



Dinámica de nutrientes de la hojarasca producida por tres especies arbóreas fijadoras de nitrógeno plantadas en la celda de lodos y rípios Secoya 26 en la Amazonía Ecuatoriana

Armijos Zambrano, Mónica Fernanda

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Villacís Buenaño, Jaime Emiliano, Ph. D

2 de marzo del 2023



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Dinámica de nutrientes de la hojarasca producida por tres especies arbóreas fijadoras de nitrógeno plantadas en la celda de lodos y rípios Secoya 26 en la Amazonía Ecuatoriana**, fue realizado por la señorita: **Armijos Zambrano, Mónica Fernanda**; 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, 2 de marzo del 2023



Firmado electrónicamente por:
**JAIME EMILIANO
VILLACIS BUENANO**

Ing. Villacís Buenaño, Jaime Emiliano, Ph. D

CC: 1710004078

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

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

UIC 2023

NOMBRE DEL ALUMNO

MONICA FERNANDA ARMIJOS ZAMBRANO

NOMBRE DEL ARCHIVO

MONICA FERNANDA ARMIJOS ZAMBRANO - tesina 2023

SE HA CREADO EL INFORME

2 mar 2023

Resumen

Fragmentos marcados	5	2 %
Fragmentos citados o entrecuillados	11	3 %

Coincidencias de la Web

espe.edu.ec	12	4 %
intagri.com	1	0,4 %
fao.org	1	0,4 %
maderea.es	1	0,3 %
europa.eu	1	0,3 %



tema de la tesis:
JAIME EMILIANO
VILLACIS BUENANO

Ing. Villacís Buenaño, Jaime Emiliano, Ph. D

CC: 1710004078



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría:

Yo, **Armijos Zambrano, Mónica Fernanda**, con cédula de ciudadanía No. 1724763485, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Dinámica de nutrientes de la hojarasca producida por tres especies arbóreas fijadoras de nitrógeno plantadas en la celda de lodos y rios Secoya 26 en la Amazonía Ecuatoriana**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 2 de marzo del 2023

Armijos Zambrano, Mónica Fernanda
C.C.:1724763485



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Autorización de Publicación:

Yo, **Armijos Zambrano, Mónica Fernanda**, con cédula de ciudadanía No. 1724763485 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Dinámica de nutrientes de la hojarasca producida por tres especies arbóreas fijadoras de nitrógeno plantadas en la celda de lodos y rípios Secoya 26 en la Amazonía Ecuatoriana** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 2 de marzo del 2023

.....

Armijos Zambrano, Mónica Fernanda
C.C.:1724763485

Dedicatoria

Dedico este logro a mi Dios que ha permitido que llegue a este punto de mi vida, a mis padres Daniel Armijos y Maritza Zambrano, que han sido un pilar fundamental para culminar mis estudios gracias a su ayuda tanto moral como económica, ellos me han enseñado que todo lo que nos propongamos se puede conseguir con esfuerzo, dedicación y siendo perseverante en los momentos más difíciles, los amo mucho, este proyecto es por y para ustedes.

También al resto de mi familia Zambrano que ha confiado en mí y me han ayudado de distintas formas para culminar este proceso.

Mónica Fernanda Armijos Zambrano

Agradecimientos

Agradezco al Ing. Jaime Villacís por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto bajo su tutela y por la ayuda que me ha brindado en cada duda que se me ha presentado.

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

A mis compañeros de tesis Lenin, Marjurie, Miguel y Christian que nos hemos apoyado de alguna u otra manera para culminar el proyecto.

A mis amigas Gabriela y Kathy que han estado prestas para cualquier inquietud y ayuda que he necesitado en este proceso.

Mónica Fernanda Armijos Zambrano

Índice de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos.....	3
Responsabilidad de Auditoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos.....	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas.....	11
Índice de figuras.....	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN.....	16
Antecedentes.....	16
Justificación.....	17
Objetivos.....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos.....	17
Hipótesis.....	18
CAPÍTULO II.....	19
REVISIÓN LITERARIA.....	19
Impacto ambiental por actividades petroleras.....	19
Dinámica de los suelos de la Amazonia.....	19

Especies arbóreas evaluadas.....	19
Guaba (<i>Inga densiflora</i>).....	19
Caoba (<i>Platymiscium pinnatum</i>).....	20
Chíparo (<i>Zygia longifolia</i>)	20
Ciclo de nutrientes.....	20
Fósforo.....	21
Potasio	22
Zinc.....	22
Cobre	23
CAPÍTULO III.....	24
METODOLOGÍA.....	24
Área de estudio	24
Fase Experimental.....	24
Selección de especies	24
Implementación del experimento y obtención de la muestra	25
Fase de laboratorio.....	27
Medición de variables	27
Análisis de la información.....	27
CAPÍTULO IV	29
RESULTADOS.....	29
Producción de biomasa	29
Concentración de nutrientes de la producción de biomasa.....	30
Concentración de nutrientes en la hojarasca	32
Dinámica de los macronutrientes.....	34
CAPÍTULO V	37

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	37
Conclusiones	37
Recomendaciones.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Análisis de varianza de la biomasa de hojas y ramas colectada de árboles de tres especies plantadas en la celda de lodos y ripios.....</i>	29
Tabla 2 <i>Promedio \pm error estándar de biomasa total por especie arbórea (Mg/ha/año), producida en la celda de lodos y ripios.....</i>	30
Tabla 3 <i>Análisis de varianza del contenido de nutrientes (P, K, Zn, Cu) de la biomasa colectada de árboles de tres especies arbóreas plantadas en la celda de lodos y ripios.....</i>	30
Tabla 4 <i>Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes de la biomasa total por especie arbórea* tiempo (días) en la celda de lodos y ripios</i>	31
Tabla 5 <i>Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes en la biomasa de tres especies arbóreas plantadas en la celda de lodos y ripios.....</i>	32
Tabla 6 <i>Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes en la biomasa de tres períodos de tiempo en la celda de lodos y ripios.....</i>	32
Tabla 7 <i>Análisis de varianza del contenido de nutrientes (P, K, Zn, Cu) de hojarasca en tres periodos de descomposición de tres especies arbóreas plantadas en la celda de lodos y ripios.....</i>	33
Tabla 8 <i>Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes de hojarasca en tres periodos de descomposición de tres especies arbóreas plantadas en la celda de lodos y ripios</i>	33
Tabla 9 <i>Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes en hojarasca de tres especies arbóreas plantadas en la celda de lodos y ripios.....</i>	34
Tabla 10 <i>Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes de hojarasca en tres períodos de tiempo en la celda de lodos y ripios.....</i>	34
Tabla 11 <i>Análisis de varianza de la dinámica de nutrientes (P, K, Zn y Cu) de la biomasa y hojarasca de árboles de tres especies plantadas en la celda de lodos y ripios.....</i>	35
Tabla 12 <i>Promedio \pm error estándar de la dinámica nutrientes de especie arbórea* tiempo (días) en la celda de lodos y ripios</i>	35

