



Aporte de nutrientes de la hojarasca de tres especies forestales nativas plantadas en celdas de lodos y rípios en el sector de secoya 26 de la Amazonía ecuatoriana

Egas López, Miguel Alejandro

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. Villacís Buenaño, Jaime Emiliano, PhD.

15 de agosto 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Aporte de nutrientes de la hojarasca de tres especies forestales nativas plantadas en celdas de lodos y rípios en el sector de secoya 26 de la Amazonía ecuatoriana**, fue realizado por el señor: **Egas López, Miguel Alejandro**; 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:
JAIMR EMILIANO
VILLACIS BUENANO

.....
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-EGAS C...

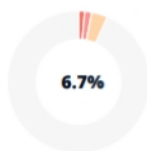
Scan details

Scan time:
August 15th, 2023 at 18:56 UTC

Total Pages:
28

Total Words:
6932

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
● Identical	1.4%	98
● Minor Changes	1.6%	110
● Paraphrased	3.6%	253
● Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
● AI text
● Human text



Firma electrónica por:
JAIME EMILIANO
VILLACIS BUENANO

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

C.C: 171000407-6



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **Egas López, Miguel Alejandro**, con cédula de ciudadanía No. 1726917972, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Aporte de nutrientes de la hojarasca de tres especies forestales nativas plantadas en celdas de lodos y rípios en el sector de secoya 26 de 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

Egas López, Miguel Alejandro

C.C: 1726917972



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Autorización de Publicación:

Yo, **Egas López, Miguel Alejandro**, con cédula de ciudadanía No. 1726917972, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Aporte de nutrientes de la hojarasca de tres especies forestales nativas plantadas en celdas de lodos y ripios en el sector de secoya 26 de la Amazonía ecuatoriana**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de agosto del 2023

.....
Egas López, Miguel Alejandro

C.C.: 1726917972

Dedicatoria

Dedico este logro principalmente a mis padres Fabián Egas y Sara López, los cuales me inculcaron desde pequeño buenos valores, a ser una buena persona y a siempre ayudar al prójimo cuando este lo necesite, supieron apoyarme en todo momento y no permitieron que me dé por vencido por más dura que se haya puesto la situación, los amo con todo mi corazón y este proyecto es por y para ellos.

También dedico este proyecto a toda mi familia y mi novia, los cuales confían en mí, me apoyan y envían mucha fuerza para poder superar cualquier adversidad.

Egas López, Miguel Alejandro

Agradecimientos

Agradezco al Ing. Jaime Villacís por darme la oportunidad de realizar este proyecto bajo su tutela, por ayudarme solventando cualquier duda presentada y por todas las enseñanzas brindadas.

Al Lic. Marco Taco, la Ing. Karina y al CENCINAT por el apoyo brindado en la fase de laboratorio de este proyecto.

Agradezco a mis padres Fabián y Sara los cuales siempre supieron apoyarme, darme palabras de aliento y pese a estar ocupados aconsejarme para mejorar mi proyecto.

A mis compañeros de tesis Lenin, Marjorie, Mónica y Christian, por toda la ayuda brindada y todo el tiempo compartido.

Agradezco a mi novia Belén Vásquez por apoyarme en cada paso para realizar este proyecto, por animarme y no permitir que me diese por vencido.

Finalmente agradezco a mis amigos de carrera Sharline Quiroz, Michelle Arcos, Luis Aguirre, Isaac Alomoto, Priscila Crisantos, Kimberly Berazueta y a todos los compañeros que tuve el honor de conocer que siempre estuvieron conmigo y supieron apoyarme.

Egas López, Miguel Alejandro

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.....	14
Resumen	15
Abstract.....	16
CAPÍTULO I	17
INTRODUCCIÓN	17
Antecedentes	17
Justificación.....	17
Objetivos	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos	18
Hipótesis	18
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
Contaminación por proceso de extracción petrolera en la Amazonía ecuatoriana	19
Celdas de lodos y rípios	19

Especies forestales	19
Onte (<i>Myrcia aff. fallax</i>)	19
Peine de mono (<i>Apeiba membranacea</i>)	20
Balsa (<i>Ochroma pyramidale</i>)	20
Producción de biomasa	20
Aporte de nutrientes	21
Macronutrientes.....	21
Nitrógeno (N)	21
Fósforo (P).....	21
Potasio (K).....	22
Micronutrientes.....	22
Cobre (Cu).....	22
Zinc (Zn)	23
Hierro (Fe)	23
Sodio (Na).....	24
CAPÍTULO III.....	25
METODOLOGÍA.....	25
Área de estudio	25
Fase experimental.....	25
Selección de especies arbóreas	25
Medición de variables	28
Fase de laboratorio.....	29
Análisis de la información	30
CAPÍTULO IV	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
Análisis de resultados.....	32

Producción biomasa	32
Concentración de macronutrientes de la producción de biomasa	32
Concentración de micronutrientes de la producción de biomasa.....	34
Concentración de macronutrientes de la producción de bolsas de descomposición	36
Concentración de micronutrientes de la producción de bolsas de descomposición.....	37
Concentración de macronutrientes de la producción de ingreso	39
Concentración de micronutrientes de la producción de ingreso	40
Discusión.....	42
Producción de biomasa.....	42
Aporte de nutrientes.....	43
CAPÍTULO V	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
Conclusiones.....	45
Recomendaciones.....	45
Bibliografía	47

Índice de tablas

Tabla 1 Promedio diario de temperatura, humedad y precipitación de la fase de campo.....	25
Tabla 2 Promedio \pm error estándar de la producción de biomasa total (Mg/Ha/año) de tres especies forestales nativas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento	32
Tabla 3 Análisis de la varianza del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) de biomasa de tres especies forestales nativas, recolectadas a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento.....	33
Tabla 4 Promedio \pm error estándar del contenido de fósforo y potasio (Kg/Ha/año) de biomasa de tres especies nativas.....	33
Tabla 5 Promedio \pm error estándar del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) de biomasa de tres especies forestales nativas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento	34
Tabla 6 Análisis de la varianza del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) de biomasa de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento.....	34
Tabla 7 Promedio \pm error estándar del contenido de hierro, sodio, zinc y cobre (Kg/Ha/año) de biomasa de tres especies nativas.....	35
Tabla 8 Promedio \pm error estándar del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) de la biomasa de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento.....	35
Tabla 9 Análisis de la varianza del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento.....	36
Tabla 10 Promedio \pm error estándar del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (Kg/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies forestales nativas..	36

Tabla 11 Promedio \pm error estándar del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies forestales nativas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento.....	37
Tabla 12 Análisis de la varianza del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento.....	37
Tabla 13 Promedio \pm error estándar del contenido de hierro, sodio, zinc y cobre (Kg/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies nativas	38
Tabla 14 Promedio \pm error estándar del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento	38
Tabla 15 Análisis de la varianza del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) del ingreso de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento.....	39
Tabla 16 Promedio \pm error estándar del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (Kg/Ha/año) del ingreso de tres especies nativas.....	39
Tabla 17 Promedio \pm error estándar del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) del ingreso de tres especies forestales nativas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento	40
Tabla 18 Análisis de la varianza del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) del ingreso de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento.....	41
Tabla 19 Promedio \pm error estándar del contenido de hierro, sodio, zinc y cobre (Kg/Ha/año) del ingreso de tres especies nativas.....	41

Tabla 20 Promedio \pm error estándar del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) del ingreso de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento..... 42

Índice de figuras

Figura 1 <i>Disposición del experimento en el campo</i>	26
Figura 2 <i>Distribución de trampas de la hojarasca para la biomasa</i>	27
Figura 3 <i>Bolsas de nylon colocadas transversalmente</i>	28

Resumen

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la producción de biomasa y el aporte de nutrientes de tres especies forestales nativas (*Onte*; *Myrcia* aff. *fallax*, Peine de mono; *Apeiba membranacea* y Balsa; *Ochroma pyramidale*) en la celda de lodos y ripios Secoya 26 en la Amazonía ecuatoriana. Se colocó una trampa tipo canasta de 50x50 cm debajo de la copa de cada uno de los tres individuos de cada especie evaluada para cuantificar la cantidad de hojarasca producida. En la base de cada individuo, se colocaron 12 bolsas de descomposición con 5 gramos de hojarasca para evaluar el aporte de nutrientes. La recolección de las muestras se realizó a los 30, 45 y 60 días desde el inicio del experimento. En cada una de las muestras se determinó la cantidad de N, P, K, Fe, Na, Zn y Cu. El ingreso de nutrientes se calculó restando los valores obtenidos en las muestras de la canasta menos los valores obtenidos en las muestras de las bolsas. El aporte de biomasa de las tres especies forestales se midió en Megagramos (Mg). *Myrcia* aff. *Fallax* aportó mayor cantidad de hojarasca que las otras especies (5.74 Mg/ha/año). De igual manera *Myrcia* aff. *fallax* aportó mayor cantidad de K (0.22 kg/ha/año) y Na (1234.98 kg/ha/año) que las otras especies. Las especies forestales *Apeiba membranacea*, *Myrcia* aff. *fallax* y *Ochroma pyramidale* plantadas en las celdas de lodos y ripios aportan cantidades similares de biomasa y nutrientes.

