

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE**



TESIS

“Caracterización fisicoquímica del suelo, regeneración natural y biomasa aérea de la vegetación en dos concesiones mineras mecanizadas de Madre de Dios”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

AUTOR(ES):

Bach. QUISPE AMPUERO, Jhon
Eliseo

Bach. CRUZ HERRERA, Ivan

ASESOR:

M. Sc. GARATE QUISPE, Jorge
Santiago

Puerto Maldonado, noviembre del 2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE**



TESIS

“Caracterización fisicoquímica del suelo, regeneración natural y biomasa aérea de la vegetación en dos concesiones mineras mecanizadas de Madre de Dios”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

AUTOR(ES):

Bach. QUISPE AMPUERO, Jhon
Eliseo

Bach. CRUZ HERRERA, Ivan

ASESOR:

M. Sc. GARATE QUISPE, Jorge
Santiago

Puerto Maldonado, noviembre del 2024

DEDICATORIA

A Dios, mi guía incondicional, por concederme la sabiduría, salud y fortaleza, lo que hizo posible alcanzar este logro.

A mi Madre **Leonarda Ampuero Huaquisto** que desde pequeño me educó con amor, paciencia, sacrificio, que siempre estuvo a mi lado apoyándome y motivándome en mi formación profesional.

A mis hermanos, **Abg. Niger** e **Ing. Joaquin** por su apoyo en todo momento, la paciencia, por los consejos, esto es gracias a ustedes.

Atte. Jhon Eliseo Quispe Ampuero

En primer lugar, doy gracias a Dios por permitirme alcanzar este objetivo, además agradecer al **CENTRO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA AMAZÓNICA (CINCIA)** por brindarme una beca para poder realizar mi tesis de investigación.

Agradezco a Dios por darme a mis padres y hermanos que siempre están conmigo apoyándome en cada momento.

De igual forma doy gracias a todos mis docentes que me enseñaron en sus aulas para poder complementar mi carrera profesional.

También quiero dar mención y agradecer a mi asesor de tesis el **M.Sc. GARATE QUISPE Jorge Santiago** por siempre estar con nosotros apoyándonos.

Atte. Ivan Cruz Herrera

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darnos la vida y la oportunidad de finalizar esta nueva fase de nuestro desarrollo profesional.

A la **Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD)**, que a través de la escuela profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente por permitirnos nuestra formación profesional en esta institución y a los docentes por su calidad de enseñanza en nuestro desarrollo profesional y albergarnos durante la etapa universitaria y ser parte de su gran familia estudiantil.

AI CENTRO DE INNOVACION CIENTIFICA AMAZONICA (CINCIA) por el financiamiento a nuestro proyecto de tesis. El apoyo, asesoramiento a la investigación para los tesisistas.

A nuestro asesor de tesis, el **M.Sc. GARATE QUISPE Jorge Santiago**, por la orientación, recomendaciones, disposición, revisión en la elaboración y ejecución de esta tesis, sin duda fue un privilegio poder contar con su guía.

Un agradecimiento especial para la empresa **UNIÓN MINERA HIPASUR S.A.C.** (CONCESIÓN MINERA PUERTO BELÉN) e **INVERSIONES D.M.M.D. S.R.L.** (CONCESIÓN MINERASAN VICENTE II) por facilitarnos el ingreso a las concesiones mineras mecanizadas y permitir realizar las investigaciones.

A nuestros miembros del jurado, por sus apreciados y relevantes aportes, comentarios y sugerencias para un óptimo trabajo de investigación.

A nuestro amigo **Bach. CONDORI PARHUAYO Jorge** por su apoyo en la culminación de tesis.

Finalmente, un gran agradecimiento a nuestros familiares, compañeros y amigos por sus aportes y el apoyo que nos brindaron en el desarrollo de nuestra investigación.

TURNITIN_JHON QUISPE Y IVAN CRUZ

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

10%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	7%
2	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios Trabajo del estudiante	2%
4	Zhofre Aguirre, Leonardo González, Johana Muñoz, Luis Muñoz. "PROCESOS SUCESIONALES DE LA VEGETACIÓN BAJO PLANTACIONES FORESTALES Y BOSQUE ANDINO EN LA HOYA DE LOJA, ECUADOR", Editora Científica Digital, 2022 Publicación	1%
5	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
6	1library.co Fuente de Internet	1%
7	kipdf.com	

RESUMEN

El objetivo de la investigación es caracterizar física y químicamente el suelo, la regeneración natural y la biomasa aérea en dos concesiones mineras mecanizadas en Madre de Dios. El estudio se realizó en las concesiones del sector Punkiri y Kimiri en el distrito de Huepetuhe, provincia de Manu, departamento de Madre de Dios. La vegetación del bosque de referencia presento más especies y diversidad que la regeneración natural en zonas degradadas por la minería. Además, se identificaron diferencias significativas en la composición de especies arbóreas entre la regeneración natural de las áreas abandonadas por minería y el bosque de referencia. Mediante el IndVal se identificaron nueve especies indicadoras de áreas degradadas por minería, tales como: *Bellucia pentamera*, *Gustavia longifolia*, *Stryphnodendron sp1*, *Miconia poeppigii*, *Vochysia sp1*, *Guarea macrophylla*, *Ocotea sp1*, *Jacaranda copaia* y *Ochroma pyramidale*. El patrón de la estructura horizontal en la regeneración natural mostro una tendencia similar, con mayor cantidad de individuos ubicándose en la categoría más baja de la clase diamétrica (0-10 cm de DAP). Con respecto a la estructura vertical, fue similar el número de clases altimétricas presentes en la regeneración natural y los bosques de referencia. En las dos concesiones se encontró una relación directa entre el tiempo de abandono, la riqueza y la diversidad en el proceso de regeneración natural. Mientras que la distancia al bosque mostro una correlación inversa con la riqueza y la diversidad en el proceso de regeneración natural. La biomasa área fue mayor en los bosques de referencia entre (200 – 400 Mg/ha), y menor en regeneración natural (<100 Mg/ha).

Palabras clave: Minería aurífera; alometría; biomasa aérea; regeneración natural; Inambari.

ABSTRACT

The objective of the research is to physically and chemically characterize the soil, natural regeneration and aerial biomass in two mechanized mining concessions in Madre de Dios. The study was conducted in the Punkiri and Kimiri sector concessions in the district of Huepetuhe, province of Manu, department of Madre de Dios. The vegetation of the reference forest presented more species and diversity than the natural regeneration in areas degraded by mining. In addition, significant differences in tree species composition were identified between the natural regeneration of the areas abandoned by mining and the reference forest. Nine indicator species of areas degraded by mining were identified by IndVal, such as: *Bellucia pentamera*, *Gustavia longifolia*, *Stryphnodendron* sp1, *Miconia poeppigii*, *Vochysia* sp1, *Guarea macrophylla*, *Ocotea* sp1, *Jacaranda copaia* and *Ochroma pyramidale*. The pattern of horizontal structure in the natural regeneration showed a similar trend, with more individuals located in the lowest category of the diameter class (0-10 cm DBH). With respect to vertical structure, the number of altitudinal classes present in the natural regeneration and the reference forests was similar. In the two concessions, a direct relationship was found between the time of abandonment, richness and diversity in the natural regeneration process. While the distance to the forest showed an inverse correlation with the richness and diversity in the natural regeneration process. Biomass area was higher in reference forests between (200 - 400 Mg/ha), and lower in natural regeneration (<100 Mg/ha).

Key words: Gold mining; allometry; aerial biomass; natural regeneration; Inambari.

PRESENTACIÓN

La investigación tiene como objetivo evaluar la composición florística de la regeneración natural, analizar la biomasa y factores fisicoquímicos de suelos en áreas degradadas por la actividad minera mecanizada en dos concesiones. Por lo tanto, se establecerán parcelas de 10 x 25 metros, para determinar las características fisicoquímicas existentes en el ambiente, con la estructura y composición de especies regenerativas en el área de estudio.

Serán calculadas y comparadas cada parcela por el tamaño de la vegetación, se analiza tomando en cuenta diversos parámetros estructurales, tales como la densidad (número de individuos/hectárea), altura (metros) y área basal (m^2/ha) total. Las categorías de tamaño (brinzal, latizal, fustal), se realizarán comparaciones y la relación con las características fisicoquímicas existentes en los suelos, mediante estadísticas entre tratamientos con el Programa estadístico RStudio.

Finalmente, para la caracterización y clasificación de los bosques según su composición florística se estableció la categoría de tamaño del fuste, así como el Índice de Valor de Importancia (IVI) propuesto por (Soler et al. 2012), para cada especie registrada internamente en las diferentes parcelas. El análisis de suelos y de especies florísticas nos permitirá conocer la diversidad existente mediante el Índice de Valor de Importancia (IVI), que tiene en cuenta la abundancia, la frecuencia y la dominancia en áreas degradadas, conjuntamente se evaluará la concentración fisicoquímica de los suelos y las biomásas de la regeneración natural en el área de estudio de las dos concesiones mineras mecanizada.

INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos es considerada como uno de los problemas más grave que ha surgido a raíz de la explotación inadecuada de los recursos debido a actividades mineras. Es fundamental que estas áreas sean restauradas para poder reincorporarlas a procesos productivos industriales, agronómicos, ambientales, entre otros (Rendón 2011), es considerada uno de los problemas sociales y ambientales, que deteriora los suelos a raíz de la inadecuada explotación inadecuada de los recursos (Ingemmet 2021).

El incremento elevado del mineral oro y la demanda económica a nivel mundial, ocasiona el soporte de expansión en la actividad minera (Swenson et al. 2011; Alvarez-Berrios y Mitchell Aide 2015).