Tabla 13 Promedio \pm error estándar de la dinámica de nutrientes los árboles de tres especies plantadas en la celda de lodos y ripios	36
Tabla 14 Promedio \pm error estándar de la dinámica de nutrientes de tres períodos de tiempo en la celda de lodos y ripios.....	36

Índice de figuras

Figura 1 <i>Disposición de cada especie arbórea en la parcela Secoya 26</i>	25
Figura 2 <i>Distribución de las trampas de hojarasca para biomasa</i>	26
Figura 3 <i>Distribución de las bolsas de nylon en campo</i>	26

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la producción de hojarasca y la dinámica de nutrientes de árboles de tres especies de la familia *Fabaceae* (Guaba; *Inga densiflora*, Caoba; *Platymiscium pinnatum*, y Chíparo; *Zygia longifolia*), establecidas en la celda de lodos y ripios Secoya 26 en la Amazonía Ecuatoriana. Para cuantificar la hojarasca se colocaron 9 trampas tipo canasta de 50x50 cm debajo de la copa de cada árbol en el sitio de estudio. El aporte de nutrientes se evaluó mediante bolsas de descomposición con 5 gramos de hojarasca, en total fueron 144 bolsas repartidas a 16 por árbol. La recolección se realizó luego de 30, 45 y 60 días de la implementación del experimento. Las muestras de biomasa recolectadas fueron secadas, pesadas y clasificadas en hojas, ramas y unidas en biomasa total; además se determinó la cantidad de P, K, Zn y Cu de cada una de las muestras. La dinámica de los nutrientes se determinó con la diferencia del contenido de nutrientes de la producción de biomasa y la hojarasca puesta en las bolsas. Encontró diferencia significativa en la interacción de Especie arbórea*Tiempo (días) donde la mayor producción de biomasa se obtuvo de los árboles *Inga densiflora* con 11.74 Mg/ha/año a los 45 días. En el análisis de contenido de nutrientes se encontraron diferencias significativas en la interacción Especie xTiempo, para el contenido de K, Zn y Cu donde los individuos de la especie *Platymiscium pinnatum* a los 30 días presentaron mayor contenido de K, los árboles de las tres especies evaluadas presentaron mayor contenido de Zn a los 30 días y los individuos de la especie *Zygia longifolia* presentaron mayor contenido de Cu a los 30 días. Para el P no se encontró diferencias significativas en la interacción Especie xTiempo, sin embargo, la concentración de P fue mayor en los árboles de la especie *Platymiscium pinnatum* y hubo mayor contenido del elemento a los 30 días.

Palabras clave: biomasa, celda de lodos y ripios, dinámica de nutrientes, hojarasca.

ABSTRACT

The main objective of this research was to evaluate the litter production and nutrient dynamics of trees of three tree species of the Fabaceae family (Guaba; *Inga densiflora*, Caoba; *Platymiscium pinnatum*, and Chíparo; *Zygia longifolia*), established in the sludge and debris cell Secoya 26 in the Ecuadorian Amazon. To quantify the leaf litter, nine 50x50 cm basket traps were placed under the canopy of each tree in the study site. The contribution of nutrients was evaluated using decomposition bags with 5 grams of leaf litter, a total of 144 bags distributed 16 per tree. The collection was carried out 30, 45 and 60 days after the implementation of the experiment. The collected biomass samples were dried, weighed and classified into leaves, branches and total biomass; in addition, the amount of P, K, Zn and Cu of each sample was determined. The nutrient dynamics was determined with the difference in the nutrient content of the biomass production and the litter placed in the bags. A significant difference was found in the interaction of tree species*Time (days) where the highest biomass production was found in *Inga densiflora* trees with 11.74 Mg/ha/year at 45 days. In the analysis of nutrient content, significant differences were found in the interaction Species x Time, for K, Zn and Cu content where the individuals of the *Platymiscium pinnatum* species at 30 days presented higher K content, the trees of the three species evaluated presented higher Zn content at 30 days and the individuals of the *Zygia longifolia* species presented higher Cu content at 30 days. For P, no significant differences were found in the Species x Time interaction; however, the P concentration was higher in trees of the *Platymiscium pinnatum* species and there was a higher content of the element at 30 days.

Keywords: biomass, sludge and debris cell, nutrient dynamics, litter.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El petróleo ha sido la principal fuente de energía de la sociedad desde principios del siglo XX y en la actualidad la demanda mundial sigue creciendo Palacios *et al.*, (2019). En el Ecuador, el petróleo es el principal ingreso de capital del país, Gómez (2021). Sin embargo, el proceso de extracción ocasiona una grave degradación ambiental y daños irreversibles a los ecosistemas afectando a la flora, fauna y a la población, Ordoñez (2013).

Durante la perforación petrolera se producen lodos y ripios que al ingresar al suelo afectan negativamente las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del área intervenida, Pozo & Casamen (2017). Estos residuos son trasladados a grandes piscinas llamadas “celdas de lodos y ripios” que son plataformas donde la vegetación y la capa superior del suelo ha sido removida y que al construirse se mezclan con la tierra removida, limo, arcilla, y productos químicos generando desechos, Villacís (2016).

Para la restauración de estos suelos se suele utilizar técnicas de biorremediación donde se puede utilizar dos estrategias distintas: la bioestimulación, basada en la activación de las poblaciones microbianas autóctonas, y el bioaumento, basado en la inoculación de cepas microbianas de laboratorio, Viñas (2005). Luego de culminar este proceso se inicia la fitorrecuperación del suelo, el cual se utiliza para remediar un suelo contaminado o degradado con el uso combinado de plantas y árboles, Chan & Cach (2016).

Uno de los métodos más utilizados es la reforestación con especies autóctonas de la zona, Tapia (2021). La reforestación en suelos perturbados aporta hojarasca al suelo, que al descomponerse representa del 20 al 30 % de la producción neta total para un estado dinámico estable nutricional, controlando en gran medida procesos biológicos y climáticos, Pérez & Reyes (2016). No hay registro de estudios sobre el aporte de nutrientes de especies arbóreas autóctonas

en la Amazonia Ecuatoriana, por lo cual, este estudio es importante para la regeneración de los suelos contaminados por la actividad petrolera.

Justificación

Las especies arbóreas leguminosas son una alternativa para recuperación de suelos ya que tienen la capacidad de transportar nitrógeno al suelo por fijación biológica, aumentan la fertilidad física, química y biológica, Ramos (2022). Además, con el aporte de hojarasca brinda al suelo materia orgánica y nutrientes con el propósito de cuidar y activar la fertilidad como también la productividad de la tierra, Morales *et al.*, (2012).

En esta investigación se evaluó el aporte de hojarasca y nutrientes de tres especies arbóreas de la familia *Fabaceae* (Guaba; *Inga densiflora*, Caoba; *Platymiscium pinnatum*, y Chíparo; *Zygia longifolia*). Estos árboles fueron establecidos en la celda de lodos y rípios Secoya 26 al año 2012 en la Amazonía del Ecuador en un suelo perturbado por la actividad de explotación petrolera, con la finalidad de determinar la dinámica de nutrientes que aporta la hojarasca recolectada por un periodo de tiempo, ya que en estas especies no se ha evaluado el ciclaje de nutrientes.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la dinámica de nutrientes proveniente de la hojarasca de tres especies arbóreas de la familia *Fabaceae* establecidas en la celda de lodos y rípios Secoya 26 en la Amazonía Ecuatoriana.