Palabras clave: BIOMASA, CELDAS DE LODOS Y RIPIOS, APORTE DE NUTRIENTES, HOJARASCA

Abstract

The main objective of this research was to assess the biomass production and nutrient contribution of three native forest species (Onte; *Myrcia* aff. *fallax*, Peine de mono; *Apeiba membranacea*, and Balsa; *Ochroma pyramidale*) in the mud and drill cutting cells Secoya 26 in the Ecuadorian Amazon. A basket trap measuring 50x50 cm was placed under the canopy of each of the three individuals of each evaluated species to quantify the amount of litter produced. At the base of each individual, 12 decomposition bags containing 5 grams of litter were placed to evaluate nutrient contribution. Sample collection was performed at 30, 45, and 60 days from the beginning of the experiment. The quantities of N, P, K, Fe, Na, Zn, and Cu were determined in each sample. Nutrient contribution was calculated by subtracting the values obtained from the basket samples from the values obtained from the bag samples. The biomass contribution of the three forest species was measured in Megagrams (Mg). *Myrcia* aff. *fallax* provided a higher amount of litter compared to the other species (5.74 Mg/ha/year). Similarly, *Myrcia* aff. *fallax* contributed a higher amount of K (0.22 kg/ha/year) and Na (1234.98 kg/ha/year) than the other species. The native forest species *Apeiba membranacea*, *Myrcia* aff. *fallax*, and *Ochroma pyramidale*, planted in the mud and drill cutting cells, provide similar amounts of biomass and nutrients.

Keywords: BIOMASS, MUD AND DRILL CUTTING CELLS, NUTRIENT CONTRIBUTION, LITTERFALL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La Amazonía ecuatoriana es una región llena de muchos contrastes, con una rica diversidad biológica, que cuenta con una amplia gama de recursos como el petróleo (Ruiz, 2000). Para la obtención del petróleo se realizan procesos de extracción que conllevan a la deforestación y a la contaminación de suelos (Azqueta y Delacámara, 2008).

En el proceso de extracción petrolera, se requieren plataformas para realizar perforaciones donde se producen desechos líquidos y sólidos llamados lodos y ripios (Toledo y Barrera, 2009). Estos tienen efectos nocivos en el área establecida alterando los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Castañeda, 2019). Los desechos extraídos son colocados en otra plataforma denominada “celda de lodos y ripios”, para ser mezclados con limo, arcilla y productos químicos que aceleran la estabilización del material (Villacís, 2016).

Los desechos tóxicos pueden desbordarse de las paredes de las plataformas y filtrarse al suelo por las altas precipitaciones (Bravo, 2007), y provocar la destrucción de microorganismos, pérdida de nutrientes y fertilidad (Vargas, 2020).

Una alternativa para restaurar los suelos es mediante la reforestación que puede ayudar a acelerar la recuperación de ecosistemas afectados (Wightman y Cruz, 2003).

La reforestación incrementa la producción de biomasa y favorece el ciclaje de nutrientes (Gonzaga y Moncayo, 2012). La hojarasca, tallos y frutos se degradan con la ayuda de microorganismos liberando elementos nutritivos que se incorporan al suelo para ser nuevamente utilizados por las plantas (Bonilla *et al.*, 2008).

Justificación

La caída de hojarasca representa el mayor proceso de transferencia de nutrientes de las partes aéreas de la planta hacia el suelo, siendo una valiosa fuente de materia orgánica

que, tras el proceso de descomposición, libera macro (N, P, K) y micronutrientes (Zn, Cu, Fe y Na) que son absorbidos por el suelo para ser reciclados por las plantas (López *et al.*, 2013).

En el año 2012 las especies *Apeiba membranacea*, *Myrcia aff. fallax*, *Ochroma pyramidale*, se utilizaron para reforestar las celdas de lodos y rípios Secoya 26, debido a que toleran suelos arcillosos, ácidos, compactos y pobres en nutrientes (Jiménez, 2009) y al ser especies nativas ofrecen beneficios ecológicos y económicos para los productores (Villacís, 2016).

Sin embargo, no se dispone información sobre la producción de biomasa y el aporte de nutrientes de estas especies a los suelos perturbados. Por tal motivo, en la presente investigación se evaluó la producción de biomasa y el aporte de nutrientes (N, P, K, Zn, Cu, Fe y Na) de tres especies arbóreas nativas, plantadas en las celdas de lodos y rípios, Secoya 26.

Objetivos

Objetivo general

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

Objetivos específicos

Cuantificar los niveles de biomasa que aportan las tres especies forestales a los suelos degradados de celdas de lodos y rípios en el sector Secoya 26.

Determinar la cantidad de macro y micro nutrientes que aportan las tres especies arbóreas, en las celdas de lodos y rípios en el sector Secoya 26 de la Amazonía ecuatoriana.

Hipótesis

La biomasa y cantidad de nutrientes aportada por la hojarasca de las especies arbóreas *Apeiba membranacea*, *Myrcia aff. fallax* y *Ochroma pyramidale* es similar entre especies plantadas sobre las parcelas experimentales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Contaminación por proceso de extracción petrolera en la Amazonía ecuatoriana

Los procesos de extracción petrolera tienen un impacto severo en el medio ambiente en todas sus fases de operación, ya que causan la reducción de áreas forestales, erosión del suelo y la pérdida de biodiversidad (Vargas, 2020).

Celdas de lodos y ripios

Las celdas de lodos y ripios son plataformas sin capa superior de suelo, en las cuales se construyen piscinas de amplias dimensiones para mezclar los residuos resultantes del proceso de perforación (lodos y ripios de perforación) con la tierra extraída y compuestos químicos, acelerando el proceso de estabilización del material involucrado (Villacís, 2016).

Durante el proceso de extracción se utiliza un fluido (bentonita y agua) para la perforación y el posterior fracturamiento hidráulico y se generan desechos que contienen partículas desprendidas del interior del agujero perforado (Ballesteros, 2007). Estos desechos son altamente contaminantes, ya que contienen metales pesados, sales orgánicas, polímeros orgánicos y restos de hidrocarburos (Murillo, 2015).

Especies forestales

Onte (*Myrcia aff. fallax*)

Es un árbol caracterizado por tener hojas simples, oblongas, cortas, con pecíolos de colores negro y pardo, sus inflorescencias son extra axilares, cimosas, y cuentan con 15 a 25 flores de color blanco y amarillo, los frutos presentan una superficie lisa y glabra, contienen de 12 a 15 semillas, esta especie puede alcanzar una altura de 30 a 36 m, un diámetro de 80 cm y se encuentra principalmente en la Amazonía ecuatoriana (Jiménez, 2009). El onte se utiliza en programas de restauración de áreas afectadas por la extracción de petróleo debido a su resistencia a suelos arcillosos, ácidos y con baja fertilidad (Villacís, 2016).

Peine de mono (*Apeiba membranacea*)

Es un árbol de dosel que presenta hojas simples y alternas, con nervaduras palmatinervias y un mechón de pelos en la base de la nervadura, sus pecíolos se engrosan en su extremo distal, sus flores son hermafroditas y pentámeras, los frutos son cápsulas discoideas cubiertas por abundantes espinas cónicas y contienen pequeñas semillas negras que germinan dentro de la misma cápsula (Pérez *et al.*, 2019). Se encuentra principalmente en la provincia de Orellana. (Salazar *et al.*, 2000). Además, el peine de mono muestra un excelente desempeño en suelos perturbados, lo que destaca su capacidad para adaptarse a distintos tipos de sustratos (Villacís *et al.*, 2016).

Balsa (*Ochroma pyramidale*)

Es un árbol con hojas simples, ampliamente ovadas, con ápice redondeado a agudo y base más o menos cordada, en el envés de las hojas se observa una densa pubescencia de color café y amarillo, sus flores son grandes, de color blanco, con forma de trompeta, el cáliz presenta una estructura infundibuliforme-campanulada, el fruto de la balsa es una cápsula irregularmente angulada con crestas y surcos, y sus valvas son coriáceas, conteniendo numerosas semillas pequeñas (Sarango, 2011). Este árbol puede alcanzar alturas de hasta 30 metros y un diámetro de 60 centímetros, la madera de la balsa es liviana y blanda, lo que la hace ideal para la elaboración de artesanías y se encuentra distribuido en la región Costa y Amazónica del Ecuador (Salazar *et al.*, 2000).

Producción de biomasa

La biomasa se define como la cantidad de material orgánico vegetal presente en un ecosistema en un momento específico, englobando todos los componentes vegetales, como ramas, tallos, corteza, follaje y raíz (Huechacona, 2016). A medida que este material se descompone, se liberan nutrientes y materia orgánica al suelo, enriqueciéndolo y proporcionando una fuente natural de fertilización (López *et al.*, 2013).

Aporte de nutrientes

El aporte de nutrientes a través de la descomposición de la hojarasca desempeña un papel crucial en el enriquecimiento del suelo y en el crecimiento de los árboles, además, contribuye a mejorar los programas de recuperación del suelo, fertilización y manejo silvicultural (Donoso y Soto, 2010). Los procesos involucrados en el reciclaje de nutrientes en los bosques pueden variar dependiendo de factores como la humedad, la temperatura, la textura del suelo, las condiciones climáticas, las prácticas de manejo y la especie (Arcos y Jaimez, 2020).

Macronutrientes

Nitrógeno (N)

El nitrógeno desempeña un papel fundamental en los seres vivos, ya que es un constituyente esencial de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, paredes celulares y clorofila en las plantas, la mayoría de las plantas son capaces de utilizar el nitrato como fuente de nitrógeno, aunque se encuentre de forma escasa en el suelo (Perdomo y Barbazán, 2016).

La disponibilidad del nitrógeno influye significativamente en la producción de alimentos, sin embargo, los derrames de petróleo pueden alterar las propiedades físicas del suelo y afectar la disponibilidad de nitrógeno, ocasionando una disminución en la población de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, las cuales desempeñan un papel crucial en la captación y reciclaje de nutrientes en los ciclos biogeoquímicos; como consecuencia, se produce una pérdida de fertilidad en el suelo (Vázquez *et al.*, 2011).

Fósforo (P)

Es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y ningún otro nutriente puede reemplazar las funciones que cumple el fósforo, además, en el sistema suelo-planta, el 90% del fósforo se encuentra en el suelo (Fernández, 2007).

