



Efecto de la inoculación microbiana sobre la dinámica de nutrientes en hojarasca de tres especies arbóreas en suelos perturbados y no perturbados en la Amazonía del Ecuador

Sarango Ayo, Mónica Paola

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

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

8 de septiembre de 2021

Curiginal

Document Information

Analyzed document	PDF Tesis para análisis URKUND.pdf (D110987443)
Submitted	8/4/2021 4:45:00 PM
Submitted by	
Submitter email	jevillacis@espe.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	jevillacis.espe@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS Remache Ana 14-10-2020.docx Document TESIS Remache Ana 14-10-2020.docx (D81693337) Submitted by: jevillacis@espe.edu.ec Receiver: jevillacis.espe@analysis.urkund.com</p>	1
SA	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS SUELOS 29-07-2021 URKUNG.docx Document TESIS SUELOS 29-07-2021 URKUNG.docx (D110857618) Submitted by: jevillacis@espe.edu.ec Receiver: jevillacis.espe@analysis.urkund.com</p>	3
SA	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS 12.07.19.docx Document TESIS 12.07.19.docx (D54407976) Submitted by: jevillacis@espe.edu.ec Receiver: jevillacis.espe@analysis.urkund.com</p>	1
W	<p>URL: https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/3344/Villac%20Buena%20B1o.%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20las%20t%C3%A9cnicas%20de%20remediaci%C3%B3n%20vegetal%20utilizadas%20en%20plataformas%20petroleras....%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y Fetched: 10/6/2019 10:27:57 PM</p>	1
SA	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS 16-05-2019.docx Document TESIS 16-05-2019.docx (D52197482) Submitted by: jevillacis@espe.edu.ec Receiver: jevillacis.espe@analysis.urkund.com</p>	10
SA	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS KIQUE BIBLIOTECA.docx Document TESIS KIQUE BIBLIOTECA.docx (D36477547) Submitted by: jevillacis@espe.edu.ec Receiver: jevillacis.espe@analysis.urkund.com</p>	1
SA	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Perfil Anteproyecto Bastidas Anahí.docx Document Perfil Anteproyecto Bastidas Anahi.docx (D77813404) Submitted by: paperez11@espe.edu.ec Receiver: paperez11.espe@analysis.urkund.com</p>	1
W	<p>URL: https://docplayer.es/201855001-Departamento-de-ciencias-de-la-vida-y-de-la-agricultura.html Fetched: 4/16/2021 4:11:47 AM</p>	2

Firma:



Nombre: jdevillacis@espe.edu.ec
 JAIME EMILIANO
 VILLACIS
 BUENAÑO

Villacis Buenaño, Jaime Emiliano, Ph. D.

C. C. 1710004076



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Efecto de la inoculación microbiana sobre la dinámica de nutrientes en hojarasca de tres especies arbóreas en suelos perturbados y no perturbados en la Amazonía del Ecuador**” fue realizado por la señorita **Sarango Ayo, Mónica Paola** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 3 de agosto de 2021

Firma:



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

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

C. C. 1710004076



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Sarango Ayo, Mónica Paola**, con cédula de ciudadanía n°1722418207, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Efecto de la inoculación microbiana sobre la dinámica de nutrientes en hojarasca de tres especies arbóreas en suelos perturbados y no perturbados en la Amazonía del Ecuador** 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, 3 de agosto del 2021

Firma

Sarango Ayo, Mónica Paola

C.C.: 1722418207



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Sarango Ayo, Mónica Paola**, con cédula de ciudadanía n°1722418207, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Efecto de la inoculación microbiana sobre la dinámica de nutrientes en hojarasca de tres especies arbóreas en suelos perturbados y no perturbados en la Amazonía del Ecuador** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 3 de agosto del 2021

Firma

Sarango Ayo, Mónica Paola

C.C.:1722418207

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres Clarita y Amable quienes son el pilar fundamental de mi vida, gracias por su comprensión y apoyo durante este largo camino, gracias por enseñarme sus valores y nunca perder la fe en mí.

A mis hermanas Gaby y Dome, por acompañarme siempre, ser mis cómplices de la vida, y ser mi razón para seguir adelante.

A mis abuelitos Clarita, Juan, Luis y Clotilde, por apoyarme siempre y por su cariño incondicional.

A Xavier por apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida y la carrera, gracias por llegar siempre en el momento preciso, por todos los consejos y enseñanzas.

A mis amigos Jemmy, Juan, Jesús, Laura y Santiago por ser mi segunda familia y siempre estar conmigo en los momentos buenos y malos, gracias por tantos momentos y aventuras.

A mis amigos Alexander, Adriana, David, Bayron y José, por acompañarme durante este largo camino universitario, gracias por su apoyo incondicional durante toda la carrera.

A Lupe, gracias por ser mi compañía en las noches de desvelo.

Mónica Sarango.

Agradecimientos

Mis eternos agradecimientos son para mis padres que me han ayudado durante mi vida y mi carrera, gracias por su apoyo incondicional.

A mi director de tesis el Ing. Jaime Villacís, Ph. D., quien me brindó su apoyo y sus conocimientos durante todo el desarrollo de la tesis, trabajos de campo y más.

Al Dr. Wilmer E. Pozo-Rivera, Ph. D. por su sabiduría y tiempo brindado durante los trabajos de campo y por su sabiduría al momento de escribir la tesis.

Al Dr. Carlos Chiriboga, M. Sc. por su colaboración al realizar los trabajos de campo y muestreo.

Al Ing. Ricardo Pinto por ayudar en la recolección de muestras y por ser un buen compañero siempre.

Al Lic. Marco Taco por su apoyo y colaboración en el trabajo de laboratorio, gracias por sus conocimientos y tiempo.

A mis amigos Juan, David, Alexander, José, Xavier, Daniel, Arnaldo y Jemmy por ayudarme en el momento preciso para poder superar todos los problemas que se me presentaron en el camino.

A la empresa Petroamazonas EP, por su apoyo logístico y facilidades brindadas para poder realizar este trabajo.

Índice de Contenidos

Carátula	1
Análisis Urkund.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos.....	7
Índice de Contenidos.....	8
Índice de Tablas	11
Índice de Figuras	13
Resumen.....	14
Abstract	15
Capítulo I	16
Introducción	16
Objetivos de la investigación	18
<i>Objetivo general</i>	18
<i>Objetivos específicos</i>	18
Hipótesis.....	18
<i>Hipótesis Nula</i>	18

Hipótesis Alterna	18
Capítulo II	19
Revisión de literatura.....	19
Amazonía Ecuatoriana.....	19
Impacto en el ecosistema tropical por actividades petroleras	19
Características de los suelos Amazónicos	20
Características de las especies arbóreas evaluadas	21
<i>Zygia longifolia</i> , (Willd.) Britton & Rose (Chiparo).....	21
<i>Piptadenia pteroclada</i> Benth. (Guarango espinudo).....	21
<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand (Caoba).....	22
Dinámica de nutrientes.....	22
Inoculación de Suelo	23
Capítulo III	24
Metodología.....	24
Fase de Campo	24
Selección de especies arbóreas	24
Selección de sitios de muestreo y obtención de la muestra	24
Fase de laboratorio	29
Variables evaluadas.....	29
Diseño Experimental.....	30

Análisis de la Información	30
Capítulo IV	32
Resultados y Discusión.....	32
Resultados	32
<i>Análisis de varianza de macronutrientes en hojarasca.....</i>	<i>32</i>
<i>Análisis de varianza de micronutrientes en hojarasca.....</i>	<i>39</i>
Discusión.....	46
<i>Dinámica de nutrientes en la descomposición de hojarasca</i>	<i>46</i>
<i>Dinámica de nutrientes en la hojarasca por especie.....</i>	<i>49</i>
Capítulo V	51
Conclusiones y Recomendaciones	51
Conclusiones	51
Recomendaciones	51
Bibliografía	52

Índice de Tablas

Tabla 1 Parcelas permanentes de muestreo según el tipo de suelo	25
Tabla 2 Análisis de varianza de macroelementos en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados en la Amazonía ecuatoriana.	32
Tabla 3 Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes (kg ha^{-1}) en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en dos tipos de suelo en la Amazonía ecuatoriana.....	33
Tabla 4 Promedio \pm error estándar de la concentración de macronutrientes (kg ha^{-1}) en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados en la Amazonía ecuatoriana	35
Tabla 5 Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes (kg ha^{-1}) en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantados en sitios inoculado y no inoculados en la Amazonía ecuatoriana.....	37
Tabla 6 Análisis de varianza de micronutrientes en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas sobre suelo perturbados.....	39
Tabla 7 Promedio \pm error estándar de la concentración de micronutrientes (kg ha^{-1}) en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en dos tipos de suelo en la Amazonia ecuatoriana.....	40
Tabla 8 Promedio \pm error estándar de la concentración de micronutrientes (kg ha^{-1}) en hojarasca de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados en la Amazonía ecuatoriana.....	42

Tabla 9 Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes (kg ha^{-1}) en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en sitios inoculado y no inoculados en la Amazonía ecuatoriana.....	44
--	----

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de geolocalización de los sitios de muestreo	26
Figura 2 Disposición del experimento en el campo.....	27
Figura 3 Disposición de las bolsas de nylon en el campo.....	28
Figura 4 Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de macronutrientes en la hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantados en suelos perturbados y no perturbados en la Amazonía ecuatoriana.	34
Figura 5 Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de macronutrientes de la hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados en la Amazonía ecuatoriana.	36
Figura 6 Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de macronutrientes presente en la hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en sitios inoculados y no inoculados en la Amazonía ecuatoriana.....	38
Figura 7 Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de micronutrientes en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantados en sitios perturbado y no perturbados en la Amazonía ecuatoriana.	41
Figura 8 Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de micronutrientes en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados en la Amazonía ecuatoriana	43
Figura 9 Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de micronutrientes en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en sitios inoculados y no inoculados en la Amazonía ecuatoriana.	45

Resumen

Por varios años los suelos de la Amazonía Ecuatoriana han sido perturbados debido a las actividades asociadas a la extracción de petróleo. La inoculación del suelo permite restaurar los suelos perturbados de manera efectiva incorporando microorganismos edáficos benéficos que aportan nutrientes al suelo y a las especies arbóreas, en estudios previos realizados en el mismo sitio de investigación se han encontrado mayor cantidad de morfoespecies fúngicas en los suelos inoculados. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la inoculación de suelo sobre la dinámica de nutrientes en hojarasca de tres especies arbóreas en suelos perturbados y no perturbados. La dinámica de nutrientes se evaluó mediante la descomposición de hojarasca en tres especies arbóreas en suelos perturbados y no perturbados que fueron inoculados y no inoculados en cuatro parcelas ubicadas en Sucumbíos, Amazonía ecuatoriana. En 384 bolsas de nylon se evaluó la descomposición de la hojarasca durante 4 periodos de tiempo (30, 60, 90 y 120 días). Se encontró diferencias significativas en el contenido de K y Na de hojarasca entre los suelos perturbados y no perturbados, y en el contenido de N, P, C, K, Mg, Ca, Cu entre las 3 tres especies arbóreas. La inoculación de suelo no presentó un efecto significativo en la dinámica de nutrientes en los suelos perturbados y no perturbados.