Objetivos Específicos

Cuantificar la biomasa de la hojarasca que se desprende de la especie arbórea que más rendimiento obtiene en un tiempo determinado.

Evaluar la cantidad de macro y micro nutrientes (P, K, Zn y Cu) que aporta cada especie arbórea de la celda de lodos y rípios en diferentes tiempos de descomposición.

Hipótesis

H0: La hojarasca de los árboles *Inga densiflora*, *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* aportan similar cantidad de nutrientes al suelo de la celda de lodos y rípios.

H1: Al menos *Inga densiflora* aporta mayor cantidad de nutrientes que las otras dos especies a los suelos de la celda de lodos y rípios

CAPÍTULO II

REVISIÓN LITERARIA

Impacto ambiental por actividades petroleras

La extracción del petróleo implica diversos procesos que contaminan el medio ambiente, Palacios *et al.*, (2019). En la Amazonía ecuatoriana, la explotación del petróleo provocó la apertura de caminos en la selva y cientos de miles de explosiones en fase sísmica, provocando la erosión del suelo y la dispersión de la fauna, Miño *et al.*, (2010).

Las actividades petroleras en sus diversas etapas provocan contaminación y cambios en el uso del suelo, remoción de materiales necesarios para la construcción de caminos e instalaciones y pozos, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, cambios bióticos en los hábitats naturales, Avellaneda (1990).

Dinámica de los suelos de la Amazonia

La mayoría de los suelos del oriente ecuatoriano pertenecen al orden de los inceptisoles que son poco accesibles para la agricultura porque los horizontes no son bien definidos, por ende, los suelos son frágiles, Vargas *et al.*, (2018).

En la región cuando se retira la cubierta vegetal, el suelo queda expuesto por un largo período de tiempo a lluvias excesivas y repetitivas superiores a los 2 500 mm anuales, el cual provoca los movimientos de masa, esto produce erosión con mayor intensidad en zonas colindadas o pendientes, Torres & Cuartas (2012).

Especies arbóreas evaluadas

Guaba (Inga densiflora)

Originaria de Centroamérica, el Caribe y la Amazonía, así como de los bosques andinos. Se desarrolla en temperaturas de 15 a 22 °C, en suelos alcalinos y ácidos, con un pH mayor a 4, soporta la salinidad. Se adapta a precipitaciones de 1000 a 1300 mm, Quijia *et al.*, (2020)

La guaba es un árbol con copa densa, aparasolada y con ramificaciones amplias, alcanza hasta 30 m de altura, con un tronco que puede tener de 30 a 60cm de diámetro, su corteza es recta, cilíndrica y de color pardo, las hojas son paripinnadas compuestas, con 15 a 25cm de longitud y sus foliolos son de color verde con forma oblonga. Sus flores son hermafroditas de 3 a 4cm de diámetro, Quijia *et al.*, (2020).

Caoba (Platymiscium pinnatum)

La caoba americana, o caoba, proviene principalmente de América Central, Bolivia, Brasil, Colombia, Guatemala, Perú, Venezuela, Cuba y México, Torres & Cuartas (2012). Es un árbol caducifolio y hermafrodita, nativo de América tropical, posee una copa frondosa, el tallo es caducifolio de 35 a 50m de altura, con un tronco acanalado y recto, tiene ramas gruesas y torcidas cubiertas por una corteza gris con fisuras que forman placas irregulares y se desprenden; las hojas son paripinnadas y alternas de 12 a 40cm de largo con el peciolo con 3 a 7 foliolos opuestos en el raquis; sus flores son pequeñas, de color verde claro y su forma es de panícula axilares de 15cm de largo, Torres & Cuartas (2012).

Chíparo (Zygia longifolia)

Su origen está en Centroamérica, el chíparo es común en bosques hidrófitos, se adapta a alturas entre 10 a 600m y se encuentra distribuida desde el sureste de México a Sudamérica en la Amazonia, Loo (2014). Esta especie puede alcanzar un tamaño de 5 a 15m, el tronco es bajo con muchas ramificaciones y con una copa frondosa, sus ramas y tallos son glabros, las hojas miden hasta 15cm de largo, pinnas de 2,5 a 4,5cm, contiene de 2 a 5 foliolos cada pinna. La inflorescencia es en fascículos con 2 a 4 espigas coliflores, Loo (2014).

Ciclo de nutrientes

La degradación consiste en una serie de procesos físicos y químicos que reducen la arena a sus constituyentes químicos elementales, Ramírez & Goyes (2004). Este es uno de los procesos ecosistémicos más importantes porque contiene nutrientes en el suelo, Gallardo *et al.*, (2003). Los

organismos que viven en el suelo degradan los componentes orgánicos, como las hojas y los rizomas, en compuestos más simples antes de que las plantas puedan utilizarlos, Avellaneda (1990). Algunas bacterias del suelo convierten el nitrógeno atmosférico en nitrógeno mineral, que es esencial para el crecimiento de las plantas, Sánchez *et al.*, (2011). Es importante saber que cada uno de ellos toma diferentes caminos en el proceso biológico, no hay forma de eliminar permanentemente ningún nutriente de las "reservas" de nutrientes disponibles sin perturbar el equilibrio ecológico, Sánchez *et al.*, (2011).

También en el suelo, dos tercios de la sustancia suelen desintegrarse en un año, después de lo cual el proceso se ralentiza, porque algunos componentes del residuo se descomponen más lentamente que otros, y también porque se forma una sustancia estable, que impide a ataques posteriores de los microbios del suelo, Sánchez *et al.*, (2011).

La estructura y procesos del suelo bajo un enfoque de sistemas, demostrando cómo el sistema del que forman parte las plantas y otros organismos les proporciona los nutrientes que necesitan, los cuales a su vez integran la biomasa viva al sistema del suelo, Gallardo *et al.*, (2003). En lugar de vida, circula en forma de moléculas y gases, como CO₂, CH₄, N₂O, conocidos como gases de efecto invernadero (GEI) y otros, como H₂S, involucrados en la lluvia ácida en el continuo desde el suelo hasta la atmósfera, Ramirez & Goyes (2004).

Fósforo

La cantidad de fósforo en el suelo es muy alta, pero el fósforo disponible para la planta es muy baja, este elemento se encuentra distribuido en estado soluble que es el que está disponible para la planta y lo encontramos como H₂PO₄ y HPO₄²⁻ y el estado lábil o inestable en los que está la fijación de fósforo a óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio, minerales arcillosos, fosfatos de calcio, amonio, magnesio, potasio y los fosfatos mineralizados, Gallardo *et al.*, (2003).

Es probable que la recuperación profunda de fósforo sea insignificante debido al contenido muy bajo de fósforo en la superficie. En muchos sistemas agroforestales, el fósforo se acumula en la

biomasa y luego regresa al suelo a través de la descomposición de la hojarasca. Sin embargo, esto es parte del ciclo, no una entrada desde fuera del sistema, Torres & Cuartas (2012). Sin embargo, parte del fósforo inorgánico que es menos abundante en el suelo puede estar disponible durante este proceso, Gallardo *et al.*, (2003).