Los suelos degradados son considerados uno de los problemas medioambientales, que ha desencadenado la explotación inadecuada de los recursos, mediante las actividades mineras en zonas de difícil reincorporación a procesos productivos (Rendon et al. 2011). Por lo tanto, en el área degradada por actividades mineras, las alteraciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo, crea perdida de nutrientes en el suelo que pueden limitar el establecimiento y crecimiento de las plantas (Bradshaw 1997; Rocha-Nicoleite et al. 2018). En el ámbito del uso del suelo y las actividades forestales, estas estrategias se centran en el almacenamiento de carbono en sumideros naturales, como la vegetación y el suelo, ya que juegan la relevancia de los bosques naturales en la dinámica de este biogeoelemento (Aristizabal y Guerra 2002).

El modelo de investigación propuesto, nos permitirá evaluar la composición florística, las características fisicoquímicas en los suelos y la biomasa impactados por la actividad minera mecanizada, se hará una comparación entre las dos concesiones mineras con las tres variables mencionadas, dichos resultados se hará una comparación con un testigo donde no ha sido impactada por la minería mecanizada para así poder determinar la gran diferencia de impacto que ha sufrido y que está en proceso de recuperación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
PRESENTACIÓN	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Objetivo	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Variables.....	4
1.5 Operacionalización de variables	5
1.6 Hipótesis.....	6
1.7 Justificación	6
1.8 Consideraciones éticas	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes del Estudio	8
2.1.1 Antecedentes Internacionales	8
2.1.2 Antecedentes Nacionales	10
2.1.3 Antecedentes Regionales.....	13
2.2 Marco teórico.....	16
2.2.1 Minería aurífera en Madre de Dios.....	16
2.2.2 Minería aurífera aluvial	16
2.2.3 Sucesión ecológica	17
2.2.4 Funcionamiento en las sucesiones	17
2.2.5 Restauración	17
2.2.6 Regeneración natural.....	18

2.2.7 Etapas en la regeneración natural	18
2.2.8 Características Fisicoquímicas del suelo	18
2.2.9 Materia orgánica de los suelos (M.O)	21
2.2.10 Minerales en el Suelo.....	22
2.2.11 Bosque primario	22
2.2.12 Bosque secundario	22
2.2.13 Composición florística	23
2.2.14 Metales pesados	23
2.2.15 Metales toxicos.....	24
2.2.16 Biomasa.....	24
2.2.17 Biomasa aérea	25
2.2.18 Estructura del bosque	25
2.2.19 Índice de Valor de Importancia (IVI)	26
2.2.20 Deforestación	26
2.3 Definición de términos.....	26
2.3.1 Abundancia	26
2.3.2 Diversidad	27
2.3.3 Inventario forestal.....	27
2.3.4 Especie.....	27
2.3.5 Bosque	27
2.3.6 Altura total	28
2.3.7 Diámetro a altura del pecho (DAP).	28
2.3.8 Área basal	28
2.3.9 Parcela	28
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.1 Tipo de estudio.....	29
3.2 Diseño del estudio.....	29
3.3 Delimitación espacial y temporal	29
3.3.1 Lugar de estudio.	29
3.3.2 Ubicación geográfica y política.....	34
3.4 Población y muestra.....	37
3.4.1 Tamaño y forma de las parcelas	37
3.4.2 Población.....	38
3.4.3 Muestra.....	38
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38

3.5.1 Métodos y técnicas	38
3.5.2 Instrumentos.....	45
3.5.3 Procesamientos de datos y análisis estadístico	46
CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	48
4.1 Abundancia, diversidad y composición florística de la regeneración natural. ...	48
4.1.1 Abundancia y diversidad de la vegetación.....	48
4.2 Especies indicadoras de la regeneración natural.....	53
4.2.1 Especies indicadores de áreas degradadas por minería aurífera	53
4.2.2 Especies arbóreas indicadores de bosque primario.....	56
4.3 Caracterización y comparación de la estructura de la regeneración natural según categorías de tamaño.	58
4.4 Influencia del tiempo de abandono en la composición florística en dos concesiones mineras mecanizadas.	62
4.5 Relación entre las características físicoquímica del suelo y los atributos florísticos la regeneración natural en aéreas degradadas y bosques de referencia.	66
4.6 Determinación y comparación de la Biomasa aérea en la regeneración natural en aéreas degradadas y los bosques de referencia.	71
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES	75
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables consideradas para el presente estudio. ...	5
Tabla 2. Concesión Minera: Puerto Belén. Coordenadas UTM WGS84 (100 ha).	37
Tabla 3. Concesión Minera: San Vicente II. Coordenadas UTM WGS84 (100 ha). ..	37
Tabla 4. Abundancia, riqueza y diversidad de especies de la regeneración natural en áreas degradadas por la minería aurífera y la comparación con los valores encontrados en el bosque de referencia en las dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1= Puerto Belén), kimiri (S2= San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.	49
Tabla 5. Similitud florística promedio (%), utilizando la distancia de Bray-Curtis) entre las áreas degradadas y el bosque de referencia en las dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1=Puerto Belén), kimiri (S2= San Vicente II) distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.	50
Tabla 6. Comparación por pares de la composición florística mediante el análisis PERMANOVA entre las áreas degradadas y el bosque de referencia en las dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1=Puerto Belén), kimiri (S2=San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.....	52
Tabla 7. Especies indicadores de la regeneración natural en áreas degradadas de dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (Puerto Belén), kimiri (San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.....	53
Tabla 8. Resultados del índice de especies indicadores (Ind.Val) de la regeneración natural en áreas degradadas de dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (concesión puerto Belén), kimiri (concesión San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.	54
Tabla 9. Especies indicadores del bosque de referencia de dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (concesión Puerto Belén), kimiri (concesión San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.....	56
Tabla 10. Resultados del índice de especies indicadores (Ind.Val) del bosque de referencia en dos mineras mecanizadas del sector Punkiri (concesión Puerto Belén), kimiri (concesión San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.....	56
Tabla 11. Comparación del número de individuos según categorías de diámetro (clases diamétricas) entre las áreas degradadas y el bosque de referencia en las dos mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1=Puerto Belén), kimiri (S2=San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.....	58
Tabla 12. Comparación del número de individuos según categorías de altura (clases altimétricas) entre las áreas degradadas y el bosque de referencia en las dos mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1=Puerto Belén), kimiri (S2=San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.....	60
Tabla 13. Comparación valores promedio (\pm desviación estándar) de las características fisicoquímicas del suelo entre las parcelas con regeneración natural en áreas degradadas por la minería aurífera y el bosque de referencia en las dos	

concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1=Puerto Belén), kimiri (S2=San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios. CE =Conductividad. CIC = Capacidad de intercambio catiónico.	66
Tabla 14. Matriz de correlación (coeficiente de correlación de Spearman) entre las características fisicoquímicas del suelo y los atributos florísticos en las parcelas evaluadas en áreas degradadas por la minería y el bosque de referencia en la concesión minera mecanizada del sector Punkiri (concesión puerto Belén), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios. S = número de especies. Abun = abundancia. H' = índice de diversidad de Shannon. Marg = índice de diversidad Margalef. *p<0,05: **p<0,01;***p< 0,001.	69
Tabla 15. Matriz de correlación (coeficiente de correlación de Spearman) entre las características fisicoquímicas del suelo y los atributos florísticos solo considerando a parcelas evaluadas en áreas degradadas por la minería en dos concesiones mineras mecanizadas del sector, Kimiri (concesión San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios. S = número de especies. Abun = abundancia. H' = índice de diversidad de Shannon. Marg = índice de diversidad Margalef. *p<0,05: **p<0,01;***p< 0,001.	70
Tabla 16. Biomasa sobre el suelo promedio (Mg/ha) de la regeneración natural en áreas degradadas por la minería aurífera y la comparación con los valores encontrados en el bosque de referencia en las dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri, Kimiri, distrito de Huepetuhe, Madre de Dios. Letras diferentes representan diferencias significativas del posthoc test de Bonferroni del Análisis de Varianza (ANOVA).....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio con imagen satelital: PRIMERA CONCESIÓN MINERA “PUERTO BELÉN”	31
Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio con imagen satelital: SEGUNDA CONCESIÓN MINERA “SAN VICENTE II”	32
Figura 3. Imágenes satelitales LANDSAT (LC08 CO2 T1 TOA) de los años 2005 hasta el 2023. Fuente https://code.earthengine.google.com/ . https://glovis.usgs.gov/.com	33
Figura 4. Comparación de la similitud florística entre la regeneración natural encontrada en las dos concesiones mineras y el bosque de referencia. S1 y S2 corresponden a las concesiones evaluadas, Puerto Belén y San Vicente II respectivamente.	51
Figura 5. Comparación de la similitud florística entre la regeneración natural encontrada en las dos concesiones mineras y los dos bosques de referencia. S1 y S2 corresponden a las concesiones evaluadas. BR es el bosque de referencia.	52
Figura 6. Comparación de la proporción de individuos según clase de diámetro entre la regeneración natural encontrada en las dos concesiones mineras y los dos bosques de referencia. S1 y S2 corresponden a las concesiones evaluadas... ..	61
Figura 7. Comparación de la proporción de individuos según clase de altura entre la regeneración natural encontrada en las dos concesiones mineras y los dos bosques de referencia. S1 y S2 corresponden a las concesiones evaluadas.	62
Figura 8. Correlograma de la relación entre el tiempo de abandono y la abundancia y diversidad de la regeneración natural en la concesión mecanizada Puerto Belén del sector Punkiri, distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.....	63
Figura 9. Correlograma de la relación entre el tiempo de abandono y la abundancia y diversidad de la regeneración natural en la concesión mecanizada San Vicente II del sector kimiri, distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.....	64
Figura 10. Comparación de biomasa aérea entre la regeneración natural encontrada en las dos concesiones mineras y los dos bosques de referencia. S1 y S2 corresponden a la regeneración natural de las concesiones evaluadas. BR es el bosque de referencia.	72

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

En el Perú, la explotación minera se ha aumentado notablemente a lo largo de los años, tanto en la minería a gran escala como la producción media y artesanal, Sin embargo, la minería a gran escala la que causa un mayor daño al medioambiente, principalmente debido a la informalidad, ilegalidad y falta de control por parte del gobierno.