Palabras clave: *Suelos perturbados, Suelos inoculados, Dinámica de nutrientes, Amazonía ecuatoriana, Descomposición de hojarasca*

Abstract

For several years the soils of the Ecuadorian Amazon have been disturbed due to activities associated with oil extraction. Soil inoculation can effectively restore disturbed soils by incorporating beneficial soil microorganisms that provide nutrients to the soil and tree species. Previous studies conducted in the same research site have found a greater amount of fungal morphospecies in inoculated soils. The objective of the present study was to evaluate the effect of soil inoculation on the nutrient dynamics in litterfall of three tree species in disturbed and undisturbed soils. Nutrient dynamics was evaluated by decomposition of leaf litter in three tree species in disturbed and non-disturbed soils that were inoculated and non-inoculated in four plots located in Sucumbíos, Ecuadorian Amazon. Leaf litter decomposition was evaluated in 384 nylon bags during four time periods (30, 60, 90 and 120 days). Significant differences were found in leaf litter K and Na content between disturbed and undisturbed soils, and in N, P, C, K, Mg, Ca, Cu content between the three tree species. Soil inoculation had no significant effect on nutrient dynamics in disturbed and undisturbed soils.

Keywords: *Disturbed soils, Inoculated soil, Nutrient Dynamics, Ecuadorian amazon, Litter decomposition.*

Capítulo I

Introducción

Los ecosistemas forestales tropicales cumplen un rol importante en la estabilidad del clima mundial, sin embargo han sido afectados debido a la gran cantidad de actividades antropogénicas como la explotación petrolera (Forman & Deblinger, 2000). La degradación del suelo es uno de los efectos negativos ocasionados por las actividades asociadas a procesos de extracción de petróleo, causada por la eliminación de la cubierta vegetal y las capas superiores del suelo durante la construcción de plataformas de perforación, y por la contaminación con hidrocarburos, metales pesados y otro tipo de sustancias químicas (Villacís et al., 2016). En Ecuador la contaminación ambiental por petróleo empezó hace aproximadamente 40 años con la llegada de compañías petroleras a la Amazonía (Becerra et al., 2013). La extracción petrolera en el norte de la Amazonía ecuatoriana es responsable de la deforestación de 2 millones de ha (Guaranda, 2016).

Estudios previos demuestran que la contaminación por petróleo puede provocar alteraciones en la dinámica de nutrientes (Zhang & Liu, 2015). El aumento en la productividad de hojarasca y entradas de nutrientes pueden acelerar la recuperación del ciclo de nutrientes de suelos degradados (Lanuza, 2016). Los aportes de hojarasca y de los residuos de podas que cubren el suelo, reducen la erosión, mejoran la estructura, el contenido de N y la retención de nutrientes en el suelo (Fassbender et al., 1991). Los residuos vegetales generados en los agroecosistemas, son objeto de procesos de descomposición y mineralización, que liberan una serie de compuestos para la nutrición

de las plantas y facilitan la disponibilidad de cantidades considerables de N, P, K, Ca, Mg y de microelementos para el enriquecimiento del suelo (Romero, 2006).

La movilidad de nutrientes difiere durante los procesos de descomposición de materia vegetal, ésta se ve afectada por las limitaciones de nutrientes en los organismos descomponedores, las condiciones de la biota del suelo y la calidad de sustrato (Hirobe et al., 2004).

Varios estudios han demostrado que la inoculación de suelo es una clave importante para la restauración exitosa de los ecosistemas terrestres, los microorganismos del suelo son un impulsor para el desarrollo de la vegetación (Jasper et al., 2016). Al aplicar suelo natural no afectado, las propiedades bióticas como abióticas son ideales para alojar una alta comunidad microbiana fundamentales para el desarrollo de la biota del suelo y las plantas, mejorando de esta manera la salud del suelo donde se aplicó el inóculo (Huberty et al., 2019). En un estudio previo realizado en la misma locación se encontró que en los suelos inoculados existe mayor presencia de morfoespecies fúngicas ectorizosféricas (*Scopulariopsis* sp. y *Trichoderma* sp.) que en suelos no inoculados (Vega, 2021).

En este estudio se evaluará el aporte nutricional de la hojarasca proveniente de *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y *Piptadenia pteroclada* plantadas hace 6 años en suelos no perturbados y perturbados por las actividades de extracción de petróleo, en estos suelos se colocó previamente inóculo de tierra proveniente de bosque natural. Esta información permitirá conocer la cantidad de nutrientes que aporta la hojarasca al suelo durante su descomposición en suelos durante diferentes períodos de tiempo.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Evaluar el efecto de la inoculación microbiana sobre la dinámica de nutrientes en hojarasca de *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y *Piptadenia pteroclada* en suelos perturbados y no perturbados.

Objetivos específicos

Cuantificar el efecto de la inoculación sobre la dinámica de nutrientes de hojarasca en suelos perturbados y no perturbados.

Comparar la liberación de nutrientes de *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y *Piptadenia pteroclada* plantadas en suelos afectados por los procesos de extracción de petróleo en la Amazonía ecuatoriana.

Hipótesis

Hipótesis Nula

El contenido de nutrientes en la hojarasca de *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y *Piptadenia pteroclada* no difiere entre especies plantadas sobre las parcelas experimentales.

Hipótesis Alterna

El contenido de nutrientes en la hojarasca de *Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia* y *Piptadenia pteroclada* difiere entre especies plantadas sobre las parcelas experimentales.

Capítulo II

Revisión de literatura

Amazonía Ecuatoriana

Ecuador posee aproximadamente 11,5 millones de ha en ecosistemas boscosos naturales, de los cuales el 80% están en la región Amazónica (Samaniego et al., 2015). La Amazonía ecuatoriana presenta además elevados índices de diversidad biológica y sus áreas boscosas secuestran grandes cantidades de carbono lo que contribuye a la mitigación de los efectos del cambio climático. El estado deteriorado actual de los bosques amazónicos se debe a la implementación de actividades antropogénicas que generan paisajes cultivados, tala de bosque, urbanización y efectos de las actividades petroleras que afectan a la vegetación nativa y a la biodiversidad en general (Granda, 2015).

Impacto en el ecosistema tropical por actividades petroleras

La contaminación del suelo causada por el derrame de crudo durante la extracción y el transporte se ha convertido en un problema ambiental grave en las últimas décadas, además presenta una gran amenaza a la seguridad ecológica de las zonas productoras (Andrade et al., 2004). El derrame de crudo de petróleo puede causar graves perturbaciones en las propiedades del suelo, tales como el bloqueo de los poros del suelo, una disminución de la permeabilidad, alteraciones de la composición y estructura de la materia orgánica (Andrade et al., 2004). El crudo de petróleo causa una notable disminución en la disponibilidad de los nutrientes del suelo por su combinación con N y P, y sus efectos inhibidores sobre la nitrificación y

desfosforilación, lo que ocasiona desequilibrios de las relaciones de C:N y C:P (Zhang & Liu, 2015).

Los bosques tropicales brindan importantes servicios ecosistémicos de soporte, regulación y culturales, son significativas fuentes de alimento y constituyen un hábitat para diversas especies, también cumplen roles ecológicos importantes como en la regulación del ciclo mundial del carbono como fuente en función de su estado, dinámica, edad, perturbación, estrés y otros factores (Lewis, 2006). La producción, caída y descomposición de hojarasca representa el proceso clave de transferencia de materia orgánica y ciclaje de nutrientes desde la vegetación al suelo (Vitousek & Sanford, 1986; Montagnini & Jordan, 2002).

Características de los suelos Amazónicos

La Amazonía tiene una superficie de 116 398 km², posee innumerables bosques naturales e importante variedad de biodiversidad, la mayoría de sus suelos pertenecen a la orden de los Inceptisoles, son suelos jóvenes que se caracterizan por tener baja fertilidad, acidez alta, deficiencias de P, acumulación de relente. Los suelos amazónicos son de estructura franco arcillosa por lo que tienen un drenaje deficiente, los poros del suelo son impenetrables por lo que limita la respiración de las plantas y favorece la compactación del suelo (Martín & Pérez, 2009).

En Sucumbíos, los suelos son principalmente de origen volcánico, poco profundos, erosionados y rocosos, de color amarillento. Como principal problema se ha encontrado la presencia de aluminio, exceso de agua y acumulación de materia orgánica no descompuesta (Barrera et al., 2018).

Características de las especies arbóreas evaluadas

***Zygia longifolia* (Willd.) Britton & Rose (Chiparo)**

Pertenece a la familia Fabaceae, alcanza de 5 a 15 m de altura y 1 m de diámetro de altura al pecho (DAP), tiene un tronco corto y estriado generalmente. Tiene hojas compuestas, alternas, fibrosas, lisas, que miden 10 cm de largo por 15 cm de ancho, dispuestas en formas de hélices, está distribuido en los bosques húmedos desde el sur de México a Sudamérica (Brako & Zarucchi, 1993)

En Ecuador se encuentra en bosques de tierras bajas y bosques montanos a 1 000 msnm, principalmente en la Costa y Amazonía, crece en suelos arenosos y rocosos, tiene la capacidad de controlar deslaves y crecida de ríos por lo que es recomendable en programas de restauración de suelos (Muñoz & Cerón, 2015).

***Piptadenia pteroclada* Benth. (Guarango espinudo)**

El guarango espinudo es una Fabaceae que alcanza los 15 m de altura con tronco de 0,80 m de DAP, las hojas miden hasta 25 cm de largo y tienen más de 10 mil hojuelas (Muñoz, 2012). Tiene un sistema radicular profundo y pivotante, que facilita la absorción de agua a mayor profundidad del suelo, brindándole tolerancia a suelos secos (Palacios, 2011)

Principalmente crece en alturas de 1 100 msnm, en zonas abiertas, montes bajos y suelos pobres, cercanos a fuentes de agua. Se desarrolla en temperaturas de 25°C y hasta 2 500 mm de pluviosidad, es de fácil adaptación en suelos ácidos, poco profundos y con deficiencias de N, P, Ca y Mg, se caracteriza por su capacidad de recuperación de suelos degradados y compactados (Useche & Azuero, 2013).

Platymiscium pinnatum (Jacq.) Dugand (Caoba)

Pertenece a la familia Fabaceae puede alcanzar alturas de 40 m y 90 cm de DAP, tiene hojas imparipinadas, es apreciada debido a su dureza y color pardo rojizo con líneas rojas y negras (Rodríguez, 2018). Es común en zonas con elevaciones bajas y medianas, principalmente en bosque siempre verde con climas húmedos, crecen en zonas bien drenadas con una pendiente de hasta 30% (Rodríguez, 2018).

Dinámica de nutrientes

El ciclo de los nutrientes, el clima, los microorganismos y la composición de la hojarasca son los factores más importantes para incrementar o no el carbono en el suelo (Aerts, 1997). El equilibrio entre la hojarasca que cae y la que se descompone influye en la cantidad de carbono almacenado en el suelo; por este motivo, la dinámica de nutrientes de la hojarasca está regida por su caída y descomposición (Gaudinski et al., 2000). Existen varios factores que determinan la producción de hojarasca en un ecosistema como la edad, la densidad arbórea, la especie e incluso la latitud (Rivera, 2013).

La hojarasca desempeña un papel esencial en el mantenimiento del ciclo de nutrientes en los bosques tropicales en el largo plazo, mediante la descomposición de hojarasca y el suelo (Lanuza, 2016). La descomposición de residuos vegetales es un proceso ecológico fundamental del reciclaje de nutrientes (Lanuza, 2016). En condiciones climáticas dadas, los principales factores que afectan la descomposición la hojarasca son las propiedades del suelo (Zhang & Liu, 2018), el clima, calidad del sustrato y la biota, la estructura y la textura del suelo (Lanuza, 2016).

