



**Evaluación de la dinámica de nutrientes en tres especies arbóreas de uso maderable,
plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados Secoya 2-3 en la
Amazonía ecuatoriana**

Malan Daga, Lenin Omar

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Villacis Buenaño, Jaime Emiliano, Ph.D.

02 de marzo del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Evaluación de la dinámica de nutrientes en tres especies arbóreas de uso maderable, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados Secoya 2-3 en la amazonia ecuatoriana**, fue realizado por el señor: **Malan Daga Lenin Omar**; 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, 02 de marzo del 2023



Ing. Villacis Buenaño Jaime Emiliano, Ph.D.

C. C. 1710004078

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

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

UIC 2023

NOMBRE DEL ALUMNO

LENIN OMAR MALAN DAGA

NOMBRE DEL ARCHIVO

LENIN OMAR MALAN DAGA - tesina 2023

SE HA CREADO EL INFORME

2 mar 2023

Resumen

Fragmentos marcados	1	0,2 %
Fragmentos citados o entrecuillados	0	0 %
Coincidencias de la Web		
repositorioinstitucional.mx	1	0,2 %



ALUMNO AUTENTICADO EN:
JAIME EMILIANO
VILLACIS BUENANO

Ing. Villacis Buenaño Jaime Emiliano, Ph.D.

C. C. 1710004078



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **Malan Daga, Lenin Omar**, con cédula de ciudadanía No 1727419457, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Evaluación de la dinámica de nutrientes en tres especies arbóreas de uso maderable, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados Secoya 2-3 en la amazonia 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, 02 de marzo del 2023

Malan Daga, Lenin Omar

C.C.: 1727419457



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Autorización de Publicación:

Yo, **Malan Daga, Lenin Omar**, con cédula de ciudadanía No. 1727419457 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Evaluación de la dinámica de nutrientes en tres especies arbóreas de uso maderable, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados Secoya 2-3 en la amazonia ecuatoriana** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 02 de marzo del 2023

Malan Daga, Lenin Omar

C.C.: 1727419457

Dedicatoria

A mi madre Esther, quien es el pilar fundamental de mi vida, su ejemplo y fortaleza me ha enseñado a seguir adelante, este y todos mis logros van dedicados a ella, gracias por su comprensión y por estar a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi hermano Diego, por siempre brindarme su apoyo y ayudarme en cualquier momento de mi vida.

A mi padre Oswaldo que desde el cielo siempre me está apoyando y guiando en todas las decisiones de mi vida.

Agradecimientos

A Dios por darme la vida y guiarme en todos los momentos de mi vida.

Mis eternos agradecimientos al Ing. Jaime Villacis, Ph.D., por permitirme formar parte de este proyecto y compartir conmigo todos sus conocimientos y virtudes.

A mi madre y mi hermano, quienes supieron apoyarme todo este tiempo, gracias por siempre creer en mí y ser el motivo de mi superación.

A mis abuelitos Abraham y Magdalena que me han brindado su apoyo y sus consejos, para convertirme en una mejor persona.

A mis tíos César y Angelita quienes me brindaron sus consejos, experiencias y virtudes, para seguir siempre adelante y nunca desmayar.

A mi tía Lurdes por el apoyo y los consejos que me brindaba, gracias por todo y espero que desde el cielo me siga apoyando.

A mis amigos que compartieron sus experiencias todos estos años, por las reuniones, viajes, fiestas, clases, peleas, risas y sobre todo por siempre ayudarnos y apoyarnos cuando teníamos problemas.

A Marjorie por apoyarme y compartir todo este tiempo conmigo, su compañía a echo muy grato todos los años de estudio.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a la carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA I, por brindarme la oportunidad de formarme como un excelente profesional.

Al laboratorio de CCNAC, por prestarme las instalaciones para la culminación de este proyecto.

Lenin Malan D.

Índice de Contenidos

Carátula	1
Certificación	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenido.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos	7
Índice de Contenidos	8
Índice de Figuras	12
Resumen	13
Abstract.....	14
CAPÍTULO I	15
INTRODUCCIÓN	15
Antecedentes	15
Justificación.....	16
Objetivos	17
General.....	17
Específico.....	17
Hipótesis	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
Impacto ambiental en la Amazonía Ecuatoriana.....	18
Unidades de tratamientos de suelos contaminados (UTSC).....	18
Especies arbóreas.....	18

<i>Platymiscium pinnatum</i>	18
<i>Myrcia aff. Fallax</i>	19
<i>Zygia longifolia</i>	19
Producción de Biomasa.....	19
Dinámica de nutrientes.....	20
CAPÍTULO III.....	22
METODOLOGÍA.....	22
Área de estudio.....	22
Selección de especies.....	23
Implementación del experimento.....	24
Fase de laboratorio.....	25
Variables evaluadas.....	25
Análisis de la información.....	26
CAPÍTULO III.....	27
RESULTADOS.....	27
Producción de biomasa.....	27
Contenido de macronutriente de la producción de biomasa.....	29
Concentración de micronutrientes de la producción de biomasa.....	30
Concentración de macronutrientes en la hojarasca.....	32
Concentración de micronutrientes en la hojarasca.....	35
Dinámica de los macronutrientes.....	36
Dinámica de micronutrientes.....	37
CAPÍTULO V.....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
Conclusiones.....	39
Recomendaciones.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	40

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Características de temperatura, humedad y precipitación de la fase de campo</i>	22
Tabla 2 <i>Análisis de varianza de la biomasa total, hojas, raquis y ramas de tres especies maderables, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados y recolectados en tres periodos de tiempo</i>	27
Tabla 3 <i>Promedio \pm error estándar de la producción de biomasa de hojas y ramas (Mg/ha/año) de tres especies maderables, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminadas</i>	28
Tabla 4 <i>Promedio \pm error estándar de la producción de biomasa total, hojas y raquis (Mg/ha/año) recolectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento</i>	29
Tabla 5 <i>Análisis de varianza del contenido de macronutrientes en la biomasa de tres especies arbóreas maderables, colectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento</i>	29
Tabla 6 <i>Promedio \pm error estándar del contenido de macronutrientes (Kg/ha/año) en la biomasa de tres especies forestales, colectada en diferentes periodos de tiempos</i>	30
Tabla 7 <i>Análisis de varianza del contenido de micronutrientes en la biomasa de tres especies maderables, recolectada después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento</i>	31
Tabla 8 <i>Promedio \pm error estándar del contenido de micronutrientes (g/ha/año) de la biomasa de tres especies maderables, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados</i>	32
Tabla 9 <i>Promedio \pm error estándar del contenido de micronutrientes, recolectada 30, 45 y 60 días después del experimento</i>	32
Tabla 10 <i>Análisis de varianza del contenido de macronutrientes de tres especies maderables, recolectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento</i>	33

Tabla 11	<i>Promedio \pm error estándar del contenido de macronutrientes (Kg/ha/año) de la hojarasca de tres especies arbóreas, recolectadas después de 30, 45 y 60 días.....</i>	33
Tabla 12	<i>Promedio \pm error estándar del contenido de N, P y K (Kg/ha/año) de tres especies maderables plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados</i>	34
Tabla 13	<i>Promedio \pm error estándar del contenido de N, P y K (Kg/ha/año) colectados después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento</i>	34
Tabla 14	<i>Análisis de varianza del contenido de micronutrientes en la hojarasca de tres especies maderables, colectadas en diferentes periodos de tiempo</i>	35
Tabla 15	<i>Promedio \pm error estándar del contenido Zn y Cu (g/ha/año) de la hojarasca de tres especies maderables, colectadas en diferentes períodos de tiempo</i>	35
Tabla 16	<i>Análisis de varianza de la dinámica de macronutrientes en tres especies maderables colectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento</i>	36
Tabla 17	<i>Promedio \pm error estándar de la dinámica de macronutrientes (Kg/ha/año) en tres especies maderables, colectadas en diferentes períodos de tiempo</i>	36
Tabla 18	<i>Análisis de varianza de la dinámica micronutrientes de tres especies maderables, recolectados después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento</i>	37
Tabla 19	<i>Promedio \pm error estándar del contenido de Cu y Zn (g/ha/año), colectados en diferentes períodos de tiempo</i>	38