En Madre de Dios se evidencia una significativa actividad minera ilegal e informal, la cual que resulta muy agresiva tato para la naturaleza como para los ecosistemas circundantes; además, se trata de una actividad transitoria y no permanente (Michi e Ibarra, 2015). Desde las últimas décadas las investigaciones de su flora y fauna silvestre fueron orientadas por las investigaciones de diversidad de especies arbóreas (Gentry y Terborgh 1990; Pitman et al. 2003) (Pitman, Pitman y Alvarez 2003; Gentry y Terborgh 1990), siendo reconocido a “nivel global como una de las áreas biológicas más ricas y únicas de la tierra”. A pesar de las evidencias que apuntan a la pérdida de fertilidad del suelo y sus consecuencias, se desconoce la magnitud y la extensión que podría tener este problema en la región (Martínez López et al. 2018).

La minera ilegal e infomal es una actividad perjudicial para el medio ambiente, porque implica la interacción del hombre y genera el deterioro de los suelos, conjuntamente causa enfermedades a las poblaciones cercanas a esta actividad extractiva del mineral en su hábitat natural (Ibarra, 1999). La pérdida de horizontes superficiales de los suelos y los cambios en su estructura son caracterizados como zonas degradadas. Entre las actividades humanas que provocan el deterioro del medio ambiente, podemos mencionar a la construcción de carreteras, la urbanización, la expansión de la frontera.

agrícola, el uso inadecuado del suelo y las actividades mineras. Por consiguiente, la recuperación de ecosistemas degradados se ha convertido cada vez más prioritario dentro del marco actual de intervención antrópica en ecosistemas. Sin embargo, las metodologías aplicadas para esta recuperación se basan en ideas muy divergentes (Ribeiro Rodrigues y Gandolfi 1996).

Los problemas que genera las actividades mineras en Madre de Dios en el proceso de recuperación de áreas degradadas influyen en los pocos conocimientos eficaces de remediación del área impactada por este trabajo; en su lugar, experimentan un manejo propuesto y muchas veces no abastecen al proceso de restauración total, ni al manejo de residuos sólidos en la empresa minera; lo que lleva a que pasen por alto las medidas medioambientales y ecológicas (Yazbek 2002).

En contexto, el problema central de la investigación es la magnitud ocasionada por la minería mecanizada respecto a la composición florística, abundancia, riqueza y diversidad de especies arbóreas. De igual manera, las características fisicoquímicas del suelo y la evaluación de la biomasa aérea en las dos concesiones mineras mecanizadas en el centro poblado Pumkiri Chico y Kimiri en Madre de Dios. Mediante el resultado se podrá generar información valiosa, para emplear acciones que propicien la restitución de las funciones de los ecosistemas perdidos por la actividad de minera mecanizada.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Qué características fisicoquímicas del suelo, regeneración natural y biomasa aérea de la vegetación, existirán en las dos concesiones mineras mecanizadas de Madre de Dios?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo será la abundancia, diversidad y composición florística de la regeneración natural en dos concesiones mineras mecanizadas en comparación con un bosque primario de referencia?

¿Cuáles serán las especies indicadoras de la regeneración natural en áreas degradadas de dos concesiones mineras mecanizadas?

¿Cómo será la estructura de la regeneración natural según categorías de tamaño en dos concesiones mineras mecanizadas y en los bosques de referencia?

¿Cómo será la influencia del tiempo de abandono en la composición florística de áreas degradadas por minería?

¿Cuál será la relación entre las características fisicoquímica del suelo y los atributos florísticos de la regeneración natural en dos concesiones mineras mecanizadas?

¿Cómo será la biomasa aérea de la regeneración natural y su comparación entre las dos concesiones mineras mecanizadas?

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo general

Caracterizar fisicoquímicamente del suelo, regeneración natural y biomasa aérea de la vegetación en dos concesiones mineras mecanizadas de Madre de Dios.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar y comparar la abundancia, diversidad y composición florística de la regeneración natural en dos concesiones mineras mecanizadas y con un bosque primario de referencia.
- Determinar las especies indicadoras de la regeneración natural en áreas degradadas y en los bosques de referencia en dos concesiones mineras mecanizadas.

- Caracterizar y comparar la estructura de la regeneración natural según categorías de tamaño en dos concesiones mineras mecanizadas y con un bosque primario de referencia.
- Analizar la influencia del tiempo de abandono en la composición florística en dos concesiones mineras mecanizadas.
- Analizar la relación entre las características fisicoquímica del suelo y los atributos florísticos de la regeneración natural en dos concesiones mineras mecanizadas y con un bosque primario de referencia.
- Determinar y comparar la biomasa aérea de la regeneración natural entre dos concesiones mineras mecanizadas.

1.4 Variables

Las variables e indicadores se encuentran detalladas en la tabla de operacionalización de variables.

Independientes:

- Concesiones mineras.
- Tiempo de abandono.
- Características fisicoquímicas del suelo.
- Bosques primarios.

Dependientes:

- Abundancia de especies arbóreas.
- Diversidad de especies.
- Composición florística.
- Especies indicadoras.
- Estructura de la regeneración natural.
- Biomasa aérea.

1.5 Operacionalización de variables

En la Tabla 1, se describe la operacionalización de las variables utilizadas en el presente estudio de investigación. Caracterización fisicoquímica del suelo, regeneración natural y biomasa aérea de la vegetación en dos concesiones mineras mecanizadas en el centro poblado Pumkiri Chico, Kimiri en Madre de Dios.

Tabla 1. Operacionalización de variables consideradas para el presente estudio.

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente Variable y parámetros para determinar la antecedencia del área intervenida por la minería.	Variable Independiente características fisicoquímicas del área intervenida por la actividad minera, en dos concesiones "Puerto Belén", "San Vicente II"	Área	Concesión minera
			Tiempo de abandono
			Características fisicoquímicas del suelo
			Bosque natural
Variable Dependiente Determinar la abundancia, diversidad, composición florística, con su relación al tiempo de abandono en áreas degradadas por la actividad minera mecanizada en dos concesiones "Puerto Belén", "San Vicente II"	Variable Dependiente Características de vegetación y composición florística del área de referencia.	Abundancias de especies arbóreas	<ul style="list-style-type: none"> • Nro de individuos • Riqueza de especies
		Diversidad de especies	<ul style="list-style-type: none"> • N° de individuos • Riqueza de especies
		Composición florística	<ul style="list-style-type: none"> • N° de individuos • Riqueza de especies
		Especies indicadoras	<ul style="list-style-type: none"> • N° de individuos • Diámetro • Altura
		Estructura de la regeneración natural	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro • Altura • Área basal (AB) • Riqueza de especies
		Biomasa área	<ul style="list-style-type: none"> • DAP • Altura • Volumen

1.6 Hipótesis

La presente investigación es descriptiva, no se considera hipótesis.

1.7 Justificación

La erosión de los suelos y la descomposición han sido inducidas por los procesos de degradación de los recursos naturales en los ecosistemas, que han afectado enormemente la superficie del terreno. Los productores forestales, ganaderos y agricultores se enfrentan a problemáticas medioambientales, económicas y sociales en los últimos años (Herrera y Francke 2009).

Según Rendón (2011) la explotación minera de recursos no renovables, enfocada a economías regionales, ha degradado y deteriorado los suelos. Esto se sustenta en que la economía regional durante siglos se ha basado en formas extractivas de uso de los recursos naturales renovables, como la pesca, la caza y la explotación maderera; o recursos no renovables como la explotación aurífera (Román et al. 2007). Las áreas de restauración en zonas degradadas por minería del sector Caychihue por minería aurífera confirmaron niveles bajos de elementos disponibles en pH, materia orgánica, fósforo, nitrógeno, potasio y cationes intercambiables a efectos del impacto de la extracción del oro, como también se reportó metales tóxicos de Arsénico, plomo y mercurio que no superaron los Límites Máximos Permisibles (LMP) certificados por el estado peruano (García 2021).

Por lo tanto, el desarrollo del presente proyecto de investigación es necesaria, para generar estudios científicos de caracterización florística con enfoque real de adecuación de especies en condiciones óptimas y/o adversas de los ambientes perturbados por la actividad minera, tomando en cuenta propuestas concretas frente a las necesidades de restauración de los ecosistemas boscosos y mantener el desarrollo sostenible en apoyo de la biodiversidad, del departamento de Madre de Dios.

1.8 Consideraciones éticas

Considerando los protocolos de investigación, fueron ubicados las parcelas de muestreo en dos concesiones mineras, con la finalidad de determinar la diversidad florística existente en áreas degradadas abandonadas por la minería mecanizada. Además, las muestras botánicas serán certificadas por el Herbario "Alwyn Gentry" de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

Por otro lado, La presente tesis de pregrado cumple con los parámetros establecidos por la ley universitaria, el Estatuto de la UNAMAD y el Reglamento General de Grados y Títulos conferida por la UNAMAD.

Asimismo, los resultados obtenidos son de propiedad intelectual de los tesisistas y de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios y serán dispuestos a disposición de la comunidad científica.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Estudio

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Mendoza-Escalona et al. (2021), examinó el riesgo de contaminación por metales pesados en suelos agrícolas de la ciudad de Turén, noroeste de Venezuela, utilizando dos factores: ubicación geográfica (NA y NB) y profundidad (0–10 cm y 10–20 cm), mediante un diseño experimental factorial. Se recolectaron nueve muestras para cada combinación de ubicación y profundidad. Los resultados mostraron que el uso prolongado de fertilizantes fosfatados resultó en mayores concentraciones de Co, Cu, Ni, Cd y Zn en la siembra directa.