La composición química de la hojarasca incluyendo las concentraciones iniciales de N y P, las relaciones C:N y C:P, lignina, celulosa y polifenoles han sido de mucho interés por su valor predictivo sobre las tasas de descomposición de la hojarasca (Lanuza, 2016)

Inoculación de Suelo

Los suelos perturbados necesitan restaurarse para proteger la biodiversidad, estas labores pueden tardar décadas, estudios previos han demostrado que la inoculación de suelo promueve la restauración de ecosistemas y también ayudan al desarrollo de la vegetación, puede aumentar el rendimiento de las plantas de proceso tardío (Jasper et al., 2016). La inoculación se puede realizar con diferentes tipos de suelo, como suelo de brezales, pastizales, páramo, prado, etc que tengan las características adecuadas para que puedan ayudar en la restauración de suelos perturbados, esto ayuda a que aumente la abundancia de bacterias, hongos, nemátodos y microartrópodos en el suelo donde se colocó el inóculo (Jasper et al., 2016).

Capítulo III

Metodología

La fase de campo inició en octubre del 2019 y finalizó en febrero del 2020, se realizó en la provincia de Sucumbíos dentro de los campos de extracción de Petroamazonas EP, el clima es tropical cálido húmedo, la temperatura promedio es de 26° C y los niveles de precipitación oscilan en 3 000 mm de lluvia al año (Sistema Nacional de Información, 2019). La fase de laboratorio inició en diciembre del 2020 y finalizó en enero del 2021, en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarens del Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, ubicada en la Hacienda “El Prado”, Cantón Rumiñahui.

Fase de Campo

Selección de especies arbóreas

Se seleccionaron tres especies arbóreas (*Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia*, *Piptadenia pteroclada*), que han mostrado mejor desempeño durante los primeros ocho años desde el establecimiento (Villacís et al., 2016; Espinoza, 2018). Se evaluó la dinámica de nutrientes en la hojarasca de dos individuos de cada especie arbórea seleccionada.

Selección de sitios de muestreo y obtención de la muestra

Se escogieron cuatro parcelas con dos tipos de suelo: dos con suelo perturbado (Shushufindi Est40 y Secoya 26) y dos con suelo no perturbado (Secoya 2-3 y Los

Ribereños). Los suelos perturbados se definen como aquellos que han sido afectados por las actividades de extracción de petróleo (Celdas de lodos y ripios) y los suelos no perturbados son los suelos que no han sufrido afectación por los procesos de extracción petrolera; para este estudio se consideraron a los potreros como suelos no perturbados (Tabla 1).

Tabla 1

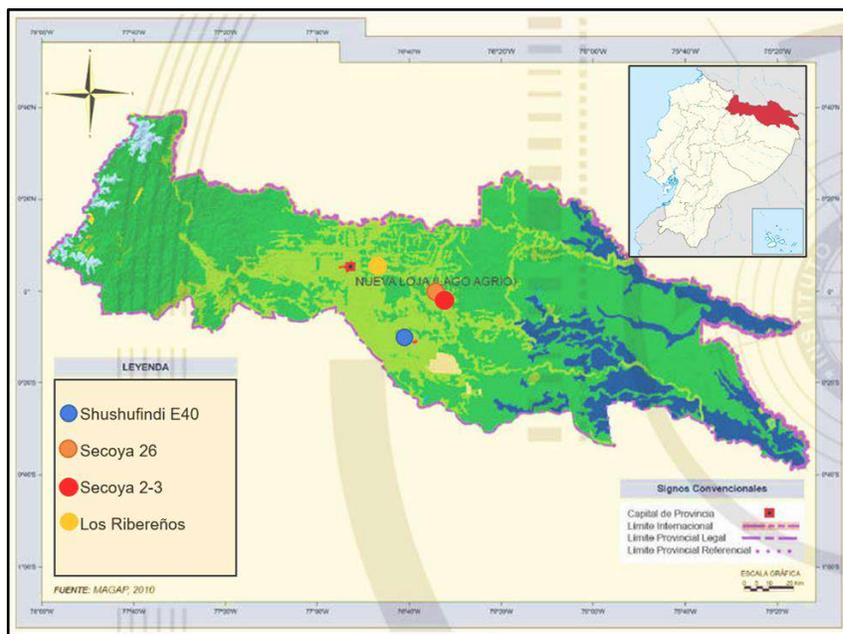
Parcelas permanentes de muestreo según el tipo de suelo

Nombre del Sitio	Coordenadas		Tipo de Suelo
Shushufindi Est40	M313661	UTM9981360	Perturbado
Secoya 26	NO322323	UTM1003990	
Secoya 2-3	N323353	UTM1001430	No perturbado
Los Ribereños	NO300491	UTM1004661	

Nota: esta tabla muestra las coordenadas UTM de los sitios que se utilizaron para instalar el proyecto.

Figura 1

Mapa de geolocalización de los sitios de muestreo

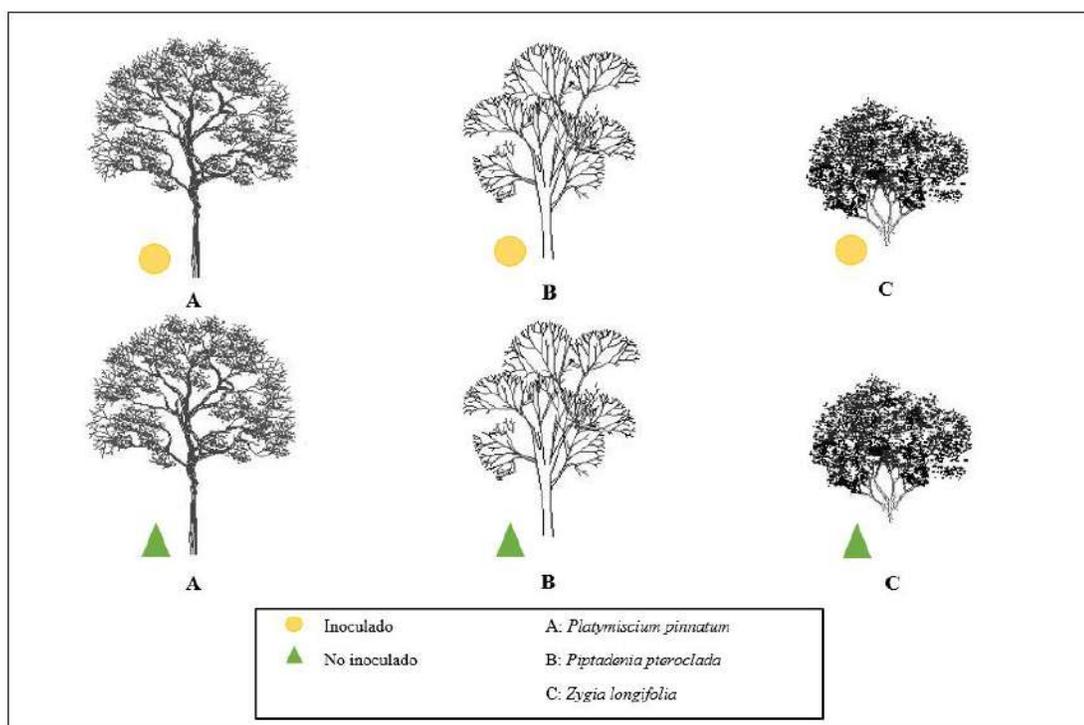


Nota: Mapa físico de la Provincia de Sucumbíos con la ubicación de las parcelas experimentales

Las parcelas permanentes fueron inoculadas en septiembre de 2017, se implementaron cinco subparcelas de 2 metros de diámetro, alrededor del fuste de los individuos de las tres especies arbóreas (*Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia*, *Piptadenia pteroclada*). Dos de las subparcelas fueron inoculadas con sustrato proveniente de la capa superior del suelo de un bosque natural de la zona y dos subparcelas fueron no inoculadas. El inóculo se aplicó sobre toda la superficie de la parcela a una concentración de 1 L m^{-2} . El presente estudio, se realizó sobre una subparcela inoculada y sobre una subparcela no inoculada por especie arbórea en cada uno de los cuatro sitios seleccionados (Figura 1).

Figura 2

Disposición del experimento en el campo



Nota: El gráfico representa los 6 árboles que se utilizaron en cada parcela, 2 árboles por especie 1 árbol en suelo inoculado y 1 árbol en suelo no inoculado.

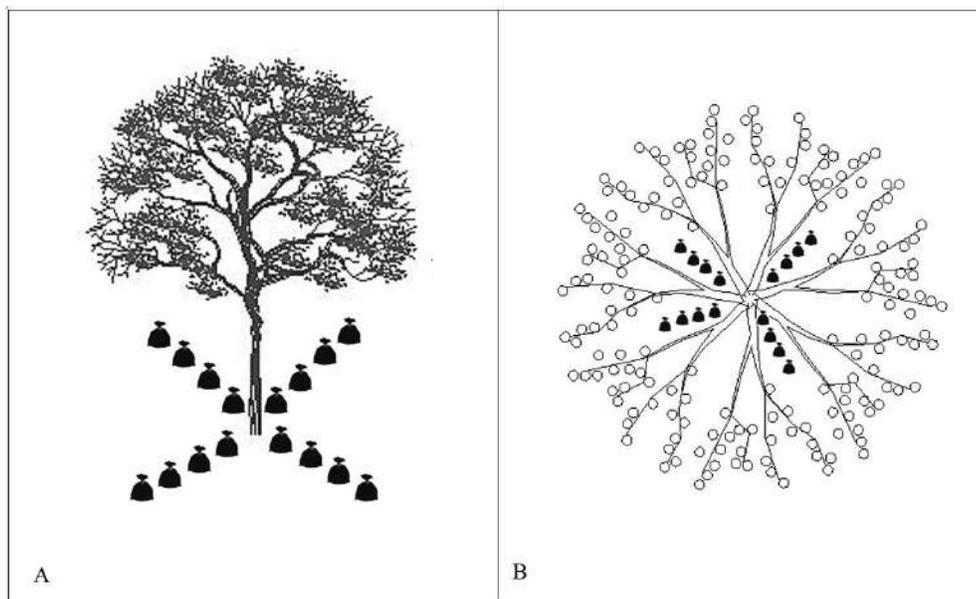
Para obtener la información inicial de los nutrientes que presenta la hojarasca al caer del árbol se colocaron 2 trampas para hojarasca debajo de las copas de dos individuos de cada una de las especies arbóreas seleccionadas (*Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia*, *Piptadenia pteroclada*), un individuo estuvo en suelo inoculado y el otro en suelo no inoculado. Esto se realizó en 4 parcelas, 2 parcelas con suelo perturbado y dos con suelo no perturbado, en total se establecieron 48 trampas. En cada una de las trampas se colectó hojarasca acumulada durante 15 días durante un

año, para el análisis de macronutrientes y micronutrientes en laboratorio, posteriormente se analizó el ciclaje de nutrientes durante la descomposición de hojarasca, utilizando la técnica de bolsas de descomposición (Lanuza, 2016; Castellanos & León, 2010).

En cada subparcela previamente limpiada, se colocaron 16 bolsas de nylon de 15x20 cm con malla de 2 mm de diámetro con 5 g de hojarasca previamente recolectada en cada una (Pérez-Harguindeguy *et al.* 2013). Las bolsas se colocaron en grupos de 4, distribuidas en cruz en cada subparcela (individuo arbóreo) para facilitar la recolección, se separaron 15 cm entre ellas y se cubrieron con hojarasca (Figura 2).

Figura 3

Disposición de las bolsas de nylon en el campo



Nota: (A) vista lateral de las bolsas de nylon instaladas en campo. (B) vista superior de las bolsas de nylon colocadas bajo el fuste de cada árbol.

La descomposición de la hojarasca se evaluó en cuatro períodos de tiempo (30, 60, 90 y 120 días después de la instalación del experimento). En cada uno de los períodos se recolectaron 4 bolsas de cada subparcela, 1 por cada grupo, tratando de no provocar ninguna alteración ni movimiento al grupo de bolsas instalado.

