

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE  
DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL  
Y MEDIO AMBIENTE



**“EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y CARACTERÍSTICAS  
FISICOQUÍMICAS DEL SUELO DE PLANTACIONES  
EN ÁREAS DEGRADADAS POR MINERÍA EN EL  
DISTRITO DE HUEPETUHE, MADRE DE DIOS”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**AUTOR:**

Bach. QUISPE SUEROS, Lebana Olivia

**ASESOR:**

M.Sc. GARATE QUISPE, Jorge Santiago

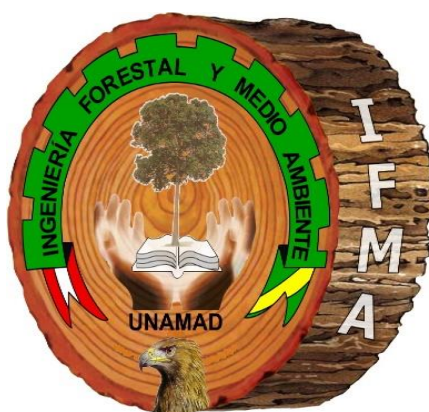
Puerto Maldonado, setiembre 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL  
Y MEDIO AMBIENTE



**“EVALUACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y CARACTERÍSTICAS  
FISICOQUÍMICAS DEL SUELO DE PLANTACIONES  
EN ÁREAS DEGRADADAS POR MINERÍA EN EL  
DISTRITO DE HUEPETUHE, MADRE DE DIOS”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**AUTOR:**

Bach. QUISPE SUEROS, Lebana Olivia

**ASESOR:**

M.Sc. GARATE QUISPE, Jorge Santiago

Puerto Maldonado, setiembre 2024

# TURNITIN\_LEBANA QUISPE SUEROS

## INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
2	<a href="http://repositorio.unamad.edu.pe">repositorio.unamad.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://www.gob.pe">www.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios Trabajo del estudiante	1%
7	<a href="http://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://cdn.www.gob.pe">cdn.www.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
9	<a href="http://revistas.iiap.gob.pe">revistas.iiap.gob.pe</a> Fuente de Internet	

## Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar las características de la vegetación y las propiedades fisicoquímicas del suelo de plantaciones de 24 años en áreas degradadas por minería aurífera y compararlas con el bosque de referencia, en Huepetuhe, Madre de Dios. Se evaluó la vegetación leñosa (DAP > 1 cm) y las características fisicoquímicas del suelo de: (1) dos áreas reforestadas en áreas por minería; y (2) dos áreas de bosque de referencias remanente sin impacto de la minería (un bosque primario y un bosque secundario). Para el análisis de la vegetación, se utilizaron parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 m × 10 m). En cada uno de los sitios de muestreo se establecieron 4 parcelas, 16 en total. Además, en cada parcela evaluada se recogió una muestra compuesta de suelo. En total se registraron 117 especies arbóreas, distribuidos en 70 géneros y 32 familias botánicas. Se encontró una significativa recuperación de la abundancia, riqueza, diversidad de especies y área basal de las plantaciones en comparación con los bosques de referencia. Las características fisicoquímicas de los suelos de minería se diferenciaron claramente de las plantaciones y el bosque secundario y primario. se observó que los suelos de minería fueron característicos por altos valores de pH y porcentaje de arena. Mientras que los altos valores de materia orgánica, niveles de potasio y iones de aluminio fueron característicos de los bosques y las plantaciones. Se encontraron diferencias significativas en la composición florística entre los bosques y las plantaciones evaluadas, ya que solo compartieron 15 especies que se encontraron en las plantaciones establecidas. Se encontró una recuperación de las características fisicoquímicas del suelo en las plantaciones. Se encontró una disminución significativa del pH y un incremento significativo en la capacidad de intercambio catiónico en las plantaciones, si comparamos los valores entre suelo de minería y las de los bosques. La CIC se recuperó en más de 100% en las plantaciones.

**Palabras clave:** minería aurífera, restauración, pequeña minería y minería artesanal, Amazonia peruana

## Abstract

The objective of the study was to evaluate the vegetation characteristics and soil physicochemical properties of 24-year-old plantations in areas degraded by gold mining and compare them with the reference forest in Huepetuhe, Madre de Dios. We evaluated the woody vegetation (DBH > 1 cm) and soil physicochemical characteristics of: (1) two reforested areas in areas degraded by mining; and (2) two areas of remnant reference forest without mining impact (a primary forest and a secondary forest). For vegetation analysis, 100 m<sup>2</sup> (10 m × 10 m) plots were used. In each of the sampling sites, 4 plots were established, 16 in total. In addition, a composite soil sample was collected in each plot evaluated. A total of 117 tree species were recorded, distributed in 70 genera and 32 botanical families. A significant recovery of abundance, richness, species diversity and basal area of the plantations was found in comparison with the reference forests. The physicochemical characteristics of the mining soils were clearly differentiated from the plantations and the secondary and primary forest. It was observed that the mining soils were characterized by high pH values and percentage of sand. While high values of organic matter, potassium levels and aluminum ions were characteristic of forests and plantations. Significant differences were found in the floristic composition between the forests and the evaluated plantations, since only 15 species were found in the established plantations. A recovery of the physicochemical characteristics of the soil was found in the plantations. A significant decrease in pH and a significant increase in cation exchange capacity were found in the plantations, if we compare the values between mining soil and forest soil. The CEC recovered more than 100% in the plantations.

**Keywords:** gold mining, restoration, Artisanal and small scale gold mining, Peruvian Amazon.

## Presentación

El presente proyecto de investigación, titulado “Evaluación de la vegetación y características fisicoquímicas suelo de plantaciones en áreas degradadas por minería en el distrito de Huepetuhe”, se presenta como requisito para optar al título profesional en Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, por la UNAMAD. En consecuencia, el proyecto de investigación contiene tres (03) componentes (capítulos), los cuales se detallarán brevemente a continuación, de acuerdo con los requisitos de titulación de la UNAMAD, aprobados mediante el acuerdo N° 541-2018-UNAMAD-CU.:

- **En el capítulo I** se describen: (1) el problema de investigación, (2) los objetivos de la investigación, (3) la justificación del estudio y (4) las variables del estudio.
- **En el capítulo II** se examinaron (1) los conceptos necesarios para el desarrollo del estudio, así como (2) los antecedentes vinculados al tema que se abordó en el estudio.
- **En el capítulo III** se describe el diseño del estudio, así como los métodos y técnicas que se utilizaron, metodología que se empleó en el estudio.
- **En el capítulo IV** se muestra los resultados encontrados en el estudio, organizados de acuerdo a los objetivos específicos planteados.

## Introducción

La deforestación y degradación de suelos ocasionadas por actividades mineras, en los países en desarrollo, como el Perú, ocasionan efectos ambientalmente dañinos y de la severidad de estos reducirá su resiliencia (Lebel 2015). En Madre de Dios, las zonas con gran actividad minera son Huepetuhe, Delta 1 y La Pampa. En Huepetuhe, la actividad minera aurífera se inició por la década de 1950 (Mosquera et al. 2009). La construcción de las carreteras de penetración Cusco-Urcos-Quincemil-Puerto Maldonado en 1965 impulsó la producción minera y forestal en el sur y el norte. En el sur productor de oro, Puerto Maldonado creció en población, mientras que Laberinto, Huepetuhe y Mazuko crecieron en importancia. El área de cuencas en el margen izquierdo del río Huepetuhe y Margen derecho del Río Caychihue, tienen comprometidas cerca de 9000 ha deforestado hasta 2008 (Mosquera et al. 2009) en las que se realiza la deforestación de las áreas para la extracción, eliminación de la capa del suelo y la extracción mecanizada del suelo.

A todas las escalas, desde los microhábitats hasta los continentes, la fragmentación de los ecosistemas está causando impactos negativos significativos (De Freitas et al. 2018). Los seres humanos han tenido una influencia perjudicial y sin precedentes en la salud de los ecosistemas, la resiliencia, la biodiversidad y el suministro de bienes y servicios ambientales de los que dependen todas las especies (SER 2008); es el caso de Madre de Dios sucede la eliminación total de la cobertura vegetal, eliminación del suelo y alteración del régimen hidrobiológico, por tanto la degradación de los ecosistemas.

La pérdida de cobertura forestal y fertilidad del suelo en los bosques tropicales ha estimulado el desarrollo de diferentes modelos de restauración ecológica (SER 2008), la estrategia de restauración de bosques incluye la imitación de la sucesión natural secundaria (Benvenuti-Ferreira et al. 2009). Restablecer



las interacciones y los procesos ecológicos que vinculan a las especies entre sí y con el medio abiótico es una parte importante de este proceso, así como salvar a las especies amenazadas (Sol-Sánchez et al. 2002). A largo plazo, la restauración se esfuerza por devolver los ecosistemas a su estado original en términos de estructura, composición, diversidad de especies y funcionamiento (Vargas-Rios, 2011).

Por lo que el establecimiento arbóreo contribuye a la fácil recuperación de los procesos y parámetros ecológicos, como el incremento y acumulación de hojarasca, ciclo de nutrientes y el incremento significativo en diversidad de flora y fauna (Benvenuti-Ferreira et al. 2009). Los Modelos de restauración basados en utilizar recursos heterogéneos de especies arbóreas en diferentes categorías sucesionales han sido propuestas en proyectos de restauración en zonas de minería en el estado de Pará, Brasil desde hace más de dos décadas (Benvenuti-Ferreira et al. 2009).

Un recurso fundamental para restaurar estas zonas son las especies de plantas herbáceas y leñosas autóctonas que tienen el potencial de crecer en zonas muy alteradas y, con el tiempo, restaurar la fertilidad del suelo, un microclima y un ciclo hidrológico similares a los que se encontraban en el original, y el establecimiento de al menos parte de la flora y fauna autóctonas que aún existen en algunos lugares (Vázquez-Yanes y Batis 2017). En el presente proyecto de investigación se evaluó la vegetación leñosa y las características fisicoquímicas del suelo en dos áreas reforestadas por minería aurífera en el distrito de Huepetuhe. Estos valores se compararon con datos obtenidos en el bosque de referencia. Para el desarrollo del estudio se utilizó un diseño no experimental de corte transversal.

El objetivo principal del estudio fue: evaluar la vegetación y características fisicoquímicas suelo de plantaciones en áreas degradadas por minería en el distrito de Huepetuhe.

## **Agradecimientos**

Se agradece al programa de becas ACIERTA-AMAZONIA, del Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA), por el financiamiento de la presente investigación. Aprobado por resolución rectoral N° 037-2023-UNAMAD-R, y mediante convenio específico de colaboración entre becarios y la asociación “Centro de Innovación Científica Amazónica” programa de becas acierta Amazonia.

## ÍNDICE

<b>Presentación .....</b>	<b>i</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>ii</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>iv</b>
<b>CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Descripción del problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Formulación del problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1. Problema general .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1. Problemas específicos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.1. Objetivo general .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Variables.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.1. Identificación de variables .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Antecedentes de estudio .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2. Marco teórico .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. Definición de términos .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1. Tipo de estudio .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2. Diseño de la investigación.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3. Población y muestra.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.1. Población .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.2. Muestra.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4. Métodos y técnicas.....</b>	<b>22</b>
<b>3.4.1. Área de estudio .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4.2. Fase de Campo .....</b>	<b>26</b>
<b>3.4.3. Fase de Gabinete .....</b>	<b>27</b>

3.4.4. Instrumentos .....	28
a. Material de campo .....	28
b. Equipos .....	29
c. Materiales de gabinete .....	29
3.5. Tratamiento de datos.....	29
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
4.1 Abundancia, riqueza, diversidad de especies y composición florística de especies arbóreas. ....	31
4.2 Características fisicoquímicas del suelo.....	40
4.3 Similitud florística entre las plantaciones en áreas degradadas, bosque secundario y bosque primario remanente.....	43
4.4 Comparación entre las características fisicoquímicas del suelo entre las plantaciones en áreas degradadas y los bosques de referencia. ....	47
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>SUGERENCIAS.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> operacionalización de variables para el presente estudio. ....	5
<b>Tabla 2:</b> Lista de especies utilizadas en la revegetación en Huepetuhe. Plantadas inicialmente [®] Especies en reposición [©]. FUENTE: propia a partir de (Bulnes 2004). ....	24
<b>Tabla 3.</b> Abundancia, riqueza, diversidad de especies encontradas las 16 parcelas evaluadas en plantaciones en áreas degradadas por la minería aurífera y en bosques de referencia. ....	31
<b>Tabla 4.</b> Veinte especies más abundantes y dominantes de las plantaciones y los bosques de referencia (primario y secundario).....	33
<b>Tabla 5.</b> Diez familias más abundantes y dominantes de las plantaciones y los bosques de referencia (primario y secundario). ....	34
<b>Tabla 6.</b> Promedio de las características fisicoquímicas del suelo de las áreas abandonadas por la minería, bosque primario, bosque secundario y las parcelas de las plantaciones de 24 años en áreas degradadas por la minería aurífera. ....	40
<b>Tabla 7.</b> Resultados del análisis fisicoquímico del suelo de las áreas abandonadas por la minería (SM), bosque primario (BP), bosque secundario (BS) y las parcelas de las plantaciones (Sitio 1 y Sitio 2) de 24 años en áreas degradadas por la minería aurífera. CE = Conductividad eléctrica; MO = Materia orgánica; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; A.Fr. = Arena franca; A = Arena; Fr.A. = Franco arenoso. ....	42
<b>Tabla 8.</b> Similitud florística (%) promedio entre el bosque primario, bosque secundario y las parcelas de las plantaciones de 24 años en áreas degradadas por la minería aurífera.....	43
<b>Tabla 9.</b> Similitud florística (%) entre las parcelas evaluadas según sitio....	44
<b>Tabla 10.</b> Comparaciones múltiples en la similitud florística entre los sitios evaluados. ....	46
<b>Tabla 11.</b> Textura del suelo de plantaciones y los bosques de referencia (primario y secundario). SM = Suelo minería recientemente abandonada; BP = bosque primario; y BS = bosque secundario. ....	48
<b>Tabla 12.</b> Características químicas del suelo de plantaciones y los bosques de referencia (primario y secundario). SD = Desviación estándar. CV =	

Coeficiente de variación (%). SM = Suelo minería recientemente abandonada; BP = bosque primario; y BS = bosque secundario..... 49

**Tabla 13.** Características químicas del suelo (iones, cationes y bases) de plantaciones y los bosques de referencia (primario y secundario). SD = Desviación estándar. CV = Coeficiente de variación (%). SM = Suelo minería recientemente abandonada; BP = bosque primario; y BS = bosque secundario. .... 50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representación esquemática del proceso de Restauración .....	18
<b>Figura 2.</b> Esquema gráfico de los cambios del área de estudio desde la plantación (1999) hasta la recuperación de la cobertura vegetal (2023). ....	23
<b>Figura 3.</b> Ubicación del área de estudio, áreas reforestadas y el bosque de referencia, en el distrito de Huepetuhe. UTM (WGS84, 19S) .....	25
<b>Figura 4.</b> Establecimiento de las parcelas de vegetación y colecta de especímenes vegetales. ....	26
<b>Figura 5.</b> Colecta de muestra compuesta de suelo. ....	27
<b>Figura 6.</b> especímenes vegetales colectados se herborizaron, codificaron y secaron en el herbario Alwyn Gentry de la UNAMAD. Asimismo, posteriormente se identificaron a todos los especímenes colectados. ....	27
<b>Figura 7.</b> Procesamiento de las muestras de suelo en laboratorio, secado y acondicionado para el envío al laboratorio, para la caracterización fisicoquímica. ....	28
<b>Figura 8.</b> Gráfico de barras ( $\pm$ desviación estándar) de la comparación de la abundancia, de especies arbóreas en plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería, en comparación de un bosque primario y bosque secundario. Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni del ANOVA. ....	35
<b>Figura 9.</b> Gráfico de barras ( $\pm$ desviación estándar) de la comparación del área basal en plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería, en comparación de un bosque primario y bosque secundario. Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni del ANOVA. ....	36
<b>Figura 10.</b> Gráfico de barras ( $\pm$ desviación estándar) de la comparación de la riqueza de especies arbóreas en plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería, en comparación de un bosque primario y bosque secundario. Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni del ANOVA. ....	37

- Figura 11.** Gráfico de barras ( $\pm$  desviación estándar) de la comparación de la diversidad (índice de diversidad de Shannon) de especies arbóreas en plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería, en comparación de un bosque primario y bosque secundario. Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni del ANOVA..... 38
- Figura 12.** Gráfico de barras ( $\pm$  desviación estándar) de la comparación de la diversidad (índice de diversidad de  $\alpha$ -Fisher) de especies arbóreas en plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería, en comparación de un bosque primario y bosque secundario. Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Student-Newman-Keuls del test de Kruskal-Wallis. .... 39
- Figura 13.** Análisis de componentes principales (PCA) de las características fisicoquímicas del suelo en los cuatro sitios evaluados. .... 41
- Figura 14.** Similitud florística representada en dimensión reducida (2D), mediante el análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS), entre los bosques y las plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería. .... 45
- Figura 15.** Similitud florística representada en dimensión reducida (2D), mediante el análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS), entre los bosques y las plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería. .... 46
- Figura 16.** Comparación de las características fisicoquímicas del suelo, (a) pH. (b) Capacidad de intercambio catiónico (CIC), entre los suelos de minería, las dos plantaciones y los bosques primarios y secundarios. Letras diferentes con los promedios representan diferencias significativas a la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni, posterior al análisis de varianza. .... 47



## **CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Descripción del problema**

La deforestación y degradación de suelos ocasionadas por actividades mineras, en los países en desarrollo, como el Perú, ocasionan efectos ambientalmente dañinos y de la severidad de estos reducirá su resiliencia (Lebel 2015). En Madre de Dios, las zonas con gran actividad minera son Huepetuhe, Delta 1 y La Pampa. En Huepetuhe, la actividad minera aurífera se inició por la década de 1950 (Mosquera et al, 2009). En el margen izquierdo de la cuenca del rio Huepetuhe y Margen derecho del Rio Caychihue, tienen comprometidas cerca de 9000 ha deforestado hasta 2008 (Mosquera et al. 2009) en las que se realiza la deforestación de las áreas para la extracción, eliminación de la capa del suelo y la extracción mecanizada del suelo.

El severo efecto del ser humano sobre la naturaleza ha perjudicado la salud de los ecosistemas, su capacidad de recuperación, la biodiversidad y el suministro de bienes y servicios ambientales (SER 2008); es el caso de Madre de Dios sucede la eliminación total de la cobertura vegetal, eliminación del suelo y alteración del régimen hidrobiológico, por tanto la degradación de los ecosistemas.

La pérdida de cobertura forestal y fertilidad del suelo en los bosques tropicales ha estimulado el desarrollo de diferentes modelos de restauración ecológica. La restauración ecológica es definida como “el proceso de ayudar el restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido” (SER 2008), la estrategia de restauración de bosques incluye la imitación de la sucesión natural secundaria (Benvenuti-Ferreira et al. 2009). Mediante la restauración se pretende devolver a los ecosistemas su estructura, composición de especies, diversidad y funcionamiento originales. Por lo tanto,

la restauración de ecosistemas degradados por la actividad minera es un proceso muy importante, con la restauración ecológica se da prioridad al desarrollo de la calidad del suelo, a la revegetación del lugar degradado y a la colonización de las poblaciones de fauna (Bandyopadhyay y Maiti 2019).

Por lo que el establecimiento arbóreo contribuye a la fácil recuperación de los procesos y parámetros ecológicos, como el incremento y acumulación de hojarasca, ciclo de nutrientes y el incremento significativo en diversidad de flora y fauna (Benvenuti-Ferreira et al. 2009). Los Modelos de restauración basados en utilizar recursos heterogéneos de especies arbóreas en diferentes categorías sucesionales han sido propuestas en proyectos de restauración en zonas de minería en el estado de Pará, Brasil desde hace más de dos décadas (Benvenuti-Ferreira et al. 2009).

En la actualidad los programas de reforestación en la zona de estudio son escasos, y se tiene reportado únicamente el desarrollado por el gobierno peruano, han hecho uso principalmente de especies arbóreas exóticas, experiencia de revegetación en Huepetuhe que utilizaron especies traídas de Brasil como *Acacia mangium*, *Acacia holosericea*, *Mimosa caesalpinifolia*, etc. (Bulnes 2004). Sin embargo, los bosques de especies exóticas suelen convertirse en desiertos verdes y estériles porque son incapaces de sustentar la gran mayoría de las especies vegetales y animales autóctonas y, cuando se plantan en laderas, fracasan estrepitosamente en su cometido de proteger los suelos de la erosión y ayudar a restablecer el ciclo hidrológico natural (Vasquez et al. 1999). Asimismo, los procesos de restauración deben de ser graduales, donde la propia naturaleza se encargará de su continuidad y de su incremento de la biodiversidad local, tanto vegetal como animal, siendo el monitoreo de estas áreas de fundamental importancia para la eficiencia de este proceso. En esta perspectiva, la recuperación de áreas degradadas a través de la **Nucleación** utiliza la capacidad que las especies tienen para mejorar el ambiente, facilitando la ocupación por otras especies (Mirella y Bündchen 2013).