Potasio

Es uno de los nutrientes esenciales para la planta, la raíz absorbe casi el 90% de potasio en la planta. La cantidad de K va de 1 y 10 mg K kg⁻¹ suelo y esta cantidad disminuye por la fijación de los minerales de arcilla con relación 2:1, Hidalgo *et al.*, (2016). La cantidad de potasio en la solución del suelo es mínima y las plantas lo absorben rápidamente porque está fácilmente disponible. Una vez que este potasio es absorbido y extraído por las plantas, es inmediatamente recuperado y restaurado, desplazando las formas menos accesibles que residen en las zonas de adsorción de coloides minerales y orgánicos en el suelo, Hidalgo *et al.*, (2016).

El proceso de adsorción-desorción completa y equilibra el contenido de potasio de la solución del suelo. Cuando el contenido de potasio de la solución ha caído al mínimo (potasio mínimo intercambiable), se libera de las capas intermedias de la arcilla (potasio fijo) para reponer el potasio en la solución del suelo, Ramirez & Goyes (2004).

Zinc

Está presente en la producción de clorofila y la fotosíntesis, síntesis de auxinas, velocidad de germinación, producción de biomasa y polen, es un micronutriente que actúa en la síntesis de proteínas, estabiliza las membranas de amplia propagación y alargamiento celular, mantiene una protección contra el estrés ambiental y ayuda en la adaptación de las plantas a las diferentes condiciones ambientales, Loor (2014). Los iones zinc interfieren en los movimientos estomáticos, perturbando los flujos de agua a través de las membranas, Loor (2014).

El contenido total de zinc, solo el zinc en la solución del suelo está disponible para las plantas y es fácilmente desorbitable, pero también se elimina fácilmente por lavado, como sucede

en el suelo tropical, Martínez *et al.*, (2012). El zinc se absorbe principalmente como Zn^{2+} , en condiciones de pH alto, como $ZnOH^+$, Martínez *et al.*, (2012). La materia orgánica del suelo mejora la disponibilidad de Zn al formar complejos orgánicos móviles que pueden ser absorbidos por la planta. Por el contrario, su disponibilidad disminuye cuando las concentraciones de fósforo y cobre son altas, Martínez *et al.*, (2012).

Cobre

Es el micronutriente que más asimila el suelo debido a que forma enlaces covalentes fuertes, este está presente en el suelo como ion, a su potencial iónico depende del pH y la textura ya que estos influyen en la concentración en el suelo permitiendo mantener valores superiores en comparación con los otros nutrientes metálicos, Bastidas & Toaquiza (2017).

El cobre que se encuentra en el suelo se adsorbe principalmente en materia orgánica, óxidos de hierro y manganeso y se adhiere a la red cristalina, que es la base estructural inmediata de los silicatos, Hidalgo *et al.*, (2016). También se puede precipitar como hidróxido, carbonato o fosfato, Bastidas & Toaquiza (2017). El porcentaje de cobre intercambiable suele aumentar a medida que disminuye el pH, Hidalgo *et al.*, (2016).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Área de estudio

La fase experimental se desarrolló en el campo de explotación de Petroamazonas EP en la celda de lodos y rípios Secoya 26 en la parroquia Pakayaku del cantón Lago Agrio provincia de Sucumbíos, en las coordenadas UTM (18 N 322473.028E 4073.439N) a 290.4 msnm. La zona se caracteriza por tener un clima tropical húmedo, muy caluroso, con un promedio de 26 °C y los niveles de precipitación oscilan en 3000 mm de lluvia al año, Varela & Ron (2022).

La fase de laboratorio se desarrolló en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliars de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria del Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicada en la Hacienda “El Prado”, Cantón Rumiñahui.

Fase Experimental

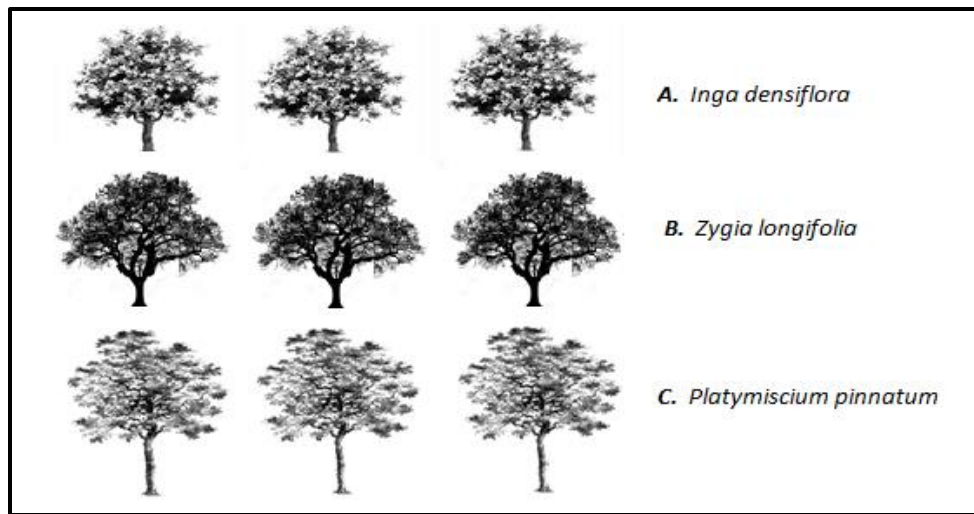
Selección de especies

Se seleccionaron tres especies arbóreas de la familia *Fabaceae* (*Inga densiflora*, *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia*), cada una con tres individuos, se encuentran plantadas en la celda de lodos y rípios, Secoya 26 desde el año 2012, estas han sobrevivido y adaptado a niveles del 90 y 70 % en los suelos contaminados por la extracción petrolera, Villacís (2016). 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).

Las especies se encuentran plantadas horizontalmente una seguida de la otra con una distancia de 4 m en la parcela. En la (figura 1) se puede visualizar la disposición de las especies para el experimento.

Figura 1

Disposición de cada especie arbórea en la parcela Secoya 26



Nota. El gráfico representa 3 árboles de cada especie leguminosa plantadas horizontalmente en la parcela.