Fase de laboratorio

Las bolsas se trasladaron al *laboratorio después del muestreo*, donde se lavaron suavemente con agua corriente. Se eliminó la adhesión de raíces, partículas de suelo y cualquier residuo diferente a la hojarasca (*Pérez-Harguindeguy et al. 2013*). Se utilizó un tamiz de 1mm de malla para procesar las muestras de hojarasca de las bolsas y evitar pérdidas del material de interés, posteriormente se secó durante 24 horas en un horno de 60° C (Lanuza, 2016). Se evaluó la concentración de nutrientes (N, P, Ca, Mg, K, Cu, Zn, Mn, Fe, Na y la relación C:N) siguiendo diferentes procesos.

Variables evaluadas

Se analizaron un total de 96 muestras en las que se determinó el contenido de nitrógeno por *el método de Kjeldahl mediante la siguiente ecuación*:

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

Donde:

N = Normalidad del Ácido Clorhídrico

V1 = Gasto de titulación de Ácido Clorhídrico de la muestra

V0 = Gasto de titulación de Ácido Clorhídrico del blanco

M = masa de la muestra en gramos

Los contenidos de Ca, Mg, K, Cu, Zn, Mn, Fe y Na, 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 nm. La concentración de C se determinó mediante calcinación y eliminación de materia orgánica por medio de la fórmula:

$$\%C = \frac{(Pc + Pm) - Pt}{Pt} \times 100$$

Donde:

Pc = Peso de la capsula

Pm = Peso muestra

Pt = Peso total

Diseño Experimental

El experimento se realizó bajo un diseño DCA en parcela subdividida, en donde el tipo de suelo (perturbado o no perturbado), correspondió la parcela grande, la especie arbórea (*Platymiscium pinnatum*, *Zygia longifolia*, *Piptadenia pteroclada*), la parcela mediana y el inóculo (suelo inoculado o no inoculado), la parcela pequeña. La unidad experimental correspondió a 4 bolsas de nylon colectadas en cada individuo, teniendo un total de 96 unidades experimentales.

Análisis de la Información

La cantidad de nutrientes presente en la descomposición de hojarasca de caracterizará mediante estadística descriptiva (media, error estándar y coeficiente de

variación). Para comparar las concentraciones de nutrientes entre especies, tipos de suelos y tipos de inóculo, se realizarán análisis de varianza de modelos mixtos, mediante el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + \delta_{l(i)} + E_j + (SE)_{ij} + \sigma_{jk(i)} + I_k + (SI)_{ik} + (EI)_{ijk} + (SIE)_{ijkl} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Cantidad de Nutrientes

μ = Media General

S_i = Efecto del i-ésimo tipo de suelo

$\delta_{l(i)}$ = Error del tipo de suelo

E_j = Efecto de la j-ésima especie arbórea

$(SE)_{ij}$ = Efecto de la interacción tipo de suelo · especie arbórea

$\sigma_{jk(i)}$ = Error de la especie

I_k = Efecto del K-ésimo inóculo

$(SI)_{ik}$ = Efecto de la interacción tipo de suelo * especie arbórea

$(EI)_{ijk}$ = Efecto de la interacción especie arbórea * inóculo

$(SIE)_{ijkl}$ = Efecto de la interacción tipo de suelo * especie arbórea * inóculo

e_{ijkl} = Error para el inóculo

Además, se realizaron pruebas de comparación de medias LSD al 5% para especies, sitios, inóculos e interacciones. Se realizaron gráficos de puntos para analizar la concentración de nutrientes durante 4 períodos de tiempo en 120 días. Todos los análisis estadísticos y gráficos se realizaron en el software R y su interfase con InfoStat (Di Rienzo et al., 2018).

Capítulo IV

Resultados y Discusión

Resultados

Análisis de varianza de macronutrientes en hojarasca

El análisis de varianza para el contenido de macronutrientes en hojarasca mostró que no existe una interacción significativa para la interacción tipo de suelo x inoculo x especie. Sin embargo, se encontró un efecto significativo de la especie para el contenido de K, Mg y Ca (Tabla 2).

Tabla 2

Análisis de varianza de macronutrientes en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados en la Amazonía ecuatoriana.

Fuente de Variación	gl	N		P		K		Mg		Ca	
		F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor	F	p-valor
Tipo	1	0,52	0,4827	1,56	0,2349	7,52	0,0178	1,19	0,2977	0,00	0,9877
Especie	2	5,08	0,0252	6,41	0,0128	26,96	< 0,0001	8,78	0,0045	6,53	0,0120
Inoculo	1	0,14	0,7132	0,12	0,7336	0,05	0,8335	0,00	0,9469	0,25	0,6270
Tipo x Especie	2	0,01	0,9861	1,12	0,3582	6,56	0,0119	0,36	0,7025	0,04	0,9670
Especie x Inoculo	2	1,06	0,3767	0,33	0,7258	0,38	0,6940	0,03	0,9738	0,84	0,4536
Tipo x Inoculo	1	0,23	0,6396	0,13	0,7242	2,34	0,1522	0,48	0,5015	0,02	0,9022
Tipo x Especie x Inoculo	2	0,29	0,7560	1,26	0,3174	0,96	0,4121	0,45	0,6492	0,17	0,8455

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p > 0,05$)

El contenido de K en los suelos perturbados fue mayor que en los suelos no perturbados ($F=7,52$; $p=0,0178$; Tabla 3).

Tabla 3

Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes (kg ha^{-1}) en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en dos tipos de suelo en la Amazonía ecuatoriana

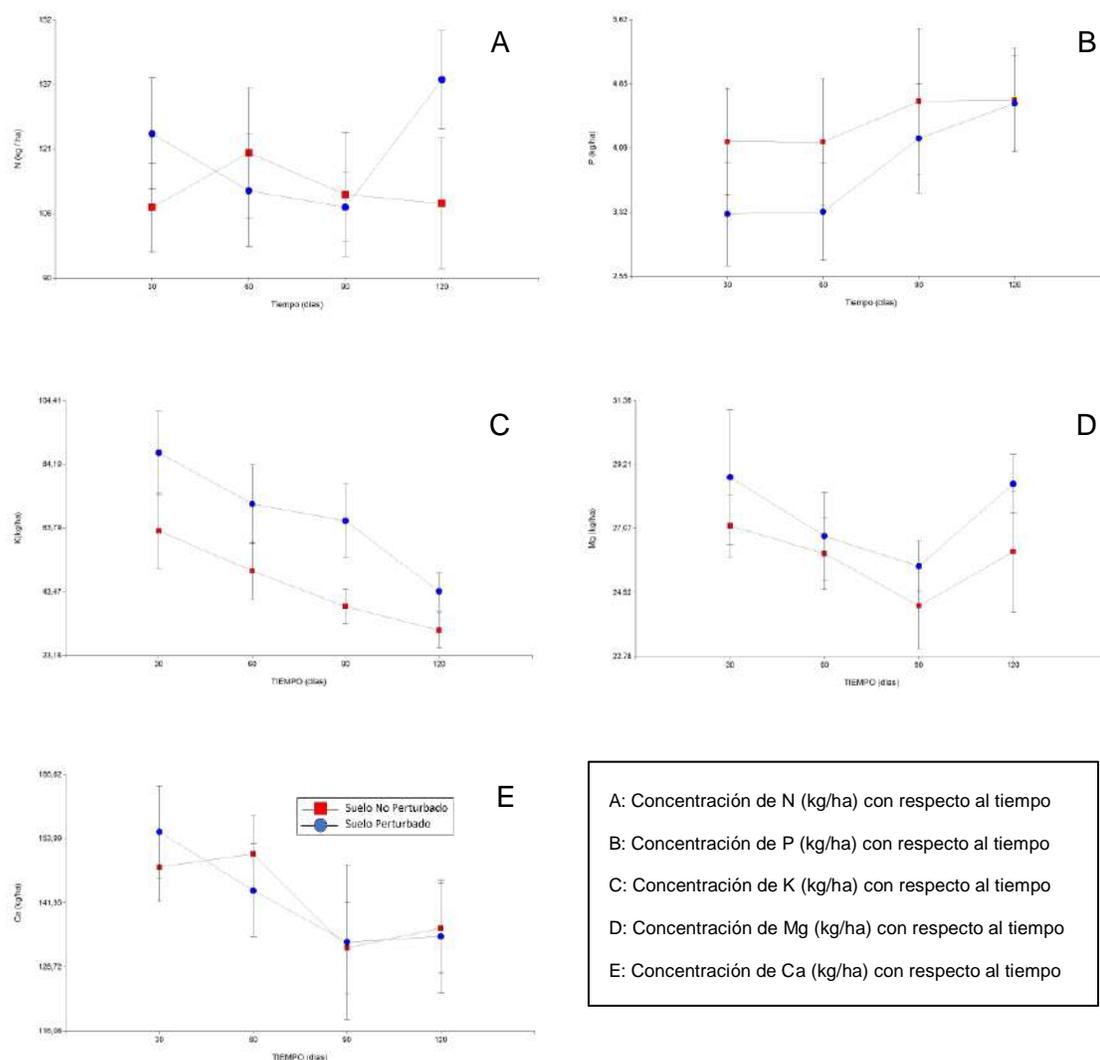
Nutrientes	No Perturbado	Perturbado
N	111,54 \pm 11,52 a	120,29 \pm 8,89 a
P	4,41 \pm 0,38 a	3,86 \pm 0,25 a
K	45,77 \pm 5,19 b	67,21 \pm 9,44 a
Mg	26,03 \pm 1,11 a	27,49 \pm 1,16 a
Ca	142,03 \pm 6,35 a	141,86 \pm 8,50 a

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p > 0,05$).

Los aportes de N, P, K, Mg y Ca fueron muy variables entre suelos perturbados y no perturbados en los 4 meses de evaluación. No se observó un patrón bien definido para ninguno de los macroelementos evaluados. Los aportes más altos para N y P se obtuvieron a los 120 días de evaluación, mientras que para K, Mg y Ca se obtuvieron a los 30 días de evaluación (Figura 4).

Figura 4

Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de macronutrientes en la hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantados en suelos perturbados y no perturbados en la Amazonía ecuatoriana.



Nota: Concentración de macronutrientes ($kg\ ha^{-1}$) de la hojarasca en suelos perturbados y no perturbados durante 120 días de descomposición.

El contenido de N fue mayor en *Piptadenia pteroclada* que las otras especies (F=5,08; p=0,0252; Tabla 4).