Concluyeron que la acumulación de metales pesados estaba asociada con una mayor acumulación de arcilla y CIC en elevaciones geográficas más bajas, lo que plantea un riesgo de fitotoxicidad para los cultivos de la región.

Por lo que se recomienda tomar medidas de biorremediación para eliminarlos del suelo y evitar problemas de contaminación que puedan contaminar los cuerpos de agua y afectar la salud de las personas aledañas a largo plazo.

Hou et al. (2018), investigó la composición florística de las comunidades de plantas a lo largo de un gradiente de distribución en áreas devastadas por la minería en China. Utilizaron el método Brown-Blanke en 40 parcelas en tres gradientes de perturbación (Descubrieron que las propiedades fisicoquímicas del suelo (Cd, As, Zn, Pb, TC) y la altitud tienen efectos significativos sobre la biodiversidad. Conclusiones: Los planes de restauración de áreas dañadas por la minería deben considerar las variables ambientales de la

características de intensidad de la perturbación, el tipo de minería y el área circundante a las actividades previas a la perturbación.

Siqueira et al. (2007), estudió las propiedades fisicoquímicas de suelos arcillosos de la cuenca del Guadamar (área experimental "El Vicario") afectados por las emisiones tóxicas de la mina de Aznalcóllar. Para el levantamiento de suelos se creó una red de 50 x 20 m con 48 puntos seleccionados. Se recolectaron muestras de estos lugares a profundidades de 0 a 15, 15 a 30 y 30 a 60 cm para medir el tamaño de partículas, pH, contenido de materia orgánica, As, Cd, Cu, Mn, Fe, Pb, suelo.

Los resultados fueron analizados estadística y geoestadísticamente. Concluyeron que en general se observaba una alta variabilidad espacial en la contaminación de las parcelas. Se encontró una correlación significativa entre el contenido de azufre total y las concentraciones totales de As, Cd, Cu y Pb ($p < 0,01$). El análisis geoestadístico de los parámetros estudiados mostró que la variabilidad espacial está significativamente relacionada con la presencia o ausencia de lodos residuales en el suelo.

Díaz y Elcoro (2009), realizaron un estudio y evaluación de plantas colonizadoras en áreas perturbadas por la minería en el estado Bolívar, Venezuela. Entre 1992 y 1993 visitamos cinco sitios en el estado Bolívar para un estudio de la flora de áreas afectadas por la minería aluvial de oro y diamantes. La hojarasca se dividió en cuatro partes según la matriz de cada sitio y se recolectaron las plantas. Las familias más diversas son Legumbres, Melastomataceae, Asteraceae, Gramineae, Cyperaceae, Rubiaceae, Solanaceae, Salicaceae, Bignoniaceae y Brassicaceae.

Mosquera et al. (2013), evaluó los cambios en la biomasa vegetal durante múltiples operaciones de aprovechamiento en minería en los municipios de Certegui y el Departamento de Chocó de la Unión Panamericana en Colombia. Para este fin, se utilizó un método de series de tiempo para estimar la biomasa aérea y subterránea en cinco áreas en diferentes períodos después de la cosecha (1,5 años, 2 años, 4,5 años, 6 años y bosque virgen como control).

La ecuación de biomasa se utilizó para calcular el carbono de la parcela y el modelo de crecimiento de von Bertalanffy se utilizó para modelar los cambios en la biomasa vegetal a lo largo del tiempo.

En general, los valores de biomasa aérea en la minería en las diferentes etapas de regeneración (1,5 a 6 años) oscilan entre 104,83 g m² y 4115,46 g m² (correspondientes a 1,05 t ha⁻¹) y 41,15 t ha⁻¹. Se Llegó a la conclusión de que la biomasa vegetal aumentó significativamente con el tiempo, y los patrones de cambios en la biomasa vegetal a lo largo del tiempo sugirieron que se necesitarían más de 1.000 años para que la vegetación colonial en estas tierras alcanzara la biomasa aérea después de la perturbación minera. Grabado en bosques originales de la zona.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Paz (2019), cree que el propósito de su investigación es utilizar *Pseudomonas putida* para reducir los niveles de mercurio en el suelo en el área de la mina de Santa Bárbara; adaptarse a las condiciones físicas y químicas del medio ambiente para lograr un crecimiento óptimo de los microorganismos. El proceso de investigación inició con la obtención de una cepa bacteriana ("*Pseudomonas putida* ATCC 491282") en estado liofilizado, reconstituida con una solución hidratada para su reactivación, y luego esparcida en agar MacConkey para su replicación. Los grupos resultantes se colocaron en tubos cónicos que contenían 20, 30, 40 y 50 ml de caldo TSB, es decir. utilizando cuatro métodos de tratamiento diferentes, y las muestras de suelo fueron analizadas antes del tratamiento: contenido de mercurio, análisis físico y análisis químico. El resultado inicial del contenido de mercurio (pretratamiento) fue de 2255,41 mg/kg de PS del suelo, el contenido de mercurio se analizó nuevamente después de 6 semanas y el valor medio para el cuarto tratamiento (50 ml) fue de 847,4 mg/kg de PS. (cepas disueltas en 300 ml de agua desionizada) para probar la reducción de la concentración de mercurio en el suelo.

Ccallomamani (2016) y (Laura 2017), evaluaron la diversidad de especies de plantas silvestres en relación con la dirección (este y norte), la estación

(lluvioso y sequía) y los parámetros ambientales. La abundancia individual de cada especie en cada cuadrante se calculó mediante el método de cuadrantes estocásticos. Para evaluar la diversidad se utilizaron los índices de Simpson y Shannon, los mismos que calculaba el software Past. Se registraron un total de 41 especies de 18 familias y se encontró que la riqueza específica fue mayor en el lado occidental ($P < 0.0001$), pero las diferencias en temperatura ambiente y velocidad del viento no fueron significativas ($P = 0.18$, $P = 0.05$). Considerando la orientación, no hubo diferencias significativas en los parámetros ambientales (temperatura ambiente: $P = 0,51$, humedad: $P = 0,51$, velocidad del viento: $P = 0,47$). Se concluyó que la diversidad de plantas silvestres es mayor en la época de lluvias y en la parte occidental de la isla.

Cutiri y Ramirez (2017), evaluaron procesos de regeneración natural en áreas degradadas de minas de oro aluvial abandonadas en la Comunidad Tres Islas, Distrito de Tambopata, Región Madre de Dios, Perú, describiendo composición florística, estructura horizontal (abundancia, frecuencia y dominancia relativa (grado e importancia)), sucesión de árboles y arbustos y de igual forma se evaluaron las propiedades físicas y químicas de suelos de 39 hectáreas con explotación de oro, 15 muestras de 10 m y más de 12 años.

Los resultados muestran que la vegetación de esta zona está compuesta por 49 especies divididas en 25 familias, las familias más comunes son Leguminosae, Asteraceae, Malvaceae y Cecrocephalaceae, donde las principales especies son especies arbóreas en estado de plántula y crecimiento amplio. En cuanto al suelo, se caracteriza por ser moderadamente ácido y fuertemente ácido, y tiene muy pocos nutrientes como fósforo, potasio y materia orgánica, y su estructura es arenosa y arcillosa, por lo que no tiene buena capacidad de retención de agua. En términos de agua que contribuye a la rápida lixiviación de nutrientes, estos resultados indican cambios extremos en el suelo debido a este tipo de actividad. Se concluyó que, si bien las áreas degradadas de tres islas se encuentran en estado degradado, se encuentran en un proceso de reforestación; Después de 8 a 12 años de cierre, en estas áreas han aparecido una gran cantidad de especies pioneras, lo que contribuyó al surgimiento de las primeras especies secundarias.

Briceño et al. (2021), evaluó la regeneración natural de áreas mineras de oro aluvial abandonadas en el Distrito Fortuna, Distrito Laberinto, Tambopata-Madre de Dios. Para ello se analizó la composición florística de 7,7 ha de terreno, divididas en 77 parcelas de 1000 m² (0,1 ha) según categoría de regeneración natural, índice de diversidad y etapa de sucesión, con un promedio de años de abandono entre 30 y 35 años. Recolecte y registre especímenes con una circunferencia mayor o igual a 3 cm y divida el área de muestra en árboles jóvenes, árboles de hoja ancha, arbustos y árboles.

El estudio reportó 3.120 individuos divididos en 40 familias y 121 especies. Fabaceae (21), Malvaceae (11) y Moraceae (9) son las más abundantes. En las etapas de plántula, tronco y árbol, la morbilidad individual es mayor. Entre las diversas categorías de regeneración, *Pseudolmedia* es la especie y el número de individuos por hectárea más importantes en la restauración de terrenos abandonados. *Laevigata* (6233.77), *Virola calophylla* (1866.23), *Inga oerstediana* (1837.27) La etapa de sucesión significa que el área se encuentra en la etapa de transición de crecimiento primario a tardío, es decir, el área se encuentra en proceso de restauración y formación de cubierta forestal, lo que permite la creación de especies tolerantes a la luz.