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuáles serán las características de la vegetación y las propiedades fisicoquímicas del suelo de plantaciones de más de 20 años en áreas degradadas por minería aurífera, en comparación con el bosque de referencia, en Huepetuhe, Madre de Dios?

### **1.2.1. Problemas específicos**

- ¿Cuál será abundancia, riqueza, diversidad de especies y florísticas de especies leñosas en dos plantaciones de más de 20 años de establecimiento en áreas degradadas por minería aurífera?
- ¿cómo serán las características fisicoquímicas del suelo en dos plantaciones de más de 20 años de establecimiento en áreas degradadas por minería aurífera?
- ¿Cuál será el nivel de similitud florística entre las plantaciones en áreas degradadas y el bosque de referencia?
- ¿Cuál será el nivel de similitud en las características fisicoquímicas del suelo entre las plantaciones en áreas degradadas y el bosque de referencia?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar las características de la vegetación y las propiedades fisicoquímicas del suelo de plantaciones de más de 20 años en áreas degradadas por minería aurífera y compararlas con el bosque de referencia, en Huepetuhe, Madre de Dios.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la abundancia, riqueza, diversidad de especies y florística de especies leñosas en dos plantaciones de más de 20 años de establecimiento en áreas degradadas por minería aurífera.

- Evaluar las características fisicoquímicas del suelo en dos plantaciones de más de 20 años de establecimiento en áreas degradadas por minería aurífera.
- Comparar la similitud florística entre las plantaciones en áreas degradadas y el bosque de referencia.
- Comparar las características fisicoquímicas del suelo entre las plantaciones en áreas degradadas y el bosque de referencia.

#### **1.4. Variables**

Las variables consideradas para el presente estudio serán son las siguientes:

##### **1.4.1. Identificación de variables**

###### **a. Variables Independientes**

- Naturaleza del bosque (Plantaciones en áreas degradadas y bosque de referencia).
- Especies utilizadas en la plantación inicial.

###### **b. Variables Dependientes**

- Abundancia de especies.
- Riqueza de especies.
- Diversidad de especies.
- Composición florística.
- Estructura horizontal.
- Similitud florística.
- Características fisicoquímicas del suelo.

### 1.5. Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables para este estudio se muestra en la Tabla 1 a continuación.

**Tabla 1.** operacionalización de variables para el presente estudio.

<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Tipo</b>	<b>Definición para el estudio</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Escala/unidad</b>
<b>Independientes</b>	Naturaleza del bosque	Tipo de bosque	Cualitativa	Para el estudio se consideraron dos tipos de bosques, según su naturaleza. Dos serán plantaciones establecidas hace más de 20 años en áreas degradadas por minería en Huepetuhe, y un bosque remanente sin impactos de la minería, el cual servirá como ecosistema de referencia a comparar.	Evaluación	Bosque
	Especies utilizadas en la plantación inicial.	Especies	Cualitativa	Se considerará la composición de especies utilizadas en la plantación inicial	Evaluación	Especie

**Tabla 1.** operacionalización de variables para el presente estudio.

Variables	Dimensión	Indicador	Tipo	Definición para el estudio	Instrumento	Escala/unidad
<b>Dependientes</b>	Atributos estructurales del bosque	Diámetro	Cuantitativa	Diámetro de los individuos, que será medido cada individuo leñoso identificado en la parcela	Cinta diamétrica	cm
		Altura	Cuantitativa	Altura de los individuos, que será medido cada individuo registrado en la parcela	Clinómetro	m
		Estructura vertical	Cuantitativa	Número de individuos agrupados según categorías de altura (cada 2 m).	Evaluación	Número de individuos / Clase de altura
		Estructura horizontal	Cuantitativa	Número de individuos agrupados según categorías de diámetro (cada 5 cm).	Evaluación	Número de individuos / Clase de diámetro
	Atributos florísticos	Riqueza de especies	Variable cuantitativa	Número de especies por unidad de muestreo (parcela), total y según categorías de regeneración	Evaluación	Número de especies
		Índices de diversidad	Variable cuantitativa	Valores de los índices de diversidad de Shannon y $\alpha$ -Fisher por unidad de muestreo (parcela), total y según categorías de regeneración	Evaluación	Adimensional
		Similitud florística	Variable cuantitativa	Porcentaje de similitud, obtenido mediante los índices de similitud de Bray-Curtis y Jaccard.	Evaluación	Porcentaje de similitud
	Características físicas y químicas del suelo	Características físicas del suelo	Variable cuantitativa	Contenido de arena, Arcilla y Limo, Contenido de materia orgánica	Evaluación	%
		Características químicas del suelo	Variable cuantitativa	pH, K, P, Cationes cambiabiles, Capacidad de Intercambio Catiónico	Evaluación	ppm, mg kg <sup>-1</sup>

## **1.6. Hipótesis**

### **1.6.1. Hipótesis general**

**Hipótesis alterna:** Se espera encontrar una menor abundancia, riqueza y diversidad de especies de flora en las plantaciones que en el bosque de referencia. Este se reflejaría en una menor similitud florística. Se espera encontrar diferencias en las características fisicoquímicas del suelo entre las plantaciones establecidas en áreas degradadas por minería y el bosque de referencia. Específicamente, en las plantaciones esperamos encontrar suelos de textura arenosa, suelos ácidos, un menor porcentaje de materia orgánica y una menor capacidad de intercambio catiónico, en comparación con el bosque de referencia.

### **1.6.2. Hipótesis específicas**

**Hipótesis específica alterna 1:** La abundancia, riqueza, diversidad de especies y florística de especies leñosas será menor en las dos plantaciones en áreas degradadas por minería aurífera que en los bosques de referencia.

**Hipótesis específica alterna 2:** Las características fisicoquímicas del suelo en dos plantaciones en áreas degradadas por minería aurífera se diferenciarán de forma significativa con las características fisicoquímicas suelos recientemente abandonados por la minería aurífera.

**Hipótesis específica alterna 3:** Se espera encontrar diferencias significativas en composición de especies entre las plantaciones en áreas degradadas y los bosques de referencia.

**Hipótesis específica alterna 4:** Las características fisicoquímicas del suelo en dos plantaciones en áreas degradadas por minería aurífera se diferenciarán de forma significativa con los bosques de referencia .

## **1.7. Justificación**

Entonces, considerando lo comprometido que están los bosques de Madre de Dios, y sus consecuentes impactos en la calidad ambiental por la minería aurífera, la recuperación de las áreas de bosque degradadas por esta

actividad es una necesidad actual y urgente. En este sentido, para el éxito en la recuperación de las áreas degradadas por la minería aurífera en Madre de Dios, requiere la adopción de procedimientos adecuados de implantación y mantenimiento de la diversidad local, con el objetivo de una restauración y/o rehabilitación del ecosistema. Iniciativas que vienen desarrollando diferentes instituciones en Madre de Dios desde diferentes enfoques, por ejemplo el establecimiento de especies arbóreas (Román-Dañobeytia et al. 2015; 2020; Lefebvre et al. 2019) o mediante cultivos de cobertura (Velásquez Ramírez, del Castillo Torres, et al. 2021; Velásquez Ramírez, Vega Ruiz, et al. 2021). Sin embargo, estas iniciativas son recientes (<10 años), mientras que el sitio a evaluar tiene más de 20 años de establecimiento, por lo cual nos brindará una mayor información sobre el potencial de recuperación de áreas degradadas en Madre de Dios.

Los efectos ambientalmente dañinos en los países en desarrollo se ven ahora agravados por las desastrosas consecuencias de la industrialización y la modernización, la explotación de los recursos mineros del ecosistema reduce automáticamente su capacidad de recuperación o habilidad de reponerse "*su resiliencia*". La destrucción de los bosques tropicales va en aumento, modificando el paisaje y creando así nuevas condiciones a las cuales la vegetación tiene que adaptarse (Lugo 1997). Dentro de esa perspectiva la minería aluvial se presenta como fuerte modificadora del paisaje, de grandes extensiones (>100000 ha) en Madre de Dios (Caballero et al. 2018; Alarcon-Aguirre et al. 2021), que presentan difícil recuperación a corto plazo, pues además de la vegetación se degrada severamente los suelos y la calidad del agua.

Una de las alternativas para la recuperación de estas áreas que a su vez posibilitan la reducción de costos de recuperación o retorno de las áreas a una condición más próxima a la original (enfoque de Restauración Ecológica). En esta nueva tendencia se prioriza el manejo e inducción de los procesos ecológicos, con el objetivo de aprovechar y estimular la resiliencia del ecosistema. Para eso, el conocimiento de la vegetación colonizadora de áreas, bien como aspecto relacionado a las condiciones edáficas y la



autoecología de las especies, son fundamentales para la definición de metodologías de restauración (Squizzato 2005).

Por lo que es importante reportar las estrategias utilizadas para la recuperación de las áreas degradadas por la minería en Madre de Dios. En la última década se han venido desarrollando diversos trabajos experimentales, desde diferentes enfoques, para recuperar la cobertura vegetal en áreas severamente degradadas por la minería. Por ejemplo, Román-Dañobeytia et al. (2015) estudiaron el establecimiento inicial de cuatro especies de árboles nativos en un área degradada por la minería aurífera; encontraron que la supervivencia y el crecimiento de las plántulas variaron según especie, los métodos de plantación y la intensidad de la biofertilización. Asimismo, estimaron que los costos de reforestación varían entre 1162 y 3464 dólares por hectárea (Román-Dañobeytia et al., 2015).

En este contexto, en el presente estudio se evaluó la vegetación leñosa y las características fisicoquímicas del suelo en dos plantaciones en áreas degradadas por minería aurífera en el distrito de Huepetuhe, Tambopata, Madre de Dios. Por lo tanto, el estudio se justifica por su importancia en el aporte al conocimiento científico para la recuperación de áreas severamente degradadas por minería aurífera. La información que se obtendrá en el estudio de una de las plantaciones más antiguas (23 años) en áreas degradadas por minería brindará información base que se podrá aplicar en futuros proyectos de reforestación o restauración ecológica de estas áreas degradadas.

## **1.8. Consideraciones éticas**

Para el presente proyecto de tesis se consideró el código nacional de integridad científica establecido por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), y aprobado con Resolución de Presidencia N° 192-2019-CONCYTEC-P. Esta norma “establece normas de conducta, infracciones y sanciones para toda persona natural o jurídica que realice investigación científica, desarrollo tecnológico y/o

innovación tecnológica en el Perú, y promueve la adaptación de buenas prácticas y la integridad de la investigación científica” (CONCYTEC 2019).

Además, se cumplió con lo establecido por la normatividad interna de la UNAMAD. (1) Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, el mismo que fue aprobado con Resolución de Consejo Universitario N° 541-2018-UNAMAD-CU. (2) Código de ética de la UNAMAD, aprobado por resolución N° 249-2012-UNAMAD-COyG. (3) Reglamento de evaluación de originalidad en trabajos de investigación de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios – REOTI v1.0.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de estudio**

#### **Alcance internacional**

Bandyopadhyay y Maiti (2019) en un artículo de revisión analizaron la importancia de evaluar el éxito de la restauración ecológica mediante el uso de cuatro indicadores: (1) el ensamblaje de las comunidades vegetales y animales, (2) la actividad enzimática, (3) acumulación y descomposición de la hojarasca y (4) y la mejora de la calidad del suelo. Encontraron, que, aunque hay muchos indicadores para seguir la trayectoria de recuperación de los ecosistemas, como las características de la calidad del suelo, las comunidades vegetales, la presencia de vertebrados, invertebrados y similares, resulta complicado rastrear la comunidad faunística como indicador del éxito de la restauración. En cambio, los parámetros fisicoquímicos del suelo (fosforo, calcio, magnesio, CIC, pH y contenido de arcilla) son más adecuados y fiables para medir el éxito de la restauración (Bandyopadhyay y Maiti 2019).

Ilinkin y Dimitrova (2019) realizaron la comparación de dos enfoques para la recuperación de áreas degradadas por minería de carbón en Bulgaria y su influencia en las características fisicoquímicas del suelo. Los enfoques comparados fueron reforestación con especies arbóreas y revegetación espontánea en suelos degradados por la minería de carbón. Encontraron que la mayoría de las características del suelo, como la densidad aparente, la porosidad total, el contenido de arena, el limo, el coeficiente de agua disponible para las plantas, el pH, el carbono orgánico total, el nitrógeno Kjeldahl total y el potasio disponible son estadísticamente diferentes entre los dos tipos de vegetación. Por ejemplo, la densidad aparente y porosidad del

suelo son superiores en los sitios con vegetación espontánea (restauración pasiva) (Ilinkin y Dimitrova 2019).

Šebelíková et al. (2019), en un estudio a gran escala en Europa central analizaron y compararon el desarrollo de la vegetación y riqueza de especies entre dos métodos de restauración en áreas degradadas por minería de carbón. Demostraron que el uso de una mezcla de especies leñosas autóctonas puede crear una vegetación diversa que puede parecerse a los bosques naturales. Sin embargo, el resultado de la revegetación espontánea es la aparición de lugares con mayor riqueza de especies vegetales autóctonas. Por lo tanto, la revegetación espontánea demostró ser más valiosa en términos de conservación de la naturaleza y debería considerarse como una estrategia de restauración alternativa a la recuperación forestal en Europa Central. Interesantemente, basado en estos resultados Šebelíková et al. (2019) recomiendan un enfoque de intervención mínima como una opción más ecológica y rentable para la restauración de los sitios post-minería en Europa Central.

### **Alcance nacional**

Kahhat et al. (2019) analizaron el ciclo de vida de los impactos ambientales la minería aurífera aluvial en los bosques de la Amazonia peruana. Utilizaron la metodología de la evaluación del ciclo de vida. Kahhat et al. (2019) seleccionaron y modelizaron cuatro sistemas de extracción predominantes y se modelaron tres escenarios que reflejan los sistemas de recuperación de oro disponibles en la actualidad, además evaluaron los métodos de evaluación del impacto del ciclo de vida USEtox e IPCC para evaluar los impactos ambientales en términos de toxicidad humana, ecotoxicidad en agua dulce y cambio climático. Encontraron que: (1) más del 80% de la toxicidad humana está relacionada con las emisiones de mercurio en las actividades de recuperación del oro; (2) la recuperación del mercurio y las tablas gravimétricas reducen considerablemente los impactos de la toxicidad

humana; y (3) la deforestación en las actividades mineras contribuye en gran medida al cambio climático (Kahhat et al. 2019).

Whaley et al. (2010) analizaron un enfoque ecosistémico para la restauración de la vegetación y la gestión sostenible de los recursos en Ica, Perú. El estudio se basó en un amplio inventario y estudio interdisciplinario de la biodiversidad, en el que la participación de la escuela, la comunidad y la agroindustria se considera un requisito previo para el éxito. Sus resultados sugieren que la restauración ecológica y del hábitat requiere una comprensión de la relación cambiante de la sociedad en general con sus recursos naturales y su ecosistema. Cada vez se reconoce más la importancia de reconocer los aspectos ambientales y sociales de la restauración.

Chazdon y Guariguata (2016) evaluaron las perspectivas y desafíos de la regeneración natural como herramienta para la restauración forestal a gran escala en los trópicos. Chazdon y Guariguata (2016) sugieren formas para permitir que la regeneración natural se convierta en una herramienta eficaz para implementar la restauración de bosques y paisajes a gran escala. Entre las que destaca la de alinear los objetivos y las prácticas de restauración con la regeneración natural puede lograr el mejor resultado posible para conseguir múltiples beneficios sociales y medioambientales con un coste mínimo.

### **Alcance local**

Lefebvre et al. (2021) analizaron el potencial de captura de carbono en proyectos de reforestación desarrollados por el Centro de Innovación Científica Amazónica (CIN CIA) en Madre de Dios. Para esto utilizaron la evaluación del ciclo de vida para cuantificar la huella de carbono del establecimiento de una parcela de reforestación en la Amazonia peruana. Paralelamente, combinamos un modelo de carbono del suelo con un modelo de carbono vegetal por encima y por debajo del suelo para predecir el aumento de las reservas de carbono tras la plantación. Lefebvre et al. (2021) demostraron que las aplicaciones de biocarbón durante la reforestación

pueden compensar parcialmente las emisiones del proyecto. Además, reportan dificultades cuando se determina el carbono capturado por proyecto de reforestación, esto principalmente se debe a: (1) se ignora el tiempo necesario para que los árboles alcancen su potencial de captura de carbono; (2) se ignoran las emisiones de gases de efecto invernadero que conlleva el establecimiento de una parcela; (3) se informa del potencial de captura de carbono por árbol plantado, ignorando así las limitaciones a nivel del ecosistema forestal; o (4) se subestiman las pérdidas de árboles debidas a las inevitables perturbaciones humanas y climáticas.

Garate-Quispe et al. (2021) reportaron una de las experiencias más antiguas de reforestación de áreas degradadas en Madre de Dios, el proyecto piloto de reforestación en Huepetuhe (luego de 20 años de su establecimiento), sobre el cual se enfocó el presente estudio. Este trabajo se enfocó en analizar el desarrollo estructura y la florística en estas plantaciones abandonadas de hasta 20 años. Encontraron que la vegetación espontánea viene ocupando los diferentes estratos del bosque, y que estas representan más del 80% de las especies presentes en estas áreas revegetadas. Otro resultado interesante fue que estos bosques almacenan entre el 30-69% de biomasa que un bosque secundario de similar tiempo de abandono.

Garate-Quispe, de Leon, et al. (2021), en un estudio experimental evaluaron el crecimiento y la supervivencia de *Vetiveria zizanioides* en suelos degradados por la minería del oro en Madre de Dios, en comparación con otros sustratos (suelo de bosque, y dos suelos con enmienda). No encontraron diferencias en la supervivencia según tipo de sustrato. Mientras que la biomasa total por planta fue menor en los sustratos de minería aurífera que en los otros sustratos. La biomasa total fue significativamente mayor en el suelo enmendado que en los otros sustratos, con rendimientos entre 1,7 y 3,6 veces más biomasa en el sustrato enmendado que en los sustratos provenientes de la minería aurífera. Los resultados de Garate-Quispe, de Leon, et al. (2021), sugieren que estos se pueden utilizar para futuros trabajos de biorremediación de suelos.

Lefebvre et al. (2019) en un estudio experimental desarrollado en Madre de Dios, evaluaron el potencial del uso del biocarbón como herramienta para la reforestación de suelo degradado por minería aurífera en Madre de Dios. El estudio se enfocó en dos especies abundantes en Madre de Dios, *Guazuma crinita* Mart. y *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell. Encontraron que la supervivencia fue mayor en el tratamiento con biocarbón de 1 t/ha., mientras que los tratamientos que contenían fertilizantes o biocarbón de 5 t/ha. redujeron la tasa de supervivencia de ambas especies en comparación con el control. Interesantemente, la adición simultánea de biocarbón y fertilizantes produjo un aumento significativo de la altura, el diámetro, el número total de hojas y la biomasa aérea y subterránea de ambas especies en comparación con otros tratamientos. Lefebvre et al. (2019) concluyen que el biocarbón puede mejorar en gran medida los proyectos de reforestación/forestación al aumentar el rendimiento de las plantas y reducir sustancialmente los costos de mantenimiento de los fertilizantes y la mano de obra. Se necesitan experimentos de campo y pruebas con otras especies para generalizar los resultados.

Román-Dañobeytia et al. (2020) reportaron uno de los experimentales a gran escala desarrollados para recuperar la cobertura vegetal con 51 especies arbóreas en Madre de Dios. Evaluaron los niveles de degradación del suelo y analizaron la supervivencia y crecimiento inicial de las 51 especies arbóreas tropicales. Encontraron que la densidad de madera de las especies arbóreas se correlaciona significativamente con la supervivencia inicial de las especies. Además, añadiendo biocarbón en las especies de densidad baja y medio incrementa significativamente su crecimiento. Mientras que en las especies de alta densidad no se encontró similar efecto.