Tabla 4

Promedio ± error estándar de la concentración de macronutrientes (kg ha⁻¹) en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados en la Amazonía ecuatoriana

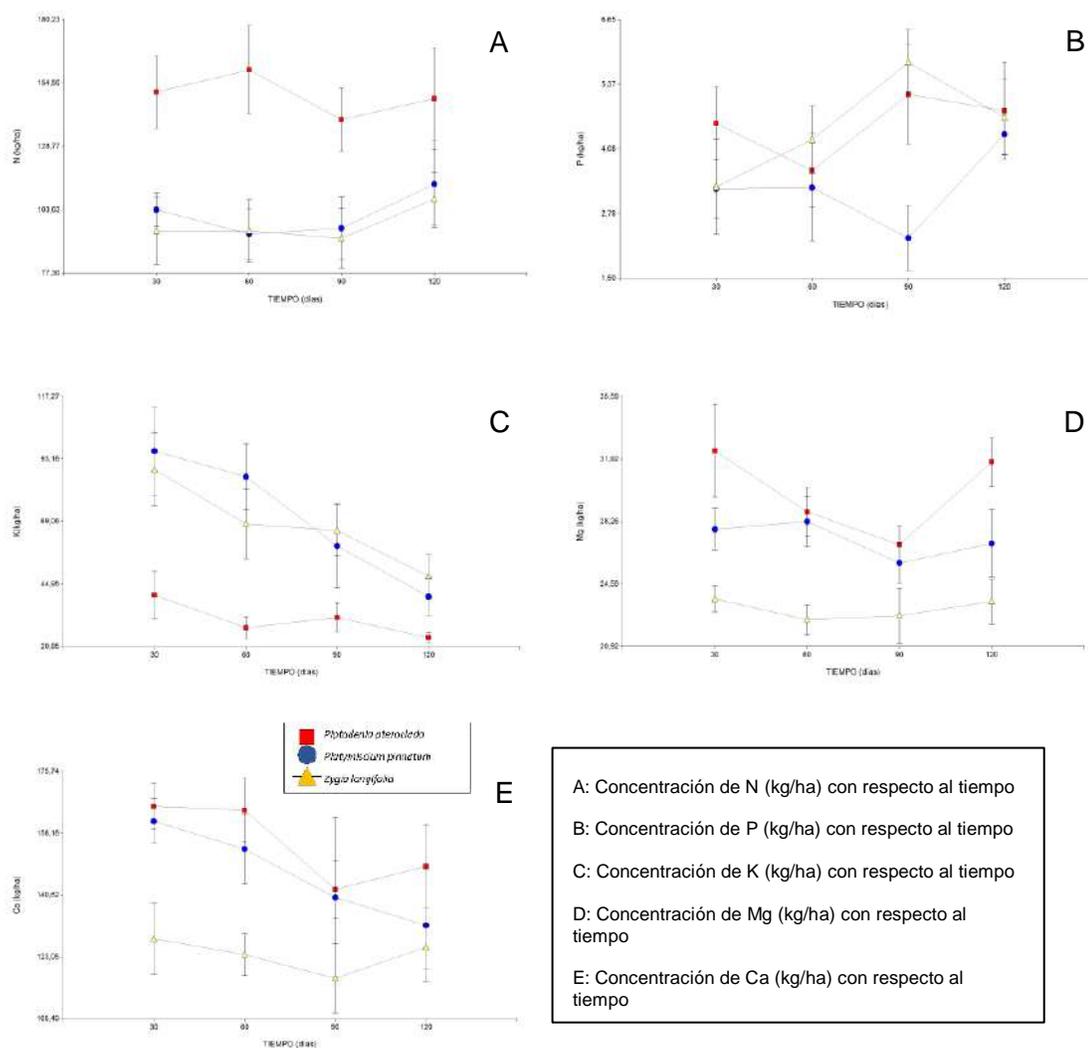
Nutrientes	<i>Piptadenia pteroclada</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>	<i>Zygia longifolia</i>
N	149,56±13,73 a	101,28±5,62 b	96,91±6,58 b
P	4,56±0,48 a	3,31±0,17 b	4,52±0,33 a
K	31,25±2,41 b	70,54±9,62 a	67,68±9,34 a
Mg	29,97±1,23 a	27,20±0,91 a	23,11±0,77 b
Ca	155,36±6,35 a	146,80±10,91 ab	123,67±5,41 b

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (LSD Fisher, p>0,05)

La concentración de N, P, K, Mg y Ca fue inestable entre las tres especies arbóreas en los 4 meses de evaluación. Los aportes más altos para N y Ca se obtuvieron a los 60 días de evaluación, para P a los 90 días, mientras que para K y Mg se obtuvieron a los 30 días de evaluación (Figura 5).

Figura 5

Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de macronutrientes de la hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas sobre suelos perturbados en la Amazonía ecuatoriana.



Nota: Aporte de macronutrientes ($kg\ ha^{-1}$) de la hojarasca en suelos perturbados y no perturbados durante 120 días de descomposición.

Los análisis de varianza no mostraron diferencia significativa para el aporte de nutrientes de la hojarasca de árboles de 3 especies arbóreas plantadas en sitios inoculados y no inoculados (Tabla 5).

Tabla 5

Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes (kg ha^{-1}) en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantados en sitios inoculado y no inoculados en la Amazonía ecuatoriana.

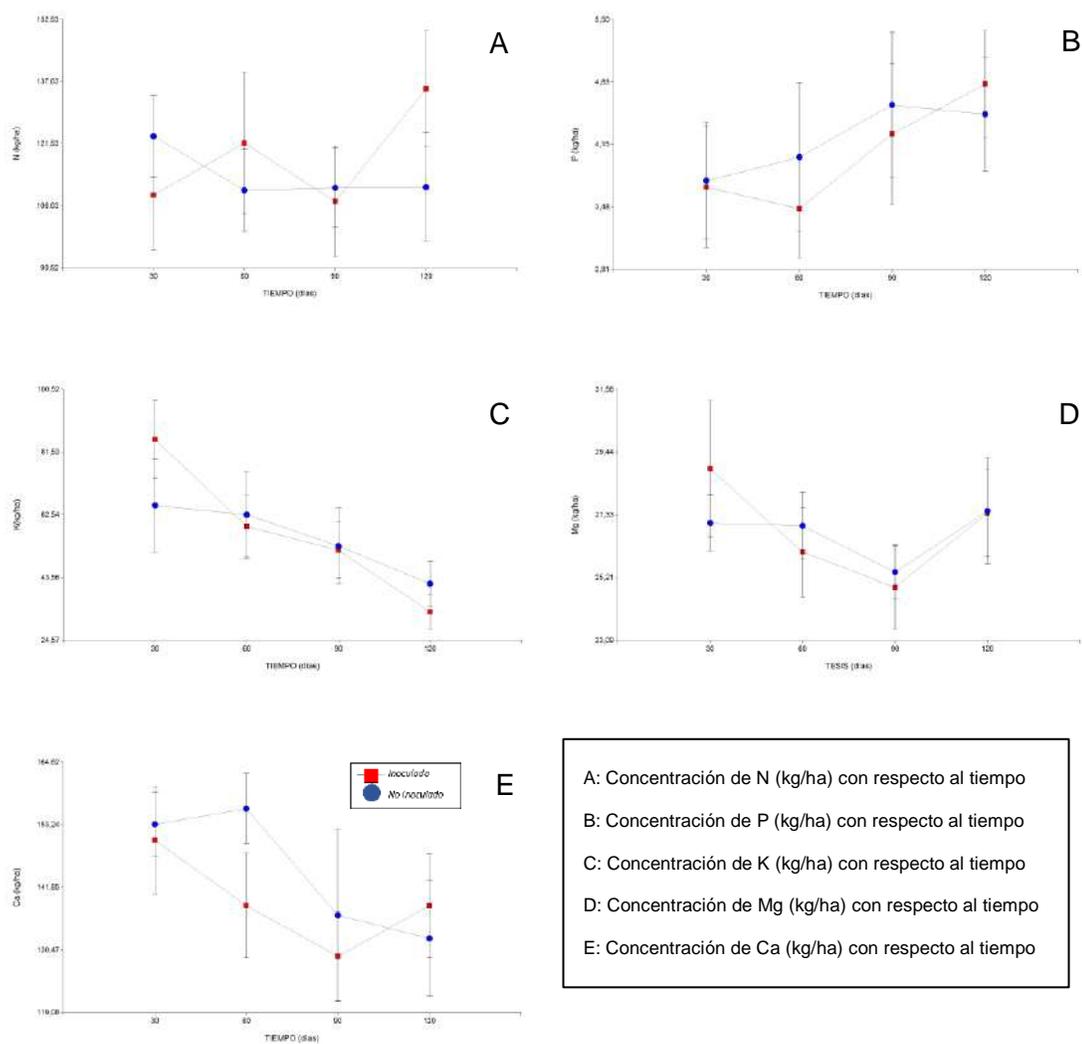
Nutrientes	Inoculado	No Inoculado
N	118,19 \pm 12,94 a	113,64 \pm 6,84 a
P	4,06 \pm 0,37 a	4,21 \pm 0,28 a
K	57,33 \pm 6,39 a	55,65 \pm 9,79 a
Mg	26,81 \pm 1,30 a	26,72 \pm 0,99 a
Ca	139,19 \pm 7,56 a	144,70 \pm 7,36 a

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p>0,05$)

Durante los 4 meses de evaluación los suelos inoculados y no inoculados obtuvieron una concentración de N, P, K, Mg y Ca inconstante. Los aportes más altos para N y P se obtuvieron a los 120 días de evaluación, para Ca a los 60 días, mientras que para K y Mg se obtuvieron a los 30 días de evaluación (Figura 6)

Figura 6

Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de macronutrientes presente en la hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en sitios inoculados y no inoculados en la Amazonía ecuatoriana.



Nota: Concentración de macronutrientes ($kg\ ha^{-1}a\tilde{no}^{-1}$) de la hojarasca en suelos inoculados y no inoculados durante 120 días de descomposición.

Análisis de varianza de micronutrientes en hojarasca

El análisis de varianza para el contenido de microelementos en hojarasca mostró que no existe interacción significativa para la interacción tipo de suelo x inoculo x especie. Sin embargo, se encontró un efecto significativo del tipo de suelo sobre el contenido de Na ($F=5,11$; $p=0,0432$) y para la especie sobre el contenido de Cu ($F=9,77$; $p=0,0030$) y C ($F=5,41$; $p=0,0212$; Tabla 6).

Tabla 6

Análisis de varianza de micronutrientes en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas sobre suelo perturbados

Fuente de Variación	gl	Fe		Cu		Zn		Mn		Na		C	
		F	p-valor										
Tipo	1	2,92	0,1133	0,07	0,7957	1,49	0,2459	3,60	0,0622	5,11	0,0432	0,13	0,7260
Especie	2	1,93	0,1881	9,77	0,0030	2,88	0,0951	2,41	0,1315	2,56	0,1190	5,41	0,0212
Inoculo	1	0,17	0,6867	0,08	0,7810	0,11	0,7503	0,01	0,9296	0,61	0,4506	0,06	0,8158
Tipo x Especie	2	0,16	0,8526	2,25	0,1477	0,65	0,5411	1,53	0,2561	0,59	0,5697	0,26	0,7787
Especie x													
Inoculo	2	0,75	0,4917	0,30	0,7473	0,90	0,4336	1,04	0,3618	0,93	0,4224	0,20	0,8203
Tipo x Inoculo	1	0,49	0,4963	0,36	0,5620	0,75	0,4049	0,23	0,6378	0,42	0,5281	0,02	0,8880
Tipo x Especie													
x Inoculo	2	1,81	0,2060	0,27	0,7694	0,79	0,4763	0,64	0,5446	1,58	0,2462	0,20	0,8185

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p>0,05$)

El contenido de Na fue mayor en los suelos no perturbados que en los suelos perturbados ($F=7,52$; $p=0,0178$; Tabla 6).

Tabla 7

Promedio \pm error estándar de la concentración de micronutrientes (kg ha^{-1}) en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en dos tipos de suelo en la Amazonia ecuatoriana.