Las plantas absorben el fósforo en forma de iones fosfato primario ($H_2PO_4^-$) y secundario ($H_2PO_4^{=}$), que se encuentran en el suelo como ortofosfatos derivados del ácido fosfórico (H_3PO_4) (Meza y Munera, 2014). La presencia de hidrocarburos en el suelo puede

afectar negativamente la disponibilidad y movilidad de los nutrientes esenciales, provocando una insuficiencia de fósforo en el suelo, lo cual afecta directamente la proliferación y función de los microorganismos presentes en este (Bravo, 2007).

Potasio (K)

Es esencial para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, cumpliendo diversas funciones vitales en las plantas que incluyen la osmorregulación, la síntesis de almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento estomático y el equilibrio de cargas iónicas (Meza y Munera, 2014).

La contaminación causada por las actividades petroleras tiene efectos perjudiciales en las plantas de manera indirecta, ya que puede generar la acumulación de minerales tóxicos en el suelo, los cuales son absorbidos por las plantas. Además, esta contaminación puede ocasionar la pérdida de potasio en el suelo (Velásquez, 2017). Las plantas que presentan deficiencia de potasio suelen tener un crecimiento lento, debido a que, el potasio se mueve dentro de la planta y los síntomas de deficiencia generalmente se observan en las hojas más antiguas (Kant y Kafkafi, 2010).

Micronutrientes

Cobre (Cu)

Es esencial para la vida de las plantas, puede ser absorbido por ellas en forma de Cu^+ y Cu^{2+} , la disponibilidad de cobre para los vegetales está influenciada por diversos factores, como el tipo de suelo, su composición, textura, la actividad microbiana presente y el pH (Sancha *et al.*, 2005).

La contaminación de actividades petroleras puede resultar en niveles elevados de cobre en el suelo, teniendo efectos negativos en las plantas, causando una disminución en la biomasa, afectando gravemente su crecimiento, la absorción y utilización de otros nutrientes esenciales para la planta (Villegas *et al.*, 2015).

Zinc (Zn)

Es un micronutriente de vital importancia para el desarrollo y crecimiento saludable de las plantas, se requiere en pequeñas cantidades, pero su presencia es esencial para estabilizar la estructura de las proteínas y para la activación de enzimas clave en numerosos procesos celulares, representando aproximadamente el 0,1% del peso seco total del tejido vegetal (Amezcuca y Lara, 2017). El zinc desempeña un papel fundamental en el ciclo de vida de las plantas, ya que participa directamente en el metabolismo celular y es absorbido por las raíces en forma de iones de zinc (Zn^{2+}), permitiendo su transporte a través del sistema vascular de la planta (Manrique, 2017).

La presencia de hidrocarburos en el suelo puede resultar en un aumento de la concentración de zinc, volviéndose más tóxico para las plantas (Food and Agriculture Organization “Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura” (FAO), 2019). Esta situación puede ocasionar diversos problemas en las plantas, como el enrollamiento de las hojas, un crecimiento anormal, la muerte de hojas y la aparición de clorosis (Gyana, 2003).

Hierro (Fe)

Es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, y se encuentra mayormente en la forma de diversos minerales con estructuras cristalinas, se presenta en diferentes estados de oxidación, principalmente como férrico Fe^{+3} y ferroso Fe^{+2} , siendo la forma absorbida por las plantas el óxido ferroso. (Juárez *et al.*, s.f.). El hierro desempeña un papel esencial en el desarrollo fisiológico de las plantas, participando en procesos clave, como la formación de pigmentos de clorofila, que son fundamentales para la fotosíntesis y la captura de energía solar (Esquivel, s.f.).

La presencia de hidrocarburos en el suelo puede tener un impacto negativo en la utilización y absorción de hierro tanto por las plantas como por los microorganismos del suelo,

afectando la movilidad del hierro dentro de las plantas y la solubilización de los oxihidróxidos de hierro presentes en el suelo (Arias *et al.*, 2017).

Sodio (Na)

El sodio ofrece tres facetas que contribuyen al bienestar de las plantas: su necesidad en ciertas especies, su capacidad de reemplazar funciones del potasio y su efecto positivo en el desarrollo vegetal, además se cree que algunas plantas necesitan el sodio como micronutriente; como es el caso de las plantas CAM y C4, las cuales tienden a presentar deficiencias; como clorosis y necrosis, sobre todo si se desarrollan en lugares donde los niveles de CO₂ son bajos (Rodríguez y Flórez, 2004).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Área de estudio

La fase experimental se realizó desde el mes de octubre hasta el mes de diciembre del 2022. El experimento se realizó en la celda de lodos y ripios Secoya 26, ubicado en la parroquia Pacayacu, cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos en las coordenadas UTM (18 N 322473.028E 4073.439N) a 290.4 msnm. Los promedios de temperatura, humedad y precipitación se observan en la (Tabla 1).

Tabla 1

Promedio diario de temperatura, humedad y precipitación de la fase de campo

Estado	Fecha	Temperatura (C°)	Humedad (%)	Precipitación (mm/día)
Implementación del proyecto	20/10/2022	24.01	90.5	4.63
	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
Recolección	18/11/2022	23.87	91.5	12.95
	03/12/2022	24.32	89.56	43.36
	17/12/2022	24.21	88.50	41.2

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

Fase experimental

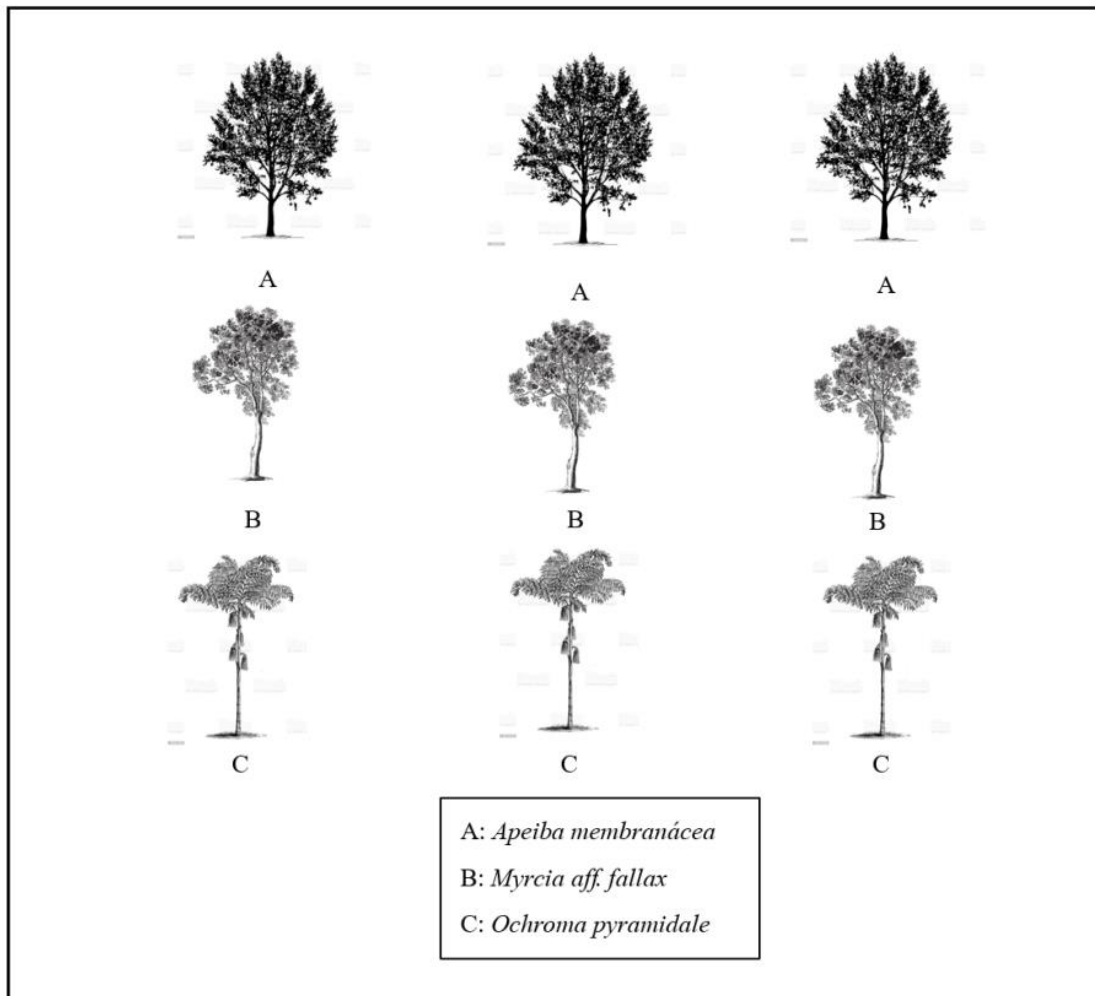
Selección de especies arbóreas

Se seleccionaron tres individuos de las especies arbóreas *Apeiba membranacea*, *Myrcia aff. fallax*, *Ochroma pyramidale*, que se encuentran plantadas en las celdas de lodos y ripios Secoya 26 desde el año 2012. Los árboles de las tres especies se han adaptado a los

suelos perturbados y presentaron un porcentaje de sobrevivencia del 89 al 97% (Villacís, 2016). La disposición del experimento en el campo se puede apreciar en la (Figura 1).