Bulnes (2004), en su informe técnico, reporta los resultados iniciales del proyecto de revegetación de áreas afectadas por la actividad minera en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios – Perú, MINEM – UNALM. El proyecto representa uno de los primeros intentos reportados con éxito por recuperar la

cobertura vegetal de las áreas degradadas por actividad minera aluvial en Huepetuhe. La iniciativa fue estatal mediante el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) en convenio con la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) y la Agencia Brasileña de Cooperación ABC; con el objetivo de generar un modelo piloto y demostrativo exitoso de revegetación de estos pasivos ambientales, el cual “serviría” para posteriores replicas en grandes extensiones que fueron afectadas en diversas zonas de la Región (cosa que no se cumple hasta la actualidad), la inversión estimada fue de aproximadamente de USD\$ 185 000.00. El proyecto inicio en 1999, en el distrito de Huepetuhe – Provincia de Manu, con la construcción de un vivero en Huepetuhe para la producción de plantones, para trasplante en 20 ha degradadas cercanas a la zona, en el ex aeropuerto y zonas cercanas a este. Como fuente de fosforo utilizaron roca fosfórica de Bayóvar. El criterio de selección de especies fue las que tengan un carácter rustico (leguminosas en su mayoría). Prepararon unos almácigos y se produjo 20000 plantones de especie forestales, mayoría leguminosas. El proyecto finalizó en febrero de 2004, en la que entregaron los responsables del proyecto a los responsables del Ministerio de Energía y Minas, a partir del cual el proyecto piloto fue abandonado y no cumplió con el rol de “proyecto piloto”, por el cual fue llevado a cabo.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Importancia de los bosques tropicales**

Las funciones de los bosques tropicales pueden ser productivas (madera, fibra, leña y productos forestales no madereros), medioambientales (regulación del clima, secuestro y almacenamiento de carbono, reserva de biodiversidad y conservación del suelo y el agua) y sociales (subsistencia de las poblaciones y culturas locales). Los bosques cumplen una combinación de funciones y pueden generar ingresos adicionales para las poblaciones locales y las economías nacionales a través del ecoturismo. Los bosques también tienen valores estéticos, científicos y religiosos. En este capítulo examinamos los principales servicios productivos y medioambientales de los bosques tropicales (Montagnini y Jordan 2005).



## **Sucesión**

La naturaleza tiene su propia capacidad de resistencia a las perturbaciones, ya que la recuperación natural tiene lugar para restablecer el ecosistema "prístino" que ha sido impactado. La recuperación implica la sucesión mediante la competencia entre especies, que se rige por la dinámica interna de un ecosistema y su variabilidad espacial local. Sin embargo, las fluctuaciones estacionales de los procesos del ecosistema no intervienen (Tripathi, Singh y Hills 2016).

### **Sucesión primaria**

La sucesión primaria es la respuesta biológica a una perturbación alógena (periódica) extrema, tras la formación de nuevas superficies terrestres compuestas por roca, arena, sustrato arcilloso (donde el suelo está totalmente ausente). La sucesión primaria permite comprender la pérdida de biodiversidad, los cambios en las condiciones climáticas y la influencia de las especies invasoras tras una perturbación (Walker y del Moral 2011; Tripathi, Singh y Hills 2016).

### **Sucesión secundaria**

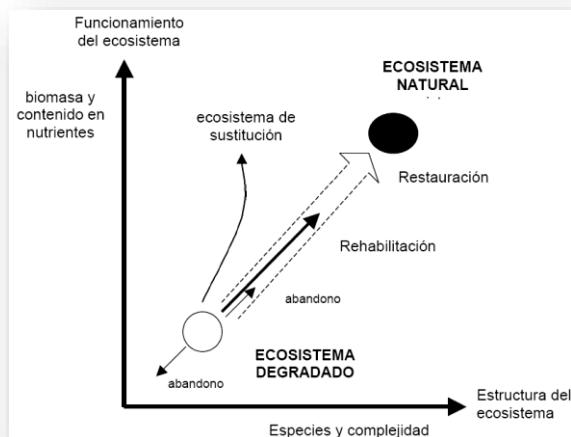
La sucesión secundaria puede producirse como respuesta a la perturbación alógena (por ejemplo, el fuego) o autógena (por ejemplo, la herbivoría), donde la destrucción parcial del paisaje deja el suelo intacto. La sucesión secundaria se diferencia de la primaria en que muchos de los colonizadores iniciales ya están presentes en un lugar perturbado (Walker y del Moral 2003; 2011).

## **2.2.2. Restauración ecológica**

SER (*Society for Ecological Restoration International*) definen la restauración ecológica como "el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido" y establece que "un ecosistema se ha recuperado - y está restaurado - cuando contiene suficientes recursos bióticos y abióticos para continuar su desarrollo sin asistencia o subsidio adicional" (SER, 2008).

La restauración ecológica pretende ayudar a los ecosistemas a autor regenerarse para que sean autosuficientes y estén conectados con el paisaje (Lindenmayer et al. 2008). “En este proceso se trata no solo de rescatar especies, sino recuperar las interacciones y procesos ecológicos donde las especies están relacionadas entre sí con el medio abiótico” (Sol-Sánchez et al. 2002). Restaurar un ecosistema es devolverle en el tiempo su estructura, composición diversidad de especies y funcionamiento de la manera más cercana a su estado original. (Machado 2000) sugiere que “habremos recuperado un trozo de naturaleza; y si la restauración falla, entonces podemos aprender un montón sobre los procesos ecológicos, siempre que seamos capaces de averiguar qué falló”.

En la Figura 1 se muestra el Esquema modificado de Bradshaw (1987), por ello, está ampliamente aceptado que la mejor manera de reparar un ecosistema es devolver gradualmente su estructura, composición de especies, diversidad de especies y funcionamiento general a su forma anterior a los daños.



**Figura 1.** Representación esquemática del proceso de Restauración

La restauración, por su parte, tiene en cuenta un proceso ecológico más complejo, con el objetivo principal de devolver las condiciones ambientales del lugar a su estado original. También busca incentivos económicos para fomentar el desarrollo de proyectos de restauración como consecuencia de esta necesidad global (Sol-Sánchez et al., 2002). Entonces, cualquier trabajo a largo plazo que tenga como meta reconstituir un ecosistema

autosustentable, sólido y resiliente, equilibrando integralmente los procesos naturales en una estructura lo más próximo posible a las comunidades naturales, será un trabajo de restauración ecológica. Para que las áreas degradadas se conviertan en bosque, mejorando con eficacia la conservación de la biodiversidad (Engel y Parrota 2003).

### **Qué condiciones favorecen la regeneración natural**

La regeneración natural está impulsada por procesos emergentes tanto a escala local como de paisaje. Los procesos paisajísticos incorporan implícitamente la acción humana y los medios de vida, ya que los ecosistemas forestales y agrícolas coexisten en arreglos espacial y temporalmente cambiantes. Por lo tanto, la regeneración natural está moldeada por procesos socioecológicos cambiantes que pueden ser sostenidos, mejorados u obstaculizados por las actividades humanas en escalas de tiempo cortas y largas (Chazdon y Guariguata 2016).

## **2.3. Definición de términos**

### **Área degradada**

Aquellas zonas cuyo suelo y vegetación se han degradado por la extracción excesiva de madera y/o productos no madereros, así como por la gestión inadecuada, los incendios recurrentes, el pastoreo u otras perturbaciones y usos de la tierra, hasta el punto de impedir o retrasar el rebrote del bosque tras su abandono (Roman et al. 2018).

### **Ecosistema**

Son redes de interrelaciones entre los organismos y su entorno en un espacio definido (Morecroft y Keith 2015).

### **Ecosistema de referencia**

Es el entorno que actúa como modelo para la planificación y posterior seguimiento de un esfuerzo de restauración. Indica un estado avanzado de

crecimiento a lo largo de la trayectoria ecológica de un ecosistema que se va a restaurar (Roman et al. 2018).

### **Forestación**

La forestación se define como “el establecimiento de un bosque mediante plantación o regeneración natural en zonas que en el pasado tenían bosque o no” (Bonnesoeur et al. 2019).

### **Rehabilitación**

“Cualquier intento por recuperar elementos estructurales o funcionales dentro de un ecosistema degradado. A diferencia de la restauración, la rehabilitación puede ayudar a restablecer algunas, pero no necesariamente todas, las especies de flora y fauna que originalmente estuvieron presentes” (Roman et al. 2018).

### **Restauración**

“Proceso de ayuda a la recuperación de un área, ecosistema, o paisaje degradado, dañado o destruido, con el propósito de retomar su trayectoria ecológica, mantener la resiliencia, conservar la diversidad biológica y restablecer la funcionalidad de los ecosistemas y paisajes” (Roman et al. 2018).

### **Regeneración natural**

La mejor manera de ver la regeneración natural es como un proceso gradual de recuperación de la estructura, la función y la composición del ecosistema anterior a la perturbación. Los cambios en la vegetación van acompañados de cambios en los microbios y la fauna del suelo (Chazdon y Guariguata 2016).

## **CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Tipo de estudio**

El tipo de investigación fue básico y cuantitativo (Hernández-Sampieri y Mendoza 2018).

### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación fue no experimental, debido a que no se realizaron intervención en las variables de estudio. Fue de corte transeccional, porque los datos se midieron en una evaluación en cada sitio de estudio y según el alcance fue comparativo (Hernández-Sampieri y Mendoza 2018), esto porque se realizaron comparaciones entre la composición florística y caracterización fisicoquímica de los suelos de las plantaciones en áreas degradadas por la minería y el bosque de referencia más cercano.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Las seis áreas de reforestación establecidas en áreas degradadas por minería aurífera en Huepetuhe, mediante el proyecto de eliminación de pasivos ambientales del Ministerio de Energía y Minas, y en convenio con la Universidad Agraria la Molina.

#### **3.3.2. Muestra**

El número de muestras se determinó mediante un muestreo no probabilístico intencional, es decir se evaluaron dos plantaciones en áreas degradadas y un bosque de referencia. Esto debido a que “el subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación” (Hernández-Sampieri y Mendoza 2018).

Para el presente proyecto se evaluó la vegetación leñosa (DAP > 1 cm) y las características fisicoquímicas del suelo de: (1) dos áreas reforestadas en áreas por minería; y (2) dos áreas de bosque de referencias remanente sin impacto de la minería (un bosque primario y un bosque secundario), cuatro sitios en total.

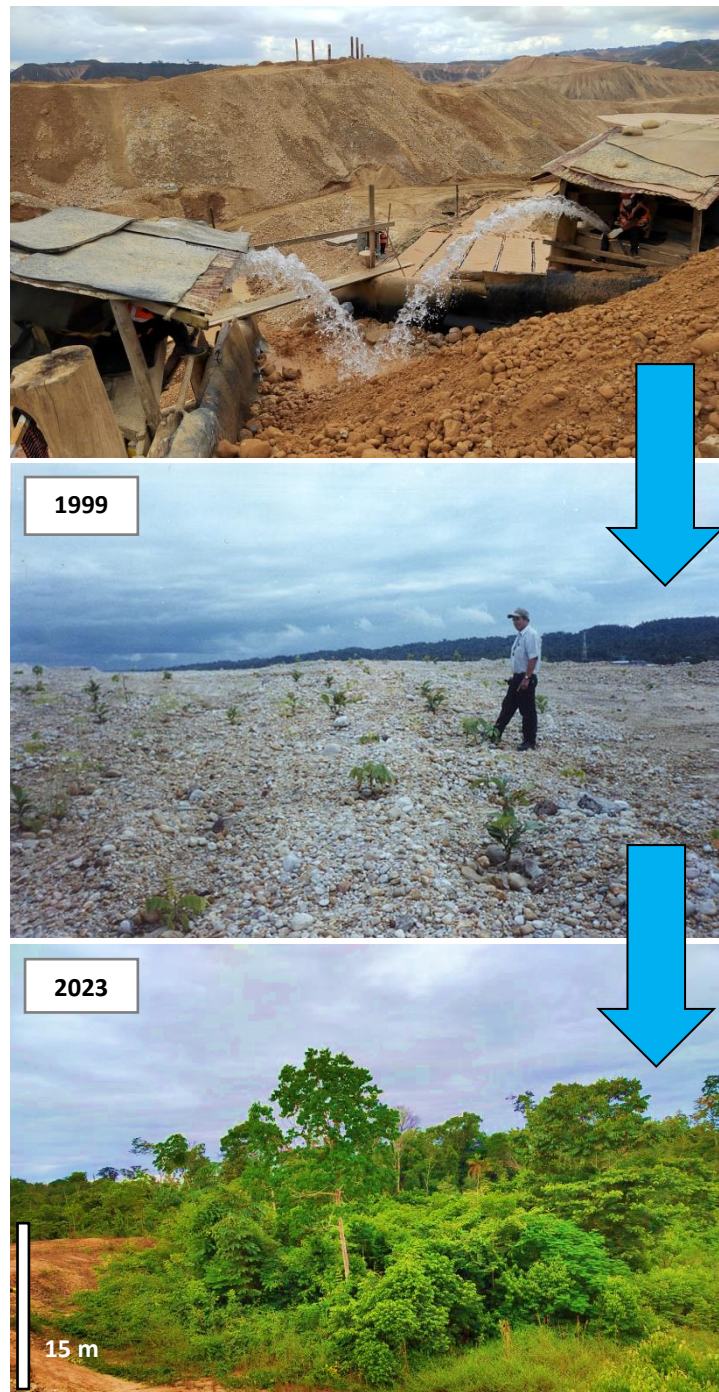
Para el análisis de la vegetación, la unidad de muestreo fueron parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 m × 10 m) (Šebelíková et al. 2018; Ilinkin y Dimitrova 2019). En cada uno de los sitios de muestreo se establecieron 4 parcelas, 16 en total. Además, en cada parcela evaluada se recogió una muestra compuesta de suelo.

### **3.4. Métodos y técnicas**

#### **3.4.1. Área de estudio**

El área de estudio se encuentra en el distrito de Huepetuhe, provincia de Manu, región Madre de Dios. Las áreas reforestadas se encuentran entre 500 m a 2500 m del centro poblado de Huepetuhe (Figura 3).

El proyecto de reforestación en áreas abandonadas por la actividad minera inició en 1999, en el distrito de Huepetuhe – Provincia de Manu, con la construcción de un vivero en Huepetuhe para la producción de plántones, para trasplante en 20 ha degradadas cercanas al centro poblado de Huepetuhe. Como fuente de fósforo utilizaron roca fosfórica de Bayóvar. El criterio de selección de especies fue las que tengan un carácter rústico. Prepararon unos almácigos y se produjo 20000 plántones de especie forestales, mayoría leguminosas. En la Tabla 2 se muestran a las especies que utilizaron en el proyecto de revegetación en Huepetuhe, en las tres áreas pilotos, además se muestran las que se plantaron inicialmente y las con reposición posterior. El proyecto finalizó en febrero de 2004, en la que entregaron los responsables del proyecto a los responsables del Ministerio de Energía y Minas, a partir del cual el proyecto piloto fue abandonado y no cumplió con el rol de “proyecto piloto”, por el cual fue llevado a cabo.



**Figura 2.** Esquema gráfico de los cambios del área de estudio desde la plantación (1999) hasta la recuperación de la cobertura vegetal (2023).

**Tabla 2:** Lista de especies utilizadas en la revegetación en Huepetuhe. Plantadas inicialmente [®] Especies en reposición [©]. FUENTE: propia a partir de (Bulnes 2004).

lista de especies	Zona 1 [1999]	Zona 2 [2002]
<i>Acacia angustissima</i> (Mill.)Ktze.	©®	©®
<i>Acacia holosericea</i>	©®	©®
<i>Acacia mangium</i> Willd.	©	©
<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	©	©
<i>Inga spectabilis</i> (M. Vahl) Willd.	©	©
<i>Croton</i> Sp1.	©	
<i>Senna reticulata</i> (Willd.) H.S. Irwin & Barneby	©	©
<i>Sclerobium</i> Sp1.	©	
<i>Ochroma</i> Sp1.	©	
<i>Dalbergia monetaria</i> L. f.	©	®
<b><i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp.</b>		®
<i>Acacia horrida</i> (L.) Willd.	®	®

FUENTE: propia a partir de (Bulnes 2004).



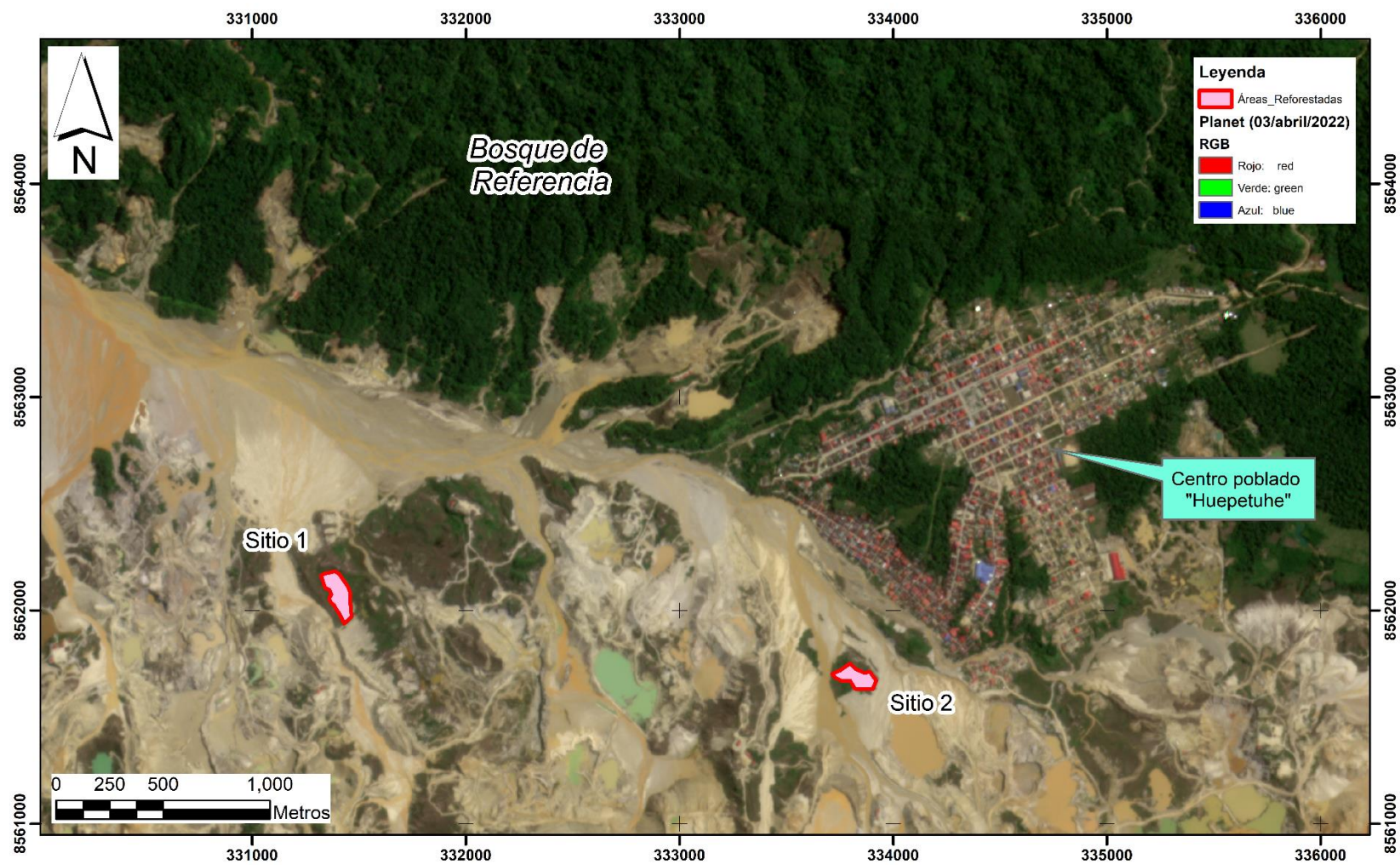


Figura 3. Ubicación del área de estudio, áreas reforestadas y el bosque de referencia, en el distrito de Huepetuhe. UTM (WGS84, 19S)

### 3.4.2. Fase de Campo

#### a. Evaluación de la vegetación

Se establecieron cuatro (04) parcelas 100 m<sup>2</sup> (10 m × 10 m) en cada una de las dos áreas reforestadas y en los bosques de referencia, 16 parcelas en total (Figura 4). En cada parcela se evaluó e identificó a todos los individuos con un diámetro a la altura del pecho mayor a 1 cm (DAP ≥ 1 cm). A cada individuo registrado se le midió su DAP y altura. Se realizaron colectas botánicas de las especies registradas, para su posterior depósito e identificación en el Herbario Alwyn Gentry de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD).



**Figura 4.** Establecimiento de las parcelas de vegetación y colecta de especímenes vegetales.

#### b. Muestreo de suelo

Para cada parcela se colectó una muestra compuesta de suelo, de cinco puntos dentro de la parcela de 100 m<sup>2</sup> (Figura 5). Cada muestra fue de 1 kg y fue recogida de la parte superficial del suelo, de hasta 20 cm de profundidad. El muestreo de suelos se realizó considerando la guía de muestreo de suelos del Perú (MINAM, 2014).





Figura 5. Colecta de muestra compuesta de suelo.

### 3.4.3. Fase de Gabinete

Los especímenes vegetales colectados se secaron utilizando el secador eléctrico del HAG. Posteriormente se montaron, identificaron y depositaron en el HAG (Figura 6).