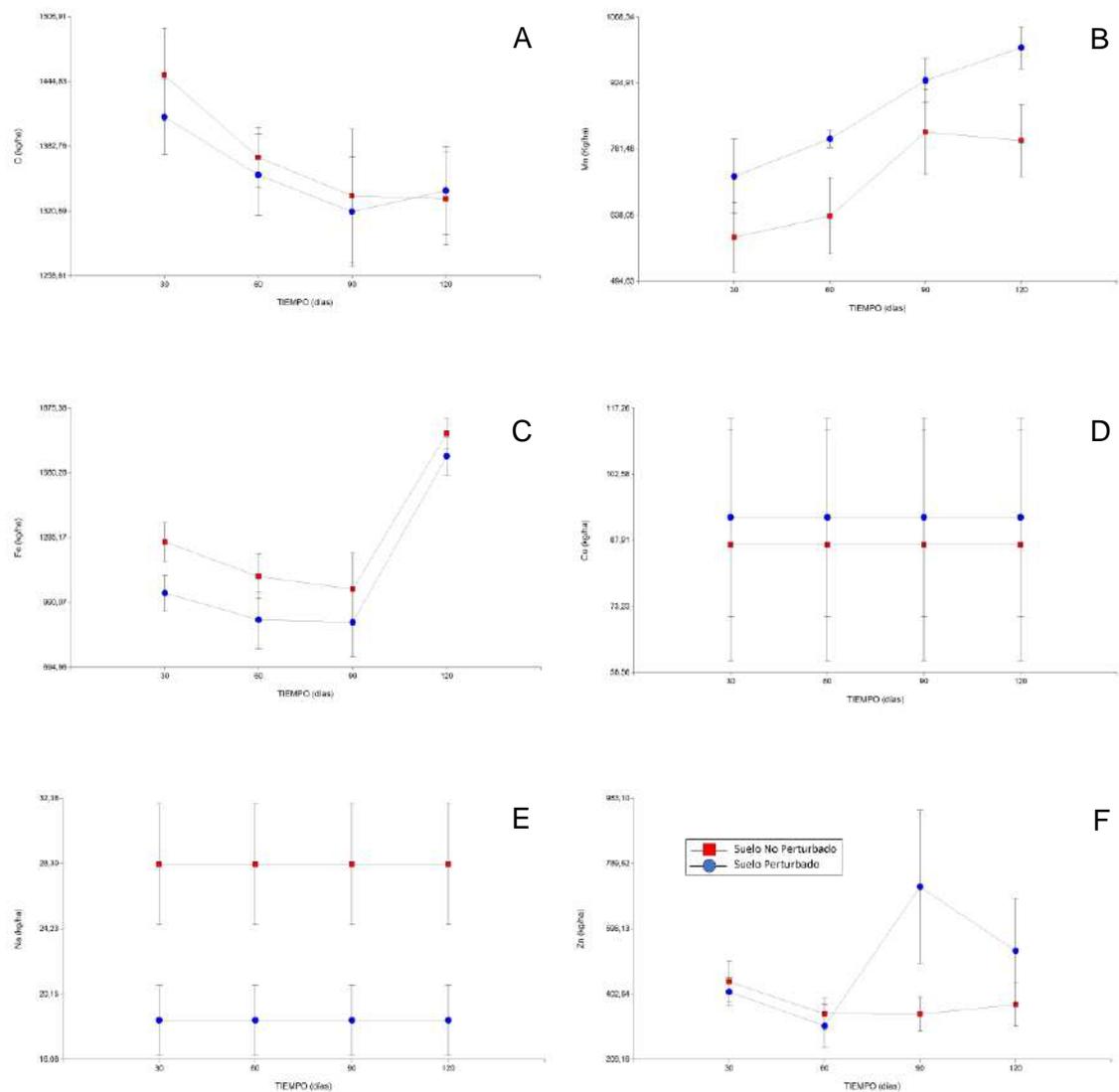
Nutrientes	No Perturbado	Perturbado
C	1372,58 \pm 35,04 a	1356,54 \pm 25,61 a
Mn	711,06 \pm 72,81 a	864,48 \pm 39,94 a
Fe	1296,24 \pm 64,26 a	1124,94 \pm 68,49 a
Cu	86,88 \pm 25,75 a	93,01 \pm 22,04 a
Zn	374,63 \pm 40,56 a	492,21 \pm 87,11 a
Na	28,25 \pm 3,75 a	18,51 \pm 2,21 b

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p > 0,05$)

La concentración de C, Mn, Fe, Cu, Na y Zn fue variable en los suelos perturbados y no perturbados durante los 4 periodos de evaluación. No se observó un patrón bien definido para ninguno de los microelementos evaluados. Los aportes más altos para Mn y Fe se obtuvieron a los 120 días de evaluación, para C a los 30 días, para para Zn se obtuvo a los 90 días de evaluación. (Figura 7)

Figura 7

Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de micronutrientes en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantados en sitios perturbado y no perturbados en la Amazonía ecuatoriana.



- A: Concentración de C (kg/ha) con respecto al tiempo
 B: Concentración de Mn (kg/ha) con respecto al tiempo
 C: Concentración de Fe (kg/ha) con respecto al tiempo
 D: Concentración de Cu (kg/ha) con respecto al tiempo
 E: Concentración de Na (kg/ha) con respecto al tiempo
 F: Concentración de Zn (kg/ha) con respecto al tiempo

Nota: Concentración de micronutrientes ($kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$) de la hojarasca en suelos perturbados y no perturbados durante 120 días de descomposición.

El contenido de C ($F=5,41$; $p=0,0212$) y Cu ($F=9,77$; $p=0,0030$) fue mayor en *Platymiscium pinnatum* comparada con las demás especies (Tabla 8).

Tabla 8

Promedio \pm error estándar de la concentración de micronutrientes ($kg\ ha^{-1}$) en hojarasca de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados en la Amazonía ecuatoriana

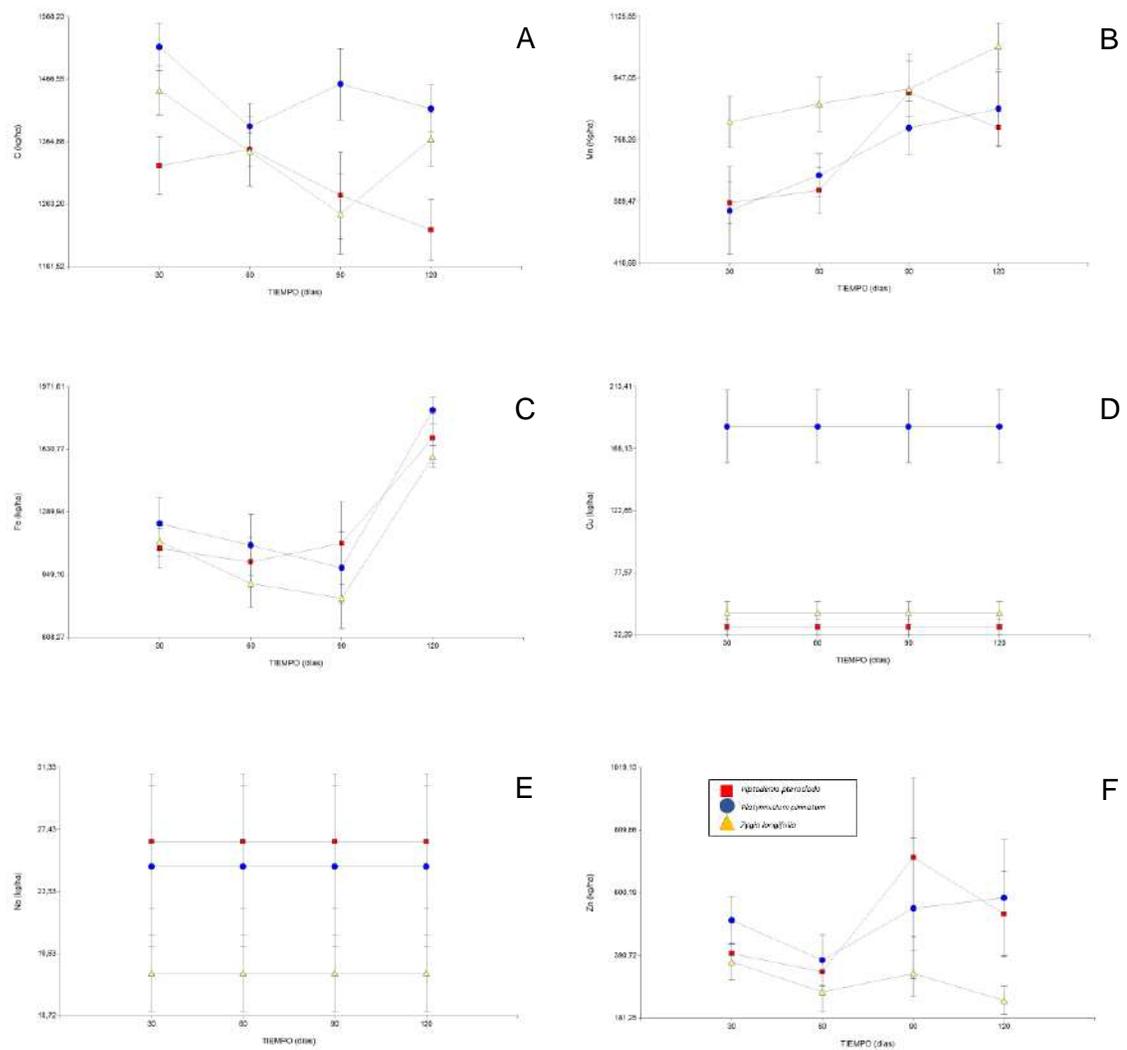
Nutrientes	<i>Piptadenia pteroclada</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>	<i>Zygia longifolia</i>
C	1294,07 \pm 39,83 b	1446,35 \pm 18,68 a	1353,26 \pm 29,14 b
Mn	729,06 \pm 61,79 a	722,55 \pm 84,93 a	911,72 \pm 58,98 a
Fe	1229,98 \pm 99,63 a	1291,49 \pm 90,02 a	1110,31 \pm 58,98 a
Cu	37,84 \pm 5,05 b	184,09 \pm 26,66 a	47,91 \pm 8,33 b
Zn	494,93 \pm 99,92 a	503,60 \pm 86,09 a	301,73 \pm 46,16 a
Na	26,66 \pm 4,24 a	25,09 \pm 5,05 a	18,39 \pm 2,42 a

Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p>0,05$)

Los aportes de C, Mn, Fe, Cu, Na y Zn fueron muy variables en la hojarasca de *Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia* en los 4 periodos de evaluación. Los aportes más altos para Mn y Fe se obtuvieron a los 120 días de evaluación, para C a los 30 días, para para Zn se obtuvo a los 90 días de evaluación (Figura 8).

Figura 8

Promedio \pm error estándar de la concentración mensual de micronutrientes en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados en la Amazonía ecuatoriana



A: Concentración de C (kg/ha) con respecto al tiempo
 B: Concentración de Mn (kg/ha) con respecto al tiempo
 C: Concentración de Fe (kg/ha) con respecto al tiempo
 D: Concentración de Cu (kg/ha) con respecto al tiempo
 E: Concentración de Na (kg/ha) con respecto al tiempo
 F: Concentración de Zn (kg/ha) con respecto al tiempo

Nota: Concentración de micronutrientes ($kg\ ha^{-1}$) de la hojarasca en *Piptadenia pteroclada*, *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia* durante 120 días de descomposición.

Los análisis de varianza no mostraron diferencias significativas para el aporte de micronutrientes ($kg\ ha^{-1}$) en la hojarasca de 3 especies arbóreas entre sitios inoculados y no inoculados (Tabla 9).

Tabla 9

Promedio \pm error estándar de la concentración de nutrientes ($kg\ ha^{-1}$) en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en sitios inoculado y no inoculados en la Amazonía ecuatoriana.