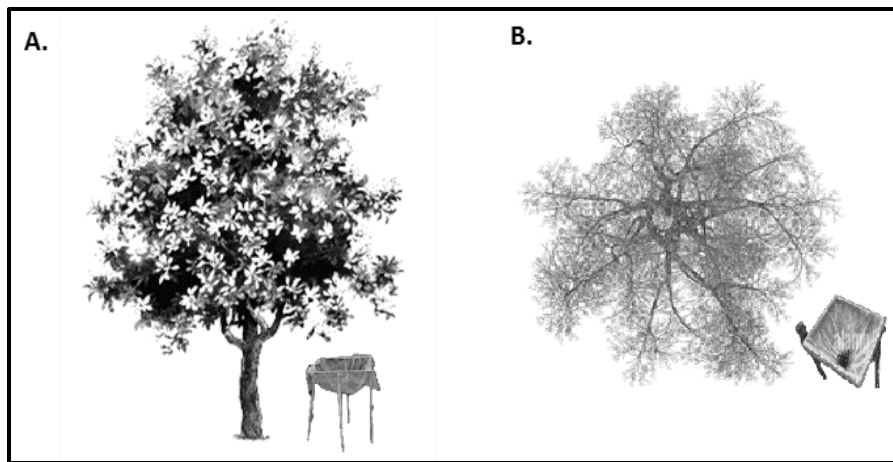
Implementación del experimento y obtención de la muestra

Para implementar el experimento se construyeron trampas tipo canasta 50 x 50 cm con una malla tipo sarán, donde la hojarasca del árbol caerá en dichas trampas. Además, se realizó bolsas de descomposición de 20 x 15 cm con tela nylon, donde se colocó con 5 g de hojarasca colectada de cada uno de los árboles, se amarró con hilo grueso y se etiquetó, Pérez *et al.*, (2013).

Las canastas de recolección se colocaron de 1 a 2 m del fuste, debajo de la copa de los árboles para la recolección de biomasa, en total se colocaron 9 trampas, una para cada individuo (*Inga densiflora*, *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia*) (Figura 2).

Figura 2

Distribución de las trampas de hojarasca para biomasa

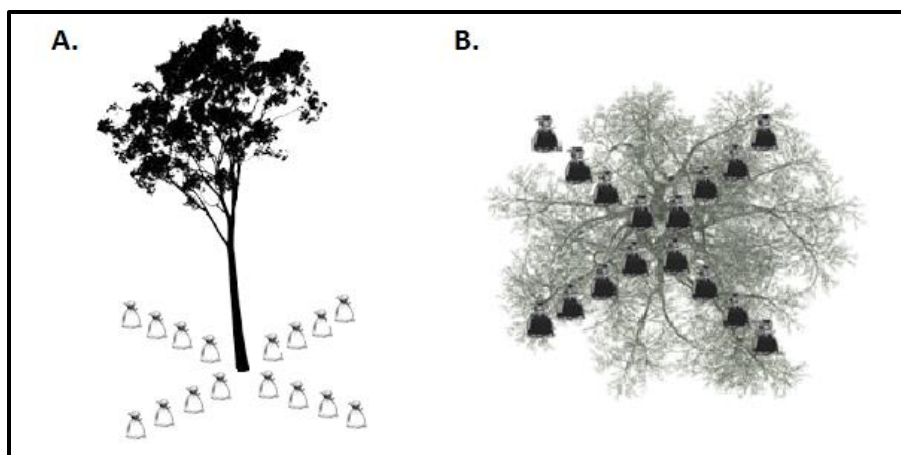


Nota. (A) vista frontal de la trampa instalada en campo. (B) vista superior de la trampa colocada bajo la corona del árbol.

Para la implantación de las bolsas, primero se limpió debajo de la corona de los árboles y se puso las bolsas con hojarasca a una distancia de 15 cm del fuste, se colocaron 16 bolsas por árbol agrupadas de cuatro, puestas en forma de cruz y tapadas con hojarasca del suelo para evitar alteraciones por efectos externos al experimento (figura 3).

Figura 3

Distribución de las bolsas de nylon en campo



Nota. (A) vista frontal de las bolsas instaladas en campo. (B) vista superior de las bolsas colocadas bajo la corona del árbol.

Fase de laboratorio

Las muestras fueron transportadas después del muestreo en fundas negras y en cartón para evitar cualquier ajetreo del viaje, en el laboratorio se enjuagó delicadamente con agua corriente. Se retiró los residuos de suelo, raíces, insectos o cualquier partícula diferente a la hojarasca, Pérez *et al.*, (2013). Se tamizó con una malla de 1mm para poder procesar las muestras de hojarasca de las bolsas y evitar pérdidas del material de interés, luego se secó durante 24 horas en un horno de 60° C, Lanuza (2016). A partir de las muestras secas se evaluó la concentración de macro y micro nutrientes (P, K, Zn y Cu) con los distintos métodos que proceden para cada elemento.

Los contenidos de K, Cu y Zn, se obtuvieron por absorción atómica con llama de gas acetileno y agregando Óxido de Lantano. El P se determinó por método de calcinación y determinación colorimétrico con Molibdato Vanadato de Amonio $(\text{NH}_4)_3\text{VO}_3\text{MoO}_4$, en un Espectrofotómetro visible con celdas en una longitud de paso de luz de 660.

Medición de variables

Se recolectó la biomasa de las canastas acumulada a los (30,45 y 60) días después de la colocación de las trampas para realizar el análisis de nutrientes en laboratorio.

Las bolsas de nylon se recogieron en tres períodos con intervalos de 15 días (30, 45, 60) después de la instalación del experimento, para proceder a analizar la dinámica de los nutrientes durante los diferentes tiempos de recolección de la hojarasca, utilizando la técnica de bolsas de descomposición, Lanuza (2016). En cada recolecta se tomaron 4 bolsas, una de cada grupo de afuera hacia adentro, cuidando de no mover o causar alguna alteración al resto de bolsas instaladas. Las variables a medir fueron la biomasa de los árboles y el contenido de P, K, Zn, y Cu en las muestras recolectadas.

Análisis de la información

Las variables tratadas se caracterizaron utilizando estadística descriptiva promedio error estándar y coeficiente de variación. Para comparar las variables medidas en el tiempo (30, 45 y 60

días) propuestas 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 Especies 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 DCG al 5% para especies, tiempo e interacciones. Todos los análisis se realizaron en el Infostat, Software estadístico (2020).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Producción de biomasa

No se encontró diferencias significativas para la interacción Especie*Tiempo (días) sobre la producción de hojas y ramas (Tabla 1).

Tabla 1

Análisis de varianza de la biomasa de hojas y ramas colectada de árboles de tres especies plantadas en la celda de lodos y ripios

Fuentes de variación	gl	Hojas		Ramas	
		F	p-valor	F	p-valor
Especie arbórea	2	1,79	0,2474	0,13	0,8830
Tiempo (días)	2	1,78	0,2102	3,22	0,2372
Especie arbórea x Tiempo	4	2,73	0,0797	0,04	0,8616

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

Se encontró un efecto significativo de la interacción Especie arbórea*Tiempo (días) sobre la producción de biomasa total ($F_{4,12}=6.11$; $p=0.0064$). Los individuos de *Inga densiflora* a los 45 días produjeron mayor cantidad de biomasa que los demás árboles y de los tiempos especies evaluadas (Tabla 2).

