomposition in cacao agroforestry systems. *Plant and Soil*, 473(1-2), 251-271. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05279-z>
- Shrinath, M., Shreedhara, K., Saldanha, E., Singh, V., Priya, R., Adnan, M., y Naik, T. S. (2018). Rose Apple (*Syzygium jambos* (L.) Alston). *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, 2(2), 1235-1241. <https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch65>
- Sierra, M. Á., Marín, Y., y Ramos, R. (2021). Una lectura sobre efectos de los lodos usados en perforaciones en las asociaciones Cocorná y Nare (Antioquia, Colombia). *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 14(1), 153-165. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/95338>
- Sobeh, M., Esmat, A., Petruk, G., Abdelfattah, M. A. O., Dmirieh, M., Monti, D. M., Abdel-Naim, A. B., y Wink, M. (2018). Phenolic compounds from *Syzygium jambos* (Myrtaceae) exhibit distinct antioxidant and hepatoprotective activities in vivo. *Journal of Functional Foods*, 41(1), 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.055>
- Sparks, A. (2023). *POWER | Data Access Viewer*. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Stepanova, A. Y., Gladkov, E. A., Osipova, E. S., Gladkova, O. V., y Tereshonok, D. V. (2022). Bioremediation of soil from petroleum contamination. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Processes*, 10(6), 1-17. <https://doi.org/10.3390/pr10061224>
- Sukmandari, N. S., Dash, G. K., Jusof, W. H. W., y Hanafi, M. (2017). A review on *Nephelium lappaceum* L. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 10(8), 2819-2827. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2017.00498.X>

- Thitilertdecha, N., Teerawutgulrag, A., y Rakariyatham, N. (2008). Antioxidant and antibacterial activities of *Nephelium lappaceum* L. extracts. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 2029-2035. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.017>
- Turner, B. L., y Engelbrecht, B. M. J. (2011). Soil organic phosphorus in lowland tropical rain forests. *Biogeochemistry*, 103(1), 297-315. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9466-x>
- Van Langenhove, L., Depaepe, T., Vicca, S., van den Berge, J., Stahl, C., Courtois, E., Weedon, J., Urbina, I., Grau, O., Asensio, D., Peñuelas, J., Boeckx, P., Richter, A., Van Der Straeten, D., y Janssens, I. A. (2020). Regulation of nitrogen fixation from free-living organisms in soil and leaf litter of two tropical forests of the Guiana shield. *Plant and Soil*, 450(1-2), 93-110. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04012-1>
- Villacís, J., Armas, C., Hang, S., y Casanoves, F. (2016). Selection of Adequate Species for Degraded Areas by Oil-Exploitation Industry as a Key Factor for Recovery Forest in the Ecuadorian Amazon. *Land Degradation and Development*, 27(7), 1771-1780. <https://doi.org/10.1002/ldr.2511>
- Vincent, A. G., Turner, B. L., y Tanner, E. V. J. (2010). Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest. *European Journal of Soil Science*, 61(1), 48-57. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01200.x>
- Visalakshi, N. (1995). Vegetation analysis of two tropical dry evergreen forests in southern India. *Tropical Ecology*, 36(1), 117-127. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19960608663>
- Woodward, C. (1996). Soil compaction and topsoil removal effects on soil properties and seedling growth in Amazonian Ecuador. *Forest Ecology and Management*, 82(1), 197-209. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378112795036679>
- Yang, X., y Chen, J. (2009). Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(5), 910-918. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.12.028>

Zhang, G., Zhang, P., Peng, S., Chen, Y., y Cao, Y. (2017). The coupling of leaf, litter, and soil nutrients in warm temperate forests in northwestern China. *Scientific Reports*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12199-5>

Zhu, F., y Cheng, J. (2022). Comparison of the effects of litter decomposition process on soil erosion under simulated rainfall. *Scientific Reports*, 12(1), 21-33. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25035-2>