Figura 1

Disposición del experimento en el campo

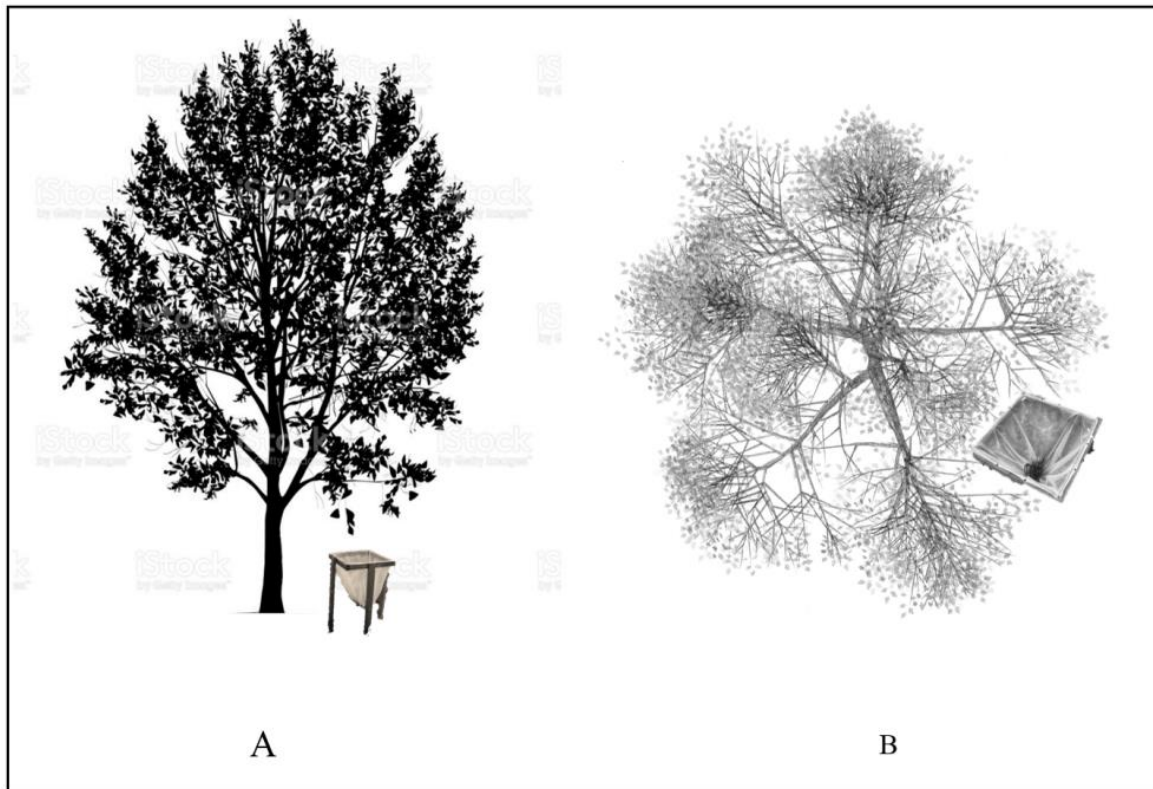


Nota. Modelo de los tres individuos de las tres especies evaluadas. Autoría propia.

Para obtener la información de la producción de biomasa y el aporte de nutrientes de la hojarasca, se colocaron trampas debajo de las copas de cada individuo de cada especie, arbórea seleccionadas a 1 metro de distancia del fuste, en total se establecieron 9 trampas. Las trampas se construyeron con varillas metálicas de 50x50 cm y mallas sarán (Figura 2).

Figura 2

Distribución de trampas de la hojarasca para la biomasa

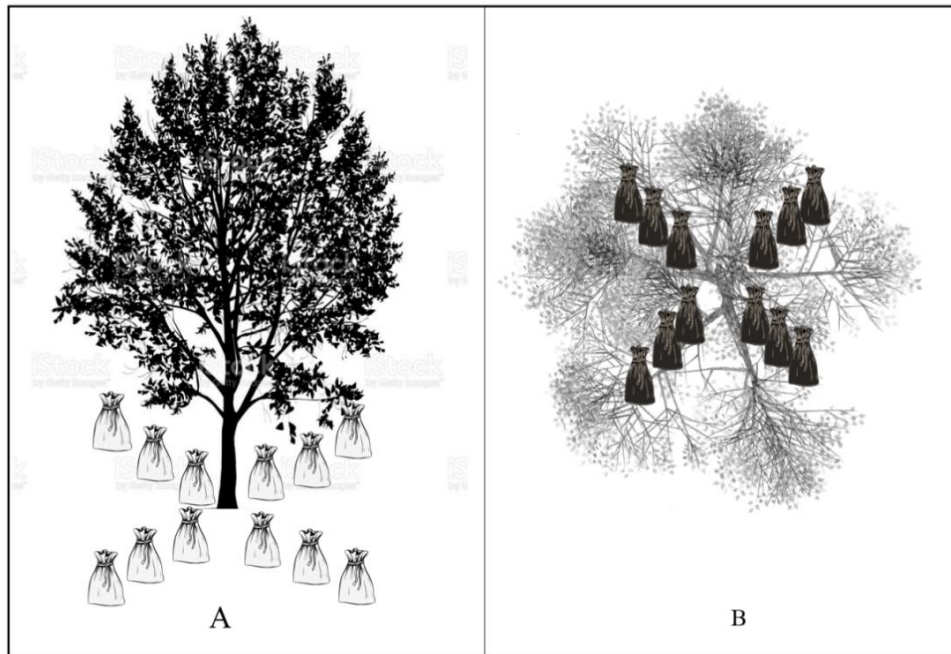


Nota. Vista lateral de la trampa de hojarasca (A). Vista superior de la trampa de hojarasca (B). Autoría propia.

En la base de los individuos se colocaron 12 bolsas de nylon de 15x20 cm con malla de 2 mm de diámetro, cada una con 5 g de hojarasca recolectada (Tecco *et al.*, 2013). Las bolsas se colocaron en grupos de 4, a 10 cm del fuste, 2 cm entre cada bolsa y fueron cubiertas con hojarasca (Figura 3).

Figura 3

Bolsas de nylon colocadas transversalmente



Nota. Vista lateral de las bolsas de nylon (A). Vista superior de las bolsas de nylon (B). Autoría propia.

Medición de variables

La biomasa de las canastas acumulada fue recolectada a los (30,45 y 60) días después de la colocación de las trampas. Posteriormente la biomasa se debe secar por 24 horas a 60°C, para pesar en gramos, luego se debe transformar en ($g/m^2/día$) y finalmente en ($Mg/ha/año$) para poder comparar con otros estudios. Las transformaciones se realizaron con las siguientes fórmulas:

$$Biomasa (g/m^2/día) = Biomasa / 0.25 / 15$$

$$Biomasa (Mg/ha/año) = Biomasa (g/m^2/día) * 10000 * 365 / 1000000$$

La degradación de la hojarasca se evaluó en tres períodos de tiempo (30, 45 y 60 días) después de la instalación experimental. En cada período, se recolectaron 4 bolsas de cada individuo, evitando provocar cambios o desplazamientos de los grupos de bolsas instalados. Una vez recolectadas todas las bolsas se deben secar en una estufa, luego se debe triturar,

colocar cada muestra en un frasco y finalmente se debe realizar el análisis de nutrientes en laboratorio.

Fase de laboratorio

La fase de laboratorio se realizó, en el Laboratorio de suelos, Aguas y Foliar de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y en el CENCINAT (Centro de Nanociencia y Nanotecnología) del Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura.

Después del muestreo, las bolsas se trasladaron para realizar el análisis de macronutrientes en el laboratorio y se lavaron minuciosamente con agua corriente para prevenir la adherencia de raíces, partículas de suelo y residuos o escombros (Tecco *et al.*, 2013). Las muestras de desecho se embolsaron con una malla de 1 mm para evitar la pérdida de material de interés, luego se secaron en una estufa a 60 C durante 24 h (Lanuza, 2016).

Los niveles de (K, Cu, Zn, Fe y Na), se obtuvieron por absorción atómica con llama de gas acetileno y agregando óxido de lantano, dándonos resultados en ppm los cuales se deben transformar en (Kg/ha/año) para los macronutrientes y en (g/ha/año) para los micronutrientes, utilizando las siguientes ecuaciones:

Macronutrientes

$$(g/Kg) = (ppm * 50)/(3 * 1000)$$

$$Biomasa (Kg/ha) = ((Biomasa (g)/0.25 m^2)/1000) * 10000$$

$$(g/ha) = Biomasa (Kg/ha) * (g//Kg)$$

$$(Kg/ha/año) = ((g/ha)/1000/15) * 365$$

Micronutrientes

$$(g/ha/año) = ((g/ha)/15) * 365$$

El fósforo (P) se determinó por método de calcinación colorimétrico con Molibdato Vanadato de Amonio $(NH_4)3VO_3MoO_4$, en un espectrofotómetro visible con celdas en una

longitud de paso de luz de 660 nm, dando resultados de concentración espectrofotómetro la cual se debe transformar en ppm con la siguiente ecuación:

$$ppm = \text{Concentración Espectrofotómetro} / 0.0041$$

Y posteriormente transformar en (Kg/ha/año) con las fórmulas ya mencionadas.

El contenido de nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl, aplicando la siguiente ecuación:

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

Dónde: N = Normalidad del Ácido Clorhídrico.

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

M = masa de la muestra en gramos.

Una vez se obtiene el porcentaje de nitrógeno se debe transformar en (Kg/ha/año) con las siguientes ecuaciones:

$$(g/Kg) = \%N * 10$$

$$(g/ha) = \text{Biomasa (Kg/ha)} * (g/Kg)$$

$$(Kg/ha/año) = ((g/ha)/1000/15) * 365$$

Cabe mencionar que para el caso del nitrógeno solo se evaluaron 18 muestras a los 60 días por falta de reactivos en el laboratorio y por lo cual no se presentó el P - valor de la Especie, Tiempo de recolección y la interacción Especie X Tiempo en los resultados.