Tabla 2

Promedio \pm error estándar de biomasa total por especie arbórea (Mg/ha/año), producida en la celda de lodos y rípios

Especie arbórea	Tiempo (días)	Biomasa total (Mg/ha/año)
<i>Inga densiflora</i>	45	3.17 \pm 0.32 a
<i>Inga densiflora</i>	60	1.17 \pm 0.32 b
<i>Platymiscium pinnatum</i>	30	1.14 \pm 0.32 b
<i>Zygia longifolia</i>	30	0.96 \pm 0.32 b
<i>Inga densiflora</i>	30	0.93 \pm 0.32 b
<i>Platymiscium pinnatum</i>	45	0.76 \pm 0.32 b
<i>Platymiscium pinnatum</i>	60	0.70 \pm 0.32 b
<i>Zygia longifolia</i>	60	0.61 \pm 0.32 b
<i>Zygia longifolia</i>	45	0.55 \pm 0.32 b

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

Concentración de nutrientes de la producción de biomasa

Se encontró un efecto significativo de la interacción Especie arbórea*Tiempo (días), sobre el contenido de nutrientes (K, Zn y Cu) de la biomasa total. Además, se encontró un efecto significativo de la Especie y Tiempo para el contenido de P (Tabla 3).

Tabla 3

Análisis de varianza del contenido de nutrientes (P, K, Zn, Cu) de la biomasa colectada de árboles de tres especies arbóreas plantadas en la celda de lodos y rípios

Fuentes de variación	gl	P		K		Zn		Cu	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Especie arbórea	2	31.16	<0.0001	27.28	<0.0001	2.46	0.1138	108.09	<0.0001
Tiempo (días)	2	9.02	0.0019	13.23	0.0003	13.82	0.0002	31.25	<0.0001
Especie arbórea x Tiempo	4	2.11	0.1215	5.04	0.0067	4.63	0.0096	79.20	<0.0001

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

Los árboles de *Platymiscium pinnatum* a los 30 días presentaron mayor contenido de K durante los tres períodos de recolección, con un aporte de (5.002 Kg/ha/año) . Las especies evaluadas, *Inga densiflora* y *Zygia longifolia* presentaron mayor contenido de Zn a los 30 días y *Platymiscium pinnatum* a los 30 y 45 días. Los individuos de *Zygia longifolia* presentaron mayor contenido de Cu a los 30 días, aportando al suelo (0.158 Kg/ha/año; Tabla 4).

Tabla 4

Promedio ± error estándar de la concentración de nutrientes de la biomasa total por especie arbórea tiempo (días) en la celda de lodos y rípios*

Especie arbórea	Tiempo (días)	Nutrientes		
		K	Zn	Cu
<i>Platymiscium pinnatum</i>	30	5.00±0.66 a	7.17±0.69 a	63.74±10.81 b
	45	2.97±0.66 b	5.71±0.69 a	76.53±10.81 b
	60	1.42±0.66 c	2.67±0.69 b	67.73±10.81 b
<i>Zygia longifolia</i>	30	2.54±0.35 b	3.37±1.03 b	158.36±5.33 a
	45	0.68±0.35 c	5.83±1.03 a	23.52±5.33 c
	60	1.27±0.35 c	1.98±1.03 b	35.48±5.33 c
<i>Inga densiflora</i>	30	0.83±0.13 c	6.53±0.36 a	9.23±2.82 d
	45	0.59±0.13 c	3.40±0.36 b	8.75±2.82 d
	60	0.47±0.13 c	3.22±0.36 b	11.14±2.82 d

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

Los individuos de la especie *Platymiscium pinnatum* presentaron mayor contenido de P a diferencia de las demás especies (Tabla 5). A los 30 y 45 días que se obtuvo mayor contenido de P que al día 60 de recolección (Tabla 6).

Tabla 5

Promedio ± error estándar de la concentración de nutrientes en la biomasa de tres especies arbóreas plantadas en la celda de lodos y rípios

Nutrientes	Especies arbóreas		
	<i>Inga densiflora</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>	<i>Zygia longifolia</i>
P	0.48±0.11 b	1.98±0.15 a	0,79±0,12 b
K	0.63±0.07 c	3.13±0.38 a	1,50±0,20 b
Zn	4.38±0.21 a	5.18±0.40 a	3,73±0,60 a
Cu	9.71±1.63 b	69.33±6.24 a	72.45±3.08 a

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

Tabla 6

Promedio ± error estándar de la concentración de nutrientes en la biomasa de tres períodos de tiempo en la celda de lodos y rípios

Nutrientes	Tiempo (días)		
	30	45	60
P	1,32±0,13 a	1,29±0,13 a	0,64±0,13 b
K	2,79±0,25 a	1,41±0,25 b	1,05±0,25 b
Zn	5,69±0,43 a	4,98±0,43 a	2,63±0,43 b
Cu	77,11±4,13 a	38,12±4,13 b	36,27±4,13 b

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; $p>0,05$). Autoría propia.

Concentración de nutrientes en la hojarasca

Se encontró un efecto significativo de la interacción Especie arbórea*Tiempo (días), para el contenido de nutrientes de hojarasca (P, K, Zn). Además, se encontró un efecto significativo de la Especie y Tiempo para el contenido de Cu (Tabla 7).

Tabla 7

Análisis de varianza del contenido de nutrientes (P, K, Zn, Cu) de hojarasca en tres periodos de descomposición de tres especies arbóreas plantadas en la celda de lodos y ripios

Fuentes de variación	gl	P		K		Zn		Cu	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Especie arbórea	2	29.30	<0.0001	10.71	0.0009	19.20	<0.0001	6.42	0.0079
Tiempo (días)	2	81.76	<0.0001	12.72	0.0004	5.71	0.0120	19.76	<0.0001
Especie arbórea x Tiempo	4	6.08	0.0028	14.88	<0.0001	2.81	0.0567	2.68	0.0651

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

Los árboles de *Platymiscium pinnatum* a los 30 días presentaron mayor contenido de P durante los tres períodos de recolección, con un aporte de (0,302 Kg/ha/año). La especie *Platymiscium pinnatum* presentó mayor contenido de K a los 30 días, e *Inga densiflora* a los 30 y 45 días. Los individuos de *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia* presentaron mayor contenido de Zn a los 30 días (0,311 y 2,765 Kg/ha/año) respectivamente (Tabla 8).

Tabla 8

Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes de hojarasca en tres periodos de descomposición de tres especies arbóreas plantadas en la celda de lodos y ripios

Especie arbórea	Tiempo (días)	Nutrientes		
		P	K	Zn
<i>Platymiscium pinnatum</i>	30	0,31 \pm 0,02 a	0,09 \pm 4,6E-03 a	0,31 \pm 0,06 a
	45	0,11 \pm 0,02 c	0,02 \pm 4,6E-03 c	0,14 \pm 0,06 b
	60	0,14 \pm 0,02 c	0,02 \pm 4,6E-03 c	0,13 \pm 0,06 b
<i>Zygia longifolia</i>	30	0,14 \pm 0,01 c	0,04 \pm 2,7E-03 b	0,28 \pm 0,06 a
	45	0,07 \pm 0,01 d	0,03 \pm 2,7E-03 c	0,11 \pm 0,06 b
	60	0,07 \pm 0,01 d	0,02 \pm 2,7E-03 c	0,11 \pm 0,06 b
<i>Inga densiflora</i>	30	0,18 \pm 4,9E-03 b	0,14 \pm 0,03 a	0,03 \pm 0,01 b
	45	0,10 \pm 4,9E-03 c	0,07 \pm 0,03 a	0,03 \pm 0,01 b
	60	0,07 \pm 4,9E-03 d	0,01 \pm 0,03 c	0,03 \pm 0,01 b

Nota. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (DGC, $p>0,05$). Autoría propia.