Figura 6. especímenes vegetales colectados se herborizaron, codificaron y secaron en el herbario Alwyn Gentry de la UNAMAD. Asimismo, posteriormente se identificaron a todos los especímenes colectados.

Las muestras de suelo (Figura 7) se enviaron para su análisis en el laboratorio de agua, suelos, medio ambiente y fertirriego (LASMAF) de la Universidad Agraria la Molina. El análisis de suelos abarcó: (1) caracterización completa (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, y contenido de fósforo, potasio y carbonatos); (2) análisis mecánico (% arena, % limo, % arcilla y textura); (3) cationes intercambiables (capacidad de intercambio catiónico,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ).



**Figura 7.** Procesamiento de las muestras de suelo en laboratorio, secado y acondicionado para el envío al laboratorio, para la caracterización fisicoquímica.

### 3.4.4. Instrumentos

#### a. Material de campo

- Brújula.

- Wincha de 100 m y 50 m.
- Tijera podadora.
- Tijera telescópica.
- Libreta de campo.
- Marcador permanente.
- Prensa botánica.
- Periódico.
- Cinta diamétrica.
- Bolsas ziploc.
- Sacos de polietileno.

**b. Equipos**

- Receptor de sistema de posicionamiento global (GPS).
- Cámara fotográfica.

**c. Materiales de gabinete**

- Laptop.
- Impresora.
- Materiales de escritorio.

### **3.5. Tratamiento de datos**

#### **3.5.1. Procesamiento de datos y análisis estadístico**

En esta etapa se desarrolló el análisis de los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos en la etapa de campo y laboratorio, comprende lo siguiente:

**a. Procesamiento de datos**

Los datos se sistematizaron utilizando una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel (Office 365). En la misma hoja de cálculo se realizará la revisión y curación de los datos

**b. Análisis estadístico**

### **Análisis exploratorio y descriptivo**

Previo al análisis inferencial y descriptivo se realizó el análisis exploratorio de los datos. Mediante el cual se verificó la calidad de los datos, se analizaron patrones, tendencias, valores atípicos y resultados inesperados. Además, se verificó el cumplimiento de los supuestos paramétricos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Todos estos análisis se realizaron mediante el paquete estadístico PAleontological STatistics Version (PAST v4.09) (Hammer y Harper 2006). Se calculó los índices de diversidad alfa (Shannon,  $\alpha$ -Fisher) y beta diversidad (Bray-Curtis) para la vegetación en las áreas seleccionadas.

### **Análisis inferencial**

Se comparó la estructura y atributos florísticos (abundancia, riqueza, índices de diversidad, área basal, clases de diámetro y altura) de la vegetación, entre las áreas reforestadas y el bosque de referencia mediante el análisis de varianza. Dependiendo del cumplimiento de los supuestos paramétricos se utilizó la prueba paramétrica del análisis de varianza (ANOVA) y la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis. Si se encuentran diferencias significativas entre los sitios se utilizó el post-hoc test de Bonferroni. Todos los análisis se desarrollaron a un nivel de significancia del 5%, estos análisis se desarrollaron en SigmaPlot v15 (SYSTAT 2020). Para evaluar diferencias en la composición florística se utilizó el análisis basado en permutaciones (PERMANOVA), en el paquete estadístico Primer Permanova+v7 (Anderson, Gorley y Clarke 2008).

Se utilizaron técnicas de ordenación para representar en 2D los sitios evaluados en función a su composición florística, y comparar con las evaluaciones previas realizadas en el área de estudio. Para este caso dependiendo de la naturaleza de los datos se utilizó un análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS). Este análisis se desarrollará en el paquete estadístico R en entorno de R-Studio (R Core Team 2024).

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Abundancia, riqueza, diversidad de especies y composición florística de especies arbóreas.

En las 16 parcelas evaluadas (8 en plantaciones y 8 en bosques) se registraron un total de 694 árboles con un DAP mayor a 1 cm. En la Tabla 3 se muestran los resultados encontrados en todas las parcelas evaluadas.

**Tabla 3.** Abundancia, riqueza, diversidad de especies encontradas las 16 parcelas evaluadas en plantaciones en áreas degradadas por la minería aurífera y en bosques de referencia.

Tipo	Sitio	Parcela	Número de especies	Abundancia	Índice de diversidad		
					Shannon (H')	Fisher	Simpson (D)
Plantación	Plantación 2	S2-1	9	42	1,46	3,51	0,40
	Plantación 2	S2-2	8	35	1,78	3,24	0,24
	Plantación 2	S2-3	7	24	1,64	3,32	0,26
	Plantación 2	S2-4	5	30	1,10	1,71	0,44
	Plantación 1	S1-1	7	41	1,78	2,43	0,19
	Plantación 1	S1-2	11	35	2,28	5,52	0,11
	Plantación 1	S1-3	11	44	2,27	4,71	0,12
	Plantación 1	S1-4	10	46	2,06	3,94	0,15
Bosque	Bosque secundario	BS-1	29	41	3,60	44,16	0,02
	Bosque secundario	BS-2	24	40	3,34	25,33	0,03
	Bosque secundario	BS-3	20	46	2,83	13,47	0,09
	Bosque secundario	BS-4	17	40	2,45	11,17	0,15
	Bosque primario	BP-1	39	59	3,91	50,14	0,01
	Bosque primario	BP-2	29	49	3,53	29,86	0,03
	Bosque primario	BP-3	30	63	3,41	22,44	0,04
	Bosque primario	BP-4	29	59	3,36	22,57	0,05

En total se registraron 117 especies arbóreas, distribuidos en 70 géneros y 32 familias botánicas. Considerando el total de especies, en los bosques se encontró un mayor número de especies (103) que en las plantaciones (29). Asimismo, los bosques primarios (77) albergaron una mayor diversidad de especies (Shannon y Fisher) y un mayor número de especies que los bosques



secundarios (57) y las plantaciones de 24 años (entre 17-21). Esta alta diversidad de los bosques de referencia se ve reflejado en bajos valores del índice de dominancia de Simpson. Ya que en los bosques tuvieron los bosques más bajos de índice de dominancia, la mayoría entre 0,03 y 0,05. Mientras que en las plantaciones el índice de dominancia fue superior, entre 0,11 y 0,44.

La mayoría de las especies encontradas en las plantaciones fueron especies espontáneas (90-94% de total), y solo se encontraron dos especies de las que plantaron al inicio del experimento (*Tachigali* sp1 y *Dalbergia monetaria*). La abundancia relativa de las especies varió según plantación. En la plantación 1 las especies más abundantes fueron *Clusia* sp1 (16,87%), *Tococa guianensis* (17,5%), *Vismia macrophylla* (13,9), *Graffenrieda limbata* (13,9%); y en la plantación 2 las especies más abundantes fueron *Tococa guianensis* (46,6%), *Vismia macrophylla* (21,4%), *Miconia poepigii* (7,6%) y *Miconia minutiflora* (6,9%). Sin embargo, considerando el área basal, las especies más abundante no fueron las más dominantes. En la plantación 1 la especie dominante fue una especie de leguminosa plantada inicialmente (*Tachigali* sp1, con 62,6%), mientras que en la plantación 2 las dos especies más dominantes fueron las especies espontáneas *Tococa guianensis* (46,6%) y *Vismia macrophylla* (21,4%). Por otro lado, en los bosques (primario y secundario) la especie más importante fue *Tachigali guianensis*, las siguientes especies en orden de importancia variaron según tipo de bosque. Mientras que en el bosque primario las especies en orden de importancia después de *Tachigali guianensis* fueron *Miconia minutiflora*, *Iryanthera juruensis*, *Licania brittoniana*; en el bosque secundario fueron *Vismia macrophylla*, *Cinchona pubescens*, *Alchornea triplinervia* y *Schizolobium parahyba* (Tabla 4).

Fabaceae, Melastomataceae, Hypericaceae, Urticaceae y Clusiaceae fueron las familias botánicas dominantes en las plantaciones. Mientras que Fabaceae Melastomataceae fueron las familias dominantes de los bosques. Aunque otras familias típicas de bosques primarios fueron dominantes de los bosques primarios, por ejemplo, Myristicaceae, Lauraceae Chrysobalanaceae y Cyatheaceae (Tabla 5).



**Tabla 4.** Veinte especies más abundantes y dominantes de las plantaciones y los bosques de referencia (primario y secundario).

N	Bosque primario	Abun (%)	Dom (%)	Frec (%)	IVI (%)	N	Bosque secund	Abun (%)	Dom (%)	Frec (%)	IVI (%)	N	Sitio 1	Abun (%)	Dom (%)	Frec (%)	IVI (%)	N	Sitio 2	Abun (%)	Dom (%)	Frec (%)	IVI (%)
1	<i>Tachigali guianensis</i>	1,74	32,79	2,52	12,35	1	<i>Tachigali guianensis</i>	8,38	45,10	2,30	18,59	1	<i>Tachigali sp1 *</i>	5,42	62,57	7,69	25,23	1	<i>Tococa guianensis</i>	46,56	10,15	10,34	22,35
2	<i>Miconia minutiflora</i>	6,96	20,94	3,36	10,42	2	<i>Vismia macrophylla</i>	9,58	1,59	4,60	5,26	2	<i>Clusia sp1</i>	16,87	5,86	7,69	10,14	2	<i>Vismia macrophylla</i>	21,37	23,62	13,79	19,60
3	<i>Graffenrieda limbata</i>	5,65	0,76	3,36	3,26	3	<i>Alchornea triplinervia</i>	2,99	5,88	3,45	4,11	3	<i>Tococa guianensis</i>	17,47	1,93	10,26	9,89	3	<i>Miconia poepigii</i>	7,63	30,23	10,34	16,07
4	<i>Tococa guianensis</i>	6,52	0,42	2,52	3,15	4	<i>Schizolobium parahyba</i>	2,40	6,02	3,45	3,95	4	<i>Vismia macrophylla</i>	13,86	3,54	10,26	9,22	4	<i>Miconia minutiflora</i>	6,87	7,70	6,90	7,15
5	<i>Iryanthera juruensis</i>	2,61	5,16	1,68	3,15	5	<i>Tococa guianensis</i>	7,78	0,39	3,45	3,87	5	<i>Graffenrieda limbata</i>	13,86	3,50	10,26	9,21	5	<i>Dalbergia monetaria *</i>	4,58	2,45	10,34	5,79
6	<i>Vismia macrophylla</i>	4,35	1,61	3,36	3,11	6	<i>Cinchona pubescens</i>	1,80	7,68	1,15	3,54	6	<i>Humiria sp1</i>	5,42	7,01	5,13	5,85	6	<i>Parkia nitida</i>	0,76	9,82	3,45	4,68
7	<i>Cyathea sp1</i>	4,78	0,96	3,36	3,03	7	<i>Miconia poepigii</i>	1,80	5,30	2,30	3,13	7	<i>Miconia minutiflora</i>	4,82	3,84	7,69	5,45	7	<i>Inga oblonga</i>	0,76	7,27	3,45	3,83
8	<i>Licania brittoniana</i>	1,74	5,31	1,68	2,91	8	<i>Vismia cayennensis</i>	4,19	2,08	2,30	2,86	8	<i>Marila laxiflora</i>	5,42	1,63	2,56	3,20	8	<i>Clusia sp1</i>	3,05	0,82	6,90	3,59
9	<i>Cinchona pubescens</i>	3,91	2,27	2,52	2,90	9	<i>Miconia serrulata</i>	2,99	1,47	3,45	2,64	9	<i>Cinchona pubescens</i>	1,20	5,69	2,56	3,15	9	<i>Cecropia membranacea</i>	1,53	2,33	6,90	3,59
10	<i>Bellucia pentamera</i>	3,48	1,92	2,52	2,64	10	<i>Erythrina poeppigiana</i>	1,80	2,98	2,30	2,36	10	<i>Clidemia sp1</i>	3,01	1,04	5,13	3,06	10	<i>Clidemia sp1</i>	1,53	2,36	3,45	2,44
11	<i>Bathysa obovata</i>	3,04	0,18	3,36	2,19	11	<i>Bellucia pentamera</i>	2,99	0,44	3,45	2,29	11	<i>Melastomataceae sp2</i>	4,22	1,38	2,56	2,72	11	<i>Cecropia sciadophylla</i>	0,76	2,92	3,45	2,38
12	<i>Senna silvestris</i>	0,87	4,84	0,84	2,18	12	<i>Inga coruscans</i>	2,40	1,92	2,30	2,20	12	<i>Alchornea triplinervia</i>	1,81	0,76	5,13	2,56	12	<i>Vismia tomentosa</i>	0,76	0,15	3,45	1,45
13	<i>Hevea guianensis</i>	2,61	0,50	3,36	2,16	13	<i>Cecropia sciadophylla</i>	1,20	2,99	2,30	2,16	13	<i>Miconia sp1</i>	1,81	0,67	2,56	1,68	13	<i>Palicourea sp1</i>	0,76	0,05	3,45	1,42
14	<i>Zigya sp1</i>	1,74	1,80	2,52	2,02	14	<i>Inga sp1</i>	2,40	1,04	2,30	1,91	14	<i>Tapirira guianensis</i>	0,60	0,15	2,56	1,11	14	<i>Tapirira guianensis</i>	0,76	0,05	3,45	1,42
15	<i>Inga heterophylla</i>	0,87	4,28	0,84	2,00	15	<i>Cecropia membranacea</i>	1,80	1,49	2,30	1,86	15	<i>Dalbergia monetaria *</i>	0,60	0,15	2,56	1,10	15	<i>Miconia serrulata</i>	0,76	0,03	3,45	1,42
16	<i>Clusia sp1</i>	2,61	0,31	2,52	1,81	16	<i>Senna silvestris</i>	2,99	1,39	1,15	1,85	16	<i>Fabaceae sp2</i>	0,60	0,07	2,56	1,08	16	<i>Cinchona pubescens</i>	0,76	0,02	3,45	1,41
17	<i>Ocotea longifolia</i>	1,30	2,31	1,68	1,76	17	<i>Siparuna guianensis</i>	2,40	0,59	2,30	1,76	17	<i>Inga acrocephala</i>	0,60	0,06	2,56	1,07	17	<i>Guatteria hirsuta</i>	0,76	0,02	3,45	1,41
18	<i>Melastomataceae sp1</i>	2,17	0,59	2,52	1,76	18	<i>Inga heterophylla</i>	1,20	1,34	2,30	1,61	18	<i>Ocotea sp1</i>	0,60	0,05	2,56	1,07	18					
19	<i>Alchornea triplinervia</i>	1,74	1,14	1,68	1,52	19	<i>Nectandra sp2</i>	1,80	1,49	1,15	1,48	19	<i>Miconia sp2</i>	0,60	0,04	2,56	1,07	19					
20	<i>Inga coruscans</i>	1,74	1,65	0,84	1,41	20	<i>Miconia minutiflora</i>	1,20	0,93	2,30	1,47	20	<i>Guatteria tomentosa</i>	0,60	0,03	2,56	1,07	20					
	Otras especies (53)	39,57	10,28	52,94	34,26		Otras especies (37)	35,93	7,90	49,43	31,08		Otras especies (1)	0,60	0,02	2,56	1,06						

(\*) representa a las especies utilizadas al inicio de la plantación. IVI = índice de valor de importancia. Abund = Abundancia relativa. Dom = dominancia relativa. Frec = Frecuencia.

**Tabla 5.** Diez familias más abundantes y dominantes de las plantaciones y los bosques de referencia (primario y secundario).

<b>(a) Bosque primario</b>					<b>(c) Plantación 1</b>						
N	Familia	Abun (%)	Dom (%)	Frec (%)	IVI (%)	N	Familia	Abun (%)	Dom (%)	Frec (%)	IVI (%)
1	Fabaceae	11,30	49,64	6,67	22,54	1	Fabaceae	7,23	62,84	16,00	28,69
2	Melastomataceae	26,96	24,91	6,67	19,51	2	Melastomataceae	45,78	12,41	16,00	24,73
3	Euphorbiaceae	9,13	2,35	6,67	6,05	3	Clusiaceae	16,87	5,86	12,00	11,58
4	Rubiaceae	8,26	2,47	6,67	5,80	4	Hypericaceae	13,86	3,54	16,00	11,13
5	Hypericaceae	5,65	1,66	6,67	4,66	5	Humiriaceae	5,42	7,01	8,00	6,81
6	Clusiaceae	6,52	0,53	6,67	4,57	6	Calophyllaceae	5,42	1,63	4,00	3,68
7	Cyatheaceae	4,78	0,96	6,67	4,14	7	Rubiaceae	1,20	5,69	4,00	3,63
8	Myristicaceae	2,61	5,16	3,33	3,70	8	Euphorbiaceae	1,81	0,76	8,00	3,52
9	Lauraceae	4,35	3,21	3,33	3,63	9	Annonaceae	1,20	0,06	8,00	3,09
10	Arecaceae	3,48	0,54	6,67	3,56	10	Anacardiaceae	0,60	0,15	4,00	1,59
	Otros (15)	16,96	8,57	40,00	21,84		Otros (1)	0,60	0,05	4,00	1,55

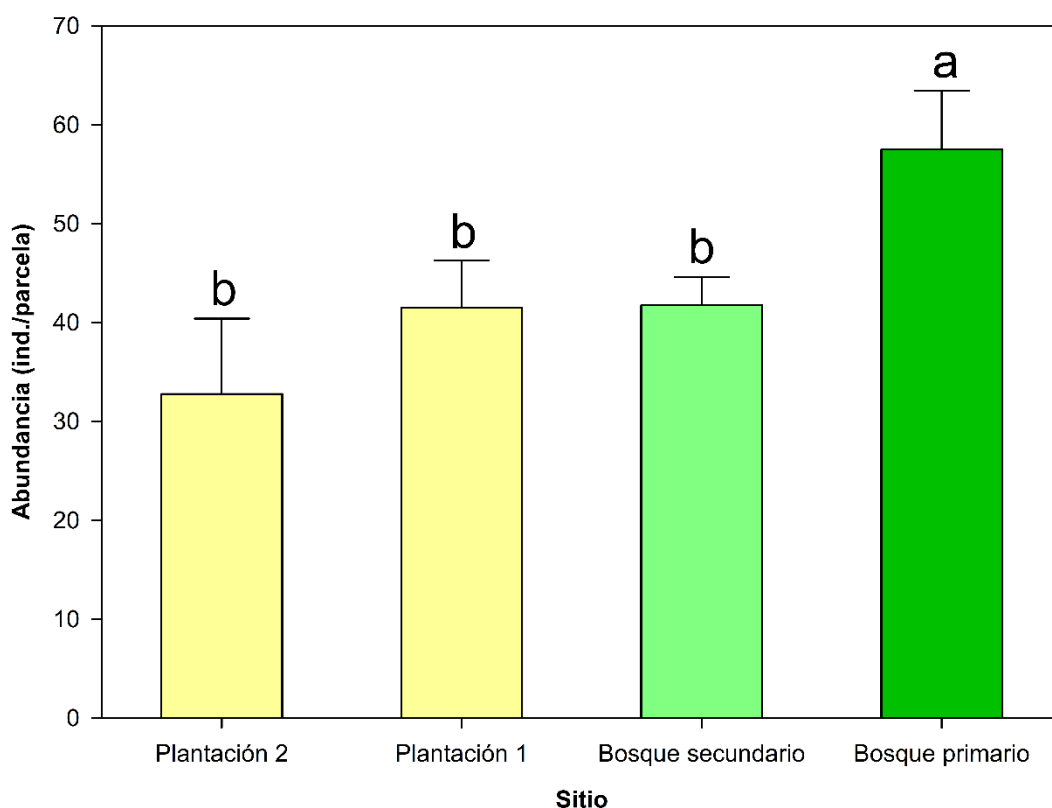
<b>(b) Bosque secundario</b>					<b>(d) Plantación 2</b>						
N	Familia	Abun (%)	Dom (%)	Frec (%)	IVI (%)	N	Familia	Abun (%)	Dom (%)	Frec (%)	IVI (%)
1	Fabaceae	30,54	62,19	8,89	33,87	1	Melastomataceae	63,36	50,47	20,00	44,61
2	Melastomataceae	17,37	8,57	8,89	11,61	2	Hypericaceae	22,14	23,77	20,00	21,97
3	Hypericaceae	14,37	3,72	8,89	8,99	3	Fabaceae	6,11	19,53	20,00	15,21
4	Euphorbiaceae	6,59	7,43	6,67	6,89	4	Urticaceae	2,29	5,25	10,00	5,85
5	Lauraceae	5,39	2,08	8,89	5,45	5	Clusiaceae	3,05	0,82	10,00	4,63
6	Rubiaceae	2,40	7,76	4,44	4,87	6	Rubiaceae	1,53	0,08	10,00	3,87
7	Urticaceae	2,99	4,48	6,67	4,71	7	Anacardiaceae	0,76	0,05	5,00	1,94
8	Annonaceae	2,99	0,81	6,67	3,49	8	Annonaceae	0,76	0,02	5,00	1,93
9	Piperaceae	4,19	0,09	4,44	2,91	9					
10	Siparunaceae	2,40	0,59	4,44	2,47	10					
	Otros (10)	10,78	2,29	31,11	14,73						

IVI = índice de valor de importancia. Abund = Abundancia relativa. Dom = dominancia relativa. Frec = Frecuencia.