Análisis de la información

Todas las variables se caracterizaron, usando estadística descriptiva (promedio, error estándar, coeficiente de variación). Para comparar todas las variables entre especies, medidas en el tiempo, se realizaron análisis de varianza usando modelos lineales generales mixtos, para un diseño completamente al azar en parcela dividida bajo el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = U + A_i + S_k(i) + T_j + (AT)_{ij} + E_{ijk}$$

Y_{ijk} = Producción de biomasa y contenido de nutrientes

U = media general

A_i = Efecto principal de la i -ésima Especie

$S_k(i)$ = error de la Especie

T_j = Efecto principal del j -ésimo Tiempo de recolección

$(AT)_{ij}$ = Interacción de la Especie x Tiempo de recolección

E_{ijk} = Error del Tiempo de recolección

Además, se realizaron pruebas de comparación de medias de LSD Fisher al 5% para especies, tiempos e interacciones. Todos los análisis se realizaron en el software estadístico INFOSTAT, Rienzo *et al.* (2017).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de resultados

Producción biomasa

No se encontró un efecto significativo de la interacción Especie ($F_{1,2} = 0.42$; $P = 0,6642$). Tampoco en el tiempo sobre la producción de biomasa ($F_{2,2} = 0.96$; $P = 0,2936$). Ni de la interacción Especie \times Tiempo ($F_{3,4} = 1.34$; $P = 0,2936$).

Los árboles de *Myrcia aff. fallax* tendieron a aportar mayor cantidad de biomasa que los árboles de las otras especies a los 30 días de recolección (Tabla 2).

Tabla 2

Promedio \pm error estándar de la producción de biomasa total (Mg/Ha/año) de tres especies forestales nativas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento

Especie	Tiempo de recolección (días)	Biomasa Total (Mg/ha/año)
<i>Myrcia aff. fallax</i>	30	6.73 \pm 0.66 a
	45	5.33 \pm 1.17 a
	60	5.17 \pm 1.08 a
<i>Apeiba membranacea</i>	30	4.37 \pm 1.22 a
	45	3.47 \pm 1.37 a
	60	7.43 \pm 0.43 a
<i>Ochroma pyramidale</i>	30	6.03 \pm 2.33 a
	45	4.27 \pm 1.52 a
	60	4.07 \pm 1.06 a

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

Concentración de macronutrientes de la producción de biomasa

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo de la interacción entre Especie \times Tiempo sobre al contenido de P y K en la biomasa; sin embargo, mostró un efecto significativo de la especie sobre el contenido de K entre las diferentes especies (Tabla 3).

Tabla 3

Análisis de la varianza del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) de biomasa de tres especies forestales nativas, recolectadas a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuente de variación	gl	P	K
		P- valor	P- valor
Especie	2	0.9723	0.0016
Tiempo	2	0.35	0.9399
Especie*Tiempo	4	0.4152	0.9631

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

La hojarasca de los árboles de *Myrcia* aff. *fallax* mostró una mayor concentración de N que la hojarasca de las otras especies evaluadas. Por otro lado, la hojarasca de los individuos de *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* presentó un contenido más alto de P en comparación con la hojarasca de *Myrcia* aff. *fallax*. Además, la hojarasca de *Myrcia* aff. *fallax* mostró una mayor cantidad de K que de los especímenes de *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* (Tabla 4).

Tabla 4

Promedio \pm error estándar del contenido de fósforo y potasio (Kg/Ha/año) de biomasa de tres especies nativas

Especie	N (kg/ha/año)	P (kg/ha/año)	K (kg/ha/año)
<i>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	30.1906 \pm 18.95 a	3.84 \pm 1.045 a	0.25 \pm 0.24 a
<i>Apeiba membranacea</i>	15.0711 \pm 4.63 a	4.05 \pm 1.183 a	0.05 \pm 0.01b
<i>Ochroma pyramidale</i>	4.5180 \pm 1.20 a	4.05 \pm 1.17 a	0.10 \pm 0.27 b

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

La hojarasca de los individuos de *Myrcia* aff. *fallax* mostró un mayor aporte de N en comparación con las demás especies, sin embargo, no presentó un efecto significativo. Por otro lado, la hojarasca de árboles de *Apeiba membranacea* presentó una mayor concentración de P a los 60 días, entre las diferentes especies evaluadas a los 30, 45 y 60 días. Asimismo, los

árboles de *Myrcia* aff. *Fallax* mostró un mayor contenido de K de la hojarasca que los árboles de *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* recolectados a los 30, 45 y 60 días (Tabla 5).

Tabla 5

Promedio ± error estándar del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) de biomasa de tres especies forestales nativas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento

Especie	Tiempo	P (kg/ha/año)	K (kg/ha/año)
<i>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	30	2.53±0.34 a	0.27±0.0405 a
	45	4.22±0.85 a	0.23±0.1387 ab
	60	4.78±1.94 a	0.26±0.0541 a
<i>Apeiba membranacea</i>	30	2.90±1.46 a	0.06±0.0101 bc
	45	3.22±1.00 a	0.04±0.0136 c
	60	6.03±1.09 a	0.05±0.0064 c
<i>Ochroma pyramidale</i>	30	4.35±0.94 a	0.07±0.0360 bc
	45	4.40±1.29 a	0.11±0.0387 abc
	60	3.39±1.29 a	0.12±0.0737 abc

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

Concentración de micronutrientes de la producción de biomasa

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo de la interacción entre Especie x Tiempo sobre el contenido de Fe, Na, Zn y Cu en la biomasa; sin embargo, presentó un efecto significativo de la especie sobre el contenido de Na (Tabla 6).

Tabla 6

Análisis de la varianza del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) de biomasa de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuente de variación	gl	Fe	Na	Zn	Cu
		P- valor	P- valor	P- valor	P- valor
Especie	2	0.9037	0.0043	0.9381	0.1626
Tiempo	2	0.5846	0.1576	0.1868	0.6956
Especie*Tiempo	4	0.5163	0.7853	0.9930	0.1049

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

Los elementos Fe, Zn y Cu, no presentaron un efecto significativo en la interacción de Especie x Tiempo en los individuos de *Myrcia* aff. *Fallax*, *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* (Tabla 7).

Tabla 7

Promedio \pm error estándar del contenido de hierro, sodio, zinc y cobre (Kg/Ha/año) de biomasa de tres especies nativas

Especie	Fe (g/ha/año)	Na (g/ha/año)	Zn (g/ha/año)	Cu (g/ha/año)
<i>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	2859.45 \pm 478.676 a	1293.13 \pm 215.45 a	222.29 \pm 125.81 a	51.46 \pm 18.413 a
<i>Apeiba membranacea</i>	2537.14 \pm 1026.576 a	780.46 \pm 227.19 b	257.77 \pm 147.483 a	62.92 \pm 12.933 a
<i>Ochroma pyramidale</i>	2705.17 \pm 1113.883 a	604.94 \pm 194.94 b	287.36 \pm 212.76 a	34.64 \pm 37.18 a

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

Los árboles de *Myrcia* aff. *fallax* presentó una mayor concentración de Na a los 30, 45 y 60 días entre las diferentes especies evaluadas en esos mismos intervalos de tiempo. Sin embargo, para los elementos Fe, Zn y Cu, no se mostró un efecto significativo entre la hojarasca de los árboles de *Myrcia* aff. *fallax*, *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* a los 30, 45 y 60 días (Tabla 8).

Tabla 8

Promedio \pm error estándar del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) de la biomasa de tres especies forestales nativas, 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>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	30	2086.41 \pm 267.74 a	1629.38 \pm 105.44 a	408.60 \pm 317.40 a	46.05 \pm 8.69 b
	45	2310.56 \pm 752.27 a	1156.09 \pm 199.08 a	130.79 \pm 29.70 a	72.82 \pm 39.35 ab
	60	4181.38 \pm 416.02 a	1093.92 \pm 341.83 a	127.47 \pm 30.33 a	35.50 \pm 7.20 b
<i>Apeiba membranacea</i>	30	2528.25 \pm 1832.76 a	871.08 \pm 282.45 b	439.92 \pm 386.09 a	46.61 \pm 16.80 b
	45	1774.17 \pm 415.22 a	592.12 \pm 223.42 b	18.83 \pm 49.11 a	41.39 \pm 7.57 b
	60	3309.00 \pm 831.75 a	878.18 \pm 175.70 b	204.57 \pm 7.25 a	100.75 \pm 14.43 a
<i>Ochroma pyramidale</i>	30	2666.22 \pm 793.13 a	819.73 \pm 276.50 b	539.04 \pm 429.32 a	38.49 \pm 16.46 b
	45	3299.51 \pm 1878.75 a	548.56 \pm 203.81 b	223.04 \pm 175.37 a	33.98 \pm 11.55 b
	60	2149.80 \pm 669.77 a	446.53 \pm 104.51 c	99.99 \pm 33.59 a	31.47 \pm 9.17 b

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

Concentración de macronutrientes de la producción de bolsas de descomposición

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo de la interacción Especie x Tiempo sobre el contenido de P y K de las bolsas de descomposición; sin embargo, mostró un efecto significativo de la especie sobre el contenido de K (Tabla 9).

Tabla 9

Análisis de la varianza del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuente de variación	gl	P	K
		P- valor	P- valor
Especie	2	0.9672	0.0123
Tiempo	2	0.5139	0.0112
Especie*Tiempo	4	0.8132	0.6206

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

La hojarasca de los árboles de *Myrcia* aff. *fallax* y *Apeiba membranacea* mostró una mayor concentración de N entre las diferentes especies evaluadas. Además, se mostró que la hojarasca de los individuos de *Myrcia* aff. *fallax* presentó un mayor contenido de K que los árboles de *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale*. En cuanto al contenido de P, no se mostró un efecto significativo entre la hojarasca de *Myrcia* aff. *fallax*, *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale*.