Baca et al. (2019), verificó la diversidad de árboles en dos áreas degradadas por las actividades de minería de oro aluvial en la región de Sarayacu, Inambari y la región de Madre de Dios, que incluyen dos tipos de bosque: bosque de terraza baja y bosque de terraza alta. Se estableció una parcela de evaluación para cada concesión minera con parcelas temporales cada una de 100 m x 100 m (1 hectárea). La composición de los árboles de la parcela I estuvo compuesta por 39 familias, 156 especies y 582 individuos en el área de estudio. Las leguminosas son las más representadas, representando el 14,74% del total, seguidas de las Lauráceas, representando el 10,90% del total. Las menos familias son Myristicaceae (6 especies, 3,85%) y Arecae (5 especies, 3,21%). La composición de los árboles de la parcela II estuvo compuesta por 44 familias, 158 especies y 553 individuos en el área de estudio. La más representativa es Leguminosae con 26 especies, que representan el 16,46% del total; seguida de Moraceae con 17 especies que

representan el 10,76% del total. Las menos familias son Myristicaceae (3,16%) y Apocynaceae (2,53%), con 5 y 4 especies, respectivamente. Los índices de similitud de especies de Sorensen y Jaccard entre las dos comunidades (bosque continental y bosque de llanura aluvial) fueron 70,82% y 62,12%, respectivamente.

2.1.3 Antecedentes Regionales

Oblitas (2021), determinó la composición florística de áreas regeneradas naturalmente restauradas a partir de bosques degradados por la minería y compararon las características de los bosques tropicales húmedos de llanura aluvial en las regiones de San Jacinto y Santa Rita; Se evaluó un área de 1,2 hectáreas, distribuidas en 12 parcelas de 50 m x 20 m. El número de especies vegetales colonizadoras será un indicador para la recuperación de áreas degradadas. Los resultados indican un alto grado de diversidad de especies de plantas en los bosques tropicales húmedos de las llanuras aluviales. El análisis del índice de Jaccard de los paneles (P12) SR y (P1) SJ muestra una mayor similitud con un coeficiente de correlación de 0,9012, típico de los bosques tropicales de llanura inundable. Se concluyó que a través de las categorías de regeneración natural en 12 parcelas de 0,1 ha, la mayor acumulación de ejemplares se presentó en la categoría de árboles jóvenes (247 ejemplares, 32,7%) y Latizal bajo A (271 ejemplares, 35,8%). Especies (98 especies correspondientes al 33,7%) y Latizal baja A (91 especies correspondientes al 31,3%).

Sajami (2017), evaluó la regeneración natural de minería aurífera en las regiones de Laberinto, Tambopata - Madre de Dios, analizando composición florística, estructura horizontal y etapas sucesionales en un área de 0.35 hectáreas divididas en 14 parcelas de 250 m². Se realizaron evaluaciones (0,025 ha) clasificadas por edad de abandono (0 – 5 años, >5 – 10 años y > 10 años). Para ello se registraron individuos con perímetro mayor o igual a 3 cm, clasificándolos en el área de muestreo como Brinzales, Latizales y Fustales. Se obtuvieron 1023 ejemplares distribuidos en 27 familias y 80 especies, siendo las familias más abundantes Fabaceae, Annonaceae

Euphorbiaceae, Rubiaceae y Salicaceae, entre las cuales las etapas Brinzal y Latizal tuvieron la mayor riqueza individual. Entre las especies más importantes en restauración brownfield se encuentran *Chromolaena laevigata* (431,43 individuos), *Piper sp1* (420 individuos) y *Cecropia membranacea* (365,71 individuos), las cuales se concentran en el 41,64% del total de individuos.

Arostegui (2017), valoró la determinación de niveles de concentración de mercurio en suelo y plátano de las variedades AAB, subgrupos de plátano Sarayacu, Punkiri chico e Iberia-Madre de Dios. Para ello se realizaron muestreos en tres sectores y luego se analizaron los niveles de concentración en laboratorios acreditados. Al medir el mercurio (Hg) en suelo agrícola de *Musa* variedad AAB, tres departamentos reportaron valores por debajo del límite detectable ($< 0,010$ mg/kg), mientras que la concentración promedio de Hg en Punkiri Chico fue de 0,08500 mg/kg, lo que es por encima del límite máximo. Límite permisible (MMPs) (0,010 mg/kg) reportado por la Asociación de la Industria de Jugos y Néctares de Frutas y Verduras de la UE - AIJN y la Comisión del Codex Alimentarius - FAO/WHO. Se concluyó que la concentración de mercurio (Hg) en los suelos agrícolas del banano variedad AAB en las regiones Sarayacu, Punkiri Chico e Iberia es inferior a 0,10 mg/kg, lo cual es estadísticamente significativo por debajo del límite y no causa efectos negativos en la salud humana.

Canahuire (2017), en su trabajo explica cómo ocurre la regeneración natural en las áreas forestales degradadas por la minería aurífera y evalúa el ecosistema de referencia y la composición florística de las tres áreas en diferentes momentos y los aspectos horizontales y verticales de la estructura de regeneración natural. Período posterior a la minería aluvial (1992, 2004 y 2010). Se establecieron tres transectos en cada zona con una distancia de aprox. 100 metros de distancia. La distancia entre cada transecto del sitio temporal es de aprox. 50 metros. Juntos, utilizaron tres parcelas de 20 mx 60 m divididas por 20 mx 20 m en cada sitio. Se determinó el índice de Sørensen o Bray-Curtis, índice Alfa de Fisher (αF), índice de Shannon-Weaver (H'), índice Pielew (J), método de ranking, índice de valor de importancia (IVI) por

especie. Índice de Valor de Importancia (IVI) para cada hogar. Los resultados mostraron que el área basal y la diversidad de especies del ecosistema de referencia aumentaron un 10%, 15%, 21% y 54%, respectivamente, en comparación con el inicio de la sucesión. Se encontró que la secuencia más evolucionada tenía un 42% más de especies en común con el ecosistema de referencia. Considere el patrón general de riqueza de especies y valores de cobertura que aumentan a lo largo de la cronología.

Fernandez (2021), evaluó y caracterizó la regeneración natural de árboles en áreas con distintos períodos de abandono, luego de operaciones de minería de oro artesanal y de pequeña escala en la comunidad de San Jacinto. Se establecieron doce parcelas de 10 mx 25 m y en cada parcela se evaluaron e identificaron todos los individuos mayores a 1 cm de diámetro. Como resultado, obtuvieron un diámetro promedio de 3,6 centímetros y una altura promedio de 3,1 centímetros para los individuos analizados. La categoría de plantas nuevas tiene una mayor riqueza de especies. La riqueza de especies de Latizales y Fustales aumentó al aumentar el tiempo de abandono. El área basal de las plantas leñosas disminuyó al aumentar el tiempo de abandono, mientras que el área basal de los tallos aumentó al aumentar el tiempo de abandono. A medida que aumenta el período de abandono, la proporción de árboles jóvenes disminuye significativamente. Las especies más afectadas por la ecología son *Cecropia membranacea*, *Ochroma Pyramale* y *Chromolaena laevigata*. Los tipos de insectos más comunes son *Apeiba tibourbou*, *Bixa urucurana*, *Cecropia engleriana*, *Cecropia membranacea*, *Ceiba samauma* y *Apeiba aspera*.

Garate et al. (2021), en su investigación, analizó el crecimiento y supervivencia de *V. zizanioides* en suelos degradados por la minería de oro en la Amazonía peruana (Madre de Dios). La biomasa total en el suelo mejorado fue significativamente mayor que en los otros sustratos, y la producción de biomasa en el sustrato mejorado fue de 1,7 a 3,6 veces mayor que en el sustrato de la mina. El tipo de sustrato de suelo tuvo un efecto significativo sobre la tasa de supervivencia, número de brotes y biomasa de *V. zizanioides*. Los resultados del estudio pueden proporcionar una referencia para la

rehabilitación de tierras degradadas por minería de oro en la Amazonía peruana.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Minería aurífera en Madre de Dios

La minería aurífera de Madre de Dios abarca las cuencas y subcuencas de los ríos Madre de Dios, Inambari, Colorado, Tambopata y Malinowski. Los recursos auríferos en suelos aluviales se extrajeron por primera vez utilizando métodos artesanales como palas, tolvas y bateas. Las tecnologías de extracción de oro han ido avanzando a lo largo del tiempo, aumentando la cantidad de oro extraído, pero también contribuyendo a un rápido deterioro del medio ambiente debido a la contaminación por mercurio, hidrocarburos y otros contaminantes, la enorme deforestación, la compactación del suelo y otros factores. Ahora utilizan maquinaria pesada como dragas, dragas y carrancheras; en las terrazas aluviales, utilizan el método de la "chupadera" después de limpiar el bosque, a menudo con la ayuda de camiones y cargadores frontales o "shute" (Pautrat 2001).

El diagnóstico de la minería artesanal en Madre de Dios "es el estudio que mejor caracteriza los indicadores socioeconómicos, impactos ambientales, marco legal, sistemas de organización y conflictos actuales alrededor de la actividad minera en la zona de estudio" (Mosquera et al. 2009).

2.2.2 Minería aurífera aluvial

Cientos de miles de mineros han acudido al Amazonas desde la década de 1970, causando estragos en uno de los ecosistemas más complejos y biodiversos del mundo. Debido a los altos precios del oro, la extracción de oro en suelos aluviales de la Amazonia se ha expandido más rápido que en cualquier otro momento de la historia, con un coste significativo para la salud humana y el medio ambiente. Se calcula que en la cuenca del Amazonas hay entre 300.000 y 400.000 mineros, que han vertido 3.000 toneladas de mercurio en los ríos amazónicos desde 1980, utilizado para amalgamar el oro

combinado con las arenas auríferas, envenenando el agua, las especies acuáticas y las poblaciones humanas que consumen el agua y los peces (Webb et al. 2004).

2.2.3 Sucesión ecológica

Los ecosistemas cambian constantemente como resultado de los procesos naturales, los cambios pueden tardar años, o incluso siglos, avanzando tan lentamente que apenas resultan perceptibles, tienen un patrón sistemático generado por el ensamble comunitario, que sigue una progresión ordenada conocida como sucesión ecológica (Marten 2001).

2.2.4 Funcionamiento en las sucesiones

Es desde un punto de vista más moderno, considera que los procesos sucesionales operan a diferentes niveles o escalas para un lugar y tiempo dados, el ecosistema es el nivel más amplio que incluye al clima, la vegetación representativa y la geografía (Evans 2006).