En las figuras 8-10 se muestran los resultados del análisis de varianza sobre la comparación de la abundancia riqueza, diversidad y área basal de la vegetación arbórea entre las dos plantaciones de 24 años establecidos en áreas degradadas por la minería y los bosques de referencia (primario y secundario). En general, se encontró una significativa recuperación de la abundancia, riqueza, diversidad de especies y área basal de las plantaciones

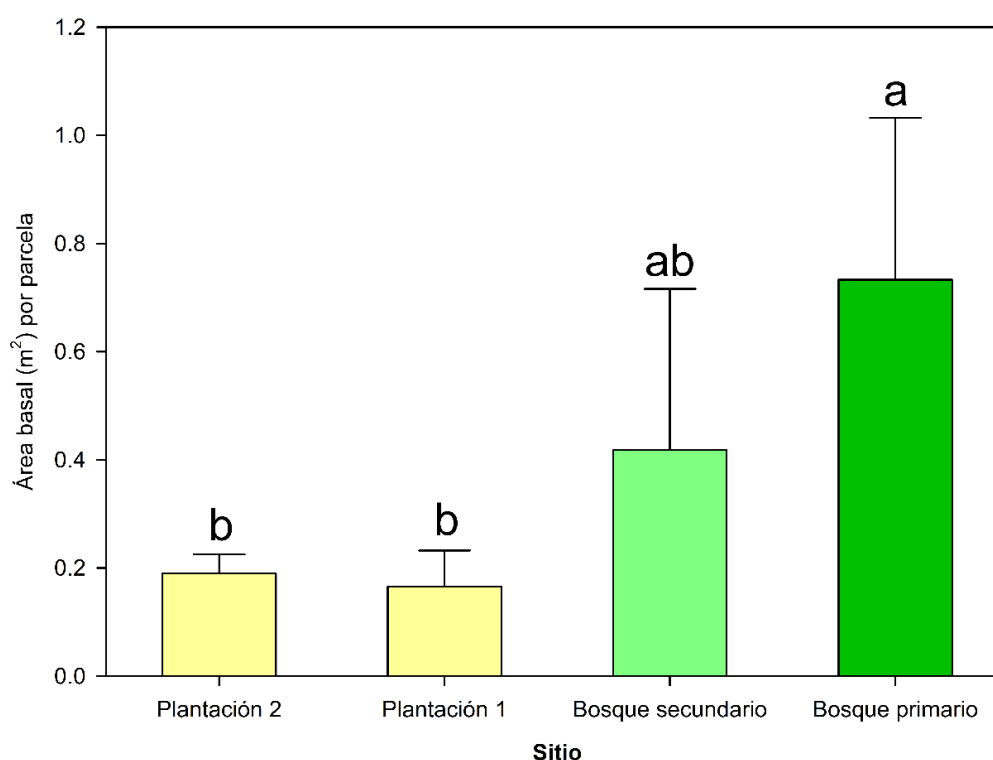
en comparación con los bosques de referencia, principalmente con el bosque secundario.

En las parcelas de 24 años de establecimiento, los valores de abundancia y área basal tuvieron un patrón similar de recuperación en comparación con los bosques de referencia. La abundancia de árboles y el área basal fue significativamente superior en el bosque en comparación con las dos plantaciones (ANOVA y test de Bonferroni,  $p < 0,05$ ). Sin embargo, la abundancia y área basal de las plantaciones no difieren de forma significativa del bosque secundario (ANOVA y test de Bonferroni,  $p < 0,05$ ). En promedio las plantaciones albergaron entre el 57-72% de la abundancia de árboles que se encontraron en el bosque primario (Figura 8). Mientras que las plantaciones albergan entre el 78-99% del número de árboles que se encontró en el bosque secundario (Figura 8).



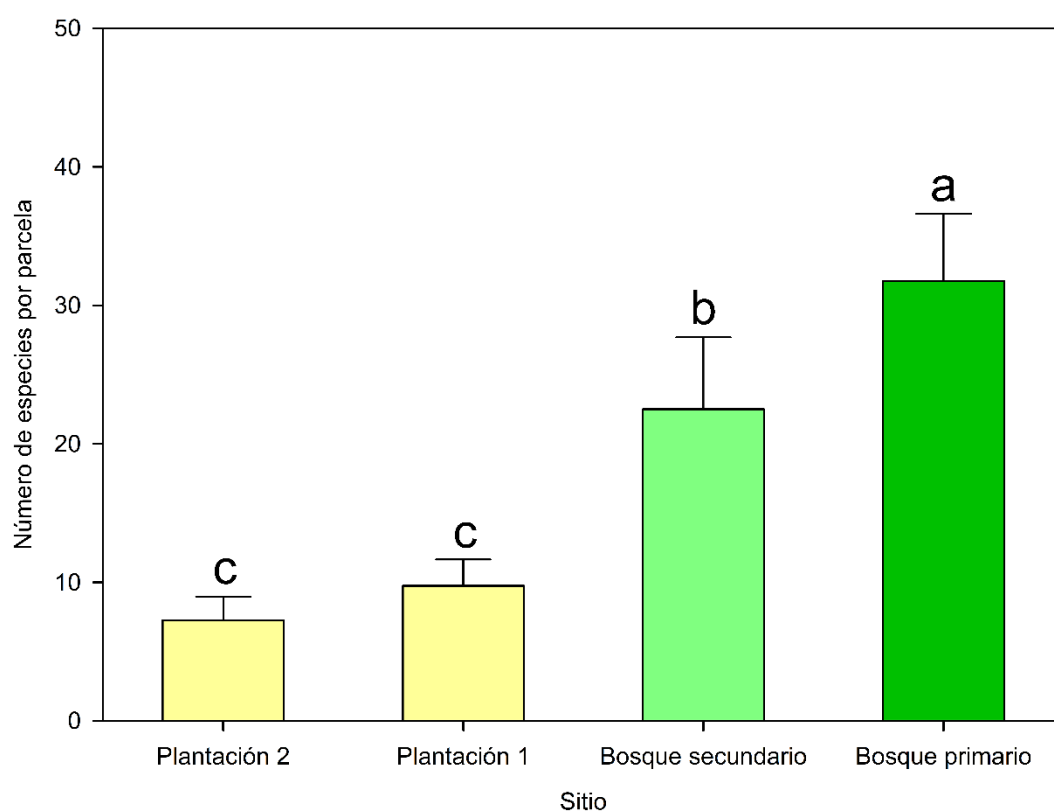
**Figura 8.** Gráfico de barras ( $\pm$  desviación estándar) de la comparación de la abundancia, de especies arbóreas en plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería, en comparación de un bosque primario y bosque secundario. Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni del ANOVA.

Los valores promedio de área basal fueron superiores en el bosque primario (0,73 m<sup>2</sup>/parcela), seguido por el bosque secundario (0,42 m<sup>2</sup>/parcela) y los valores más bajos se encontraron en las plantaciones de 24 años (entre 0,17 a 0,19 m<sup>2</sup>/parcela). Es decir, el promedio de área basal encontrado en las plantaciones solo se ha recuperado entre el 23-26% de lo que se espera encontrar en los bosques primarios y entre 40-45% de lo que se espera encontrar en los bosques secundarios cercanos al área de estudio. Aunque las diferencias entre las plantaciones y el bosque secundario no fueron estadísticamente significativas (ANOVA y test de Bonferroni,  $p < 0,05$ ). El área basal fue significativamente superior en el bosque primario y las plantaciones (ANOVA y test de Bonferroni,  $p < 0,05$ ). Por otro lado, la diferencia observada entre el bosque primario y secundario no fue estadísticamente significativa (ANOVA y test de Bonferroni,  $p > 0,05$ ) (Figura 9). Esto se debería a la alta variabilidad en los datos de área basal en los bosques primarios y secundarios (entre 41-71% de coeficiente de variación), debido a la presencia de árboles de mayor diámetro estos bosques (de hasta 94 cm de DAP).



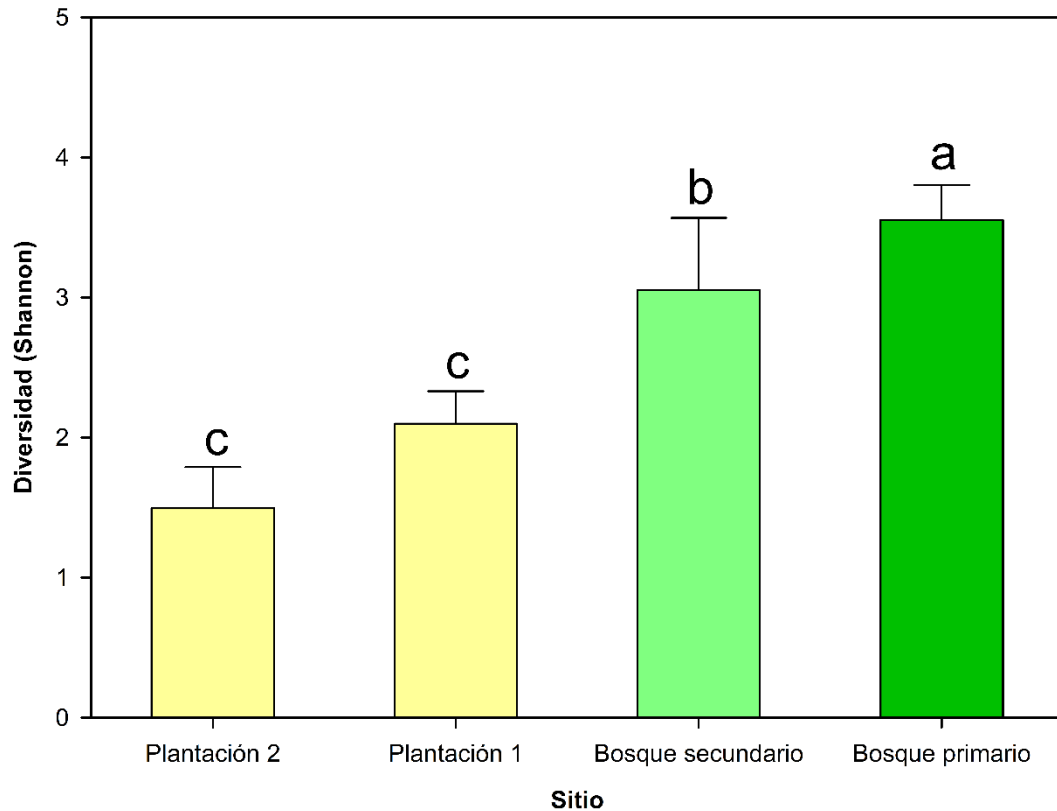
**Figura 9.** Gráfico de barras ( $\pm$  desviación estándar) de la comparación del área basal en plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería, en comparación de un bosque primario y bosque secundario. Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni del ANOVA.

La riqueza y diversidad de especies (índice de diversidad de Shannon) encontrada en las plantaciones fue significativamente inferior a lo encontrado en los bosques de referencia (ANOVA y test de Bonferroni,  $p < 0,05$ ) (Figura 10 y Figura 11). La riqueza de especies en las plantaciones fue entre 69-77% menos de que lo que se encontró en los bosques primarios y entre 57-68% menos de lo que se encontró en el bosque secundario. Mientras que, entre las plantaciones, en la plantación 2 se encontró una mayor riqueza que la plantación 1 (entre un 25-29% menos), pero estas no fueron estadísticamente significativas (ANOVA y test de Bonferroni,  $p > 0,05$ ) (Figura 10, 11 y 12).



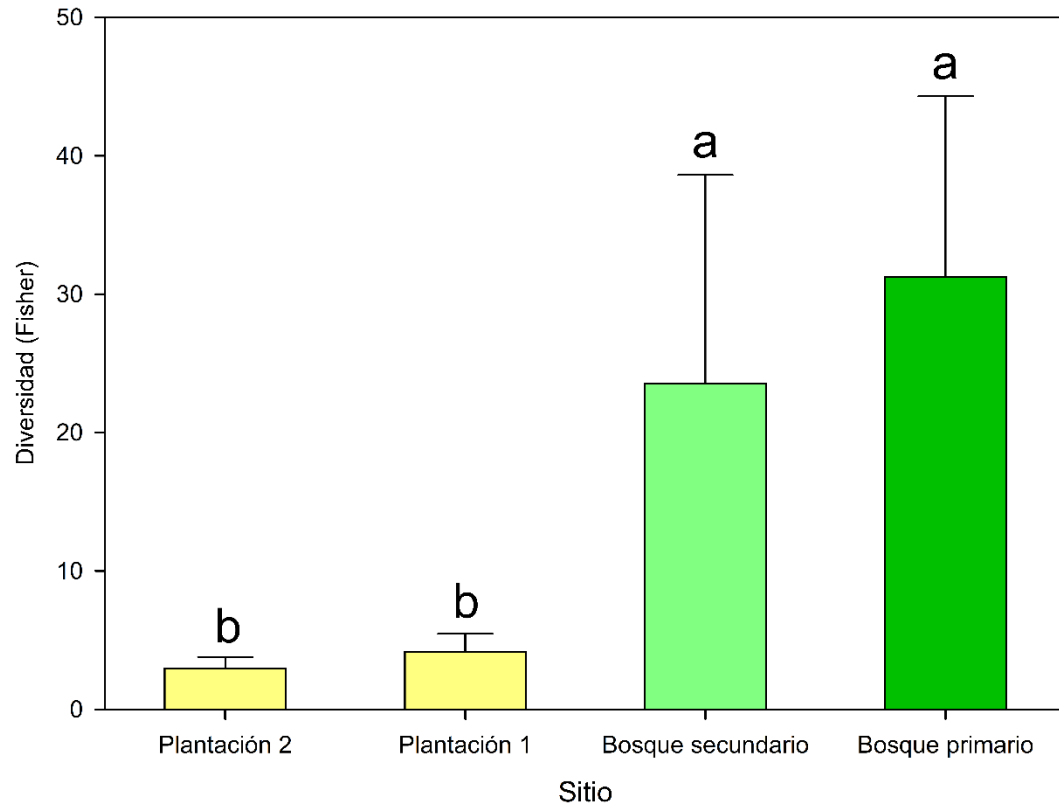
**Figura 10.** Gráfico de barras ( $\pm$  desviación estándar) de la comparación de la riqueza de especies arbóreas en plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería, en comparación de un bosque primario y bosque secundario. Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni del ANOVA.

La diversidad de especies (Shannon) en las plantaciones fue entre 41-58% menos de que lo que se encontró en los bosques primarios y entre 31-51% menos de lo que se encontró en el bosque secundario (Figura 11).



**Figura 11.** Gráfico de barras ( $\pm$  desviación estándar) de la comparación de la diversidad (índice de diversidad de Shannon) de especies arbóreas en plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería, en comparación de un bosque primario y bosque secundario. Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni del ANOVA.

La diversidad de especies ( $\alpha$ -Fisher) encontrada en las plantaciones fue significativamente inferior a lo encontrado en los bosques de referencia (Kruskall-Wallis y test de Student-Newman-Keuls,  $p < 0,05$ ) (Figura 12). La diversidad de  $\alpha$ -Fisher en las plantaciones fue entre 87-91% menos de que lo que se encontró en los bosques primarios y entre 82-88% menos de lo que se encontró en el bosque secundario (Figura 12).



**Figura 12.** Gráfico de barras ( $\pm$  desviación estándar) de la comparación de la diversidad (índice de diversidad de  $\alpha$ -Fisher) de especies arbóreas en plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería, en comparación de un bosque primario y bosque secundario. Letras diferentes muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de comparaciones múltiples Student-Newman-Keuls del test de Kruskal-Wallis.

## 4.2 Características fisicoquímicas del suelo.

En la Tabla 6 se muestra el promedio de las características fisicoquímicas del suelo en las plantaciones, bosque secundario y bosque primario, en comparación con las áreas abandonadas por la minería. Se observó un incremento de la materia orgánica, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, limo e iones de  $Al^{+3}$ .

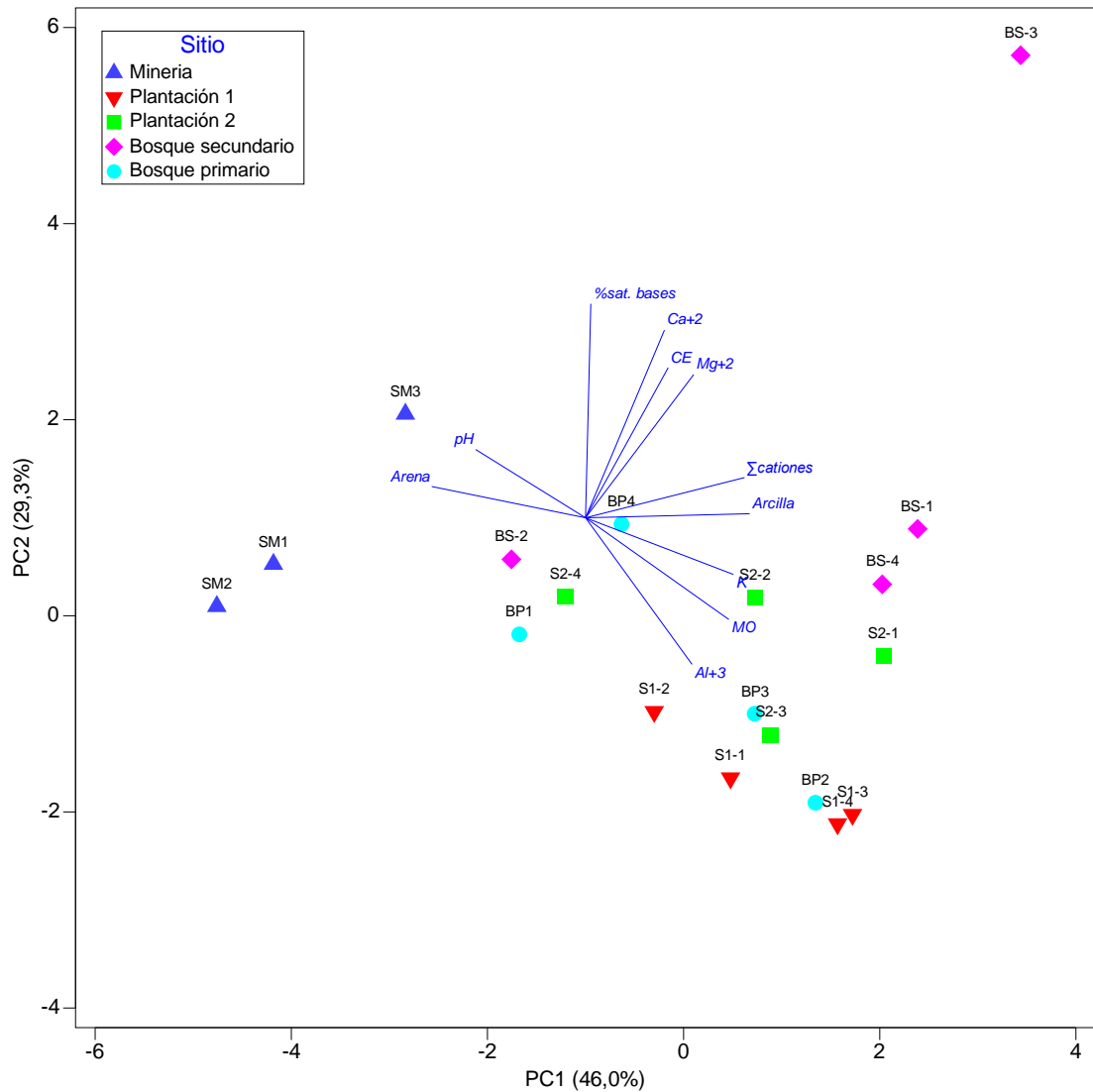
**Tabla 6.** Promedio de las características fisicoquímicas del suelo de las áreas abandonadas por la minería, bosque primario, bosque secundario y las parcelas de las plantaciones de 24 años en áreas degradadas por la minería aurífera.