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Disposición del experimento en el sitio, Secoya 2-3</i>	23
Figura 2 <i>Colocación de las trampas en el campo, Secoya 2-3</i>	24
Figura 3 <i>Colocación de las bolsas nylon en el campo, Secoya 2-3</i>	24
Figura 4 <i>Promedio \pm error estándar de la producción de biomasa de hojas (Mg/ha/año) de tres especies maderables, recolectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento</i>	28
Figura 5 <i>Promedio \pm error estándar del contenido de Cu (g/ha/año) de la biomasa de tres especies maderables colectadas diferentes periodos de tiempo</i>	31
Figura 6 <i>Promedio \pm error estándar del contenido de Cu (g/ha/año) en tres especies maderables, colectadas en diferentes periodos de tiempo</i>	37

Resumen

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la producción de hojarasca y la dinámica de nutrientes en tres especies arbóreas de uso maderable, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados. Para cuantificar la hojarasca se colocaron 9 trampas con un área de 0.25 m², en el sitio de estudio. El aporte de nutrientes se evaluó mediante la descomposición de 5 gramos de hojarasca previamente colocadas en 194 bolsas nylon. La recolección se realizó después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento. Las muestras recolectadas fueron secadas, pesadas y clasificadas en hojas, raquis, ramas y biomasa total; además se determinó el contenido de N, P, K, Zn y Cu de cada una de las muestras. La dinámica de nutrientes se determinó restando el contenido de nutrientes presente en la producción de biomasa, con el contenido de nutrientes de la hojarasca colocada en las bolsas. A los 30 días de recolección se presentó la mayor producción de biomasa total (5.40 Mg/ha/año). Se encontraron diferencias significativas en la interacción Especie*Tiempo, para el contenido de N, P, K y Cu. La hojarasca de los árboles de *Zygia longifolia* a los 30 días presentó mayor contenido de Cu, mientras que a los 60 días presentó mayor contenido de N, P y K. El aporte de nutrientes mostró un efecto significativo en la interacción Especie*Tiempo, destacando los árboles de *Zygia longifolia* a los 60 días aportaron mayor contenido de N (99.36 Kg/ha/año), P (3.96 Kg/ha/año) y K (2.06 Kg/ha/año) que los árboles del resto de especies a los 45 y 60 días.

Palabras clave: Biomasa, UTSC, Dinámica de nutrientes, Hojarasca.

Abstract

The main objective of this study was to evaluate litter production and nutrient dynamics in three tree species for timber use, planted in contaminated soil treatment units. To quantify the litter, 9 traps with an area of 0.25 m² were placed at the study site. The nutrient contribution was evaluated by decomposing 5 grams of litter previously placed in 194 nylon bags. The collection was carried out after 30, 45 and 60 days installed the experiment. The collected samples were dried, weighed and classified into leaves, rachis, branches and total biomass; In addition, the content of N, P, K, Zn and Cu of each of the samples was determined. The nutrient dynamics was determined by subtracting the nutrient content present in the biomass production, with the nutrient content of the litter placed in the bags. At 30 days of collection, the highest production of total biomass (5.40 Mg/ha/year) was presented. Significant differences were found in the Species*Time interaction, for the content of N, P, K and Cu. The litter of *Zygia longifolia* trees at 30 days presented higher Cu content, while at 60 days it presented higher N, P and K content. Nutrient input showed a significant effect on the Species*Time interaction, highlighting *Zygia longifolia* trees at 60 days provided higher content of N (99.36 Kg/ha/year), P (3.96 Kg/ha/year) and K (2.06 Kg/ha/year) than the trees of the other species at 45 and 60 days.

Keywords: *Biomass, UTSC, Nutrient dynamics, Litter.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Ecuador tiene una economía muy pequeña y abierta al mercado mundial, por lo cual depende de productos primarios, principalmente del petróleo, el cual ha constituido la columna vertebral de la economía ecuatoriana desde 1972, Cabrera (2022). La extracción de petróleo es una de las principales actividades económicas del Ecuador, Banco Central del Ecuador (BCE, 2022). Sin embargo, la extracción de petróleo ocasiona una contaminación biótica sobre el hábitat natural, Cusarúa (2018). Además, el proceso de extracción de petróleo acelera la liberación de nutrientes, principalmente del nitrógeno y microelementos, Zhang & Liu (2019).

Para la extracción de petróleo se construyen plataformas de perforación, unidades de tratamientos de suelos (UTSC), celdas de lodos y ripios, pozos y zanjas, Bravo (2007). En las UTSC, se levantan plataformas contaminadas con hidrocarburos para su posterior tratamiento, con el objetivo de que el suelo enmendado tenga los límites permisibles de hidrocarburos que establece el ministerio del ambiente del Ecuador, Villacis (2016).

Una de las alternativas para la recuperación y restauración de los suelos es la reforestación a gran escala, Martín *et al.*, (2023). La reforestación permite restablecer los procesos del ciclo de nitrógeno, frenar la erosión y retener nutrientes en el suelo, Lanuza *et al.*, (2018). Los árboles incorporan nutrientes al suelo, por medio de la caída de hojas (hojarasca), y así contribuye a la productividad y recuperación del suelo de forma sustentable, Carrazco *et al.*, (2019).

La cuantificación de la producción y contenido de nutrientes ayuda a comprender la dinámica de nutrientes en los ecosistemas forestales, Castellanos & León (2010). La tasa de descomposición de la hojarasca es muy variable, por lo cual se requiere realizar varios estudios relacionados a la producción de biomasa y al aporte de nutrientes, Martínez *et al.*, (2020).

Justificación

Los aportes de la hojarasca actúan como un sistema de entrada y salida de nutrientes del suelo, Wang *et al.* (2008). La eficiencia del uso de nutrientes se puede utilizar como un índice para entender el aporte N, P, K, Zn y Cu al suelo, López *et al.*, (2022). La eficiencia de nutrientes determina el empleo de especies forestales para diferentes fines, dentro de los que se destaca la recuperación de áreas degradadas, Castellanos & León (2010).

En el año 2012 las especies *Platymiscium pinnatum*, *Myrcia aff. Fallax* y *Zygia longifolia*, se utilizaron para reforestar las UTSC, por presentar atributos como: capacidad de resistencia al ataque de insectos, tolerar suelos ácidos, arcilloso y compactos, controlar la erosión y tener una buena calidad de madera, que se utilizaba para la fabricación de muebles finos, canoas, elaboración de remos y construcciones, Villacis (2016).

Las especies han presentado una buena adaptabilidad y una tasa de sobrevivencia del 70-90 %, Espinoza (2018). Además, las especies producen una buena cantidad de hojarasca sobre estos suelos perturbados, Sani (2019). Sin embargo, el rendimiento y descomposición de la hojarasca puede variar entre especies forestales y la etapa de vida de la especie forestal, Tang *et al.*, (2010). Además, la dinámica de nutrientes cambia sustancialmente con el tiempo, Lanuza *et al.*, (2018).

Es importante continuar realizando estudios sobre el aporte de nutrientes en los suelos perturbados (UTSC), debido a que no se conocen muchos datos del contenido de nutrientes que aportan estas especies. La presente investigación proporciona información de sobre la producción de biomasa y el aporte de nutrientes (N, P, K, Zn y Cu) de tres especies arbóreas maderables, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados, Secoya 2-3 de la Amazonia Ecuatoriana. De esta manera se generaron indicadores cuantitativos de producción primaria (biomasa y nutrientes) que aportan los árboles de estas tres especies.

Objetivos

General

Evaluar la dinámica de nutrientes en la hojarasca de tres especies arbóreas de uso maderable, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados, en el sector de secoya 2-3 de la Amazonía Ecuatoriana.