Los individuos de las especies *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia* presentaron mayor contenido de Cu a diferencia de *Inga densiflora* (Tabla 9). A los 30 días se obtuvo mayor contenido de Cu que en los demás días de recolección (Tabla 10).

Tabla 9

Promedio ± error estándar de la concentración de nutrientes en hojarasca de tres especies arbóreas plantadas en la celda de lodos y ripios

Nutrientes	Especies arbóreas		
	<i>Inga densiflora</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>	<i>Zygia longifolia</i>
P	0,11±2,8E-03 b	0,19±0,01 a	0,09±0,01 c
K	0,07±0,02 a	0,04±2,6E-03 a	0,03±1,5E-03 b
Zn	0,03±4,3E-03 b	0,19±0,03 a	0,17±0,03 a
Cu	1,43±0,16 b	2,39±0,22 a	1,90±0,20 a

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; $p>0,05$). Autoría propia.

Tabla 10

Promedio ± error estándar de la concentración de nutrientes de hojarasca en tres períodos de tiempo en la celda de lodos y ripios

Nutrientes	Tiempo (días)		
	30	45	60
P	0,21±0,01 a	0,10±0,01 b	0,09±0,01 b
K	0,09±0,01 a	0,04±0,01 b	0,02±0,01 b
Zn	0,21±0,03 a	0,10±0,03 b	0,09±0,03 b
Cu	2,70±0,19 a	2,03±0,19 b	1,00±0,19 c

Nota. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; $p>0,05$). Autoría propia.

Dinámica de los macronutrientes

Se encontró un efecto significativo de la interacción Especie arbórea*Tiempo (días), en la dinámica de nutrientes (K, Zn y Cu) de biomasa y hojarasca. Además, se encontró un efecto significativo de la Especie y Tiempo para el contenido de P (Tabla 11).

Tabla 11

Análisis de varianza de la dinámica de nutrientes (P, K, Zn y Cu) de la biomasa y hojarasca de árboles de tres especies plantadas en la celda de lodos y ripios

Fuentes de variación	gl	P		K		Zn		Cu	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Especie arbórea	2	26,73	<0,0001	28,57	<0,0001	1,97	0,1679	184,19	<0,0001
Tiempo (días)	2	7,35	0,0047	12,26	0,0004	12,33	0,0004	28,73	<0,0001
Especie arbórea x Tiempo	4	2,12	0,1197	5,35	0,0054	4,59	0,0099	78,99	<0,0001

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

Los árboles de *Platymiscium pinnatum* a los 30 días presentaron mayor contenido de K durante los tres períodos de recolección, con un aporte de (4.216 Kg/ha/año). Las especies evaluadas, *Inga densiflora* y *Zygia longifolia* presentaron mayor contenido de Zn a los 30 días y *Platymiscium pinnatum* a los 30 y 45 días. Los individuos de *Zygia longifolia* presentaron mayor contenido de Cu a los 30 días, aportando al suelo (0.156 Kg/ha/año; Tabla 12).

Tabla 12

Promedio \pm error estándar de la dinámica nutrientes de especie arbórea * tiempo (días) en la celda de lodos y ripios

Especie arbórea	Tiempo (días)	Nutrientes		
		K	Zn	Cu
<i>Platymiscium pinnatum</i>	30	4,92 \pm 0,66 a	6,86 \pm 0,72 a	60,00 \pm 11,01 b
	45	2,94 \pm 0,66 b	5,57 \pm 0,72 a	74,20 \pm 11,01 b
	60	1,39 \pm 0,66 c	2,54 \pm 0,72 b	66,62 \pm 11,01 b
<i>Zygia longifolia</i>	30	2,50 \pm 0,35 b	3,09 \pm 1,06 b	155,59 \pm 5,24 a
	45	0,65 \pm 0,35 c	5,72 \pm 1,06 a	21,67 \pm 5,24 c
	60	1,25 \pm 0,35 c	1,87 \pm 1,06 b	34,39 \pm 5,24 c
<i>Inga densiflora</i>	30	0,70 \pm 0,13 c	6,49 \pm 0,36 a	7,62 \pm 2,92 d
	45	0,52 \pm 0,13 c	3,37 \pm 0,36 b	6,84 \pm 2,92 d
	60	0,46 \pm 0,13 c	3,19 \pm 0,36 b	10,36 \pm 2,92 d

Nota. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (DGC, $p > 0,05$). Autoría propia.

Los individuos de la especie *Platymiscium pinnatum* presentaron mayor contenido de P a diferencia de las demás especies (Tabla 13). A los 30 y 45 días que se obtuvo mayor contenido de P que al día 60 de recolección (Tabla 14).

Tabla 13

Promedio ± error estándar de la dinámica de nutrientes los árboles de tres especies plantadas en la celda de lodos y ripios

Nutrientes	Especies arbóreas		
	<i>Inga densiflora</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>	<i>Zygia longifolia</i>
P	0.36±0.12 b	1.79±0.16 a	0.70±0.11 b
K	0.56±0.07 c	3.08±0.38 a	1.47±0.20 b
Zn	4.35±0.21 a	4.99±0.42 a	3.56±0.61 a
Cu	8.27±1.69 b	66.94±6.36 a	70.55±3.03 a

Nota. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; $p>0,05$). Autoría propia.

Tabla 14

Promedio ± error estándar de la dinámica de nutrientes de tres períodos de tiempo en la celda de lodos y ripios

Nutrientes	Tiempo (días)		
	30	45	60
P	1.20±0.13 a	1.11±0.13 a	0.54±0.13 b
K	2.70±0.25 a	1.37±0.25 b	1.04±0.25 b
Zn	5.48±0.44 a	4.89±0.44 a	2.53±0.44 b
Cu	74.40±4.18 a	37.12±4.18 b	34.24±4.18 b

Nota. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (DGC; $p>0,05$). Autoría propia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los individuos de la especie *Inga densiflora* produjeron mayor cantidad de biomasa a los 45 días aportando al suelo 11.74 Mg/ha/año, que los árboles de *Zygia longifolia* y *Platymiscium pinnatum* en los diferentes períodos de tiempo de recolección.
- Los árboles de la especie *Platymiscium pinnatum* presentaron mayor contenido de K a los 30 días aportando de (4.216 Kg/ha/año). Los mismo individuos presentaron mayor contenido de Zn a los 30 y 45 días (5.858 y 5,569 Kg/ha/año), seguidos de los árboles de la especies *Inga densiflora* y *Zygia longifolia* con (7.208 y 3.089 Kg/ha/año) a los 30 días. Los individuos de la especie *Zygia longifolia* presentaron mayor contenido de Cu a los 30 días, aportando al suelo (0.156 Kg/ha/año). Para el contenido de P los árboles de la especie *Platymiscium pinnatum* obtuvieron mayor concentración aportando 1,787 Kg/ha/año.