Variable	Minería	Plantación 1	Plantación 2	Bosque secundario	Bosque primario
pH	5,19	4,16	3,81	4,10	4,11
Conductividad eléctrica (dS/m)	0,05	0,07	0,23	0,32	0,14
Materia orgánica (%)	0,16	6,33	4,44	3,56	3,16
P (mg/kg)	1,73	6,40	6,50	2,75	2,00
K (mg/kg)	14,67	72,75	51,25	60,50	45,00
Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol/kg)	1,55	8,24	5,24	4,44	4,44
Arena (%)	85,33	72,00	67,50	72,50	76,50
Limo (%)	9,67	18,00	22,00	16,00	13,00
Arcilla (%)	5,00	10,00	10,50	11,50	10,50
Ca <sup>+2</sup> (Cmol/kg)	0,16	0,19	0,27	1,11	0,22
Mg <sup>+2</sup> (Cmol/kg)	0,11	0,12	0,16	0,22	0,13
K <sup>+</sup> (Cmol/kg)	0,02	0,14	0,07	0,09	0,08
Na <sup>+</sup> (Cmol/kg)	0,05	0,03	0,01	0,04	0,06
Al <sup>+3</sup> H <sup>+</sup> (Cmol/kg)	0,22	1,58	0,90	0,98	1,44
Suma cationes (Cmol/kg)	0,56	2,04	1,41	2,44	1,93
Suma bases (Cmol/kg)	0,34	0,47	0,51	1,46	0,49
Saturación de bases (%)	22,33	5,75	11,00	28,75	12,50

Las diferencias y similitudes en las características fisicoquímicas del suelo (Tabla 7) entre los sitios evaluados se representaron en dimensión reducida mediante el análisis de componentes principales (PCA) (Figura 13). Las características fisicoquímicas de los suelos de minería (triángulos azules) se diferenciaron claramente de las plantaciones y el bosque secundario y primario. Mientras que las características fisicoquímicas de las plantaciones (triángulos rojos y cuadrados verdes) y el bosque primario tiene similares



(círculos turquesa) características. De todos los sitios el bosque secundario tuvo la mayor variabilidad y dispersión en el PCA. Asimismo, se observó que los suelos de minería fueron característicos por altos valores de pH y porcentaje de arena. Mientras que los altos valores de materia orgánica, niveles de potasio y iones de  $A^{+3}$  fueron característicos de los bosques y las plantaciones (Figura 13).



**Figura 13.** Análisis de componentes principales (PCA) de las características fisicoquímicas del suelo en los cuatro sitios evaluados.

**Tabla 7.** Resultados del análisis fisicoquímico del suelo de las áreas abandonadas por la minería (SM), bosque primario (BP), bosque secundario (BS) y las parcelas de las plantaciones (Sitio 1 y Sitio 2) de 24 años en áreas degradadas por la minería aurífera. CE = Conductividad eléctrica; MO = Materia orgánica; CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico; A.Fr. = Arena franca; A = Arena; Fr.A. = Franco arenoso.

Muestra	pH	CE (dS/m)	MO (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	CIC (Cmol/kg)	Ca <sup>+2</sup> (Cmol/kg)	Mg <sup>+2</sup> (Cmol/kg)	K <sup>+</sup> (Cmol/kg)	Na <sup>+</sup> (Cmol/kg)	Al <sup>+3</sup> H <sup>+</sup> (Cmol/kg)	Suma cationes (Cmol/kg)	Suma bases (Cmol/kg)	Saturación bases (%)
SM-1	5,38	0,05	0,14	2,7	15	86	9	5	A,Fr,	1,76	0,14	0,08	0,01	0,06	0,25	0,54	0,29	16
SM-2	4,95	0,04	0,20	1,7	13	94	3	3	A,	1,44	0,08	0,07	0,01	0,02	0,20	0,37	0,17	12
SM-3	5,25	0,05	0,14	0,8	16	76	17	7	Fr,A,	1,44	0,26	0,18	0,05	0,07	0,20	0,76	0,56	39
Sitio 1-P1	4,26	0,05	7,80	4,0	98	76	15	9	Fr,A,	10,24	0,20	0,12	0,21	0,01	0,75	1,28	0,53	5
Sitio 1-P2	4,17	0,10	4,21	4,1	57	78	13	9	Fr,A,	5,12	0,22	0,12	0,09	0,01	1,25	1,68	0,43	8
Sitio 1-P3	4,13	0,08	5,77	15,0	71	66	23	11	Fr,A,	8,32	0,19	0,10	0,15	0,07	2,30	2,81	0,51	6
Sitio 1-P4	4,08	0,06	7,53	2,5	65	68	21	11	Fr,A,	9,28	0,16	0,12	0,11	0,01	2,00	2,39	0,39	4
Sitio 2-P1	3,91	0,19	6,51	12,1	72	64	23	13	Fr,A,	7,04	0,36	0,21	0,11	0,01	1,00	1,69	0,69	10
Sitio 2-P2	3,74	0,30	3,66	5,3	42	66	23	11	Fr,A,	3,84	0,33	0,16	0,05	0,01	0,95	1,50	0,55	14
Sitio 2-P3	3,78	0,21	5,50	3,2	52	62	27	11	Fr,A,	7,04	0,13	0,12	0,08	0,01	1,05	1,39	0,34	5
Sitio 2-P4	3,82	0,22	2,10	5,4	39	78	15	7	A,Fr,	3,04	0,27	0,13	0,04	0,01	0,60	1,05	0,45	15
BS-1	3,87	0,36	4,34	2,2	68	66	23	11	Fr,A,	5,44	0,64	0,25	0,12	0,03	1,50	2,54	1,04	19
BS-2	3,91	0,19	1,42	1,9	32	84	9	7	A,Fr,	2,24	0,29	0,13	0,02	0,02	0,60	1,06	0,46	20
BS-3	4,39	0,59	3,94	4,0	61	70	15	15	Fr,A,	7,04	3,14	0,26	0,09	0,09	0,20	3,78	3,58	51
BS-4	4,21	0,15	4,55	2,9	81	70	17	13	Fr,A,	3,04	0,38	0,23	0,14	0,02	1,60	2,37	0,77	25
BP-1	3,91	0,32	1,90	1,6	31	82	11	7	A,Fr,	2,24	0,08	0,08	0,03	0,01	0,80	1,00	0,20	9
BP-2	3,78	0,08	4,34	1,2	53	74	13	13	Fr,A,	6,56	0,10	0,12	0,07	0,01	2,40	2,70	0,30	5
BP-3	4,56	0,07	3,73	1,5	45	68	17	15	Fr,A,	5,44	0,13	0,13	0,07	0,12	1,65	2,10	0,45	8
BP-4	4,17	0,07	2,65	3,7	51	82	11	7	A,Fr,	3,52	0,56	0,20	0,13	0,11	0,90	1,90	1,00	28

### 4.3 Similitud florística entre las plantaciones en áreas degradadas, bosque secundario y bosque primario remanente.

La similitud florística entre las parcelas y sitios se analizó con la distancia de Bray-Curtis. En la Tabla 8 se muestra el promedio de similitud florística promedio entre los sitios (bosques y plantaciones), mientras que en la Tabla 9 se muestra la similitud florística en cada una de las 16 parcelas evaluadas.

**Tabla 8.** Similitud florística (%) promedio entre el bosque primario, bosque secundario y las parcelas de las plantaciones de 24 años en áreas degradadas por la minería aurífera.

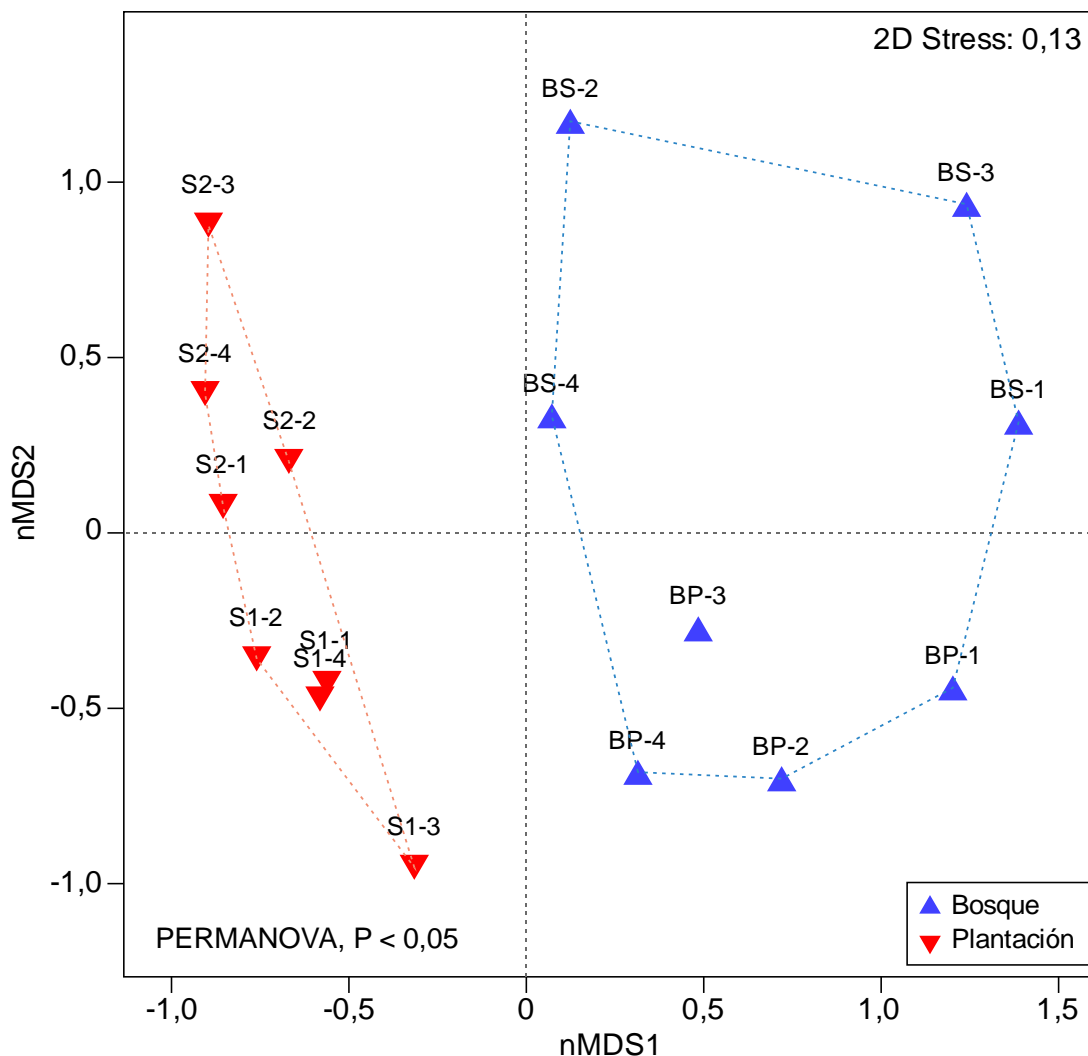
	Bosque primario	Bosque secundario	Plantación 1	Plantación 2
Bosque primario	35,8			
Bosque secundario	20,6	24,6		
Plantación 1	25,4	16,4	51,8	
Plantación 2	17,0	20,5	36,2	48,2

Considerando parcelas, la menor similitud florística fue entre parcelas del bosque primario, bosque secundario con las parcelas de las plantaciones, por ejemplo, con similitud más bajo entre 4,9 a 9,3% (Tabla 8). La similitud florística más alta entre parcelas del mismo sitio fue entre las plantaciones, 51,8% entre las parcelas de la plantación 1 y 48,2% entre las parcelas de la plantación 2, en comparación con las parcelas del bosque primario (35,8%) y bosque secundario (24,6%) (Tabla 8). Esto sugiere una baja disimilitud en la estructuración de las comunidades vegetales que colonizan las áreas abandonadas por la minería, y en este caso las plantaciones. Por ejemplo, *Vismia macrophylla*, *Tococa guianensis*, *Miconia minutiflora*, *Clusia* sp1, *Graffenrieda limbata*, y *Miconia poepigii* estuvieron presentes en al menos el 50% de las parcelas evaluadas en plantaciones. Por otro lado, se encontró una mayor similitud florística promedio entre el bosque primario y las plantaciones (entre 17 a 25,4%), que entre el bosque secundario con las plantaciones (entre 16,4 a 20,5). Lo cual sugiere un mayor flujo de especies de sucesión intermedia y avanzada de bosque primario que se están estableciendo en las plantaciones, *Miconia minutiflora*, *Cinchona pubescens*, *Tapirira guianensis* y *Parkia nitida* (Tabla 8).

**Tabla 9.** Similitud florística (%) entre las parcelas evaluadas según sitio.

		Bosque primario				Bosque secundario				Plantación 1				Plantación 2		
		BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S2-1	S2-2	S2-3
Bosque primario	BP-1															
	BP-2	34,2														
	BP-3	34,7	42,8													
	BP-4	24,8	37,6	40,8												
Bosque secundario	BS-1	28,1	17,5	25,5	17,9											
	BS-2	5,2	13,6	24,9	18,9	12,8										
	BS-3	22,9	15,8	28,5	10,8	32,3	20,0									
	BS-4	22,6	18,8	34,0	24,2	32,0	21,0	29,7								
Plantación 1	S1-1	12,2	25,5	33,0	34,9	5,8	15,1	9,2	36,8							
	S1-2	11,7	27,4	31,2	31,9	5,5	14,3	8,7	27,0	56,3						
	S1-3	18,4	18,3	33,0	28,3	10,5	15,3	14,1	29,2	45,0	33,9					
	S1-4	14,5	22,3	33,0	30,4	9,2	14,0	12,7	35,0	76,0	54,0	45,5				
Plantación 2	S2-1	7,7	17,2	19,8	21,0	18,1	15,1	13,8	45,4	42,3	46,2	31,1	36,9			
	S2-2	7,8	25,3	33,1	30,8	10,0	26,2	9,3	38,4	49,4	53,1	29,3	40,8	57,1		
	S2-3	11,6	13,7	18,4	14,5	10,8	16,7	5,1	31,5	33,4	41,9	15,0	23,5	25,2	52,4	
	S2-4	4,9	10,5	17,9	17,4	11,1	24,2	10,5	41,8	41,7	31,0	27,3	35,4	59,6	58,0	37,0

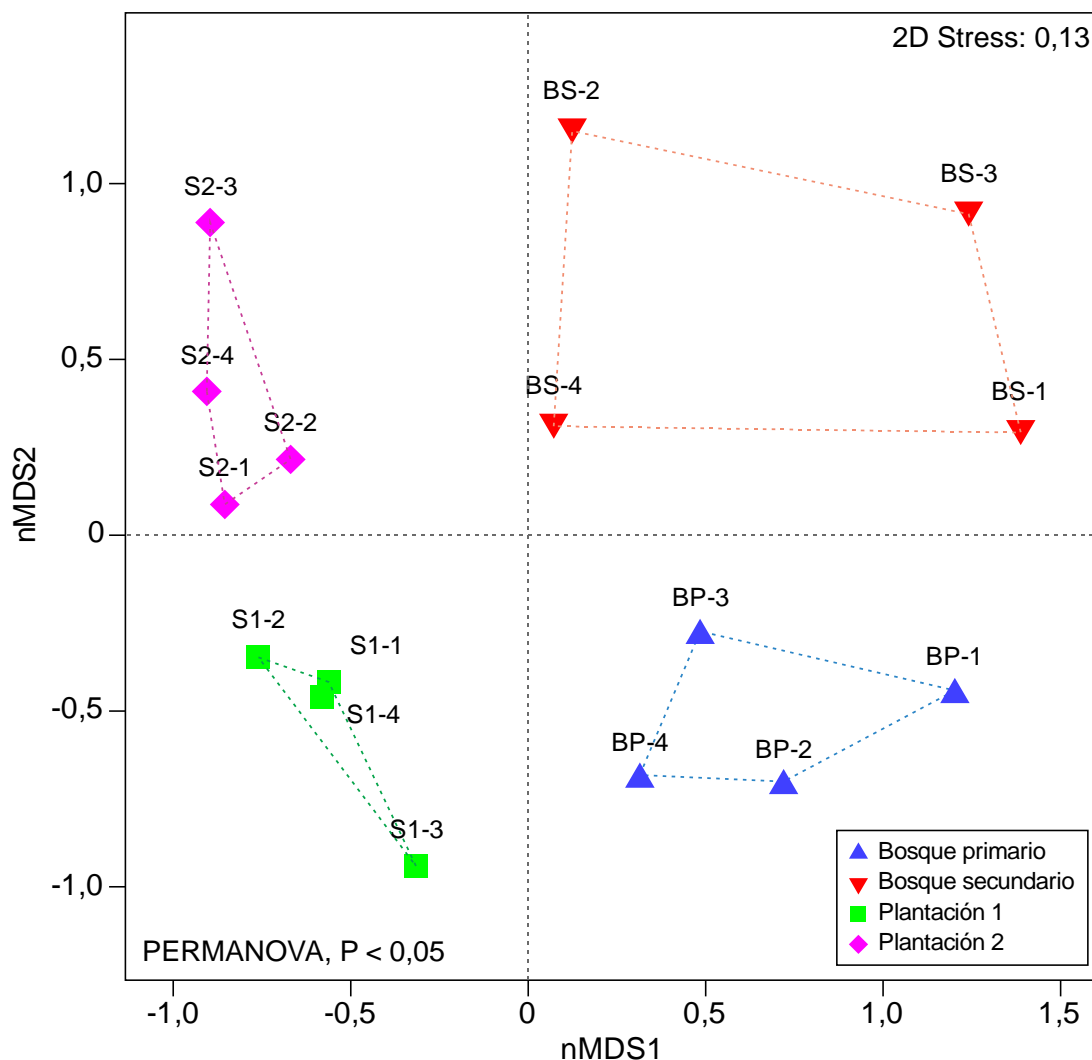
Mediante el análisis PERMANOVA se encontraron diferencias significativas en la composición florística entre los bosques y las plantaciones evaluadas (Pseudo-F = 3,4;  $P > 0,001$ ) (Figura 14). Esto se fundamenta en que de las 103 especies encontradas en los bosques solo 15 se encontraron en las plantaciones de las áreas degradadas por la minería (solo el 14,6%).



**Figura 14.** Similitud florística representada en dimensión reducida (2D), mediante el análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS), entre los bosques y las plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería.

Mediante el análisis de comparaciones múltiples de PERMANOVA se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la composición florística entre las dos plantaciones, el bosque primario y el bosque secundario (Figura 15 y Tabla 10). En la Tabla 8 se muestran los resultados de la comparación por pares entre los sitios, y se observa diferencias significativas entre todos

los pares comparados ( $P < 0,05$ ). La similitud florística fue más heterogénea entre las parcelas del bosque secundario, lo cual se refleja en la baja similitud florística entre sus parcelas (24,6% en promedio).



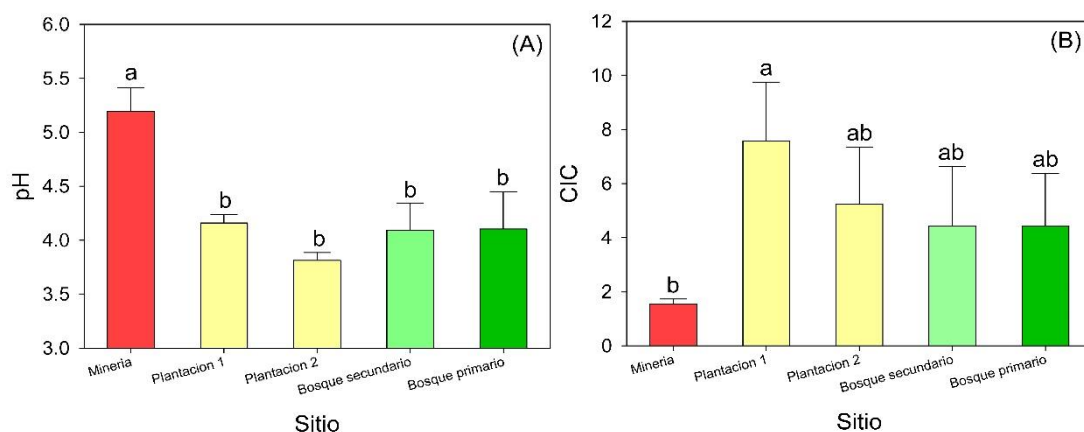
**Figura 15.** Similitud florística representada en dimensión reducida (2D), mediante el análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS), entre los bosques y las plantaciones de 24 años establecidas en áreas degradadas por la minería.

**Tabla 10.** Comparaciones múltiples en la similitud florística entre los sitios evaluados.

Comparación por pares	t	P
<b>Bosque primario vs Bosque secundario</b>	1,65	0,046
Bosque primario vs Plantación 1	2,26	0,009
Bosque primario vs Plantación 2	2,52	0,005
Bosque secundario vs Plantación 1	2,20	0,010
Bosque secundario vs Plantación 2	1,83	0,030
Plantación 1 vs Plantación 2	1,90	0,026

#### 4.4 Comparación entre las características fisicoquímicas del suelo entre las plantaciones en áreas degradadas y los bosques de referencia.