Nutrientes	Inoculado	No Inoculado
C	1369,88 \pm 34,53 a	1359,24 \pm 26,41 a
Mn	784,12 \pm 59,52 a	791,42 \pm 66,49 a
Fe	1189,87 \pm 83,56 a	1231,32 \pm 55,62 a
Cu	93,24 \pm 24,99 a	86,66 \pm 22,89 a
Zn	449,11 \pm 70,88 a	417,73 \pm 69,23 a
Na	25,06 \pm 3,37 a	21,70 \pm 3,37 a

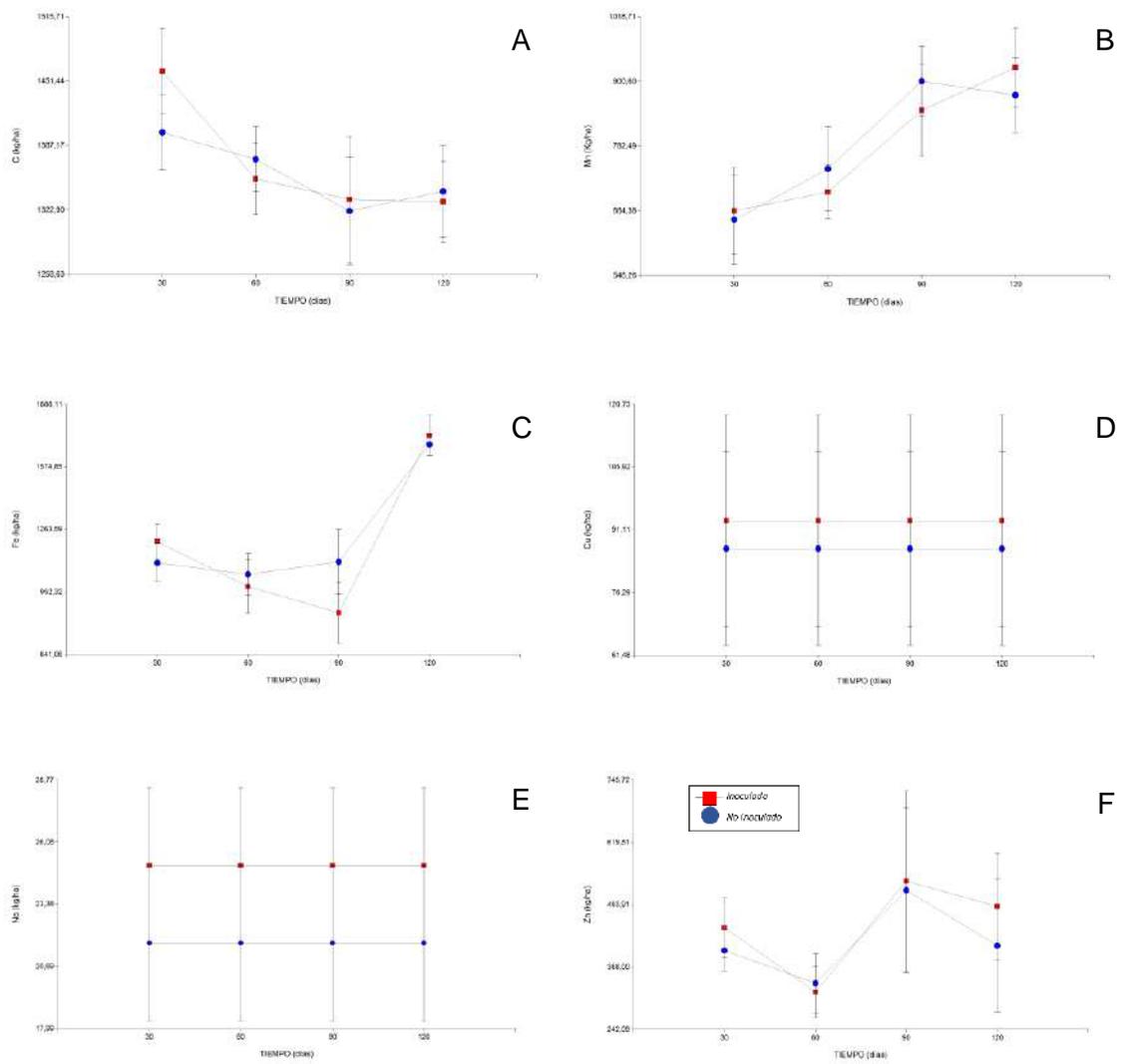
Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (LSD Fisher, $p>0,05$)

En los 4 meses de evaluación los aportes de C, Mn, Fe, Cu, Na y Zn fueron inconstantes en los suelos perturbados y no perturbados. Los aportes más altos para

Mn y Fe se obtuvieron a los 120 días de evaluación, para C a los 30 días, para para Zn se obtuvo a los 90 días de evaluación (Figura 9).

Figura 9

Promedio ± error estándar de la concentración mensual de micronutrientes en hojarasca de árboles de tres especies arbóreas plantadas en sitios inoculados y no inoculados en la Amazonía ecuatoriana.



Nota: Concentración de micronutrientes ($kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$) de la hojarasca en suelos inoculados y no inoculados durante 120 días de descomposición usando.

La relación de C:N en la hojarasca de árboles de tres especies arbóreas fue mayor en las especies *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia* siendo 16,49 y 15,64 respectivamente comparada con *Piptadenia pteroclada* que obtuvo 9,38. La relación más alta de C:N durante las cuatro evaluaciones se obtuvo a los 90 días.

Discusión

Los resultados obtenidos proporcionan información sobre la dinámica de nutrientes que aporta la descomposición de hojarasca de árboles de tres especies arbóreas durante 4 meses en diferentes tipos de suelos perturbados inoculados con sustrato proveniente del bosque natural. La hojarasca de los árboles plantados sobre suelos perturbados aportó mayores niveles de K, mientras que la hojarasca de los árboles plantados sobre suelos no perturbados aportó mayores niveles de Na. Los árboles de *Piptadenia pteroclada* aportaron mayores niveles de N, P y Mg, mientras que los árboles de *Platymiscium pinnatum* aportaron mayores niveles de C y Cu. No se observó un efecto de la inoculación sobre los aportes de nutrientes al suelo entre especies ni entre tipos de suelos.

Dinámica de nutrientes en la descomposición de hojarasca en suelos perturbados y no perturbados

Los mayores niveles de K aportados por la hojarasca de los árboles plantados sobre CLR, concuerdan con los resultados reportados por Montenegro (2005), quien encontró mayores niveles de K en la hojarasca de árboles plantados sobre suelo

perturbados ($58,4 \text{ kg ha}^{-1}$), respecto a la hojarasca de árboles plantados sobre suelos orgánicos ($50,5 \text{ kg ha}^{-1}$). Estos resultados difieren de los reportados por Lanuza (2016) quien obtuvo menor contenido de K en un bosque de plantación restaurado (0,3%) y el mayor contenido de K en un bosque referencia no restaurado (0,7%).

Los mayores niveles de Na de la hojarasca presente en liberado en suelos no perturbados, concuerdan con Sani, (2019), quien encontró que la cantidad de Na en hojarasca colectada sobre suelos no perturbados ($2,07 \text{ mg kg}^{-1}$), fue mayor a la cantidad obtenida en suelos perturbados ($1,49 \text{ mg kg}^{-1}$).

El contenido de P fue similar entre los suelos perturbados y no perturbados, esto se puede explicar debido a que el P es de liberación lenta y debe ser mineralizado por los microorganismos antes de que sea absorbido por el suelo o por las plantas, según un estudio realizado por Alcaraz (2016). Castellanos & León (2010) menciona que en plantaciones de *Acacia mangium* establecidas en suelos degradados de Colombia se encontró que los contenidos de P son similares en hojarasca de suelo subsolado ($0,02 \text{ kg ha}^{-1}$) y en suelo no subsolado ($0,03 \text{ kg ha}^{-1}$).

El mayor contenido de N aportado a los 90 y 120 días, se puede explicar debido a que la movilización del N en los primeros días de la descomposición es casi nula, ya que existe incorporación microbiana en la hojarasca al inicio, después de esto se produce la liberación de este nutriente según estudios realizados por Rodríguez et al., (2011). Estos resultados coinciden con Lanuza (2016), en donde el N tiene una tendencia ascendente en los últimos periodos de muestreo, aunque en los primeros días el nitrógeno fue casi inmóvil siendo $4,37 \text{ mg g}^{-1}$ en el bosque de plantación, a los 190 días el N fue menor ($2,44 \text{ mg g}^{-1}$).

El mayor contenido promedio de Zn aportado por la hojarasca a los 90 y 120 días en el suelo perturbado, se corrobora con un estudio realizado por Lanuza et al. (2018) quienes reportaron mayor cantidad de Zn en el bosque de plantación (bosque restaurado) es de 389,2 kg ha⁻¹ que en el bosque de referencia (testigo) que es de 214,0 kg ha⁻¹. En otro estudio realizado en Colombia por Castellanos & León (2010) en plantaciones de *Acacia mangium* se reportó mayor cantidad de Zn (5,1 mg kg⁻¹) en suelos degradados que en suelos no degradados (2.3 mg kg⁻¹).

El contenido similar de todos los nutrientes aportado por la hojarasca de 3 especies arbóreas en sitios inoculados y no inoculados, se puede deber a que las mediciones se hicieron después de un año de la inoculación esto puede cambiar al pasar el tiempo, ya que en un estudio realizado por Jasper et al. (2016) se encontró mayor cantidad de riqueza en microorganismos después de 6 años de la inoculación, la cantidad de microorganismos presentes en la hojarasca puede afectar la movilización de algunos nutrientes debido al desarrollo de hongos y bacterias en el material vegetal según Melillo et al. (1982), según Aerts (1997) la escasa movilidad de los nutrientes puede deberse a las propiedades edáficas, microclima y la actividad microbiológica del suelo. Según Castellanos & León (2010) las diferencias en la liberación de nutrientes de la hojarasca se pueden deber a diferentes factores como la presencia de microorganismos en el suelo, la invasión del material vegetal por el micelio de hongos, el lavado foliar al momento de la recolección y los cambios climáticos.

La liberación de K no mostró incrementos notables en los dos tipos de suelo inoculado o no inoculado, según un estudio realizado por Colín et al. (2018) presenta datos similares para el contenido de K en hojarasca de Matorral Espinoso analizado en

2 tipos de estaciones (invierno y primavera) 11,4 mg g⁻¹ y 10,6 mg g⁻¹ respectivamente, por lo que sugiere que K es un nutriente con poca movilidad por lo que se asocia su liberación a las estructuras de la hojarasca, ni a los agentes microbiológicos externos.

Dinámica de nutrientes en la descomposición hojarasca por especie

La mayor concentración de N, P y Mg en *Piptadenia pteroclada* son similares a los resultados presentados por Gutiérrez (2014) quien reportó un contenido de P (8,86 kg ha⁻¹) y Mg (35,33 kg ha⁻¹) en una plantación de *Piptadenia pteroclada* en asociación con otras especies, en una zona de piedemonte deposicional; estos datos también son corroborados por Del Valle (2003), donde presenta valores similares de N (165,2 kg ha⁻¹), P (3,5 kg ha⁻¹) y presenta una ligera disminución en Mg (14,8 kg ha⁻¹), este estudio fue realizado durante un año en humedales forestales tropicales del Pacífico Sur de Colombia en árboles de *Otoba gracilipes* de la misma familia que los árboles utilizados en el presente estudio; estos resultados difieren del estudio realizado por Castellanos & León (2010), donde presenta un menor contenido promedio de N (62,72 kg ha⁻¹ año⁻¹) al descomponerse la hojarasca de *Acacia mangium* (Fabaceae) en un suelo perturbado de Colombia; en un estudio realizado por Montenegro (2005) en la hojarasca de *Erythrina poeppigiana* en sistemas de manejo orgánico y convencional en café presenta que el contenido de N (168,3 kg ha⁻¹) es similar al del presente estudio, sin embargo, difiere en los contenidos de P (41,3 kg ha⁻¹) y Mg (8,9 kg ha⁻¹).