Específico

Cuantificar los niveles de biomasa que aportan las especies forestales a los suelos degradados de las unidades de tratamientos de suelos contaminados, del sitio Secoya 2-3.

Determinar la cantidad de N, P, K, Zn y Cu que aportan las especies arbóreas, en las unidades de tratamientos de suelos contaminados, del sector de secoya 2-3 de la Amazonía Ecuatoriana.

Hipótesis

HO: Los árboles de las especies *Platymiscium pinnatum*, *Myrcia aff. Fallax* y *Zygia longifolia* plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados producen similar biomasa en diferentes periodos de tiempo.

H1: Los árboles de las especies *Platymiscium pinnatum*, *Myrcia aff. Fallax* y *Zygia longifolia* plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados producen la diferente biomasa, en diferentes periodos de tiempo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Impacto ambiental en la Amazonía Ecuatoriana

Las actividades petroleras y mineras son las causantes de la deforestación en la Amazonía ecuatoriana, provocan la pérdida de la biodiversidad, tala indiscriminada del bosque y degradación del suelo, Cabrera (2022). Sin embargo, la industria petrolera destruye la rizosfera, causando la erosión y pérdida de suelo, Bravo (2007).

Unidades de tratamientos de suelos contaminados (UTSC)

Las UTSC son áreas preestablecidas, donde se concentran suelos contaminados por el petróleo crudo y derivadas, provenientes de los derrames ocasionados por la rotura de oleoductos y en los cuales se realizan procesos como: lavado y secado de suelos, separación de contaminantes del suelo y tratamientos biológicos y/o químicos, Villacís *et al.*, (2016).

Especies arbóreas

Platymiscium pinnatum

Esta especie pertenece a la familia de las fabáceas, es conocida vulgarmente como Caoba y se encuentra ubicada en Centro América y Sudamérica, Palacios (2016). Los árboles presentan alturas de 40 m y diámetros de 0.90 m, además crecen en lomas y áreas bien drenadas con pendientes menores al 30%, Rodríguez (2018). Las hojas son paripinnadas, alternas, de color verde oscuro, su inflorescencia es axilar y las flores son pequeñas con cinco pétalos, los frutos son cápsulas erectas, elongadas y lisas y las semillas son oscuras de color pardo lustrosas, Villacis (2016).

Los árboles de *P. pinnatum* producen madera de alta calidad, dura y pesada, empleada para la fabricación de muebles finos, canoas, barcos, pisos y construcciones pesadas, Lozano (2015).

Myrcia aff. Fallax

Este grupo pertenece a la familia Myrtaceae, es conocida vulgarmente como Onte, se distribuye en Mesoamérica, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil, Palacios (2016). Los árboles de esta especie presentan alturas máximas de 36 m y diámetros de 0.8 m, sus hojas son simples, oblongas y cortas, su inflorescencia es extra axilar, con 15 a 25 flores, los frutos tienen la superficie glabra, lisa, y contienen de 12 a 15 semillas, Villacis (2016).

Los árboles de *M. aff. Fallax* son utilizados en la reforestación de áreas degradadas, debido a que tiene la capacidad de tolerar los suelos ácidos, arcillosos y compactos, Villacis (2016). La madera se emplea para construcciones y las flores para la alimentación de abejas y otros insectos, Lozano (2015).

Zygia longifolia

Z. longifolia pertenece a la familia de las fabáceas, se la conoce con el nombre de Chiparo, se encuentra distribuido en la zona tropical de centro América y Sudamérica, Cortes (2021). Los individuos presentan alturas de 15 m y diámetros de 1 m, sus hojas son compuestas, alternas, dispuestas en forma de hélices, sus flores se encuentran agrupadas a lo largo de las ramas, con cáliz pequeño y estambres largos, el fruto es una vaina alargada que contiene de 10 a 15 semillas, Villacis (2016).

Los individuos de *Z. longifolia* presentan usos funcionales para controlar deslaves, reforestar zonas y adaptarse a suelos secos y arenosos, debido a que presenta un sistema radicular resistente y a su capacidad para retener agua, Paredes (2018).

Producción de Biomasa

La biomasa es producida por el volumen de hojarasca que contiene cada árbol, el cual genera un aporte de nutrientes al suelo, Silva *et al.*, (2019). El beneficio de los árboles sobre el suelo depende del reciclaje de nutrientes y la cantidad de hojarasca producida, Romero (2006).

La hojarasca representa la principal fuente de nutrientes en el suelo, por lo cual es importante conocer la biomasa del ecosistema en un área determinada y entender los procesos

de circulación de nutrientes, Silva *et al.*, (2019). La caída de hojarasca ha sido utilizada para medir la productividad primaria neta de los bosques, Sandoval (2006).

Plantaciones de *Acacia mangium* alcanzan una producción de hojarasca de 10.350 kg/ha/año, con menores valores en los meses más lluviosos, Castellanos & León (2010). Los árboles de *Pithecellobium saman* aportan una biomasa total de 279 g/m², sin embargo, el aporte cambia con respecto al tiempo, Sandoval (2006).

Los bosques de Pino presentan una producción de hojarasca que varía de 6.596 a 5.270 kg/ha/año, López *et al.*, (2022). Las especies de *Vochysia guatemalensis* en bosques naturales producen una biomasa de 7.2 Mg/ha/año, mientras que en bosques plantados una producción de 8,2 Mg/ha/año de hojarasca, Lanuza (2016).

Las especies leñosas presentes en los sistemas silvopastoriles como *Gmelina arborea* y *Acacia mangium*, presentan producciones de hojarasca de 6938,1 y 5945,5 kg/ha, respectivamente, Tapia *et al.*, (2022).

Dinámica de nutrientes

La dinámica de nutrientes consiste en un complejo conjunto de mecanismos directos e indirectos de retroalimentación entre el suelo y la vegetación, en otras palabras, se considera como la transferencia de nutrientes al suelo, Lanuza (2016). La descomposición de la hojarasca puede ser afectada por las condiciones climáticas, Zhang & Liu (2019).

La dinámica de nutrientes inicia con la senescencia de las hojas, donde ocurre una descomposición del cloroplasto, el cual contiene hasta un 70 % de proteína, exportando los nutrientes (N, P, K, etc) a otros órganos, Pyung *et al.*, (2007).

Especies leñosas como *A. mangium* y *G. arborea*, presentan concentraciones de N de 70,77 y 62,46 kg/ha respectivamente. Mientras que el contenido de K, en estas especies es de 37,47 kg/ha y 32,11 kg/ha. La especie *G. arborea* contiene concentraciones de P de 14,57 kg/ha, Tapia *et al.*, (2022).

Cuando la descomposición y liberación de nutrientes es rápida, los árboles presentan menos limitaciones en sus requerimientos nutricionales, mientras una lenta descomposición puede ayudar a proteger al suelo de la erosión hídrica, por la presencia de hojas en el suelo de manera permanente, Munguía (2011).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Área de estudio

La fase experimental se desarrolló en el campo de explotación de Petroamazonas EP en la unidad de tratamientos de suelos contaminadas (UTSC), Secoya 2-3 en la parroquia Pacayaku del cantón Lago Agrio provincia de Sucumbíos, en las coordenadas N323353 – UTM 100143 a 2904 msnm. Las características de temperatura, humedad y precipitación que se presentaron en la fase experimental se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1

Características de temperatura, humedad y precipitación de la fase de campo

Estado	Fecha	Temperatura (°c)	Humedad (%)	Precipitación (mm/día)
Implementación del proyecto	10/20/2022	24.01	90.5	4.63
	10/21/2022	24.12	89.75	5.62
	10/22/2022	25.17	89.44	6.16
	10/23/2022	23.42	93.75	19.12
Recolección	11/18/2022	23.87	91.5	12.95
	12/03/2022	24.32	89.56	43.36
	12/17/2022	24.21	88.50	41.2

Nota. La tabla muestra los cambios de temperatura, humedad y precipitación durante la fase de campo. Autor: Date Access (2022).