Tabla 10

Promedio ± error estándar del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (Kg/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies forestales nativas

Especie	N (kg/ha/año)	P (kg/ha/año)	K (kg/ha/año)
<i>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	7.30±4.99 a	1.46±1.045 a	0.07±0.01 a
<i>Apeiba membranacea</i>	6.20±2.14 a	1.30±0.45 a	0.02±0.01b
<i>Ochroma pyramidale</i>	2.42±1.12 a	1.34±0.45 a	0.03±0.01 b

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

La hojarasca de los individuos de *Myrcia* aff. *fallax* mostró un mayor aporte de N en comparación con las demás especies, sin embargo, no presentó un efecto significativo. Los árboles de *Myrcia* aff. *fallax* mostró una mayor concentración de K a los 30 días, entre las diferentes especies evaluadas a los 30, 45 y 60 días. Por otro lado, en los árboles de *Myrcia* aff. *fallax*, *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* no se mostró un efecto significativo en el contenido de P a los 30, 45 y 60 días (Tabla 11).

Tabla 11

Promedio ± error estándar del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies forestales nativas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento

Especie	Tiempo	P (kg/ha/año)	K (kg/ha/año)
<i>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	30	1.64±0.23 a	0.12±0.01 a
	45	1.17±0.42 a	0.05±0.03 b
	60	1.56±0.73 a	0.04±0.02 b
<i>Apeiba membranacea</i>	30	1.37±0.97 a	0.03±0.02 b
	45	0.77±0.57 a	0.01±0.01 b
	60	1.75±0.60 a	0.01±0.0037 b
<i>Ochroma pyramidale</i>	30	2.20±1.50 a	0.06±0.04 b
	45	1.04±0.76 a	0.02±0.02 b
	60	0.78±0.37 a	0.01±0.006 b

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

Concentración de micronutrientes de la producción de bolsas de descomposición

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo en la especie, tiempo y la interacción Especie x Tiempo sobre el contenido de Fe, Na, Zn y Cu de las bolsas de descomposición (Tabla 12).

Tabla 12

Análisis de la varianza del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuente de variación	gl	Fe	Na	Zn	Cu
Especie	2	P- valor 0.2467	P- valor 0.1643	P- valor 0.2230	P- valor 0.1218

Fuente de variación	gl	Fe	Na	Zn	Cu
		P- valor	P- valor	P- valor	P- valor
Tiempo	2	0.1232	0.3634	0.3800	0.3018
Especie*Tiempo	4	0.5048	0.4907	0.6691	0.1673

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

La hojarasca de los árboles de *Myrcia* aff. *fallax*, *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* no mostraron efectos significativos en el contenido de Fe, Na, Zn y Cu (Tabla 13).

Tabla 13

Promedio ± error estándar del contenido de hierro, sodio, zinc y cobre (Kg/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies nativas

Especie	Fe (g/ha/año)	Na (g/ha/año)	Zn (g/ha/año)	Cu (g/ha/año)
<i>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	1259.30±597.56 a	58.15±0.01 a	101.60±131.98 a	51.46±10.02 a
<i>Apeiba membranacea</i>	1223.21±597.56 a	35.28±0.01 a	51.64±131.98 a	62.92±10.02 a
<i>Ochroma pyramidale</i>	609.40±597.56 a	37.18±0.01 a	35.50±131.98 a	34.64±10.02 a

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

La hojarasca de los árboles de *Myrcia* aff. *fallax*, *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* no mostraron efectos significativos en ningún microelemento a los 30, 45 y 60 días (Tabla 14).

Tabla 14

Promedio ± error estándar del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) de las bolsas de descomposición de tres especies forestales nativas, 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>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	30	1598.37±243.54 ab	82.75±7.90 a	45.62±8.25 a	18.96±4.59 b
	45	635.60±308.78 ab	43.96±15.73 ab	34.86±10.89 a	10.84±5.65 b
	60	1543.94±596.23 ab	47.74±18.53 ab	26.03±5.58 a	8.95±3.48 a
<i>Apeiba membranacea</i>	30	1080.24±668.56 ab	32.42±17.12 ab	125.40±108.86 a	17.45±12.48 b
	45	504.87±406.30 b	22.96±9.96 b	35,57±25.37 a	13.73±9.96 b
	60	2084.52±614.70 a	50.46±7.18 ab	143.81±23.40 a	44.18±6.04 b

Especie	Tiempo	Fe (g/ha/año)	Na (g/ha/año)	Zn (g/ha/año)	Cu (g/ha/año)
<i>Ochroma pyramidale</i>	30	1179.75±892.38 ab	51.96±38.1 ab	96.18±76.37 a	17.63±12.78 b
	45	359.07±251.18 b	31.02±21.31 ab	32.90±24.65 a	8.22±5.21 b
	60	289.38±104.49 b	28.55±14.05 ab	25,85±11.17 a	10.94±7.08 b

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

Concentración de macronutrientes de la producción de ingreso

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo de la interacción Especie x Tiempo sobre el contenido de P y K del ingreso; sin embargo, mostró un efecto significativo de la especie sobre el contenido de P y K por Tiempo y especie respectivamente (Tabla 15).

Tabla 15

Análisis de la varianza del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) del ingreso de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuente de variación	gl	P	K
		P- valor	P- valor
Especie	2	0.8712	0.0052
Tiempo	2	0.0579	0.3862
Especie*Tiempo	4	0.5886	0.8930

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

La hojarasca de los árboles de *Myrcia* aff. *fallax* mostró mayor concentración de N, entre las diferentes especies evaluadas. La hojarasca de los individuos de *Myrcia* aff. *fallax* presentó mayor contenido de K, que la hojarasca de *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale*. La hojarasca de *Myrcia* aff. *fallax*, *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* no mostró un efecto significativo en el contenido de P (Tabla 16).

Tabla 16

Promedio ± error estándar del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (Kg/Ha/año) del ingreso de tres especies nativas

Especie	N (kg/ha/año)	P (kg/ha/año)	K (kg/ha/año)
<i>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	22.89±21.50 a	2.39±0.68 a	0.19±0.06 a

Especie	N (kg/ha/año)	P (kg/ha/año)	K (kg/ha/año)
<i>Apeiba membranacea</i>	8.87±3.32 a	2.75±0.73 a	0.07±0.007b
<i>Ochroma pyramidale</i>	2.10±0.34 a	2.70±0.03 a	0.03±0.35 b

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

La hojarasca de los individuos de *Myrcia* aff. *fallax* mostró un mayor aporte de N en comparación con las demás especies, sin embargo, no presentó un efecto significativo. La hojarasca de los árboles de *Apeiba membranacea* mostró mayor contenido de P a los 60 días, entre las diferentes especies evaluadas a los 30, 45 y 60 días. La hojarasca en los árboles de *Myrcia* aff. *fallax* mostró mayor contenido de K a los 30, 45 y 60 días, entre los árboles de *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* recolectada a los 30, 45 y 60 días (Tabla 17).

Tabla 17

Promedio ± error estándar del contenido de macronutrientes (Kg/Ha/año) del ingreso de tres especies forestales nativas a 30, 45 y 60 días de instalado el experimento

Especie	Tiempo	P (kg/ha/año)	K (kg/ha/año)
<i>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	30	0.89±0.23 b	0.15±0.04 a
	45	3.05±0.43 b	0.18±0.11 a
	60	3.22±1.39 b	0.22±0.04 a
<i>Apeiba membranacea</i>	30	1.52±0.51 b	0.03±0.013 b
	45	2.44±0.43 b	0.03±0.007 b
	60	4.28±1.26 a	0.04±0.003 b
<i>Ochroma pyramidale</i>	30	2.15±0.56 b	0.01±0.006 c
	45	3.25±1.12 b	0.09±0.03 b
	60	2.61±1.31 b	0.11±0.07 b

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

Concentración de micronutrientes de la producción de ingreso

El análisis de varianza mostró que no existe un efecto significativo de la interacción Especie x Tiempo sobre el contenido de Fe, Na, Zn y Cu del ingreso, pero mostró efectos significativos sobre el contenido de Na por especie (Tabla 18).

Tabla 18

Análisis de la varianza del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) del ingreso de tres especies forestales nativas, recolectados a 30, 45 y 60 días de implementado el experimento

Fuente de variación	gl	Fe	Na	Zn	Cu
		P- valor	P- valor	P- valor	P- valor
Especie	2	0.5687	0.0029	0.8821	0.2348
Tiempo	2	0.3988	0.1490	0.1537	0.4618
Especie*Tiempo	4	0.4231	0.7853	0.9975	0.1820

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

La hojarasca de los árboles de *Myrcia* aff. *fallax* mostró una mayor concentración de Na, entre las diferentes especies evaluadas. La hojarasca de los individuos de *Myrcia* aff. *fallax*, *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* no presentó efectos significativos en el contenido de Fe, Zn y Cu (Tabla 19).

Tabla 19

Promedio \pm error estándar del contenido de hierro, sodio, zinc y cobre (Kg/Ha/año) del ingreso de tres especies nativas

Especie	Fe (g/ha/año)	Na (g/ha/año)	Zn (g/ha/año)	Cu (g/ha/año)
<i>Myrcia</i> aff. <i>fallax</i>	1600.14 \pm 422.53 a	1234.98 \pm 175.15 a	186.78 \pm 120.58 a	38.54 \pm 14.23 a
<i>Apeiba membranacea</i>	1313.93 \pm 608.80 a	745.18 \pm 215.50 b	156.18 \pm 108.08 a	37.80 \pm 6.43 a
<i>Ochroma pyramidale</i>	2095.78 \pm 792.25 a	567.76 \pm 170.66 b	235.71 \pm 175.68 a	22.38 \pm 5.55 a

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

La hojarasca de los árboles de *Myrcia* aff. *fallax* mostró mayor contenido de Na a los 30, 45 y 60 días, entre las diferentes especies evaluadas a los 30, 45 y 60 días. La hojarasca en los árboles *Myrcia* aff. *fallax*, *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale* no mostró efectos significativos sobre el contenido de Fe, Zn y Cu a los 30, 45 y 60 días (Tabla 20).