2.2.5 Restauración

(Winterhalder et al. 2004), define que: La restauración ecológica es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. Con frecuencia, el ecosistema que requiere restauración se ha degradado, dañado, transformado o totalmente destruido como resultado directo o indirecto de las actividades del hombre. La restauración pretende regresar al ecosistema, a su trayectoria histórica, de este modo, los inicios de la historia, se considera como la base ideal para planear la restauración. Por otro lado, el ecosistema reparado tiene limitaciones actuales para poder recuperar su condición anterior, pudiendo estas limitaciones encaminar su progreso por una trayectoria distinta. Cuando se llega al estado original del sistema se realiza la restauración Citado por (Yucra 2019).

2.2.6 Regeneración natural

La regeneración natural es el proceso por el cual las plantas jóvenes y arbustos que se han establecido naturalmente reemplazan a las plantas que han muerto o han sido removidas. Con el tiempo, después de una perturbación, el crecimiento de la regeneración natural restablecerá los árboles del dosel. Este proceso de recuperación natural puede ser explotado en sistemas de ordenación de los bosques tropicales, después de que los árboles del dosel han sido cosechados (Brown 1985). Varios autores han argumentado que la capacidad de las especies de plantas tropicales para recuperarse en respuesta al tamaño del claro y a las circunstancias del micrositio las distingue (Brown 1985). Tras la caída natural de una rama o un árbol, estos trabajos identifican las especies que se regeneran y alcanzan el dosel, explicando la regeneración de los bosques tropicales a través de muchas hipótesis, como la densidad y la supervivencia (Wright 2002).

2.2.7 Etapas en la regeneración natural

La clasificación de la regeneración en categorías, ampliamente utilizada y aceptada es la siguiente: (1) brinzales: de individuos con altura mayor a 0.30 cm hasta 1.30 m y con DAP menor a 5 cm; (2) latizal: individuos con DAP igual o mayor a 5 cm y menor a 10 cm y Fustales: individuos con DAP igual o mayor a 10 cm y menor a 20 cm (Dauber et al. 2003).

2.2.8 Características Físicoquímicas del suelo

López y Estrada (2015) definen como propiedades físicas del suelo aquellas que pueden observarse y/o medirse sin alterar químicamente la composición del suelo y están relacionadas con el movimiento del aire, calor, agua, raíces y nutrimentos. Dentro de ello tenemos. Profundidad, textura, estructura del suelo, porosidad, temperatura, color y conductividad eléctrica.

La naturaleza química del suelo afecta su composición química, entre las que podemos mencionar: pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), contenido de materia orgánica (MO) (López y Estrada, 2015).

PROPIEDADES FISICAS

Estructura

Sánchez (1981), define que: La estructura del suelo como: "el tamaño, la forma y el arreglo de las partículas primarias que forman las partículas compuestas, y el tamaño, forma y arreglo de las partículas compuestas". Lo que se considera como buena estructura depende de la velocidad con que el aire y el agua se mueva a través del suelo. La estructura se puede observar directamente en el perfil del suelo, no obstante se ve mucho mejor al tomar una muestra agitándola y presionándola ligeramente en la mano y comprobando cómo se desmorona en un conjunto de unidades menores (los agregados estructurales), desde el aspecto morfológico la estructura del suelo se define por su forma, tamaño y el grado de manifestación de los agregados en donde se definen los siguientes tipos: Migajosa o grumosa, granular, angular o bloques angulares, subangulares o en bloques subangulares Citado por (Castillo 2005).

Textura

Henríquez y Cabalceta (1999), enuncian que: La textura se refiere a la proporción relativa de arena (a), limo (L) y arcilla (A) que existe en el suelo; esta caracterización se refiere a las partículas menores de 2 mm de diámetros. Lo útil de conocer la textura o la clase textural a la que pertenece un suelo consiste en que permite hacer una deducción aproximada de las propiedades generales del suelo, y así ajustar las prácticas de manejo requeridas (labranza, riego y fertilización); también puede utilizarse para evaluar y valorar tierras de acuerdo a su capacidad de uso Citado por (Castillo 2005).

Porosidad

El espacio poroso de un suelo es la parte del mismo que en su estado natural está ocupado por aire y/o agua. El volumen de este espacio poroso depende mucho de la disposición de las partículas sólidas. La importancia agrícola de la porosidad del suelo es muy grande y sus características dependen de la textura, estructura, contenido de materia orgánica, tipo e intensidad de cultivos, labranza y otras propiedades del suelo y su manejo.

Un suelo con un volumen de poros del 60 %, por ejemplo, puede estar mal

aireado. La razón de este fenómeno es el tamaño de los poros, más que su volumen total.

Es por esto que se hace necesario clasificar los poros del suelo según su tamaño y función (Gómez 2013).

Horizontes del Suelo

Los horizontes del suelo son capas distintivas de un suelo que se forman en la superficie de la Tierra debido a procesos de formación del suelo a lo largo del tiempo. Estas capas se desarrollan mediante la interacción de factores como la meteorización, la actividad biológica, la deposición de materia orgánica y otros procesos físicos y químicos. Los horizontes del suelo suelen estar designados con letras, como O, A, B, C y R, para representar distintas características y procesos. Por ejemplo, el horizonte O es la capa orgánica superficial formada por material vegetal en descomposición. El horizonte A, o capa de humus, es una capa superficial rica en materia orgánica. El horizonte B es la capa de acumulación, donde se acumulan minerales y materiales transportados desde horizontes superiores. El horizonte C es la roca madre parcialmente alterada sobre el que se apoya el suelo, más o menos fragmentado por la alteración mecánica y la química, y el horizonte R es la roca madre sin alterar (Pereira et al. 2011).

PROPIEDADES QUIMICAS:

pH

En los suelos el pH es una propiedad química de mucha importancia porque indica cuán ácido o alcalino es un suelo, esto se basa en una escala que va desde 0 hasta 14, teniendo un punto neutro en el rango 7. El pH dentro de un rango específico (5.5 – 7.5) permite que la mayoría de los nutrientes mantengan su máxima disponibilidad. Por debajo de dicho rango se pueden presentar problemas de deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre o magnesio; mientras que por encima de este mismo rango la disponibilidad de micronutrientes (hierro, manganeso, cobre o zinc) se reduce. La adaptabilidad de cada especie a un rango determinado de pH, hacen que este sea el principal criterio con respecto a la dinámica de los nutrientes que serán absorbidos por sus raíces y que influyen en su

productividad (Euceda 2004).

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

la capacidad de intercambio de cationes trata de unas de las propiedades químicas más importantes, y que muchos autores y estudiosos la identifican con la fertilidad del suelo. El mecanismo de intercambio se lleva a cabo a través de las partículas más pequeñas del suelo que las partículas de arcilla son los constituyentes del suelo cargados negativamente. Estas partículas cargadas negativamente (arcillas), retienen y liberan nutrientes cargados positivamente (cationes). Las partículas de materia orgánica también están cargadas negativamente y también atraen cationes. Los principales cationes en el suelo son: calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), hidrógeno (H) y amonio (NH₄). La capacidad de intercambio de cationes se define como, la capacidad que tiene un suelo de retener y aportar los nutrientes necesarios para la vida de las plantas (Bueno y Fernández 2019).

Conductividad Eléctrica (CE)

(Castellanos, 2000) enuncian que: La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad de la solución del suelo para transportar corriente eléctrica en función del contenido de sales disueltas o ionizadas en la solución. Por lo tanto, a mayor CE, mayor es la concentración de sales (Peña 2019).

Esta propiedad química del suelo permite establecer de acuerdo con su tolerancia a los niveles de salinidad en el suelo, el sistema de cultivo, ya sea surcos o en melgas, y la intensidad y/o frecuencia del riego. Las elevadas concentraciones de sales en el suelo reducen el desarrollo radical en algunos cultivos. Los suelos con una CE menores de 1 dS/m se clasifican como un suelo libre de sales y no presentan restricción para ningún cultivo, mientras que valores entre 2 y 4 dS/m de CE (suelo moderadamente salino) reduce el rendimiento de cultivos sensibles a las sales. Por otro lado, en los suelos altamente salinos que presentan una CE de 8 a 16 dS/m solo sobreviven los cultivos resistentes a la salinidad Citado por (Peña 2019).

2.2.9 Materia orgánica de los suelos (M.O)

La materia orgánica juega un papel importante en la fertilidad de los suelos

como fuente de nutrientes para las plantas y fuente de energía para los microorganismos, y a través de funciones de tipo biológico, químico y físico, derivadas de las muchas y variadas reacciones gobernadas o mediatizadas por la MOS, entre las que se incluyen cambio iónico, oxidación reducción, capacidad tampón, complejación de metales y adsorción de compuestos orgánicos naturales (Lal 2009).

2.2.10 Minerales en el Suelo

Los macronutrientes son requeridos por las plantas en cantidades normalmente sobre 500 ppm; ya ellos hacen el volumen del tejido estructural y protoplasmático de la planta; mientras que los micronutrientes son necesarios solamente en cantidades muy pequeñas, usualmente menos del 50 ppm. Desde que aquellos están asociados con componentes o sistemas muy pequeños de las plantas. En el suelo se encuentran cientos de minerales, pero en las plantas solo se han encontrado alrededor de 50 elementos y de ellos solo 16 han sido reconocidos como esenciales para el crecimiento de las plantas. Los macronutrientes son los más requeridos, midiéndose su cantidad respecto a las soluciones nutritivas en gramos, es decir, medidas en su concentración. Los Macronutrientes son el nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, azufre y magnesio. Los Micronutrientes son los elementos absorbidos en menores proporciones; se miden en miligramos por litro (mg/Lt), o en partes por millón (ppm) que representan la misma. Ellos son: cloro, boro, zinc, manganeso, cobre, molibdeno, hierro (Ruiz 2015).