La fase de laboratorio se realizó en el Laboratorio de suelos de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, ubicada en la Hacienda el Prado y en el Laboratorio de SENEC del centro de investigación de nanotecnología, ubicada en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

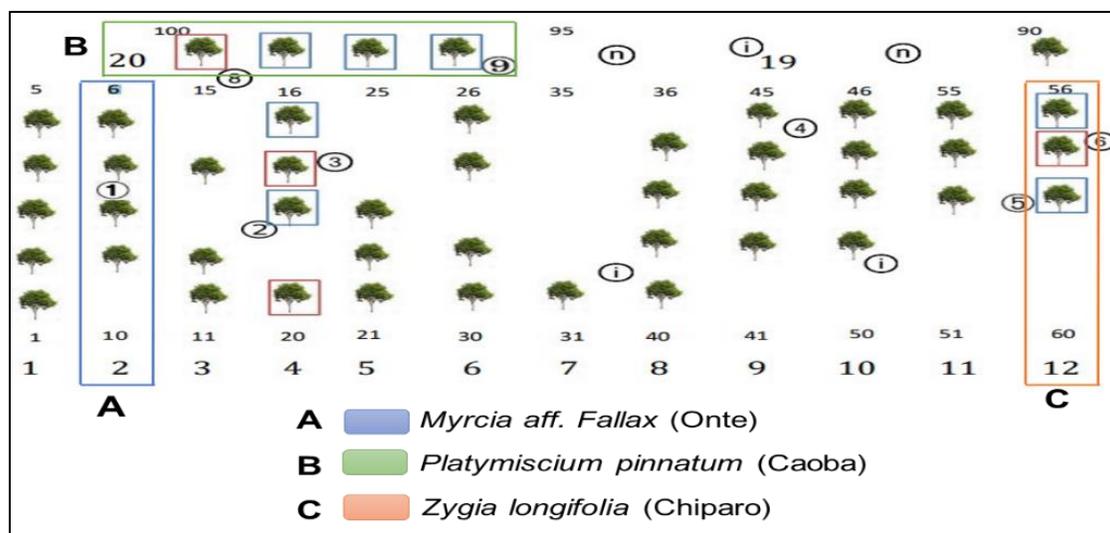
Selección de especies

Se seleccionaron tres especies arbóreas de uso maderable, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados Secoya 2-3 (Figura 1). *Myrcia aff. Fallax*, *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia* han presentado una buena adaptabilidad y desempeño durante los primeros años de su establecimiento, Villacís *et al.*, (2016). Los árboles de *Z. longifolia* y *P. pinnatum* han presentado una sobrevivencia de 90 y 70 % respectivamente, Espinoza (2018). Las tres especies presentan porcentajes de germinación superiores al 70% y sus semillas se encuentran disponibles en la zona del estudio durante la mayor parte del año, Villacís (2016).

Los individuos de *P. pinnatum* (Caoba) presentan alturas de 4.43 m y diámetros de 7.11 cm, los especímenes de *Z. longifolia* (Chiparo) tienen una altura y diámetro de 4.24 m y 10.78 cm respectivamente, Espinoza (2018). Los árboles de *M. aff. Fallax* (Onte) son utilizados en la reforestación de suelos degradados, ya que tolera suelos ácidos, arcillosos y compactos, Villacís *et al.*, (2016).

Figura 1

Disposición del experimento en el sitio, Secoya 2-3



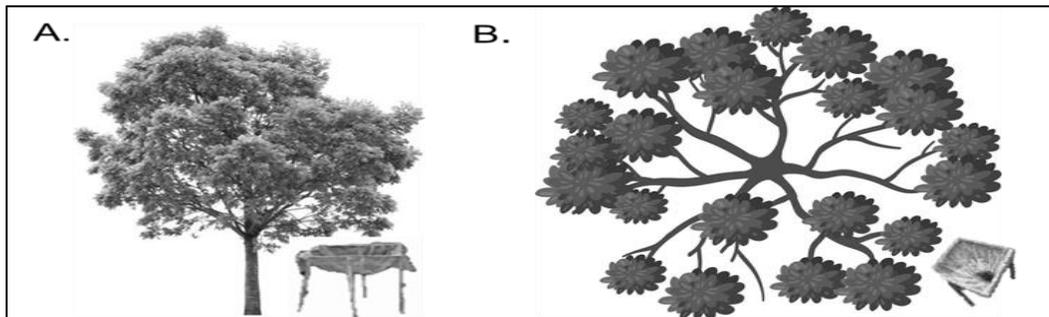
Nota. En la figura se muestran los árboles de las especies maderables evaluadas. Autoría propia.

Implementación del experimento

Se colocó una trampa debajo de las copas de tres individuos de las especies arbóreas de interés *P. pinnatum*, *Z. longifolia* y *M. aff. Fallax* (Figura 2). En total se establecieron 9 trampas, donde se recolectó la hojarasca acumulada después de 30, 45 y 60 días.

Figura 2

Colocación de las trampas en el campo, Secoya 2-3



Nota. (A) vista frontal de la trampa instalada en campo. (B) vista superior de la trampa colocada bajo la corona del árbol. Autoría propia.

En el sitio de estudio se colocaron 16 bolsas de nylon de 15x20 cm, con 5 gramos de hojarasca previamente recolectada. Las bolsas se distribuyeron en forma de cruz en 4 grupos, cada grupo estaba conformado por 4 bolsas y ubicado a los extremos del árbol. Finalmente se cubrió con hojas para evitar algún tipo de problema (Figura 3).

Figura 3

Colocación de las bolsas nylon en el campo, Secoya 2-3



Nota. (A) vista frontal de las bolsas instaladas en el campo. (B) vista superior de las bolsas instaladas en el campo. Autoría propia.

Para la producción de biomasa se recolectó la hojarasca presente en las trampas después de 30, 45 y 60 días. Las muestras fueron almacenadas en bolsas de papel previamente etiquetadas, y colocadas en cartones, para ser transportadas sin ningún problema.

La descomposición de la hojarasca en las bolsas de nylon se evaluó de 30, 45 y 60 días instalado el experimento. Se recogió una bolsa por cada grupo de afuera hacia dentro, tratando de no mover las bolsas restantes para evitar algún problema. Las bolsas fueron colocadas en fundas de papel previamente etiquetadas, y almacenadas en cartones para ser transportadas hacia el laboratorio.

Fase de laboratorio

En el laboratorio se retiraron los residuos de suelo y cualquier partícula diferente a la hojarasca, posteriormente se secó durante 24 horas en un horno a 70° C. La biomasa se clasificó en fracciones (hojas, raquis y ramas), y se pesó utilizando una balanza de precisión con un error de ± 0.2 gramos, posteriormente las muestras fueron molidas y almacenadas para su posterior análisis. La hojarasca seca de las bolsas nylon fue molida y almacenada para su posterior análisis.

Variables evaluadas

La producción de biomasa se determinó sumando el peso de las fracciones (hojas, ramas y raquis) de las 27 muestras obtenidas.

En las muestras de la biomasa recolectada y hojarasca degradada (54 muestras) se analizó el contenido de macro y micro nutrientes. El contenido de nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl, aplicando la siguiente ecuación:

$$\%N = \frac{1.4 \times N \times (V1)}{m}$$

Donde:

N = Normalidad del Ácido Clorhídrico.

V1 = Gasto de titulación de Ácido Clorhídrico de la muestra.

M = masa de la muestra en gramos.

Los contenidos de K, Cu y Zn, se obtuvieron por espectrofotometría de absorción y emisión atómica con llama de gas acetileno y agregando Lantano. El contenido de P, se determinó por método de calcinación y determinación colorimétrico, utilizando un Espectrofotómetro visible con una longitud de luz de 660 nm.

Análisis de la información

Para la producción de hojarasca y el contenido de nutrientes se utilizó una estadística descriptiva (promedio y error estándar). Para comparar todas las variables medidas en el tiempo (30, 45 y 60 días después de la instalación del experimento días) y entre especies, se realizaron análisis de varianza usando modelos lineales generales mixtos, para un diseño completamente al azar en parcela dividida, bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + S_{K(i)} + T_j + (AT)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Producción de hojarasca/Contenido de nutrientes.