Tabla 20

Promedio ± error estándar del contenido de micronutrientes (g/Ha/año) del ingreso de tres especies forestales nativas, 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>Myrcia aff. fallax</i>	30	488.04±28.81 a	1546.63± 103.51 a	362.98±312.04 a	27.10±4.38 ab
	45	1674.96±608.79 a	1112.13± 183.42 a	95.94±24.48 a	61.99±33.75 a
	60	2637.43±792.25 a	1046.18±238.53 a	101.43±25.23 a	26.55±4.57 ab
<i>Apeiba membranacea</i>	30	1448.01±1166.02 a	838.66±266.04 b	314.51±277.24 a	29.16±6.56 ab
	45	1269.30±116.43 a	569.16±206.69 b	93.26±24.55 a	27.65±2.53 ab
	60	1224.47±543.96 a	827.72±173.78 b	60.76±22.45 a	56.58±10.22 ab
<i>Ochroma pyramidale</i>	30	1486.47±148.58 a	767.77±238.53 b	190.14±352.95 a	20.86±3.77 b
	45	2940.44±1638.72 a	517.54±182.73 b	223.04±150.77 a	25.75±6.39 ab
	60	1860.42±589.46 a	417.98±90.73 c	74.14±23.34 a	20.52±6.49 b

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

Discusión

Los resultados de este estudio proporcionan información sobre la cantidad de biomasa y nutrientes aportado por la hojarasca de tres especies forestales a las celdas de lodos y ripios. En general la producción de biomasa de las tres especies fue similar en los tres intervalos de tiempo, y el aporte de macronutrientes y micronutrientes también fue similar para las tres especies.

Producción de biomasa

La biomasa promedio de 5.20 Mg/Ha/año producido por las tres especies plantadas en las celdas de lodos y ripios, fue superior a la biomasa producida por *Guazuma ulmifora* de 3.14 Mg/ha/año en un sistema silvopastoril implementado en Muy Muy, Nicaragua (Sandoval, 2006), y a la biomasa producida por *Theobroma cacao L* de 0.992 Mg/ha/año en una plantación ubicada en Colombia (Rojas *et al.*, 2020). Esto se podría deber a que la producción de hojarasca de las especies forestales jóvenes (ocho años) es baja, en comparación a las plantaciones adultas (Lin *et al.*, 2016). Por otro lado, la biomasa producida por las tres especies fue inferior a la biomasa obtenida en una plantación de *Theobroma cacao L*, en la cuenca de Dwinyama en Ghana, Chile 6.9 Mg/ha/año (Owusu *et al.*, 2009). Esto podría deberse a la

perturbación de los suelos que presentan características desfavorables para el crecimiento de la vegetación (Villacís *et al.*, 2016).

La biomasa promedio de 5.74 Mg/Ha/año producida por la especie *Myrcia aff. fallax* plantada en las celdas de lodos y ripios, fue inferior a la biomasa producida por *Eucalyptus globulus* de 7.55 Mg/ha/año en un bosque ubicado en Palmitas, Uruguay (González, 2008), y a la biomasa producida por *Eucalyptus grandis* de 14.4 Mg/ha/año en un bosque ubicado en Ibirapita, Uruguay (Hitta y Lorenzo, 2012). La baja producción de biomasa podría deberse a que los suelos de Secoya 26 ubicados en la Amazonía ecuatoriana poseen bajas cantidades de materia orgánica (Villacís, 2016).

Aporte de nutrientes

Los ingresos promedio de N de las tres especies de 11.28 kg/ha/año, fueron inferiores a los ingresos reportados por Schlattler *et al.* (2006), quienes evaluaron el flujo de hojarasca en una plantación de *Eucalyptus nitens* ubicada en la comuna de Fresia, décima región, Chile, y reportaron un ingreso de 95 kg/ha/año de N. En otro estudio realizado en un bosque ubicado en Palmitas, Uruguay se encontró un aporte de 28.95 kg/ha/año de N de la hojarasca de *Eucalyptus globulus* (González, 2008). Hitta y Lorenzo (2012) evaluaron el flujo de hojarasca en un bosque de *Eucalyptus grandis* ubicado en Ibirapita y reportaron un ingreso de 138.7 kg/ha/año de N. Esta diferencia podría atribuirse a la alteración de las propiedades físicas del suelo provocado por el proceso de extracción de petróleo (Zhang y Liu, 2019).

El aporte promedio de P de las tres especies de 2.61 kg/ha/año, fue inferior al aporte reportado por Hartman (2005), quienes evaluaron el flujo de hojarasca en una plantación de *Theobroma cacao* en un ecosistema de Malasia, y reportaron un ingreso de 8 kg/ha/año. En otro estudio realizado en una plantación ubicado en el sur de Brasil, se encontró un aporte de 4.3 kg/ha/año de P de la hojarasca de *Theobroma cacao* (Fontes *et al.*, 2014). La diferencia observada en los aportes de fósforo se podría atribuir a la acidez de (pH=4.5) de los suelos en la celda de lodos y ripios Secoya 26 (Sani, 2019). En suelos ácidos, se produce una reducción

en la disponibilidad de fósforo, lo que puede limitar su aporte a las especies forestales (Fernández, 2007).

Los ingresos promedio de K de los tres individuos de cada especie de 0.096 kg/ha/año, fueron inferiores a los ingresos reportados por Parrotta (1999), quien evaluó el flujo de hojarasca en una plantación de *Eucalyptus robusta* ubicada en la estación experimental de Toa Baja de la Universidad de Puerto Rico, y reportó un ingreso de 14.5 kg/ha/año de K. En otro estudio realizado en el campo experimental de Embrapa Agrobiología, ubicado en Seropédica, estado de Río de Janeiro, Brasil se encontró un aporte de 45.0 kg/ha/año de K de la hojarasca de *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus grandis* (Santos *et al.*, 2017). La disparidad observada en los aportes de potasio, asumiendo las observaciones de Sanzano (s.f.), podría estar asociada con el efecto de las altas precipitaciones sobre los suelos, lo que podría provocar un proceso de lixiviación que resulta en la pérdida y reducción de los niveles de potasio en el suelo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los individuos de la especie *Apeiba membranacea* a los 60 días produjeron una mayor cantidad de biomasa (7.43 Mg/ha/año) en comparación a lo recolectado a los 60 días por los individuos de las especies de *Myrcia* aff. *fallax* y *Ochroma pyramidale*. Sin embargo, la producción de biomasa no fue significativa entre especie, tiempo y la interacción Especie X Tiempo.
- *Myrcia* aff. *fallax* presentó un alto contenido de N (22.89 Kg/ha/año) en comparación a las especies *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale*. Sin embargo, no presentó diferencias significativas entre especie.
- Los árboles de *Myrcia* aff. *fallax* a los 60 días aportaron mayores niveles de K (0.22 Kg/ha/año), presentando diferencias significativas entre especies, además, a los 30 días presentaron mayor contenido de Na (1546.63 g/ha/año) y a los 45 días mayor contenido de Cu (61.99 g/ha/año).
- Los individuos de *Apeiba membranacea* a los 60 días aportaron mayor contenido de P (4.28 kg/ha/año) presentando diferencias significativas entre especies. Por otro lado, los individuos de *Ochroma pyramidale* a los 45 días aportaron mayores niveles de Fe (2940.44 g/ha/año), sin embargo, no presenta diferencias significativas entre especie.

Recomendaciones

- Llevar a cabo una evaluación anual de la biomasa y el contenido de nutrientes que aportan estas especies arbóreas, para determinar la velocidad de descomposición de hojarasca.
- Incluir la medición del peso de ramas, flores y frutos de la hojarasca que aportan los árboles, para comparar con otros estudios.

- Realizar más estudios sobre la producción de biomasa y aporte de nutrientes de árboles en zonas perturbadas, a fin de generar mayor información.

Bibliografía

- Amezcuca, J., y Lara, M. (2017). El zinc en las plantas. *Ciencia*, 68(3), 28–32.
https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf
- Arcos, F., y Jaimez, R. (2020). Aporte de nutrientes por caída de hojarasca en plantaciones de *Tectona grandis* (Teca) en períodos de sequía. *Nova Sinergia revista digital de ciencia, ingeniería y tecnología*, 3(1), 17–26.
<https://novasinergia.unach.edu.ec/index.php/novasinergia/article/view/145/157>
- Arias, A., Rivera, M., y Trujillo, A. (2017). Fitotoxicidad de un suelo contaminado con petróleo fresco sobre *Phaseolus vulgaris* L. (Leguminosae). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(3), 411–419.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.05>
- Azqueta, D., y Delacámara, G. (2008). El costo ecológico de la extracción de petróleo. *Revista de la Cepal*, (94), 59–65.
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/45ac5443-16ea-470a-8c4a-bb0775b19103/content>
- Ballesteros Villegas, A. (2007). *Evaluación de Diferentes Sistemas para el Tratamiento de Residuos de Perforación en el Campo Tarapoa operado por la empresa Andes Petroleum S.A* [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6150/2/Parte%20Primera_Tesis_CBV.pdf
- Bonilla, R., Roncallo, B., Jimeno, J., y García, T. (2008). Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp., en Codazzi, Cesar. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 9(2), 5–11.
<https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/113/422>

- Bravo, E. (2007). *Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad* [Archivo PDF].
https://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf
- Castañeda Martínez, A. (2019). *Riesgos ambientales sobre agua y suelo por disposición de cortes de perforación en el campo Castilla* [Monografía, Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7454/1/461852-2019-I-GA.pdf>
- Data Access. (20 de diciembre del 2022). Power. Recuperado el 30 de agosto de 2023 de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Donoso, P., y Soto, D. (2010). Plantaciones con especies nativas en el centro-sur de Chile: experiencias, desafíos y oportunidades. *Revista bosque nativo*, (47), 10–17.
<http://www.pfnm.cl/paqtecnologicos/ulmo/plantaciones.pdf>
- Esquivel, G. (s.f.). *Importancia del hierro (Fe) en la agricultura*. Drokasa.pe. Recuperado el 18 de julio de 2023 de <http://drokasa.pe/index.php?seccion=notas&pag=2>
- Fernández, M. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA*, 41(2), 51–57.
https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/F%C3%B3sforo_amigo_%20o_enemigo.pdf
- Fontes, A., Rodriguez, A., Rodriguez, E., Sales, M., Costa, M., y Machado, R. (2014). Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. *Plant and Soil*, 383, 313–335.
<https://doi.org/10.1007/s11104-014-2175-9>
- Food and Agriculture Organization “Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura”, 2019. *La contaminación del suelo: una realidad oculta*, 19–20. [Archivo PDF]. <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
- Gonzaga Godos, L., y Moncayo Navarrete, M. (2012). *Fenología, producción de hojarasca y ensayos de germinación de las principales especies nativas del bosque protector “El*

Bosque” parroquia San Pedro de Vilcabamba, Loja [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Loja].