Recomendaciones

- Evaluar la biomasa y cantidad de nutriente de estas especies en períodos más largos de tiempo para así tener datos más acertados sobre el ciclaje de nutrientes y tener datos más confiables sobre la selección de especies a reforestar.
- Realizar el estudio de todos los macros y micro nutrientes para obtener un balance nutricional más confiable sobre el aporte de la hojarasca de los árboles de las especies evaluadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Avellaneda, A. (1990). *Petróleo e impacto ambiental en Colombia* [Archivo PDF].
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/revistaun/article/download/12208/12845/31104>
- Bastidas, & Toaquiza. (2017). *Evaluación de la capacidad de sorción de potasio y cobrew en dos tipos de suelos quemados experimentalmente en Laboratorio simulando incendios forestales*. [Trabajo de titulación, Universidad Politecnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14108/1/UPS%20-%20ST003039.pdf>
- Chan, J., & Cach, M. (2016). *Desarrollo de raíces de dos especies arbóreas en combinación con abonos orgánicos creciendo en un suelo contaminado con hidrocarburos del petróleo*. [Discurso principal]. Conferencia Nacional de Biotecnología Ambiental, Inovando soluciones al mundo, Guadalajara, Campus Tabasco.
- Gallardo, Y., Rincón, J., Leal, M., & Rojas, Y. (2003). Efecto de la relación calcio: fósforo en el suelo sobre el crecimiento y nodulación de plantas jóvenes de acacia mangium. *Revista SCielo (Scientific electronic library online)*, 15(2), 67-73.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000200004
- Gomez, L. (25 de mayo de 2021). *Re: Ingresos petroleros en Ecuador*. [Comentario de foro en línea]
<https://www.gastopublico.org/informes-del-observatorio/ingresos-petroleros-en-ecuador-puede-el-pais-seguir-sosteniendo-su-economia-en-el-crudo>
- González, A., Moreno, M., Gomez, T., Colín, J., Corral, S., & Alvarado, M. (2018). Aporte y deposición de hojarasca en bosques templados de las localidades de la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 12-24.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n47/2007-1132-remcf-9-47-70.pdf>
- Higaldo, M., Gaete, H., Neaman, A., & Ávila, G. (2016). Evaluación de la toxicidad de cobre en suelos a través de biomarcadores de estrés oxidativo en *Eisenia foetida*. *Revista Química Nova*, 33 (3), 4-6. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000300014>

Infostat—Software estadístico. (2020). <https://www.infostat.com.ar/>

Lanuza, O. R. (2016). *Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: Efecto a mediano plazo sobre la producción y descomposición de la hojarasca* [Tesis masterado, 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

Loor, C. (13 de Marzo de 2014). *Re: Chíparo, el árbol que salvó a un barrio de la tragedia en Mocoa. Semana Ambiental*. [Comentario en línea]. <https://www.semana.com/medio-ambiente/multimedia/chiparo-el-arbol-que-salvo-a-un-barrio-de-la-tragedia-en-mocoa/37505/>

Martínez, L., Marroquín, M., & Gil, I. (11 de Diciembre de 2012). Efecto del zinc sobre la inducción de ramas productivas en gulupa (*Passiflora edulis Sims*). *Revista Colombiana de Ciencias*, 6(2), 152-160. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v6n2/v6n2a04.pdf>

Miño, C., Castro, B., Cortés, B., Muñoz, M. J., Cabrera, A., Herrera, C., Maldonado, A., Valladares, C., & Sánchez, M. (2010). Impacto genético en comunidades Amazónicas del Ecuador localizadas en zonas petroleras. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas: REMCB*, 31(1-2), 7-19.

Morales, L., Canosa, G., & de Faria, S. (2012). Leguminosas florestais da Mata Atlântica brasileira fixadoras de nitrogênio atmosférico [Archivo PDF]. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1090428>

Ordoñez, A. (2013). *Análisis de los impactos de la explotación petrolera en el Ecuador*. [Trabajo de titulación, Universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2884>

- Palacios, J., Chota-Macuyama, W., Zárate, R., & Perez, P. (2019). Análisis espacial de la deforestación por actividad petrolera en el lote 192, Loreto, Perú. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*, 28(2), 147-160. <https://doi.org/10.24841/fa.v28i2.501>
- Pérez, N., Vaieretti, M., Cingolani, A., & Cabido, M. (2013). Effects of differential grazing on decomposition rate and nitrogen availability in a productive mountain grassland. *Magazine Plant and Soil*, 37(1), 675-691. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-013-1831-9>
- Pérez, R. M., & Reyes, O. J. (2016). Características fisonómicas y funcionales de la pluvisilva submontana sobre suelos de mal drenaje de monte Iberia, Cuba oriental. *Revista Foresta Veracruzana*, 18(2), 13-20. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49748829002>
- Pozo, M. G., & Casamen, J. F. (2017). *Reutilización de lodos y rípios de perforación de la actividad petrolera, en la elaboración de bloques para el sector de la construcción* [Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18842>
- Quijia, M., Castillo, S., Vasquez, W., & Racines, M. (01 de Septiembre de 2020). Fenología floral de la guaba (*Inga edulis*) en un valle interandino del Ecuador. *Revista SCielo (Scientific electronic library online)*, 11(3), 3-5. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n3.526>
- Ramirez, B., & Goyes, R. (2004). *Botánica. Generalidades, Morfología y Anatomía de plantas superiores*. Universidad del Cauca.
- Ramos, A. (2022). *Uso de leguminosas como abonos verdes en suelos agrícolas degradados* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13334>
- Sánchez, M., Prager, M., Naranjo, R., & Sanclemente, O. (11 de Mayo de 2011). El suelo, su metabolismo, ciclaje de nutrientes y prácticas agroecológicas. *Revista Agroecología*, 7(1), 19-34. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/170971>
- Tapia, E. (2021). Bioregionalismo, alternativa para la mitigación del impacto ambiental de la industria petrolera en la región llanera: bioregionalismo, alternative for the mitigation of the

- environmental impact of the oil industry in the llanera region. *Revista Ambientellania*, 4(1) 25-29. <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/ambientellania/article/view/1480>
- Torres, C., & Cuartas, A. (11 de Enero de 2012). *Uso de los suelos antropogénicos amazónicos: Comparación entre comunidades Caboclas e indígenas Tikunas*. Universidad Regional Autónoma de los Andes. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/39559/42029>
- Varela, A. & Ron, S. (2022). *Re: Geografía y clima del Ecuador* [Comentario en línea]. <https://bioweb.bio/faunaweb/reptiliaweb/GeografiaClima/>
- Vargas, Y., Nicolalde, J., Calero, A., & Vizueté, O. (2018). Fragilidad de los suelos en la Amazonía ecuatoriana y potenciales alternativas agroforestales para el manejo sostenible. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5453/1/Por%20qu%C3%A9%20son%20fr%C3%A1giles%20los%20suelos%20de%20la%20amazonia%20ecuatoriana.pdf>
- Villacís, 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 doctoral, Universidad Nacional de Córdoba]. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/3344>
- Viñas, M. (2005). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica*. [Tesis doctoral, Universidad de Barcelona. Barcelona]. http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/42392/1/TESIS_MVINAS_CANALS.pdf