μ = Media general.

A_i = Efecto de la i-ésima Especie arbóreas.

$S_{K(i)}$ = Error de la Especie arbórea.

T_j = Efecto del j-ésimo Tiempo de recolección.

$(AT)_{ij}$ = Efecto de la interacción Especie arbórea x Tiempo de recolección.

E_{ijk} = Error para el Tiempo de recolección.

Además, se realizaron pruebas de comparación de medias de DGC al 5% para especies arbóreas, tiempos de recolección e interacciones. Se realizaron gráficos de puntos para analizar la concentración de nutrientes de las 3 especies forestales, durante 3 recolecciones. Todos los análisis se realizaron en el software estadístico INFOSTAT, Rienzo *et al.*, (2017).

CAPÍTULO III

RESULTADOS

Producción de biomasa

Se encontró un efecto significativo de la interacción Especie*Tiempo para la producción de biomasa de hojas. Además, se encontró un efecto significativo de la especie, para la producción de biomasa de ramas y un efecto significativo del tiempo, para la producción de biomasa total y raquis (Tabla 2).

Tabla 2

Análisis de varianza de la biomasa total, hojas, raquis y ramas de tres especies maderables, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados y recolectados en tres periodos de tiempo

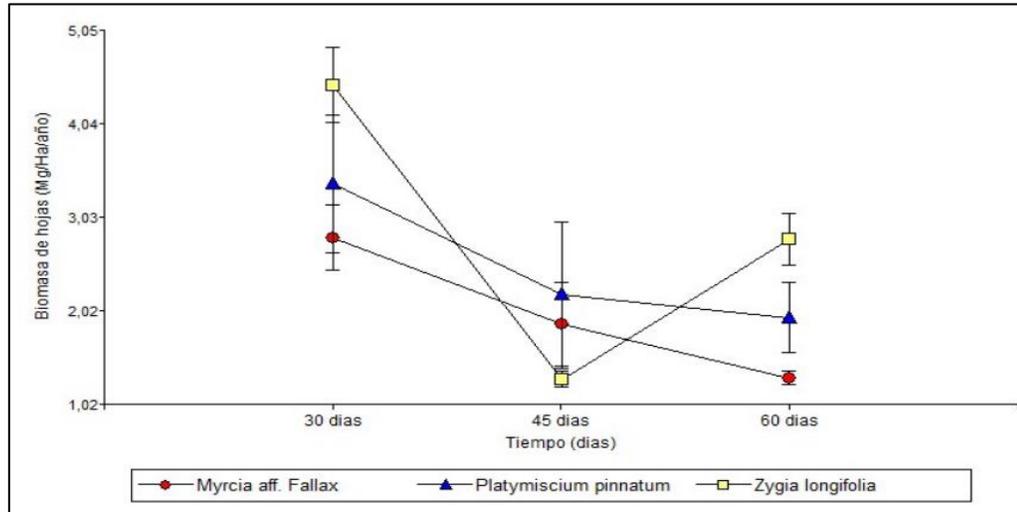
Fuente de variación	gl	Hojas		Raquis		Ramas		Biomasa Total	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Especie	2	5.60	0.0129	0.40	0.6753	4.48	0.0264	2.78	0.0889
Tiempo	2	13.21	0.0003	13.1	0.0003	0.75	0.4882	4.48	0.0263
Especie *	4	4.33	0.0125	0.88	0.4944	0.65	0.6348	1.95	0.1458
Tiempo									

Nota. La especie y el tiempo se consideran factores fijos. gl= grados de libertad.

Los árboles de *Z. longifolia* a los 30 días, produjeron mayor cantidad de biomasa de hojas, con un valor de 4.46 Mg/ha/año, que los árboles de las otras especies a los 45 y 60 días (Figura 4).

Figura 4

Promedio \pm error estándar de la producción de biomasa de hojas (Mg/ha/año) de tres especies maderables, recolectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento



Nota. La figura muestra un gráfico de puntos para la producción de biomasa de hojas (Mg/ha/año) de tres especies maderables, recolectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento. Autoría propia.

La biomasa foliar producida por los individuos de *Z. longifolia* y *P. pinnatum* fue mayor, que biomasa foliar producida en los individuos de *M. aff. Fallax*, mientras que los árboles de *Z. longifolia* y *M. aff. Fallax*, presentaron mayor biomasa de ramas, que los árboles de *P. pinnatum* (Tabla 3).

Tabla 3

Promedio \pm error estándar de la producción de biomasa de hojas y ramas (Mg/ha/año) de tres especies maderables, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminadas

Especie	Hojas	Ramas
<i>Zygia longifolia</i>	2.84 \pm 0.48 a	1.15 \pm 0.46 a
<i>Myrcia aff. Fallax</i>	2.00 \pm 0.28 b	1.18 \pm 0.30 a
<i>Platymiscium pinnatum</i>	2.54 \pm 0.40 a	0.34 \pm 0.11 b

Nota. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (DGC; $p > 0.05$).

A los 30 días se recolectó mayor biomasa de hojas y raquis, que a los 45 y 60 días. Además, la mayor biomasa total se presentó a los 30 y 60 días, en comparación a los 45 días (Tabla 4).

Tabla 4

Promedio ± error estándar de la producción de biomasa total, hojas y raquis (Mg/ha/año) recolectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento

	Tiempo de recolección		
	30	45	60
Hojas	3.55 ± 0.36 a	1.79 ± 0.29 b	2.01 ± 0.26 b
Raquis	1.13 ± 0.13 a	0.58 ± 0.09 b	0.44 ± 0.06 b
Biomasa Total	5.40 ± 0.66 a	3.20 ± 0.38 b	4.37 ± 0.65 a

Nota. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; $p > 0.05$).

Contenido de macronutriente de la producción de biomasa

El análisis de varianza mostró que existe un efecto significativo de la interacción Especie*Tiempo, para el contenido de N, P y K (Tabla 5).

Tabla 5

Análisis de varianza del contenido de macronutrientes en la biomasa de tres especies arbóreas maderables, colectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento

Fuentes de variación	gl	N		P		K	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Especie	2	12.72	0.0024	1.51	0.2477	8.21	0.0029
Tiempo	2	7.62	0.0116	5.17	0.0169	1.52	0.2450
Especie*Tiempo	4	5.47	0.0164	4.50	0.0108	7.60	0.0009

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

La biomasa de los individuos de *Z. longifolia* a los 60 días presentó mayor contenido de N y P, que la biomasa de los individuos de las otras especies a los 45 y 60 días. La biomasa en los árboles de *Z. longifolia* a los 60 días y *M. aff. Fallax* a los 30 y 45 días, mostró mayor contenido de K, que la biomasa de los árboles de *P. pinnatum* recolectada a los 30, 45 y 60 días (Tabla 6).

Tabla 6

Promedio ± error estándar del contenido de macronutrientes (Kg/ha/año) en la biomasa de tres especies forestales, colectada en diferentes periodos de tiempos

Especie	Tiempo	N	P	K
<i>Zygia longifolia</i>	30 días	53.42 ± 2.58 b	3.31±0.29 b	1.19 ± 0.13 b
	45 días	26.56 ± 0.96 b	1.30±0.22 c	0.40 ± 0.11b
	60 días	101.2 ± 11.40 a	4.08±0.28 a	2.10 ± 0.44 a
<i>Myrcia aff. Fallax</i>	30 días	34.55 ± 13.74 b	2.47±0.49 b	1.85 ± 0.15 a
	45 días	22.17 ± 1.24b	2.48±0.52 b	2.00 ± 0.45 a
	60 días	32.47 ± 4.16 b	2.42±0.36 b	0.81 ± 0.05 b
<i>Platymiscium pinnatum</i>	30 días	60.37 ± 3.48 b	2.14±0.30 b	0.53 ± 0.10 b
	45 días	46.04 ± 20.75b	2.10±0.53 b	0.46 ± 0.23 b
	60 días	64.37 ± 16.30b	3.01±0.83 b	1.08 ± 0.36 b

Nota. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (DGC; $p>0.05$).