2.2.11 Bosque primario

Es aquel que no ha sufrido perturbaciones significativas por la intervención humana, por consiguiente, cualquier modificación realizada en el área geográfica por los seres humanos en un bosque primario anula su condición de bosque primario (FAO 2015).

2.2.12 Bosque secundario

Smith et al. 1997 define que: Bosques secundarios se caracterizan porque se forman debido a disturbios o perturbaciones a sus ecosistemas causados de

forma natural (por fenómenos atmosféricos, geológicos, por la fauna silvestre, etc.) o por acción del hombre como actor principal (origen antrópico). Los bosques secundarios originados por actividades humanas son más comunes y ocupan hoy en día, una mayor superficie que los ocasionados por perturbaciones naturales, además de tener implicancias mayores sobre el uso de tierra, el desarrollo rural y la conservación de recursos naturales en general Citado por (Tuezta y Rodríguez 2018).

2.2.13 Composición florística

Es la cantidad de árboles que existen por especie en un área determinada, se debe conocer de qué familia proceden y cuantos individuos hay por cada especie. La composición florística de un bosque se enfoca como la diversidad de especies en un ecosistema, la cual se mide por su riqueza y representatividad. La composición florística está representada en un bosque, como todas las especies arbóreas que están integrando un ecosistema forestal. Cuando hacemos un análisis de composición florística, lo que hacemos es evaluar un listado de nombres comunes, científicos y familias botánicas (Alarcon y Pollito 2011).

2.2.14 Metales pesados

Los metales pesados son potencialmente contaminantes devastadores, ya que contaminan el aire, el agua, el suelo y las plantas cuando se absorben en altas concentraciones o se deposita en el suelo; en conjunto esta contaminación afecta a los demás eslabones de la cadena tróficas (Luna, Arenas et al. 2007).

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 gr/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos) Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que, aunque son metales ligeros o no metales, se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados; es este el caso del As, B, Ba y Se. Dentro de los metales pesados hay dos grupos. Los Oligoelementos o micronutrientes, que son los requeridos en pequeñas cantidades, o

cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn (García 2009).

2.2.15 Metales tóxicos

En su forma condensada, el arsénico, cadmio, plomo y mercurio son particularmente tóxicos, no obstante, en su forma catiónica son peligrosos, bioquímicamente su toxicidad tiene origen en la estrecha relación de los cationes por el azufre, esto se debe, a que los conjuntos sulfhídricos que están presentes habitualmente en las enzimas que verifican la velocidad de las reacciones metabólicas en el organismo humano, estos asocian sencillamente a los cationes metálicos ingeridos o a las moléculas que incluyen los metales, la unión de estos metal-azufre perjudica a toda la enzima, afectando su funcionamiento original y la salud de las personas se ve dañada grandemente, y en algunos casos de manera irreversible (Baird 2004).

Para terminar la toxicidad de los metales pesados se tiene que tener en consideración los siguientes: manera en que quedó expuesto, concentración, forma química y persistencia. Aun un elemento vital para un ser vivo en cantidades elevadas llegaría a ser tóxico. De otra manera, casi la totalidad de los metales pesados se asocian con otras formas químicas, previamente para el ingreso en los organismos o también cuando se encuentra ya dentro de los mismos; teniendo en cuenta lo mencionado, primeramente, cuando se requiere hallar la toxicidad de un elemento es obligatorio calcular la forma química en la que se encuentra (Navarro-Aviñó 2007).

2.2.16 Biomasa

La biomasa en un bosque es el resultado de la diferencia entre la producción a través de la fotosíntesis y el consumo por la respiración, y procesos de cosecha (Bennaceur et al., 2005). La biomasa forestal desempeña un papel importante en el cambio climático, actuando como sumidero y fuente de gases de efecto invernadero. Calcular la biomasa puede proporcionar un índice aproximado del almacenamiento de carbono, ya que existe una estrecha

relación (2:1) entre biomasa y carbono.

2.2.17 Biomasa aérea

La biomasa leñosa se refiere a la cantidad total de materia orgánica viva en las partes aéreas de los árboles (hojas, ramas, troncos, corteza), expresada como "tn" en materia seca/unidad de área (árbol, hectárea, región, país). Es la cantidad de carbono almacenado en los bosques (Brown 1997).

2.2.18 Estructura del bosque

La estructura del bosque está relacionada con la estabilidad de factores bióticos (competencia, asociación) y abióticos (perturbación, clima, suelo) (Río et al., 2003), que junto con otras características del bosque conducen al funcionamiento del ecosistema y también está relacionado con el proceso de formación de especies (Pan et al., 2018). La estructura espacial de un bosque puede estar determinada por el tamaño y la posición regular o irregular de las diferentes especies de árboles presentes, por lo que a lo largo de los años se han creado diversos índices para cuantificarla (Gadow y Hui 2002).

Distribución horizontal

los tipos de suelos, clima, estrategias de las especies y los efectos de distribución sobre la dinámica del bosque, determinan la estructura horizontal, la cual se refiere a la cobertura del estrato leñoso sobre el suelo (Fredericksen 2000).

Sostienen que el análisis de la estructura horizontal mide la intervención de una especie con relación a las demás y muestra cómo están distribuidas en el espacio. Para lograr una determinación más auténtica de este aspecto es necesario realizar mediciones y definir índices que revelen la cantidad de árboles, frecuencia y dominio espacial (Manzanero y Pinelo 2004).

Distribución vertical

La estructura vertical se refiere a la disposición de las plantas de acuerdo a sus formas de vida en los diferentes estratos de la comunidad vegetal.

Construye el almacén físico en el cual se desarrollan las diversas formas de vida, así mismo, explica que un sistema boscoso en óptimo desarrollo, está compuesto por varias capas de vegetación, se debe evaluar los estratos arbóreos y arbustivos de manera integrada fraccionando en tres estratos: inferior, medio y superior (Manzanero y Pinelo 2004).

2.2.19 Índice de Valor de Importancia (IVI)

Mediante esta métrica evalúa la contribución o relevancia ecológica de cada especie en una comunidad. La relevancia y el dominio de un organismo sobre otras especies aumentan cuando se acerca al 300%. En función de la relevancia de las especies, el IVI se centra en las 10-20 especies más importantes, quedando todas las demás especies disminuidas en la composición florística del bosque (Campo y Duval 2014).

$IVI = \text{Abundancia \%} + \text{Frecuencia \%} + \text{Dominancia \%}$.

2.2.20 Deforestación

Proceso de devastar un terreno forestal de sus árboles, provocando impactos ambientales en ecosistemas que perjudica el medio ambiente y contribuye al cambio climático en nuestro globo terráqueo (Flores 2020).

2.3 Definición de términos

2.3.1 Abundancia

Según Font-Quer (1975), la abundancia, en sentido cuantitativo, es el resultado de los individuos de cada especie en una comunidad vegetal y se refiere a unidades de superficie, normalmente hectáreas. Lamprecht (1964) argumentó que la abundancia mide la participación de diferentes especies en un bosque.

Al respecto, Sabogals (1980) afirmó que la abundancia es un parámetro que tiene como objetivo definir y regular con precisión las especies más abundantes en un bosque. Lamprecht (1990) planteó que la abundancia absoluta es el número total de individuos pertenecientes a una especie y la abundancia relativa es el porcentaje de cada especie con relación al número de árboles encontrados en la parcela.

2.3.2 Diversidad

Conjunto de organismos que comparten características, comportamientos, procesos químicos y estructura genética similares. Se han nombrado y descrito formalmente alrededor de 1,7 millones de especies; alrededor del 6% de las especies reconocidas se dan en latitudes boreales o polares, el 59% en zonas templadas y el 35% en zonas pelágicas por ciento en los trópicos (Reátegui, 1997).

2.3.3 Inventario forestal

El inventario forestal es el método usado para recoger datos del bosque, la forma de procesarlos para referir información sobre la cantidad y calidad de los árboles, así como prescribir los tratamientos silvícolas en el periodo del plan de manejo (Chancay y Garcia 2015).

2.3.4 Especie

Un grupo de poblaciones cuyos individuos se reproducen entre sí y producen descendencia fértil Conjunto de individuos que tienen la capacidad de reproducirse. A pesar de ello, los taxónomos tienden a concentrar sus esfuerzos en la posibilidad de distinguir las especies en función de su aspecto, especialmente en especies longevas como los árboles (Leopardi y Duno 2010).

2.3.5 Bosque

Superficie con árboles y arbustos. En general, los bosques contienen un gran número de árboles maduros de diferentes especies y alturas combinadas con capas de vegetación baja, lo que proporciona una eficiente distribución de la luz solar (Quispe 2010).

2.3.6 Altura total

Es la medición longitudinal de la especie forestal de la base hasta el final de la copa del árbol, se puede hacer directamente, utilizando instrumentos como el Hipsómetro o también el Clinómetro.

2.3.7 Diámetro a altura del pecho (DAP).

Según Romahn de la Vega et al. 1994) explica que es el diámetro de los árboles, se mide a una altura de 1.30 m desde la superficie del suelo; importante en los inventarios forestales, pues sirve para calcular el área basal y volumen del tronco de los árboles citado por (García 2014).

2.3.8 Área basal

esta medida es muy utilizada en el sector forestal porque es indispensable para calcular el volumen de un árbol en pie o tumbado. El área basal es un espacio transversal del fuste de un árbol en una altura del suelo (Matteucci y Colma 2002).