Se compararon las características fisicoquímicas del suelo entre los suelos recientemente abandonados por la minería, las plantaciones y los bosques primarios y secundarios. En general se observó una recuperación de las características fisicoquímicas del suelo en las plantaciones, teniendo como referencia los valores encontrados en los suelos abandonados por la minería y los bosques (Figura 16, Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13). Por ejemplo, con respecto al pH se observó una disminución significativa del pH (ANOVA; Bonferroni  $P < 0,05$ ), y ahora los valores de pH de las plantaciones de 24 años son estadísticamente similares a los valores de pH de los bosques primario y secundario. Por otro lado, se observó un incremento significativo (ANOVA; Bonferroni  $P < 0,05$ ) en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en las plantaciones, si comparamos los valores entre suelo de minería y las de los bosques. La CIC se recuperó en más de 100% en las plantaciones (Figura 16 y Tabla 12).



**Figura 16.** Comparación de las características fisicoquímicas del suelo, (a) pH. (b) Capacidad de intercambio catiónico (CIC), entre los suelos de minería, las dos plantaciones y los bosques primarios y secundarios. Letras diferentes con los promedios representan diferencias significativas a la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni, posterior al análisis de varianza.

Con respecto a la textura del suelo no se encontró diferencias significativas para el porcentaje de arena, limo y arcilla (ANOVA;  $P > 0,05$ ). Aun en

promedio, se observó un mayor porcentaje de arena y menor porcentaje de limo y arcilla en los suelos de minería en comparación las plantaciones, el bosque secundario y primario. En las plantaciones, los porcentajes de arena y arcilla fueron similares a los bosques (Tabla 11).

**Tabla 11.** Textura del suelo de plantaciones y los bosques de referencia (primario y secundario). SM = Suelo minería recientemente abandonada; BP = bosque primario; y BS = bosque secundario.

Variable	Estadístico	Minería	Plantación		Bosque	
		SM	Sitio1	Sitio2	BS	BP
Arena	Promedio	85,33 a	72,00 a	67,50 a	72,50 a	76,50 a
	SD	9,02	5,89	7,19	7,90	6,81
	Mediana	86,00	72,00	65,00	70,00	78,00
	CV	10,57	8,18	10,65	10,89	8,90
Limo	Promedio	9,67 a	18,00 a	22,00 a	16,00 a	13,00 a
	SD	7,02	4,76	5,03	5,77	2,83
	Mediana	9,00	18,00	23,00	16,00	12,00
	CV	72,66	26,45	22,88	36,08	21,76
Arcilla	Promedio	5,00 a	10,00 a	10,50 a	11,50 a	10,50 a
	SD	2,00	1,15	2,52	3,42	4,12
	Mediana	5,00	10,00	11,00	12,00	10,00
	CV	40,00	11,55	23,97	29,70	39,27

Letras diferentes con los promedios representan diferencias significativas a la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni, posterior al análisis de varianza.

Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en la conductividad eléctrica, fósforo,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$  y  $\text{Al}^{+3}$   $\text{H}^{+}$  entre los suelos de minería, las plantaciones de 24 años y los bosques (ANOVA;  $P > 0,05$ ) (Tabla 12 y Tabla 13).

Mientras que, en la materia orgánica, potasio,  $\text{K}^{+}$  se encontraron diferencias en estas concentraciones entre las plantaciones, los suelos de minería y los bosques (ANOVA;  $P > 0,05$ ) (Tabla 12 y Tabla 13), aunque esto varió según variables fisicoquímica del suelo.



**Tabla 12.** Características químicas del suelo de plantaciones y los bosques de referencia (primario y secundario). SD = Desviación estándar. CV = Coeficiente de variación (%). SM = Suelo minería recientemente abandonada; BP = bosque primario; y BS = bosque secundario.

Variable	Estadístico	Minería	Plantación		Bosque	
		SM	Sitio1	Sitio2	BS	BP
pH	Promedio	5,19 <b>a</b>	4,16 <b>b</b>	3,81 <b>b</b>	4,10 <b>b</b>	4,11 <b>b</b>
	SD	0,22	0,08	0,07	0,25	0,34
	Mediana	5,25	4,15	3,80	4,06	4,04
	CV	4,25	1,83	1,91	6,07	8,38
Conductividad eléctrica (dS/m)	Promedio	0,05 <b>a</b>	0,07 <b>a</b>	0,23 <b>a</b>	0,32 <b>a</b>	0,14 <b>a</b>
	SD	0,01	0,02	0,05	0,20	0,12
	Mediana	0,05	0,07	0,22	0,28	0,08
	CV	12,37	30,58	21,00	62,09	91,42
Materia orgánica (%)	Promedio	0,16 <b>b</b>	6,33 <b>a</b>	4,44 <b>ab</b>	3,56 <b>ab</b>	3,16 <b>ab</b>
	SD	0,03	1,67	1,96	1,45	1,09
	Mediana	0,14	6,65	4,58	4,14	3,19
	CV	21,65	26,46	44,06	40,72	34,55
P (mg/kg)	Promedio	1,73 <b>a</b>	6,40 <b>a</b>	6,50 <b>a</b>	2,75 <b>a</b>	2,00 <b>a</b>
	SD	0,95	5,78	3,87	0,93	1,15
	Mediana	1,70	4,05	5,35	2,55	1,55
	CV	54,83	90,31	59,52	33,92	57,30
K (mg/kg)	Promedio	14,67 <b>b</b>	72,75 <b>a</b>	51,25 <b>ab</b>	60,50 <b>a</b>	45,00 <b>ab</b>
	SD	1,53	17,78	14,91	20,73	9,93
	Mediana	15,00	68,00	47,00	64,50	48,00
	CV	10,41	24,44	29,09	34,26	22,07
Capacidad de Intercambio Catiónico (Cmol/kg)	Promedio	1,55 <b>b</b>	8,24 <b>a</b>	5,24 <b>ab</b>	4,44 <b>ab</b>	4,44 <b>ab</b>
	SD	0,18	2,22	2,10	2,20	1,93
	Mediana	1,44	8,80	5,44	4,24	4,48
	CV	11,95	26,98	40,15	49,62	43,48

Letras diferentes con los promedios representan diferencias significativas a la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni, posterior al análisis de varianza.

**Tabla 13.** Características químicas del suelo (iones, cationes y bases) de plantaciones y los bosques de referencia (primario y secundario). SD = Desviación estándar. CV = Coeficiente de variación (%). SM = Suelo minería recientemente abandonada; BP = bosque primario; y BS = bosque secundario.

Variable	Estadístico	Minería	Plantación		Bosque	
		SM	Sitio1	Sitio2	BS	BP
Ca <sup>+2</sup> (Cmol/kg)	Promedio	0,16 <b>a</b>	0,19 <b>a</b>	0,27 <b>a</b>	1,11 <b>a</b>	0,22 <b>a</b>
	SD	0,09	0,03	0,10	1,36	0,23
	Mediana	0,14	0,20	0,30	0,51	0,12
	CV	57,28	12,99	37,47	122,23	105,41
Mg <sup>+2</sup> (Cmol/kg)	Promedio	0,11 <b>a</b>	0,12 <b>a</b>	0,16 <b>a</b>	0,22 <b>a</b>	0,13 <b>a</b>
	SD	0,06	0,01	0,04	0,06	0,05
	Mediana	0,08	0,12	0,15	0,24	0,13
	CV	55,30	8,70	26,07	27,43	37,67
K <sup>+</sup> (Cmol/kg)	Promedio	0,02 <b>b</b>	0,14 <b>a</b>	0,07 <b>ab</b>	0,09 <b>ab</b>	0,08 <b>ab</b>
	SD	0,02	0,05	0,03	0,05	0,04
	Mediana	0,01	0,13	0,07	0,11	0,07
	CV	98,97	37,80	45,18	56,78	54,97
Na <sup>+</sup> (Cmol/kg)	Promedio	0,05 <b>a</b>	0,03 <b>a</b>	0,01 <b>a</b>	0,04 <b>a</b>	0,06 <b>a</b>
	SD	0,03	0,03	0,00	0,03	0,06
	Mediana	0,06	0,01	0,01	0,03	0,06
	CV	52,92	120,00	0,00	84,16	97,21
Al <sup>+3</sup> H <sup>+</sup> (Cmol/kg)	Promedio	0,22 <b>a</b>	1,58 <b>a</b>	0,90 <b>a</b>	0,98 <b>a</b>	1,44 <b>a</b>
	SD	0,03	0,71	0,20	0,68	0,75
	Mediana	0,20	1,63	0,98	1,05	1,28
	CV	13,32	44,78	22,68	70,25	51,85
Suma cationes (Cmol/kg)	Promedio	0,56 <b>b</b>	2,04 <b>ab</b>	1,41 <b>ab</b>	2,44 <b>a</b>	1,93 <b>ab</b>
	SD	0,20	0,69	0,27	1,11	0,70
	Mediana	0,54	2,04	1,45	2,46	2,00
	CV	35,13	33,76	19,09	45,65	36,58
Suma bases (Cmol/kg)	Promedio	0,34 <b>a</b>	0,47 <b>a</b>	0,51 <b>a</b>	1,46 <b>a</b>	0,49 <b>a</b>
	SD	0,20	0,07	0,15	1,43	0,36
	Mediana	0,29	0,47	0,50	0,91	0,38
	CV	58,75	14,21	29,33	97,87	73,19
Saturación bases (%)	Promedio	22,33 <b>a</b>	5,75 <b>a</b>	11,00 <b>a</b>	28,75 <b>a</b>	12,50 <b>a</b>
	SD	14,57	1,71	4,55	15,06	10,47
	Mediana	16,00	5,50	12,00	22,50	8,50
	CV	65,25	29,70	41,33	52,40	83,78

Letras diferentes con los promedios representan diferencias significativas a la prueba de comparaciones múltiples Bonferroni, posterior al análisis de varianza.

## Discusión

El ritmo de recuperación de la estructura y la diversidad de las especies vegetales en los bosques secundarios viene determinado por una compleja interacción entre factores locales, históricos y paisajísticos (Barros et al. 2020). Estudios previos han demostrado que la diversidad de especies aumenta con la edad bosque (Zemunik et al. 2016). Lo cual coincide con el presente estudio, ya que la diversidad de especies y la estructura del bosque se ha incrementado significativamente en las plantaciones abandonadas, en comparación con los bosques de referencia.

Con respecto a la diversidad de especies, en el estudio se encontró una mayor riqueza de diversidad de especies (entre 10 a 20% más) que en una evaluación previa en el área de estudios (hace 4 años) (Garate-Quispe et al. 2021). Por lo tanto, esto sugeriría que en estas plantaciones continuarían avanzando en la sucesión secundaria. Por otro lado, si comparamos la diversidad arbórea de la regeneración natural encontrada en el estudios son significativamente inferiores a los reportados previos en áreas degradadas por minería en Madre de Dios (Garate-Quispe et al. 2023; 2024; Chambi-Legoas et al. 2021). Una de las razones sería el elevado nivel de fragmentación y tipo de minería (mecanizada) que genera impactos más severos en el área de estudio en comparación con los estudios previos en Madre de Dios, que abarcan sitios con otro tipo de minería.

Los valores encontrados en las características fisicoquímicas del suelo en las áreas abandonadas por minería coincide con lo reportado en estudios previos (Román-Dañobeytia et al. 2021; Velásquez Ramírez et al. 2020), en áreas degradadas por minería en Madre de Dios. Es decir, bajos niveles de materia orgánica (< 0.5%), pH (> 5) y porcentaje de arena (>85%) mayor que el bosque de referencia. Por otro lado, si comparamos las características fisicoquímicas del suelo encontrado en las plantaciones (24 años) con las de otro estudio con regeneración natural (entre 15-19 años de edad) en áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en un estudio de caso en Madre de Dios (Alarcón-Aguirre et al. 2023). Encontramos que el suelo de las plantaciones del presente estudio tiene una mejor recuperación de sus características

fisicoquímicas que en áreas con regeneración natural. Ya que estas áreas con regeneración natural (Alarcón-Aguirre et al. 2023) presentaron valores más altos de pH (4,94), menor materia orgánica (0,24%), menor capacidad de intercambio catiónico (3,59 meq/100g) y mayores porcentajes de arena (77%) que los encontrados en las plantaciones del presente estudio (Tabla 11)

La rápida recuperación de la características fisicoquímicas del suelo de las plantaciones en comparación con la diversidad de especies y estructura de las plantaciones, coincide con lo reportado por estudios previos en bosques secundarios tropicales (Poorter et al. 2021; Letcher y Chazdon 2009; Mora et al. 2015). Ya que no encontramos diferencias significativas entre las características fisicoquímicas del suelo entre las plantaciones y los bosques, mientras que si se encontró diferencias significativas en el número de especies, diversidad y estructura del bosque. Esto se debería a que la recuperación del suelo es más rápida que la estructura, diversidad de especies, biomasa y composición de especies. Ya que en bosques tropicales el 90% de la recuperación del suelo suele suceder en menos de una década, la estructura y diversidad de especies entre 2,5 a 6 décadas y la composición de especies en más de 12 décadas (Poorter et al. 2021). Por lo tanto, el restablecimiento de la cobertura vegetal con la plantación en áreas degradadas y abandonadas por la minería en Huepetuhe habría permitido el establecimiento de comunidades vegetales de sucesión temprana. De esta manera se alteraría las condiciones ambientales a través de la retroalimentación suelo-planta y se generaría condiciones adecuadas para las especies sucesionales intermedias y tardías (Li et al. 2022).

## CONCLUSIONES

En total se registraron 117 especies arbóreas, distribuidos en 70 géneros y 32 familias botánicas. En los bosques se encontró un mayor número de especies (103) que en las plantaciones (29). Se encontró una significativa recuperación de la abundancia, riqueza, diversidad de especies y área basal de las plantaciones en comparación con los bosques de referencia, principalmente con el bosque secundario.

Las características fisicoquímicas de los suelos de minería se diferenciaron claramente de las plantaciones y el bosque secundario y primario. se observó que los suelos de minería fueron característicos por altos valores de pH y porcentaje de arena. Mientras que los altos valores de materia orgánica, niveles de potasio y iones de  $A^{+3}$  fueron característicos de los bosques y las plantaciones.

Se encontraron diferencias significativas en la composición florística entre los bosques y las plantaciones evaluadas. Ya que de las 103 especies encontradas en los bosques solo 15 se encontraron en las plantaciones establecidas en las áreas degradadas por la minería (solo el 14,6%). Se encontró una mayor similitud florística promedio entre el bosque primario y las plantaciones (entre 17 a 25,4%), que entre el bosque secundario con las plantaciones (entre 16,4 a 20,5), debido a un mayor flujo de especies de sucesión intermedia y avanzada de bosque primario que se están estableciendo en las plantaciones, *Miconia minutiflora*, *Cinchona pubescens*, *Tapirira guianensis* y *Parkia nitida*.

Se encontró una recuperación de las características fisicoquímicas del suelo en las plantaciones, teniendo como referencia los valores encontrados en los suelos abandonados por la minería y los bosques. Se encontró una disminución significativa del pH, y ahora los valores de pH de las plantaciones de 24 años son estadísticamente similares a los valores de pH de los bosques primario y secundario. Por otro lado, se observó un incremento significativo en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en las plantaciones, si

comparamos los valores entre suelo de minería y las de los bosques. La CIC se recuperó en más de 100% en las plantaciones.

Se acepta parcialmente la hipótesis general alterna planteada. Debido a que si encontramos abundancia, riqueza y diversidad de especies de flora en las plantaciones que en el bosque primario de referencia. Además. Mientras que con respecto al suelo no se cumplió con la hipótesis alterna. Ya que no se encontraron diferencias significativas entre las plantaciones y los bosques con respecto a los porcentajes de arena, pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico.

## **SUGERENCIAS**

Continuar con estudios sobre la evaluación de la recuperación de suelos en áreas abandonadas por la minería en el área de estudio. Con especial énfasis en las plantaciones antiguas que existen en Madre de Dios, ya que entender cómo se recuperan los suelos luego de las actividades minera ayudará a recuperar de forma más eficaz estos ecosistemas degradados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCON-AGUIRRE, G., CANAHUIRE ROBLES, R.R., GUEVARA DUAREZ, F.M., RODRÍGUEZ ACHATA, L., GALLEGOS CHACÓN, L.E. y GARATE-QUISPE, J., 2021. Dynamics of forest loss in the southeast of the Peruvian Amazon: a case study in Madre de Dios. *Ecosistemas* [en línea], vol. 30, no. 2, pp. 1-11. DOI 10.7818/ECOS.2175. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/2175>.
- ALARCÓN-AGUIRRE, G., SAJAMI QUISPE, E., VÁSQUEZ ZAVALA, T., PONCE TEJADA, L.V., RAMOS ENCISO, D., RODRÍGUEZ ACHATA, L. y GARATE-QUISPE, J., 2023. Vegetation dynamics in lands degraded by gold mining in the southeastern Peruvian Amazon. *Trees, Forests and People* [en línea], vol. 11, pp. 100369. DOI 10.1016/j.tfp.2023.100369. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100369>.
- ANDERSON, M., GORLEY, R. y CLARKE, K., 2008. *PERMANOVA + for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. First edit. Plymouth, United Kingdom: PRIMER-E.
- BANDYOPADHYAY, S. y MAITI, S., 2019. Evaluation of ecological restoration success in mining-degraded lands. *Environmental Quality Management* [en línea], vol. 29, no. 1, pp. 89-100. [Consulta: 8 abril 2022]. DOI 10.1002/TQEM.21641. Disponible en: <https://onlinelibrary-wiley-com.sire.ub.edu/doi/full/10.1002/tqem.21641>.
- BARROS, T., ELIAS, F., ROMANO, L.L. y FERREIRA, J., 2020. Natural recovery of plant species diversity in secondary forests in Eastern Amazonia: contributions to passive forest restoration. *Revista Brasileira de Botânica* [en línea], vol. 43, no. 1, pp. 165-175. DOI 10.1007/s40415-020-00585-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00585-9>.
- BENVENUTI-FERREIRA, G., COELHO, G.C., SCHIRMER, J. y LUCCHESI,



- O.A., 2009. Dendrometry and litterfall of neotropical pioneer and early secondary tree species. *Biota Neotropica*, DOI 10.1590/S1676-06032009000100008.
- BONNESOEUR, V., LOCATELLI, B., GUARIGUATA, M.R., OCHOA-TOCACHI, B.F., VANACKER, V., MAO, Z., STOKES, A. y MATHEZ-STIEFEL, S.L., 2019. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *Forest Ecology and Management* [en línea], vol. 433, no. June 2018, pp. 569-584. DOI 10.1016/j.foreco.2018.11.033. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.033>.
- BRADSHAW, A., 1987. Restoration: the acid test for ecology. *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*, DOI 10.1111/j.1526-100X.2006.00139.x.
- BULNES, S., 2004. Reforestacion en las areas afectadas por la actividad minera en Huetupe. . Lima:
- CABALLERO, J., MESSINGER, M., ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L. y SILMAN, M., 2018. Deforestation and Forest Degradation Due to Gold Mining in the Peruvian Amazon: A 34-Year Perspective. *Remote Sensing* [en línea], vol. 10, no. 12, pp. 1903. DOI 10.3390/rs10121903. Disponible en: <http://www.mdpi.com/2072-4292/10/12/1903>.
- CHAMBI-LEGOAS, R., ORTEGA RODRIGUEZ, D.R., FIGUEIREDO, F. de M. de, PEÑA VALDEIGLESIAS, J., ZEVALLOS POLLITO, P.A., MARCELO-PEÑA, J.L. y ROTHER, D.C., 2021. Natural Regeneration After Gold Mining in the Peruvian Amazon: Implications for Restoration of Tropical Forests. *Frontiers in Forests and Global Change*, vol. 4, no. July, pp. 1-10. DOI 10.3389/ffgc.2021.594627.
- CHAZDON, R.L. y GUARIGUATA, M.R., 2016. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges.

*Biotropica*, vol. 48, no. 6, pp. 716-730. DOI 10.1111/btp.12381.

CONCYTEC, 2019. Formalizan la aprobación del «código nacional de la integridad científica». *El Peruano*. 2019. pp. 38-39.

DE FREITAS, J., DARDENGO, E., APARECIDA, A., ROSSI, B. y LEMES VARELLA, T., 2018. The effects of fragmentation on the genetic structure of *Theobroma speciosum* (Malvaceae) populations in Mato Grosso, Brazil. *Revista de Biología Tropical*, vol. 66, no. 1, pp. 218-226. DOI 10.15517/rbt.v66i1.27904.

ENGEL, L. y PARROTA, J., 2003. *Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais*. S.l.: FEPAF.

GARATE-QUISPE, J., CANAHUIRE-ROBLES, R., ALARCÓN-AGUIRRE, G., DUEÑAS-LINARES, H. y ROMAN-DAÑOBEYTIA, F., 2024. Changes in floristic and vegetation structure in a chronosequence of abandoned gold-mining lands in a tropical Amazon forest. *Heliyon*, vol. 10, no. 9. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e29908.