Concentración de micronutrientes de la producción de biomasa

Se mostró un efecto significativo en la interacción Especie*Tiempo, para el contenido de Cu. Además, se encontró un efecto significativo de la especie y tiempo para el contenido de Zn (Tabla 7).

Tabla 7

Análisis de varianza del contenido de micronutrientes en la biomasa de tres especies maderables, recolectada después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento

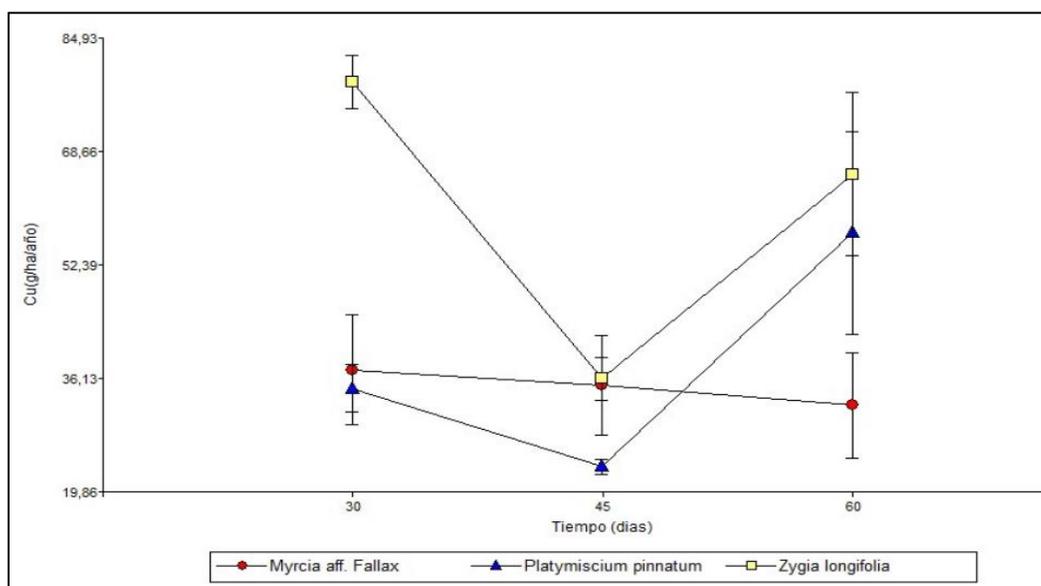
Fuentes de variación	Zn			Cu	
	Gl	F	p-valor	F	p-valor
Especie	2	4.14	0.0332	9.84	0.0013
Tiempo	2	3.44	0.0544	6.06	0.0098
Especie*Tiempo	4	1.63	0.2109	3.30	0.0342

Nota. La especie y el tiempo se consideran factores fijos. gl= grados de libertad.

La biomasa de los árboles de *Z. longifolia* a los 30 días presentaron mayor contenido de Cu, con una producción de 78.61 g/ha/año. Mientras que la biomasa de los árboles de *P. pinnatum* a los 45 días, presentaron el menor contenido de Cu, con una producción de 23.44 g/ha/año (Figura 5).

Figura 5

Promedio ± error estándar del contenido de Cu (g/ha/año) de la biomasa de tres especies maderables colectadas diferentes periodos de tiempo



Nota. La figura muestra un gráfico de puntos de la concentración de Cu (g/ha/año) de tres especies arbóreas, colectados después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento. Autoría propia.

La biomasa de los individuos de *Z. longifolia* y *M. aff. Fallax* mostraron mayor contenido de Zn, que la biomasa de los individuos de *P. pinnatum*. La biomasa de los especímenes de *Z. longifolia* y *P. pinnatum* presentaron contenidos de Cu más altos, que la biomasa de los especímenes de *M. aff. Fallax* (Tabla 8).

Tabla 8

Promedio ± error estándar del contenido de micronutrientes (g/ha/año) de la biomasa de tres especies maderables, plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados

	<i>Zygia longifolia</i>	<i>Myrcia aff. Fallax</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>
Zn	72.22 ± 7.35 a	70.35 ± 8.14 a	53.82 ± 5.82 b
Cu	60.01 ± 7.28 a	34.92 ± 3.84 b	38.37 ± 6.56 b

Nota. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; p>0.05).

A los 30 y 60 días de recolección se obtuvo mayor contenido de Zn y Cu que a los 45 días de recolección (Tabla 9).

Tabla 9

Promedio ± error estándar del contenido de micronutrientes, recolectada 30, 45 y 60 días después del experimento

	30 días	45 días	60 días
Zn	73.35 ± 7.68 a	51.88 ± 4.95 b	71.16 ± 7.82 a
Cu	50.23 ± 7.61 a	31.55 ± 3.03 b	51.52 ± 7.66 a

Nota. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; p>0.05).

Concentración de macronutrientes en la hojarasca

Se encontró un efecto significativo de la interacción Especie*Tiempo, para el contenido de N y P. Además, se encontró un efecto significativo de la especie y tiempo para el contenido de K (Tabla 10).

Tabla 10

Análisis de varianza del contenido de macronutrientes de tres especies maderables, recolectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento

Fuentes de variación	gl	N		P		K	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Especie	2	856.8	<0.0001	64.39	<0.0001	14.63	0.0002
Tiempo	2	621.23	<0.0001	136.03	<0.0001	12.10	0.0005
Especie * Tiempo	4	26.90	<0.0001	5.15	0.0061	2.24	0.1047

Nota. La especie y el tiempo se consideran factores fijos. gl= grados de libertad.

La hojarasca de los árboles de *Z. longifolia* a los 30 días presentaron mayor contenido de N, que la hojarasca de los árboles de las otras especies a los 45 y 60 días. El contenido de P, presente en la hojarasca de los individuos de *P pinnatum* a los 30 días fue mayor que el contenido presente en la hojarasca de los individuos de las otras especies a los 45 y 60 días (Tabla 11).

Tabla 11

Promedio \pm error estándar del contenido de macronutrientes (Kg/ha/año) de la hojarasca de tres especies arbóreas, recolectadas después de 30, 45 y 60 días

Especie	Tiempo	N	P
<i>Zygia longifolia</i>	30 días	3.83 \pm 0.07 a	0.223 \pm 0.008 b
	45 días	2.40 \pm 0.10 c	0.145 \pm 0.002 d
	60 días	1.96 \pm 0.07 d	0.118 \pm 0.003 f
<i>Myrcia aff. Fallax</i>	30 días	2.80 \pm 0.02 b	0.166 \pm 0.015 c
	45 días	2.10 \pm 0.04 d	0.101 \pm 0.008 g
	60 días	1.47 \pm 0.03 e	0.089 \pm 0.001 h
<i>Platymiscium pinnatum</i>	30 días	2.02 \pm 0.01 d	0.268 \pm 0.012 a
	45 días	1.32 \pm 0.01 f	0.167 \pm 0.002 c
	60 días	0.99 \pm 0.02 g	0.131 \pm 0.001 e

Nota. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (DGC; $p > 0.05$).

La hojarasca de los árboles de *Z. longifolia* mostraron mayor contenido de N, que la hojarasca de los árboles de las otras especies evaluadas. La hojarasca de los individuos de *P. pinnatum* mostraron mayor contenido de P, que el resto de hojarasca de los individuos de las otras especies. La hojarasca de los especímenes de *Z. longifolia* y *M. aff. Fallax* presentaron mayor contenido de K, que la hojarasca de los especímenes de *P. pinnatum* (Tabla 12).

Tabla 12

Promedio ± error estándar del contenido de N, P y K (Kg/ha/año) de tres especies maderables plantadas en las unidades de tratamientos de suelos contaminados

	<i>Platymiscium pinnatum</i>	<i>Zygia longifolia</i>	<i>Myrcia aff. Fallax</i>
N	1.44 ± 0.19 c	2.73 ± 0.36 a	2.12 ± 0.24 b
P	0.19 ± 0.02 a	0.16 ± 0.02 b	0.12 ± 0.01 c
K	0.03 ± 0.01 b	0.06 ± 0.01 a	0.05 ± 0.01 a

Nota. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; p>0.05).