El mayor contenido de C y Cu en *Platymiscium pinnatum* difiere del contenido de C presentado por Sani (2019), en el cual se observa una similitud en el contenido de C en *Platymiscium pinnatum* (47,35%), *Piptadenia pteroclada* (47,3%) y *Zygia longifolia*

(47,25%), sin embargo en el contenido de Cu concuerda con que es mayor en *Platymiscium pinnatum* (1,77%) comparada con las demás especies.

La mayor cantidad en la relación C:N en *Platymiscium pinnatum* y *Zygia longifolia* difieren con un estudio realizado por Petit et al.(2011), en el cual obtuvo que *Moringa oleífera* (Moringaceae) presenta una relación C:N de 22 mayor que *Leucaena leucocephala* (Fabáceae) que fue de 20, la relación C:N es un indicador de la calidad de la hojarasca, permitiendo predecir la descomposición de la misma, según Álvarez (2001), expresa que si el contenido de C es mayor al contenido de N, se producirá menor contenido de N disponible en el suelo, este nutriente puede ser inmovilizado por los microorganismos del suelo que permiten la descomposición, por lo tanto, será menor cantidad de N disponible para las plantas. Petit et al., (2011), indica que si la relación de C:N es alta se forma una cobertura estable al momento de la caída de la hojarasca, incrementando la cantidad de C, mejorando la estructura del suelo, y protegiéndolo de problemas climáticos como la lluvia y los rayos solares.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Los nutrientes de la hojarasca no presentaron diferencias significativas en árboles plantados en sitios inoculados y no inoculados sobre suelos perturbados y no perturbados. Sin embargo, la hojarasca en suelos perturbados obtuvo en promedio mayor contenido en K y en suelos no perturbados presentó mayor concentración en Na.

La concentración de nutrientes de hojarasca en tres especies arbóreas presentó diferencias significativas en N, P, C, K, Mg, Ca y Cu. Sin embargo, los árboles más representativos fueron *Piptadenia pteroclada* aportando mayores niveles de N, P y Mg, mientras que los árboles de *Platymiscium pinnatum* aportaron mayores niveles de C y Cu.

Recomendaciones

El análisis de descomposición de hojarasca al menos durante un año permitirá evaluar la liberación de nutrientes durante la descomposición, para obtener datos de acuerdo con el cambio climático según la época, realizando un control de humedad y de pluviometría.

Realizar un estudio a largo plazo de la masa remanente durante la descomposición de hojarasca, para conocer la velocidad de desintegración relacionado con las estaciones del año, cambios de temperatura y pluviometría.

Bibliografía

- Aerts, R. (1997). Climate, Leaf Litter Chemistry and Leaf Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems: A Triangular Relationship. *Oikos*, 79(3), 439-449.
- Alcaraz, M. (2016). *Liberación/mineralización de nitrógeno y fósforo en hojarasca de Eucalyptus grandis y leguminosas herbáceas en distintos suelos: Relación con la calidad física y química del residuo, y efecto sobre el crecimiento de plantas jóvenes de eucalipto* [Doctor en Ciencias Naturales, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/51559>
- Álvarez, J. (2001). Descomposición y Ciclo de nutrientes en ecosistemas terrestres de Mexico. *Acta Zoológica Mexica (nueva serie)*, 1.
- Andrade, M. L., Covelo, E. F., Vega, F. A., & Marcet, P. (2004). Effect of the Prestige Oil Spill on Salt Marsh Soils on the Coast of Galicia (Northwestern Spain). *J. ENVIRON. QUAL.*, 33, 8.
- Barrera, C., Bastidas, P., Caicedo, F., Calderón, C., Calero, D., Casasola, A., Chávez, F., & Díaz, A. (2018). *Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana*. 2, 33-40.
- Brako, L & Zarucchi, J. (1993). *Catalogue of the Flowering Plants and Gymnosperms of Perú*. Missouri, USA.
- Becerra, S., Paichard, E., Sturma, A., & Maurice, L. (2013). Vivir con la contaminación petrolera en el Ecuador: Percepciones sociales del riesgo sanitario y capacidad de respuesta. *Revista Lider*, 23, 102-120.

- Castellanos, J., & León, J. (2010). Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(1).
<https://doi.org/10.15517/rbt.v59i1.3182>
- Colín, C., Domínguez, T., González, H., Cantú, I., & Guadalupe, J. (2018). Dinámica de nutrientes durante el proceso de degradación de la hojarasca en el Matorral Espinoso Tamaulipeco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.179>
- Del Valle, J. (2003). Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina en Bosques Pantanosos del Pacífico Sur Colombiano. *INCI*, 28(8), 18.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzales, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2018). *Infostat versión 2018* [Universidad de Córdoba].
<http://www.infostat.com.ar>
- Espinoza, E. (2018). *Relaciones entre las características edafológicas y las variables dasoméricas de tres especies arbóreas plantadas por la actividad petrolera* [Pregrado]. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Fassbender, H., Beer, J., Heuvelop, J., Imbach, A., Enriquez, G., & Bonnemann, A. (1991). Ten year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 45.
- Forman, R. T. T., & Deblinger, R. D. (2000). The Ecological Road-Effect Zone of a Massachusetts (U.S.A.) Suburban Highway. *Conservation Biology*, 14(1), 36-46.
<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99088.x>

- Gaudinski, J., Trumbore, S., Davidson, E., & Zheng, S. (2000). *Soil carbon cycling in a temperate forest: Radiocarbon-based estimates of residence times, sequestration rates and partitioning of fluxes*. 51(1), 33-69.
- Granda, M. (2015). *Análisis socio-ambiental en doce parroquias amazónicas de Ecuador y su relación con actividades de conservación de bosques nativos* [Licenciatura]. Universidad Internacional del Ecuador.
- Guaranda, W. (2016, octubre 17). *Apuntes sobre la explotación petrolera en el Ecuador*. INREDH. <https://www.inredh.org/index.php/archivo/boletines-ambientales/153-apuntes-sobre-la-explotacion-petrolera-en-el-ecuador>
- Gutiérrez, A. (2014). *Aportes a la rehabilitación ecosistémica de áreas riparias con énfasis en calidad de suelos y producción dendroenergética por medio de arreglos agroforestales en zonas ganaderas del piedemonte llanero* [Maestría]. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Hirobe, M., Sabang, J., Bhatta, B., & Takeda, H. (2004). Leaf-litter decomposition of 15 tree species in a lowland tropical rain forest in Sarawak: Dynamics of carbon, nutrients, and organic constituents. *Journal Forest Restoration*, 9, 347-354.
- Huberty, M., Martis, B., Kampen, J., Hae, Y., Vrieling, K., Klinkhamer, P., & Martijn, T. (2019). Soil Inoculation Alters Leaf Metabolic Profiles in Genetically Identical Plants. *Journal of Chemical Ecology*, 46, 745-755.
- Jasper, E., Van de Putten, W., Bosch, M., & Martijn, T. (2016). *Soil inoculation steers restoration of terrestrial ecosystems*. 16107. DOI:10.1038/NPLANTS.2016.107

- Lanuza, O. (2016). Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: Efecto a mediano plazo sobre la producción y descomposición en la hojarasca. *Centro Agronómico Tropical de investigación*, 45-56.
- Lanuza, O., Casanoves, F., Zahawi, R. A., Celentano, D., Delgado, D., & Holl, K. D. (2018). Litterfall and nutrient dynamics shift in tropical forest restoration sites after a decade of recovery. *Biotropica*, 50(3), 491-498.
<https://doi.org/10.1111/btp.12533>
- Lewis, S. (2006). Tropical forest and the changing earth system. En *Transactions on the Royal Society* (361.^a ed., pp. 195-210).
- Martín, C., & Pérez, C. (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *La Habana*, 30(1).
- Melillo, J. M., Aber, J. D., & Muratore, J. F. (1982). Nitrogen and Lignin Control of Hardwood Leaf Litter Decomposition Dynamics. *Ecology*, 63(3), 621-626.
<https://doi.org/10.2307/1936780>
- Montagnini, F., & Jordan, C. (2002). Recycling of nutrients in ecology and conservation of neotropical forest. *Cartago*, 167-191.
- Montenegro, E. (2005). *Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de arboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional* [Tesis de Posgrado]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE.
- Muñoz, M. (2012). *Estudio del comportamiento vegetativo y rendimiento de Café Robusta (Coffea canephora), asociado con tres leguminosas forestales Guaba*

de Bejuco (Inga edulis), Guarango (Parkia balslevii), Dormilon Espinudo (Piptadenia pteroclada), establecido en el campo Lago Agrio de Petroproducción [Pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Muñoz, M., & Cerón, J. (2015). *Árboles representativos de Pachijal*. EcoFondo.

<http://www.ecofondoecuador.com/images/publicaciones/Arboles%20representativos%20de%20Pachijal.pdf>

Palacios, W. 2011. *Árboles del Ecuador*. Ministerio del ambiente. Primera Edición. Quito - Ecuador. 724 pp.

Petit, J., Casanova, F., Solorio, J., & Ramírez, L. (2011). Producción y calidad de hojarasca en bancos de forraje puros y mixtos en Yucatán, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XVII(1), 165-178.

<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.066>

Quinsasamín, J. (2019). *Diversidad de hongos Rizosféricos de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados por la actividad petrolera de la Amazonía Ecuatoriana* [Pregrado]. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Rodríguez, C., Durán, V., Muriel, J., & Franco, D. (2011). Descomposición de hojarasca y reciclado del nitrógeno de frutales tropicales y subtropicales en terrazas de cultivo en la costa de Granada. *Comunicata Scientiae*, 2(1), 42-48.

Rodríguez, R. (2018). *Características edáficas de cinco sitios de zona sur de Costa Rica con presencia abundante de la especie Platymiscium pinnatum (Jacq.) Dugand. (Cristóbal)* [Licenciatura]. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

- Romero, S. (2006). *Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (Coffea arabica var. Caturra), con tres niveles de manejo*. 128.
- Samaniego, E., García, Y., Arteaga, Y., Vargas, J., & Rojas, L. (2015). Diversidad florística de tres sitios de un bosque siempreverde piemontano de la región oriental amazónica del Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4(1), 32-47.
- Sani, H. (2019). *Restauración forestal de suelos perturbados de la Amazonía Ecuatoriana: Efecto de la producción de hojarasca y la concentración de nutrientes* [Tesis de Pregrado]. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Sistema Nacional de Información. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial municipal de Francisco de Orellana (Diagnóstico)*. GAD Municipal de Francisco de Orellana. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1560000780001_1560000780001diagnosticoconversion3GADMFO_15-02-2015_23-55-04.pdf
- Useche, F., & Azuero, S. (2013). *Yopo (Anadenanthera peregrina), Acacia (Acacia mangium Wild) y Melina (Melina arborea) tres especies arbóreas propicias para los sistemas silvopastoriles en el piedemonte llanero* (p. 64) [Monografía].
- Vega, M. (2021). *Efecto de la inoculación de suelos perturbados sobre la diversidad de hongos ectorizosféricos de tres especies arbóreas en la Amazonía ecuatoriana*. [Pregrado]. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Villacís, J. (2016). *Evaluación de las técnicas de remediación vegetal utilizadas en plataformas petroleras mediante estudios de desempeño de especies y análisis*

de especies y análisis de diversidad funcional [Doctorado]. Universidad Nacional de Córdoba.

Villacís, J., Casanoves, F., Hang, S., Keesstra, S., & Armas, C. (2016). Selection of forest species for the rehabilitation of disturbed soils in oil fields in the Ecuadorian Amazon. *Science of the Total Environment*, 566, 761-770.

Vitousek, P., & Sanford, R. (1986). Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 137-167.

Zhang, X., & Liu, Z. (2015). 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>

Zhang, X., & 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>