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5339/1/FENOLOG%C3%8DA%2C%20PRODUCCI%C3%93N%20DE%20HOJARASCA%20Y%20ENSAYOS%20DE%20GERMINACI%C3%93N.pdf>

González Torres, D. (2008). *Extracción y reciclaje de nutrientes por cosecha de Eucalyptus globulus y Eucalyptus maidenii* [Tesis de Maestría, Universidad de la República].

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1782/1/0014gon.pdf>

Hartemink, A. E. (2005). Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: a review. *Advances in Agronomy*, 86, 227–253.

https://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/hartemink2005.pdf

Hitta Monteverde, M., y Lorenzo Vilariño, M. (2012). *Estudio de descomposición de residuos de cosecha de Eucalyptus grandis bajo diferentes manejos* [Tesis, Universidad de la República].

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1702/1/3813hit.pdf>

Huechacona Ruiz, A. (2016). *Dinámica de la producción de hojarasca y el índice de área foliar (IAF) en un bosque tropical seco en Yucatán* [Tesis, Centro de Investigación Científica de Yucatán].

https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/419/1/PCB_M_Tesis_2016_Astrid_Huechacona.pdf

Jiménez Méndez, M. (2009). *Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático* [Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].

https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3854/Resiliencia_de_los_ecosistemas_naturales_terrestres.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Juárez, M., Cerdán, M., y Sánchez, A. (s.f.). *Hierro en el sistema suelo-planta* [Archivo PDF].
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/HIERRO.pdf>
- Kant, S., y, Kafkafi, U. (s.f.). *Absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos* [Archivo PDF]. <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/Sesion%20V.pdf>
- Lanuza 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 Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].
https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8602/Restauracion_ecologica_de_bosques.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lin, D., Anderson, K., Lai, J., Mi, X., Ren, H., y Ma, K. (2016). Traits of dominant tree species predict local scale variation in forest aboveground and topsoil carbon stocks. *Plant and Soil*, 409, 435–446. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2976-0>
- López, J., González, H., Gonzalo, R., Cantú, I., Gómez, M., Pando Maricela., y Estrada Eduardo. (2012). Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, (35), 41–64.
https://www.researchgate.net/profile/Israel-Silva-5/publication/270005884_Produccion_de_hojarasca_y_retorno_potencial_de_nutrientes_en_tres_sitios_del_estado_de_Nuevo_Leon_Mexico/links/54cab7a20cf22f98631cf026/Produccion-de-hojarasca-y-retorno-potencial-de-nutrientes-en-tres-sitios-del-estado-de-Nuevo-Leon-Mexico.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uln19
- Manrique Ruiz, A. (2017). *Desarrollo de un modelo de estimación de dosis de zinc en el cultivo de maíz (Zea mays L.)* [Tesis de Maestría, Universidad de Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151499/Desarrollo-de-un-modelo-de->

estimacio%cc%81n-de-dosis-de-zinc-en-el-cultivo-de-mai%cc%81z-%28Zea-mays-
L%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Meza, C., y Munera, A. (2014). *El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal* [Archivo PDF]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/7377066a-bac4-4402-a306-eb45caa49d1c/content>

Murillo Suárez, M. (2015). *Análisis técnico económico del sistema de reinyección de lodos y rípios de perforación en el bloque 31, campo Apaika pozo 1x operado por Petroamazonas EP* [Trabajo de titulación, Universidad Tecnológica Equinoccial]. https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14377/1/62881_1.pdf

Owusu, E., Cobbina, J., y Wakatsuki, T. (2009). Nutrient Cycling in Primary, Secondary Forests and Cocoa Plantation in the Ashanti Region, Ghana. *West African Journal of Applied Ecology*, 9, 1–9. https://www.researchgate.net/profile/Toshiyuki-Wakatsuki/publication/254442663_Nutrient_Cycling_in_Primary_Secondary_Forests_and_Cocoa_Plantation_in_the_Ashanti_Region_Ghana/links/6214774af02286737cb40c37/Nutrient-Cycling-in-Primary-Secondary-Forests-and-Cocoa-Plantation-in-the-Ashanti-Region-Ghana.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19

Parrotta, J. (1999). Productivity, nutrient cycling, and succession in single-and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 124(1), 45–77. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112799000493>

Perdomo, C., y Barbazán, M. (2016). *Nitrógeno* [Archivo PDF]. <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>

- Pérez, A., Hernández, C., Romero-Saltos, H., y Valencia, R. (22 de enero de 2019). *Árboles emblemáticos de YASUNÍ*. Floraweb. Recuperado el 11 de julio de 2023 de <https://bioweb.bio/floraweb/arbolesyasuni/FichaEspecie/Apeiba%20membranacea>
- Rienzo, J., Macchiavelli, R., y Casanoves, F. (2017). *Modelos Lineales Generalizados Mixtos Aplicaciones en InfoStat* [Archivo PDF]. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8691/Modelos_lineales_generalizados_esp.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, M., y Flórez, V. (2004). *Elementos esenciales y beneficiosos* [Archivo PDF]. <https://core.ac.uk/download/pdf/143458034.pdf>
- Rojas, J., Leidy, O., Laura, E., Rojas, M., y Suarez, Y. (2020). Producción de hojarasca y su aporte de nutrientes en cacao bajo diferentes esquemas de fertilización, Rionegro-Santander*. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 193–206. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/45790/45750>
- Ruiz, L. (2000). *Amazonía ecuatoriana*. EcoCiencia. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43406.pdf>
- Salazar, R., Soihet, C., y Méndez, J. M. (2000). *Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2959/Manejo_de_semillas_de_100_especies.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sancha, A., Castillo, G., Espinoza, C., y Pía, M. (2005). *Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego* [Archivo PDF]. http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_final.pdf
- Sandoval Arriola, I. (2006). *Producción de hojarasca y reciclaje de nutrientes de dos especies arbóreas y dos gramíneas en pasturas de Muy Muy, Nicaragua* [Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].

https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5600/The_production_of_leaf_litter_and_nutrient_recycling.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sani Pinto, H. (2019). *Restauración forestal de suelos perturbados de la Amazonía ecuatoriana: 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>

Santos, F. M., Chaer, G. M., Diniz, A. R., y Balieiro, F. de C. (2017). Nutrient cycling over five years of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a sandy tropical soil. *Forest Ecology and Management*, 384, 110–121.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.041>

Sanzano, A. (s.f.). *El potasio del suelo*. Edafologia.org. Recuperado el 28 de julio de 2023 de <https://www.edafologia.org/descargas/>

Sarango Ureña, C. (2011). *Evaluación del efecto de sustrato contaminado con hidrocarburos, sustrato biorremediado y sustrato no contaminado en el desarrollo de teca (*Tectona grandis*) y balsa (*Ochroma pyramidale*) en el cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana* [Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

<http://dspace.espe.edu.ec/bitstream/123456789/1358/1/33T0094.pdf>

Schlattler, J., Gerding, V., y Calderón, S. (2006). Aporte de la hojarasca al ciclo biogeoquímico en plantaciones de *Eucalyptus nitens*, X Región, Chile. *Bosque*, 27(2), 115–125.

<https://www.redalyc.org/pdf/1731/173113286006.pdf>

Tecco, P. A., Urcelay, C., Díaz, S., Cabido, M., y Pérez, N. (2013). Contrasting functional trait syndromes underlay woody alien success in the same ecosystem. *Austral Ecology*, 38(4), 443–451. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2012.02428.x>

Vargas Guarín, L. (2020). *Impactos ambientales de la producción petrolera en Colombia y su relación con la innovación tecnológica en los últimos quince años* [Monografía, Fundación Universidad de América].

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7843/1/463974-2020-I-GA.pdf>

Vázquez, M., Montiel, A., Vázquez, D., y Herrera, M. (2011). Impacto del petróleo crudo en suelo sobre la microbiota de vida libre fijadora de nitrógeno. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), 511–523. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93920942029.pdf>

Velásquez, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 152–164. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846/2227>

Villacís Buenaño, 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/bitstream/handle/11086/3344/Villac%20Buena%20de%20Evaluaci%20de%20las%20t%20a9cnicas%20de%20remediaci%20vegetal%20utilizadas%20en%20plataformas%20petroleras...%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Villacís, J., Casanoves, F., Hang, S., Keesstra, S., y Armas, C. (2016). Selection of forest species for the rehabilitation of disturbed soils in oil fields in the Ecuadorian Amazon. *Elsevier*, 566–567, 761–770. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.102>

Villegas, O., Domínguez, M., Martínez, P., y Aguilar, M. (2015). Cobre y Níquel, microelementos esenciales en la nutrición vegetal. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2(2), 285–295. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol2num2/Ciencias%20Naturales%20y%20Agropecuarias%20Vol%202%20Num%202%20Final_22.pdf

Wightman, K., y Cruz, S. (2003). La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana*, 5(1), 45–51.

<https://www.redalyc.org/pdf/497/49750108.pdf>

Zhang, X., y Liu, Z. (2018). 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>