A los 30 días de recolección la hojarasca obtuvo mayor contenido de N, P y K, que a los 45 y 60 días de recolección (Tabla 13).

Tabla 13

Promedio ± error estándar del contenido de N, P y K (Kg/ha/año) colectados después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento

	30 días	45 días	60 días
N	2.88 ± 0.33 a	1.94 ± 0.21 b	1.47 ± 0.18 c
P	0.22 ± 0.02 a	0.14 ± 0.01 b	0.11 ± 0.01 c
K	0.07 ± 0.01 a	0.04 ± 0.01 b	0.04 ± 0.01 b

Nota. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; p>0.05).

Concentración de micronutrientes en la hojarasca

Se encontró un efecto significativo para la interacción Especie* Tiempo, en el contenido de Zn y Cu (Tabla 14).

Tabla 14

Análisis de varianza del contenido de micronutrientes en la hojarasca de tres especies maderables, colectadas en diferentes periodos de tiempo

Fuente de variación	gl	Zn		Cu	
		F	p-valor	F	p-valor
Especie	2	94.30	<0.0001	46.01	<0.0001
Tiempo	2	119.23	<0.0001	210.83	<0.0001
Especie * Tiempo	4	4.45	0.0113	4.10	0.0155

Nota. La especie y el tiempo se consideran factores fijos. gl= grados de libertad.

La hojarasca de los árboles de *P. Pinnatum* a los 30 días presentaron mayor contenido de Zn (6.14 g/ha/año) y Cu (3.46 g/ha/año) que la hojarasca de los árboles de las otras especies a los 45 y 60 días (Tabla 15).

Tabla 15

Promedio ± error estándar del contenido Zn y Cu (g/ha/año) de la hojarasca de tres especies maderables, colectadas en diferentes períodos de tiempo

Especie	Tiempo	Zn	Cu
<i>Zygia longifolia</i>	30 días	4.32 ± 0.10 b	2.93± 0.03 b
	45 días	2.79 ± 0.08 d	1.94 ± 0.06 d
	60 días	2.30 ± 0.03 e	1.38 ± 0.09 f
<i>Myrcia aff. Fallax</i>	30 días	4.02 ± 0.53 b	2.37 ± 0.01 c
	45 días	2.10 ± 0.01 e	1.61 ± 0.02 e
	60 días	1.40 ± 0.02 f	1.20 ± 0.01 f
<i>Platymiscium pinnatum</i>	30 días	6.14 ± 0.24 a	3.46 ± 0.20 a
	45 días	4.68 ± 0.14 b	2.42 ± 0.14 c
	60 días	3.51 ± 0.12 c	1.61 ± 0.06 e

Nota. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (DGC; p>0.05).

Dinámica de los macronutrientes

Se encontró un efecto significativo, para la interacción Especie x Tiempo en los aportes de N, P y K (Tabla 16).

Tabla 16

Análisis de varianza de la dinámica de macronutrientes en tres especies maderables colectadas después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento

Fuente de variación	gl	N		P		K	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Especie	2	12.43	0.0026	1.28	0.3015	7.54	0.0042
Tiempo	2	7.84	0.0107	4.56	0.0251	1.08	0.3595
Especie * Tiempo	4	5.52	0.0159	2.87	0.0533	6.20	0.0026

Nota. La especie y el tiempo se consideran factores fijos. gl= grados de libertad.

Los árboles de *Z. longifolia* a los 60 días aportaron al suelo mayores concentraciones de N y P, que los árboles del resto de especies a los 45 y 60 días. Los individuos de *Z. longifolia* a los 60 días y los individuos de *M. aff. Fallax* a los 30 y 45 días aportaron un mayor contenido de K, que los individuos de *P. pinnatum* colectados a los 30, 45 y 60 días (Tabla 17).

Tabla 17

Promedio ± error estándar de la dinámica de macronutrientes (Kg/ha/año) en tres especies maderables, colectadas en diferentes períodos de tiempo

Especie	Tiempo	N	P	K
<i>Zygia longifolia</i>	30 días	49.59 ± 2.64 b	3.09 ± 0.28 b	1.11 ± 0.13 b
	45 días	24.15 ± 0.86 b	1.15 ± 0.22 b	0.35 ± 0.11 b
	60 días	99.36 ± 11.34 a	3.96 ± 0.28 a	2.06 ± 0.44 a
<i>Myrcia aff. Fallax</i>	30 días	31.75 ± 13.71 b	2.31 ± 0.48 b	1.77 ± 0.15 a
	45 días	20.07 ± 1.20 b	2.38 ± 0.53 b	1.97 ± 0.45 a
	60 días	31.00 ± 4.13 b	2.33 ± 0.37 b	0.77 ± 0.05 b
<i>Platymiscium pinnatum</i>	30 días	58.35 ± 3.49 b	1.87 ± 0.31 b	0.48 ± 0.09 b
	45 días	44.72 ± 20.76 b	1.93 ± 0.53 b	0.45 ± 0.24 b
	60 días	63.39 ± 16.28 b	2.87 ± 0.83 b	1.06 ± 0.36 b

Nota. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (DGC; p<0.05).

Dinámica de micronutrientes

Se encontró un efecto significativo en la interacción Espe*Tiempo, para el contenido de Cu. Además, el contenido de Zn, mostró un efecto significativo para el tiempo (Tabla 18).

Tabla 18

Análisis de varianza de la dinámica micronutrientes de tres especies maderables, recolectados después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento

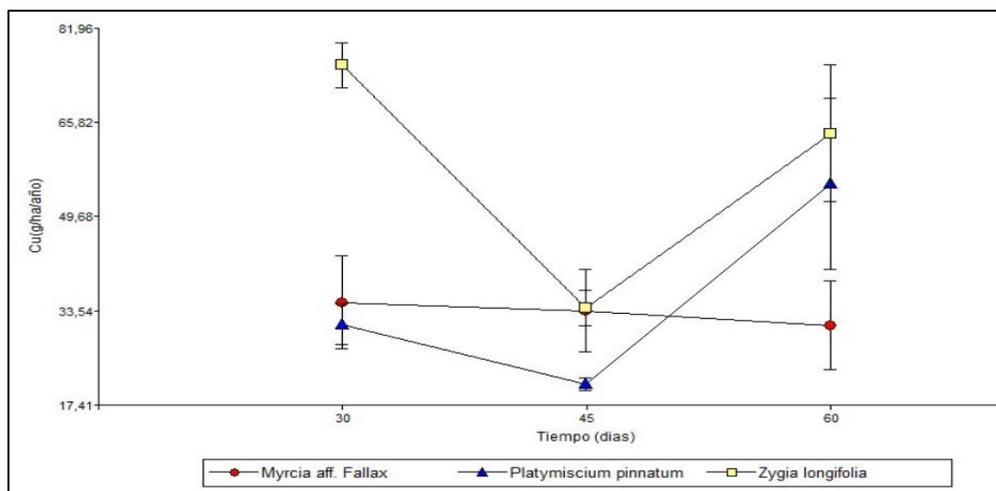
Fuente de variación	gl	Zn		Cu	
		F	p-valor	F	p-valor
Especie	2	3.12	0.0685	8.89	0.0021
Tiempo	2	5.31	0.0154	11.20	0.0007
Especie * Tiempo	4	1.73	0.1874	5.35	0.0051

Nota. La especie y el tiempo se consideran factores fijos. gl= grados de libertad

Los árboles de *Z. longifolia* a los 30 días aportan al suelo un mayor contenido de Cu (75.68 g/ha/año), que los árboles del resto de especies a los 45 y 60 días. (Figura 6).