GARATE-QUISPE, Jorge, CANAHUIRE-ROBLES, R., SURCO-HUACACHI, O. y ALARCÓN-AGUIRRE, G., 2021. Development of forest structure and tree floristic composition on affected gold mined sites in the Peruvian Amazon: 20 years after reforestation. *Revista Mexicana de Biodiversidad* [en línea], vol. 92, no. May, pp. 923437. DOI 10.22201/IB.20078706E.2021.92.3437. Disponible en: <http://revista.ib.unam.mx/index.php/bio/article/view/3437>.

GARATE-QUISPE, J., DE LEON, R.P., HERRERA-MACHACA, M., JULIAN-LAIME, E. y NIETO-RAMOS, C., 2021. Growth and survivorship of *Vetiveria zizanioides* in degraded soil by gold-mining in the Peruvian Amazon. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, vol. 9, no. 1, pp. 3219-3225. DOI 10.15243/JDMLM.2021.091.3219.

GARATE-QUISPE, J., VELÁSQUEZ RAMÍREZ, M., BECERRA-LIRA, E., BAEZ-QUISPE, S., ABRIL-SURICHAQUI, M., RODRIGUEZ-ACHATA, L.,

MUÑOZ-USHÑAHUA, A., NASCIMENTO HERBAY, P., FERNANDEZ-MAMANI, Y., ALARCON-AGUIRRE, G., HERRERA-MACHACA, M., HILARES VARGAS, L., CORVERA GOMRINGER, R. y DEL CASTILLO TORRES, D., 2023. Influence of Distance from Forest Edges on Spontaneous Vegetation Succession Following Small-Scale Gold Mining in the Southeast Peruvian Amazon. *Diversity* [en línea], vol. 15, no. 6, pp. 793. DOI 10.3390/d15060793. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-2818/15/6/793>.

GARATE-QUISPE, Jorge Santiago, CANAHUIRE-ROBLES, R., SURCO-HUACACHI, O. y ALARCÓN-AGUIRRE, G., 2021. Desarrollo estructural y composición florística arbórea en áreas afectadas por minería aurífera en la Amazonía peruana: a 20 años de su reforestación. *Revista Mexicana de Biodiversidad* [en línea], vol. 92, no. 0, pp. 923437. DOI 10.22201/ib.20078706e.2021.92.3437. Disponible en: <http://revista.ib.unam.mx/index.php/bio/article/view/3437>.

HAMMER, Ø. y HARPER, D. a T., 2006. *Paleontological Data Analysis. 1st edition*. Oxford: Blackwell Publishing.

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C., 2018. *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. S.l.: McGraw-Hill.

ILINKIN, V. y DIMITROVA, V., 2019. Forestry Reforestation vs. Spontaneous Revegetation-Soil Changes in Coal Mining Spoil Heaps Across Bulgaria. [en línea], vol. 11, pp. 25-36. [Consulta: 8 abril 2022]. Disponible en: <http://eb.bio.uni-plovdiv.bg>.

KAHHAT, R., PARODI, E., LARREA-GALLEGOS, G., MESTA, C. y VÁZQUEZ-ROWE, I., 2019. Environmental impacts of the life cycle of alluvial gold mining in the Peruvian Amazon rainforest. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 662, pp. 940-951. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.01.246. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.246>.

- LEBEL, J., 2015. *Salud, Un enfoque Ecosistemico* [en línea]. Ottawa: Alfaomega. Disponible en: [www.idrc.ca/EnJoco](http://www.idrc.ca/EnJoco).
- LEFEBVRE, D., ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., SOETE, J., CABANILLAS, F., CORVERA, R., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L.E. y SILMAN, M., 2019. Biochar effects on two tropical tree species and its potential as a tool for reforestation. *Forests*, vol. 10, no. 8, pp. 1-14. DOI 10.3390/f10080678.
- LEFEBVRE, D., WILLIAMS, A.G., KIRK, G.J.D., PAUL, BURGESS, J., MEERSMANS, J., SILMAN, M.R., ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., FARFAN, J. y SMITH, P., 2021. Assessing the carbon capture potential of a reforestation project. *Scientific Reports* [en línea], vol. 11, no. 1, pp. 2-11. DOI 10.1038/s41598-021-99395-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99395-6>.
- LETCHER, S.G. y CHAZDON, R.L., 2009. Rapid recovery of biomass, species richness, and species composition in a forest chronosequence in Northeastern Costa Rica. *Biotropica*, vol. 41, no. 5, pp. 608-617. DOI 10.1111/j.1744-7429.2009.00517.x.
- LI, T., YANG, H., YANG, X., GUO, Z., FU, D., LIU, C., LI, S., PAN, Y., ZHAO, Y., XU, F., GAO, Y. y DUAN, C., 2022. Community assembly during vegetation succession after metal mining is driven by multiple processes with temporal variation. *Ecology and Evolution* [en línea], vol. 12, no. 5, pp. e8882. DOI 10.1002/ece3.8882. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.8882>.
- LINDENMAYER, D., HOBBS, R.J., MONTAGUE-DRAKE, R., ALEXANDRA, J., BENNETT, A., BURGMAN, M., CALE, P., CALHOUN, A., CRAMER, V., CULLEN, P., DRISCOLL, D., FAHRIG, L., FISCHER, J., FRANKLIN, J., HAILA, Y., HUNTER, M., GIBBONS, P., LAKE, S., LUCK, G., MACGREGOR, C., MCINTYRE, S., MAC NALLY, R., MANNING, A., MILLER, J., MOONEY, H., NOSS, R., POSSINGHAM, H., SAUNDERS, D., SCHMIEGELOW, F., SCOTT, M., SIMBERLOFF, D., SISK, T., TABOR, G., WALKER, B., WIENS, J., WOINARSKI, J. y ZAVALETA, E.,

2008. *A checklist for ecological management of landscapes for conservation*. 2008. S.l.: s.n. ISBN 1461-023X.
- LUGO, A., 1997. The apparent paradox of reestablishing species richness on degraded lands with tree monocultures. *Forest Ecology and Management*, vol. 99, pp. 9-19.
- MACHADO, A., 2000. Restauración Ecológica: Una introducción al concepto. *JORNADAS SOBRE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA*. S.l.: European Centre for Nature Conservation, pp. 1-11.
- MINAM (MINISTERIO DEL AMBIENTE), 2014. *Guía para el muestreo de suelos. R.M. 085-2014*. 2014. Peru: MINAM.
- MIRELLA, G. y BÜNDCHEN, M., 2013. TÉCNICAS DE NUCLEAÇÃO APLICADAS NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. [en línea], Disponible en: <http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2016/09/Giane-Maria-Minella.pdf>.
- MONTAGNINI, F. y JORDAN, C., 2005. *Tropical Forest Ecology* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/b138811>.
- MORA, F., MARTÍNEZ-RAMOS, M., IBARRA-MANRÍQUEZ, G., PÉREZ-JIMÉNEZ, A., TRILLERAS, J. y BALVANERA, P., 2015. Testing Chronosequences through Dynamic Approaches: Time and Site Effects on Tropical Dry Forest Succession. *Biotropica*, vol. 47, no. 1, pp. 38-48. DOI 10.1111/btp.12187.
- MORECROFT, M.D. y KEITH, S.A., 2015. *Plant Ecology*. S.l.: s.n.
- MOSQUERA, C., CHAVEZ, M., PACHAS, V., MOSCHELLA, P., CHAVEZ, L., PACHAS, V. y MOSCHELLA, P., 2009. *Estudio diagnóstico de la actividad minera artesanal en Madre de Dios*. Primera ed. Lima: Fundación Conservación Internacional, CooperAcción, CARITAS-Madre de Dios.
- POORTER, L., CRAVEN, D., JAKOVAC, C.C., VAN DER SANDE, M.T.,

AMISSAH, L., BONGERS, F., CHAZDON, R.L., FARRIOR, C.E., KAMBACH, S., MEAVE, J.A., MUÑOZ, R., NORDEN, N., RÜGER, N., VAN BREUGEL, M., ALMEYDA ZAMBRANO, A.M., AMANI, B., ANDRADE, J.L., BRANCALION, P.H.S., BROADBENT, E.N., DE FORESTA, H., DENT, D.H., DERROIRE, G., DEWALT, S.J., DUPUY, J.M., DURÁN, S.M., FANTINI, A.C., FINEGAN, B., HERNÁNDEZ-JARAMILLO, A., HERNÁNDEZ-STEFANONI, J.L., HIETZ, P., JUNQUEIRA, A.B., N'DJA, J.K., LETCHER, S.G., LOHBECK, M., LÓPEZ-CAMACHO, R., MARTÍNEZ-RAMOS, M., MELO, F.P.L., MORA, F., MÜLLER, S.C., N'GUESSAN, A.E., OBERLEITNER, F., ORTIZ-MALAVASSI, E., PÉREZ-GARCÍA, E.A., PINHO, B.X., PIOTTO, D., POWERS, J.S., RODRÍGUEZ-BURITICÁ, S., ROZENDAAL, D.M.A., RUÍZ, J., TABARELLI, M., TEIXEIRA, H.M., VALADARES DE SÁ BARRETTO SAMPAIO, E., VAN DER WAL, H., VILLA, P.M., FERNANDES, G.W., SANTOS, B.A., AGUILAR-CANO, J., DE ALMEIDA-CORTEZ, J.S., ALVAREZ-DAVILA, E., ARREOLA-VILLA, F., BALVANERA, P., BECKNELL, J.M., CABRAL, G.A.L., CASTELLANOS-CASTRO, C., DE JONG, B.H.J., NIETO, J.E., ESPÍRITO-SANTO, M.M., FANDINO, M.C., GARCÍA, H., GARCÍA-VILLALOBOS, D., HALL, J.S., IDÁRRAGA, A., JIMÉNEZ-MONTOYA, J., KENNARD, D., MARÍN-SPIOTTA, E., MESQUITA, R., NUNES, Y.R.F., OCHOA-GAONA, S., PEÑA-CLAROS, M., PÉREZ-CÁRDENAS, N., RODRÍGUEZ-VELÁZQUEZ, J., VILLANUEVA, L.S., SCHWARTZ, N.B., STEININGER, M.K., VELOSO, M.D.M., VESTER, H.F.M., VIEIRA, I.C.G., WILLIAMSON, G.B., ZANINI, K. y HÉRAULT, B., 2021. Multidimensional tropical forest recovery. *Science* [en línea], vol. 374, no. 6573, pp. 1370-1376. DOI 10.1126/science.abh3629. Disponible en: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abh3629>.

R CORE TEAM, 2024. *R: A language and environment for statistical computing*. [en línea]. 2024. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponible en: <http://www.r-project.org/>.

ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., CABANILLAS, F., LEFEBVRE, D., FARFAN, J.,

ALFEREZ, J., POLO-VILLANUEVA, F., LLACSAHUANGA, J., VEGA, C.M., VELASQUEZ, M., CORVERA, R., CONDORI, E., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L.E. y SILMAN, M.R., 2020. Survival and early growth of 51 tropical tree species in areas degraded by artisanal gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering* [en línea], no. October, pp. 106097. DOI 10.1016/j.ecoleng.2020.106097. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106097>.

ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., CABANILLAS, F., LEFEBVRE, D., FARFAN, J., ALFEREZ, J., POLO-VILLANUEVA, F., LLACSAHUANGA, J., VEGA, C.M., VELASQUEZ, M., CORVERA, R., CONDORI, E., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L.E. y SILMAN, M.R., 2021. Survival and early growth of 51 tropical tree species in areas degraded by artisanal gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, vol. 159, no. October 2020. DOI 10.1016/j.ecoleng.2020.106097.

ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., HUAYLLANI, M., MICHI, A., IBARRA, F., LOAYZA-MURO, R., VÁZQUEZ, T., RODRÍGUEZ, L. y GARCÍA, M., 2015. Reforestation with four native tree species after abandoned gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, vol. 85, pp. 39-46. DOI 10.1016/j.ecoleng.2015.09.075.

ROMAN, F., MAMANI, A., CRUZ, A., SANDOVAL, C. y CUESTA, F., 2018. *DE ECOSISTEMAS FORESTALES* [en línea]. S.I.: SERFOR. [Consulta: 21 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2018/11/GuiaRestauracion-A4-FINAL-OK.pdf>.

ŠEBELÍKOVÁ, L., CSICSEK, G., KIRMER, A., VÍTOVCOVÁ, K., ORTMANN-AJKAI, A., PRACH, K. y ŘEHOUNKOVÁ, K., 2018. Spontaneous revegetation versus forestry reclamation—Vegetation development in coal mining spoil heaps across Central Europe. *Land Degradation & Development* [en línea], vol. 30, no. 3, pp. 3233. [Consulta: 8 abril 2022]. DOI 10.1002/ldr.3233. Disponible en: <https://onlinelibrary-wiley-com.sire.ub.edu/doi/full/10.1002/ldr.3233>.

- SER, S. for E.R., 2008. *La restauración ecológica como herramienta para revertir la fragmentación de los ecosistemas*. 2008. S.l.: s.n.
- SOL-SÁNCHEZ, A., ZENTENO, C., ZAMORA, L. y TORRES, E., 2002. Modelo para la Restauración Ecológica en áreas alteradas. *Revista de difusión Kuxulcab*, vol. 7, no. 14, pp. 48-60.
- SQUIZZATTO, D., 2005. Floristic of Shrub-Tree vegetation colonizing an area degraded by Kaolin mining, in Brás Pires - Brazil. *Árvore*, vol. 29, no. 6, pp. 983-992.
- SYSTAT, 2020. *SigmaPlot 14.5 User's Guide*. 2020. United States of America: Systat Software Inc.
- TRIPATHI, N., SINGH, R. y HILLS, C., 2016. *Reclamation of Mine-Impacted Land for Ecosystem Recovery*. United Kingdom: Wiley Blackwell.
- VASQUEZ, C., BATIS, A., ALCOCER, S., GUAL, M. y SÁNCHEZ, C., 1999. *Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Proyecto J-084*. S.l.: Universidad Autónoma de México.
- VÁZQUEZ-YANES, C. y BATIS, A.I., 2017. Adopción de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Botanical Sciences*, vol. 84, no. 58, pp. 75. DOI 10.17129/botsci.1488.
- VELÁSQUEZ RAMÍREZ, M.G., BARRANTES, J.A.G., THOMAS, E., GAMARRA MIRANDA, L.A., PILLACA, M., TELLO PERAMAS, L.D. y BAZÁN TAPIA, L.R., 2020. Heavy metals in alluvial gold mine spoils in the peruvian amazon. *Catena* [en línea], vol. 189, no. December 2019, pp. 104454. DOI 10.1016/j.catena.2020.104454. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104454>.
- VELÁSQUEZ RAMÍREZ, M.G., DEL CASTILLO TORRES, D., GUERRERO BARRANTES, J.A., VÁSQUEZ BARDALES, J., THOMAS, E., CUSI AUCA, E., CHINEN GUSHIKEN, M., MUÑOZ DIAZ, B., RUSSO, R. y



CORVERA GOMRINGER, R., 2021. Soil recovery of alluvial gold mine spoils in the Peruvian Amazon using *Stylosanthes guianensis*, a promising cover crop. *Land Degradation and Development*, vol. 32, no. 18, pp. 5143-5153. DOI 10.1002/ldr.4118.

VELÁSQUEZ RAMÍREZ, M.G., VEGA RUIZ, C.M., GOMRINGER, R.C., PILLACA, M., THOMAS, E., STEWART, P.M., GAMARRA MIRANDA, L.A., DAÑOBEYTIA, F.R., GUERRERO BARRANTES, J.A., GUSHIKEN, M.C., BARDALES, J.V., SILMAN, M., FERNANDEZ, L., ASCORRA, C. y TORRES, D. del C., 2021. Mercury in soils impacted by alluvial gold mining in the Peruvian Amazon. *Journal of Environmental Management*, vol. 288, no. February. DOI 10.1016/j.jenvman.2021.112364.

WALKER, L.R. y DEL MORAL, R., 2003. *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation* [en línea]. New York: Cambridge University Press. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9780511615078/type/book>.

WALKER, L.R. y DEL MORAL, R., 2011. Primary Succession. *eLS* [en línea], no. August 2011. DOI 10.1002/9780470015902.a0003181.pub2. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470015902.a0003181.pub2>.

WHALEY, O.Q., BERESFORD-JONES, D.G., MILLIKEN, W., ORELLANA, A., SMYK, A. y LEGUÍA, J., 2010. An ecosystem approach to restoration and sustainable management of dry forest in southern Peru. *Kew Bulletin*, vol. 65, no. 4, pp. 613-641. DOI 10.1007/s12225-010-9235-y.

ZEMUNIK, G., TURNER, B.L., LAMBERS, H. y LALIBERTÉ, E., 2016. Increasing plant species diversity and extreme species turnover accompany declining soil fertility along a long-term chronosequence in a biodiversity hotspot. *Journal of Ecology* [en línea], vol. 104, no. 3, pp. 792-805. [Consulta: 13 junio 2022]. DOI 10.1111/1365-2745.12546. Disponible en: <https://onlinelibrary-wiley->

[com.sire.ub.edu/doi/full/10.1111/1365-2745.12546](http://com.sire.ub.edu/doi/full/10.1111/1365-2745.12546).

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de consistencia

Título: Evaluación de la vegetación y características fisicoquímicas del suelo de plantaciones en áreas degradadas por minería en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios				
Planteamiento del problema	Objetivos de la Investigación	Hipótesis	Variables	Indicadores
<b>Problema General</b>				
¿Cuáles serán las características de la vegetación y las propiedades fisicoquímicas del suelo de plantaciones de más de 20 años en áreas degradadas por minería aurífera, en comparación con el bosque de referencia, en Huepetuhe, Madre de Dios?	Evaluar las características de la vegetación y las propiedades fisicoquímicas del suelo de plantaciones de más de 20 años en áreas degradadas por minería aurífera y compararlas con el bosque de referencia, en Huepetuhe, Madre de Dios	- Se espera encontrar una menor abundancia, riqueza y diversidad de especies de flora en las plantaciones que en el bosque de referencia. Este se reflejaría en una menor similitud florística.	- Naturaleza del bosque (natural o plantación).	- Tipo de bosque - Especies - Diámetro
<b>Problemas Específicos (PE)</b>	<b>Objetivos específicos (OE)</b>			
<b>PE-1:</b> ¿Cuál será abundancia, riqueza, diversidad de especies y florísticas de especies leñosas en dos plantaciones de más de 20 años de establecimiento en áreas degradadas por minería aurífera?	Evaluar la abundancia, riqueza, diversidad de especies y florística de especies leñosas en dos plantaciones de más de 20 años de establecimiento en áreas degradadas por minería aurífera.	- Se espera encontrar diferencias en las características fisicoquímicas del suelo entre las plantaciones establecidas en áreas degradadas por minería y el bosque de referencia. Específicamente, en las plantaciones esperamos encontrar suelos de textura arenosa, suelos ácidos, un menor porcentaje de materia orgánica y una menor capacidad de intercambio catiónico; en comparación con el bosque de referencia.	- Especies utilizadas en la plantación inicial. - Atributos estructurales del bosque.	- Altura - Estructura vertical - Estructura horizontal - Riqueza de especies
<b>PE-2:</b> ¿cómo serán las características fisicoquímicas en dos plantaciones de más de 20 años de establecimiento en áreas degradadas por minería aurífera?	Evaluar las características fisicoquímicas en dos plantaciones de más de 20 años de establecimiento en áreas degradadas por minería aurífera.		- Atributos florísticos.	- Índices de diversidad
<b>PE-3:</b> ¿Cuál será el nivel de similitud florística entre las plantaciones en áreas degradadas y el bosque de referencia?	Comparar la similitud florística entre las plantaciones en áreas degradadas y el bosque de referencia.		- Características físicas y químicas del suelo.	- Similitud florística
<b>PE-4:</b> ¿Cuál será el nivel de similitud en las características fisicoquímicas del suelo entre las plantaciones en áreas degradadas y el bosque de referencia?	Comparar las características fisicoquímicas del suelo entre las plantaciones en áreas degradadas y el bosque de referencia.			- Características físicas del suelo - Características químicas del suelo

**Anexo 2.** Instrumento para colección de datos en campo

Pág. 1						
<b>Localidad:</b>			Fecha:			
<b>Código parcela</b>			Hora inicio:			
Tiempo de plantación:			Hora fin:			
Nombre libretista			<b>Coordenadas GPS punto inicio (A)</b>			
			S:			
			W:			
<b>Observaciones:</b>						
			(1) Suelo: Cascajo (C), suelo (S)			
(2) Cobertura dominante: Leñosa, sub-leñosa, Herbácea.			(4) presencia de lianas (SI) (NO)			
Nº	Sub-plot	Nombre común	Especie ( ) / Familia	DAP (cm)	HT	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						