Figura 6

Promedio ± error estándar del contenido de Cu (g/ha/año) en tres especies maderables, colectadas en diferentes periodos de tiempo



Nota. La figura muestra un gráfico de puntos para el contenido de Cu (g/ha/año) de tres especies maderables, colectado después de 30, 45 y 60 días instalado el experimento. Autoría propia.

A los 30 y 60 días se presenta un mayor aporte de los nutrientes Zn y Cu, que a los 45 días (Tabla 19).

Tabla 19

Promedio ± error estándar del contenido de Cu y Zn (g/ha/año), colectados en diferentes períodos de tiempo

	30 días	45 días	60 días
Zn	68.52 ± 7.89 a	48.69 ± 5.21 b	68.76 ± 7.81 a
Cu	47.31 ± 7.62 a	29.56 ± 3.10 b	50.13 ± 7.64 a

Nota. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; $p > 0.05$).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los árboles de *Zygia longifolia* recolectados a los 30 días produjeron mayor biomasa foliar (4.46 Mg/ha/año) que los árboles de las otras especies a los 45 y 60 días. Mientras que la producción de biomasa total no presenta diferencias significativas entre especies, sin embargo, la mayor producción se recolectó a los 30 días (5.40 Mg/ha/año), en comparación con a los 45 y 60 días de recolección.
- Los árboles de *Zygia longifolia* a los 60 días aportan mayor contenido de N (99.36 Kg/ha/año), P (3.96 Kg/ha/año) y K (2.06 Kg/ha/año) que los árboles del resto de especies a los 45 y 60 días. El mayor aporte de Cu (75.58 g/ha/año), se obtuvo de los individuos de *Zygia longifolia* a los 30 días. El aporte de Zn no presenta diferencias significativas entre especies, pero el mayor aporte de este nutriente se obtiene a los 30 y 60 días.

Recomendaciones

- Evaluar la producción de biomasa y descomposición de hojarasca a largo plazo, para conocer la velocidad de descomposición.
- Se recomienda realizar un análisis de suelo, antes y después de la investigación.
- Determinar qué nutrientes se pueden cuantificar antes de realizar el estudio.
- Tapar las muestras con una mayor cantidad de hojarasca, ya que durante el proyecto pueden verse afectadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Banco Central del Ecuador. (2022). *Evolución de la Balanza Comercial por Productos*.
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorExterno/BalanzaPagos/balanzaComercial/ebc202202.pdf>
- Bravo, E. (2007). *Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad*.
https://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_es.pdf
- Cabrera, C. (2022). *Medio siglo de extracción petrolera en el Ecuador, impactos y opciones futuras* [Ponencia presentada al seminario, Universidad Andina Simón Bolívar].
<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8947/1/Larrea%20C-CON-34-Medio%20siglo.pdf>
- Carrasco, I., Paredes, M., Cabrera, J., & Guananga, N. (2019). La sostenibilidad del Parque Nacional Yasuní, un derecho privado del estado ecuatoriano al pueblo Waorani por la actividad petrolera. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 1–17.
<https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/03/parque-nacional-yasuni.html>
- Castellanos, J., & León, J. (2010). Caída de hojarasca y dinámica de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) de Antioquia, Colombia. *Acta Biol. Colomb*, 15(2), 289–308. <https://www.redalyc.org/pdf/3190/319027885020.pdf>
- Cortes, C. (2021). *Estudio del crecimiento de Artocarpus altilis y Zygia longifolia en condiciones de vivero con fines de restauración* [Trabajo de titulación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/2355>
- Date Access. (20 de diciembre del 2022). *Power | Data Access Viewer*.
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- 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].
<https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14251>
- Lanuza, O. (2016). *Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: Efecto a mediano plazo sobre la producción y descomposición de la hojarasca* [Tesis de Posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación].
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8602>
- Lanuza, O., Casanoves, F., Zahawi, R. A., Celentano, D., Delgado, D., & Holl, K. D. (2018). Litterfall and nutrient dynamics shift in tropical forest restoration sites after a decade of recovery. *Biotropica*, 50(3), 491–498. <https://doi.org/10.1111/btp.12533>
- López, Juan., González, H., Cantú, I., Gómez, Marco., Estrada, Andrés., Contreras, Norma., & del Valle, Jorge. (2022). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en diferentes comunidades vegetales del noreste de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1). <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.2891>
- Lozano, P. (2015). *Especies forestales arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55826.pdf>
- Martín, B., Vanoye, M., Dzib, H., Avilés, G., & Alavez, J. A. (2023). Sobrevivencia de plantas nativas forestales para la reforestación en áreas perturbadas por actividades agropecuarias en el ejido de Arellano, Champotón, Campeche, México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 11041–11059. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.4184
- Martínez, J., Loaiza, J. C., Osorio, N. W., Correa, G., & Casamitjana, M. (2020). Leaf Litter Decomposition in Diverse Silvopastoral Systems in a Neotropical Environment. *Journal of Sustainable Forestry*, 39(7), 710–729. <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1723112>
- Munguía, R. (2011). Tasas de descomposición de la hojarasca en un sistema agroforestal con café en el Pacífico de Nicaragua. *Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía*. <https://lcalera.una.edu.ni/index.php/CALERA/article/view/75>

- Palacios, W. (2016). *Árboles del Ecuador: especies representativas* (Primera).
https://www.researchgate.net/publication/309033735_Arboles_del_Ecuador_Familias_y_Generos
- Paredes, G. (2018). *Integrando las áreas protegidas al ordenamiento territorial*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.24.en>
- Pyung, O. L., Hyo, J. K., & Hong, G. N. (2007). Leaf senescence. In *Annual Review of Plant Biology* (Vol. 58, pp. 115–136). <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105316>
- Rienzo, J. A. di, Macchiavelli, R., Casanoves, F., Rienzo Es Profesor, J. A. di, & Macchiavelli, R. E. (2017). *Modelos Lineales Generalizados Mixtos Aplicaciones en InfoStat Modelos Lineales Generalizados Mixtos en InfoStat*.
- Rodríguez, R. (2018). *Características edáficas de cinco sitios de la zona sur de costa rica con presencia abundante de la especie Platymiscium pinnatum (jacq.) Dugand. (Cristóbal)* [Trabajo de titulación, Instituto Tecnológico de Costa Rica].
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10324/caracteristicas-edaficas-zona-especie-platymiscium-pinnatum.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, S. (2006). *Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (Coffea arabica var. Caturra), con tres niveles de manejo*.
- Sandoval, I. (2006). *Producción de hojarasca y reciclaje de nutrientes de dos especies arbóreas y dos gramíneas de pastura Muy Muy, Nicaragua* [Tesis de Posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5600>
- Sani, H. (2019). *Efecto sobre la producción de hojarasca y la concentración de nutrientes* [Trabajo de titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21018/1/T-IASA%20I-005493.pdf>
- Silva, L., Freer, P., & Madsen, P. (2019). Production, restoration, mitigation: a new generation of plantations. *New Forests*, 50(2), 153–168. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9644-6>

- Tang, J. W., Cao, M., Zhang, J. H., & Li, M. H. (2010). Litterfall production, decomposition and nutrient use efficiency varies with tropical forest types in Xishuangbanna, SW China: A 10-year study. *Plant and Soil*, 335(1), 271–288. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0414-2>
- Tapia, J. J., Contreras, J. L., Martínez, J., López, L., & Rodríguez, J. L. (2022). Production and decomposition of leaf litter from forest species in silvopastoral systems, Valle del Sinú, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1). <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.49781>
- Villacis, J. (2016). *Evaluación de las técnicas de remediación vegetal utilizadas en plataformas petroleras mediante estudios del desempeño de especies y análisis de diversidad funcional* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Córdoba]. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/3344>
- Villacís, J., Armas, C., Hang, S., & 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>
- Wang, Q., Wang, S., & Huang, Y. (2008). Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management*, 255(3–4), 1210–1218. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.10.026>
- Zhang, X., & Liu, Z. (2019). Responses of litter decomposition and nutrient release of *Bothriochloa ischaemum* to soil petroleum contamination and nitrogen fertilization. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(2), 719–728. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1727-6>