2.3.9 Parcela

(MINAM 2015) sostiene que la unidad muestral o parcela de muestreo, constituye la unidad elemental de estudio dentro de la cual se realiza el registro de la flora y las mediciones de sus variables.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de estudio

La investigación es descriptiva y comparativo, porque se consistió en observar, inventariar, analizar y estimar la diversidad florística de especies arbóreas, estimar la biomasa aérea y recolectar muestras de suelos para el análisis fisicoquímico del suelo.

3.2 Diseño del estudio

El diseño del presente estudio fue no experimental y transversal, porque se empleó un diseño de parcelas de muestreo temporales. La forma de las unidades de muestreo fue en parcelas de 10 m x 25 m (250 m²). Esto se realizó con el objetivo de analizar las características de composición florística, diversidad y abundancia de las especies que contiene cada parcela. Igualmente, se hizo un muestreo de suelo para coleccionar las muestras de suelos e identificar y comparar sus características fisicoquímicas de las 24 parcelas inventariadas. Para estimar la Biomasa se aplicó ecuaciones alométricas, según los datos obtenidos en campo (Honorio 2018)

3.3 Delimitación espacial y temporal

3.3.1 Lugar de estudio.

El área de estudio se localiza en la concesión minera Puerto Belén y la concesión minera San Vicente II, que tiene como titular de tipo jurídico a la Empresa: Unión Minera Hipasur e Inversiones D.M.M.D. ubicados en el sector de Punkiri y Kimiri en el distrito de Huepetuhe, provincia de Manu, departamento de Madre de Dios. Áreas impactadas por la actividad minera mecanizada en el año 2000, esta información se pudo corroborar con imágenes LANDSAT a partir del año 2005, como también con testimonios de los mismos concesionarios. Del año 2000 al 2005 se encontró presencia de

nubosidad en las imágenes LANDSAT por lo cual no se pudo observar imágenes pertenecientes a esos años. De igual forma se estudió bosques de referencia (bosques primarios) cercanas a las áreas afectadas por la minería mecanizada pertenecientes de ese mismo año y se corroboró con imágenes LANDSAT a partir del año 2005 hasta el 2023.

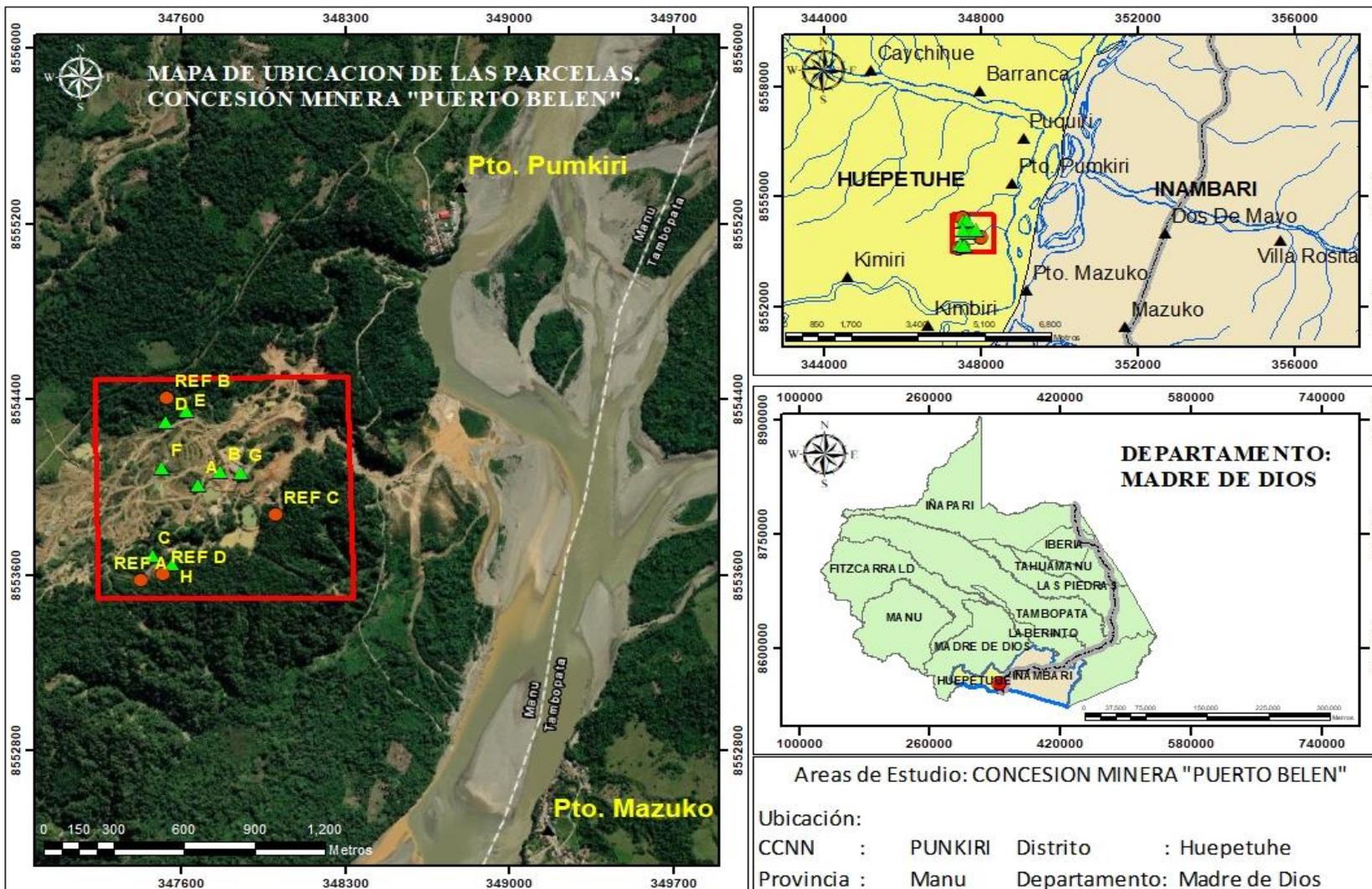


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio con imagen satelital: PRIMERA CONCESIÓN MINERA "PUERTO BELÉN"

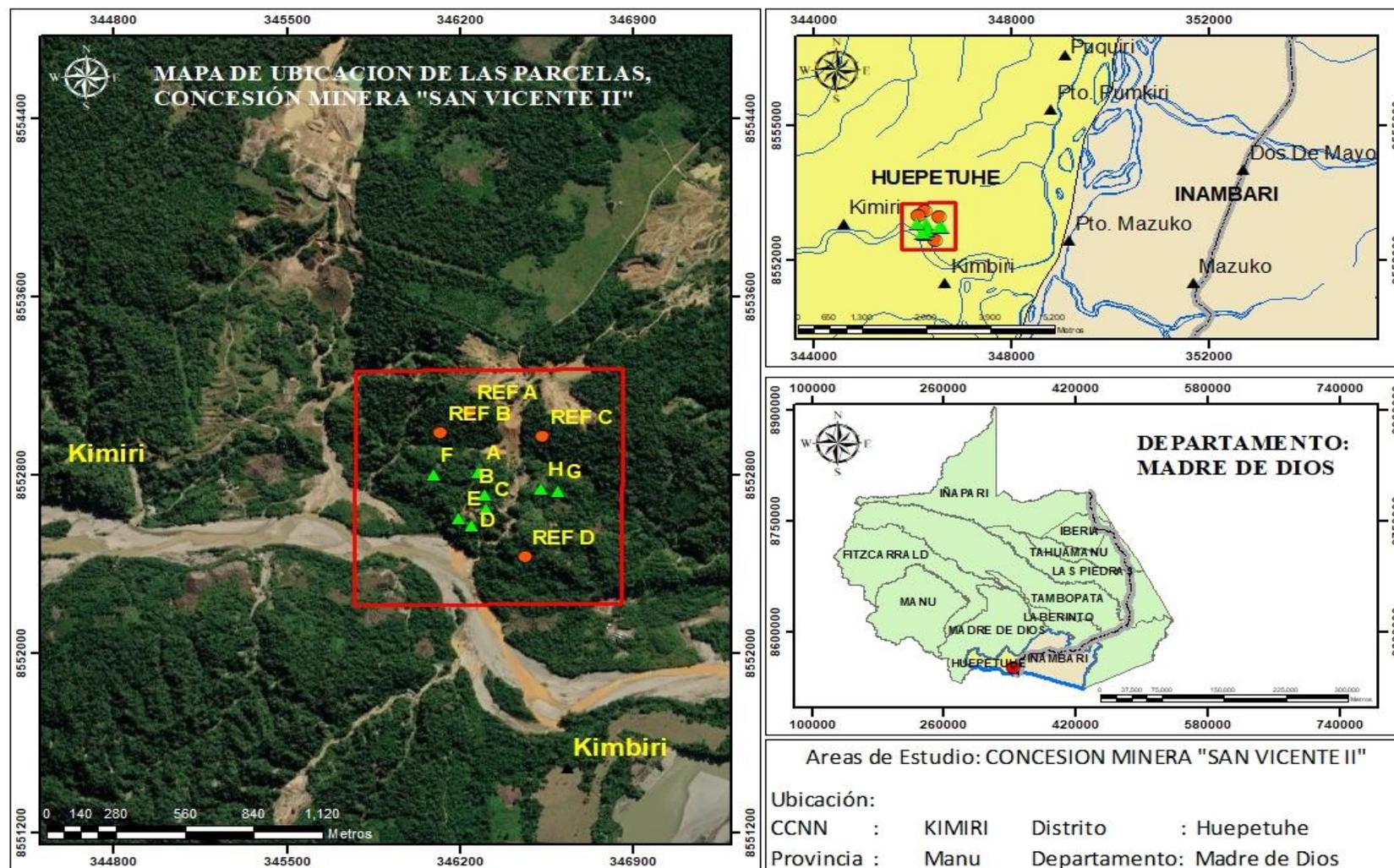


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio con imagen satelital: SEGUNDA CONCESIÓN MINERA "SAN VICENTE II"

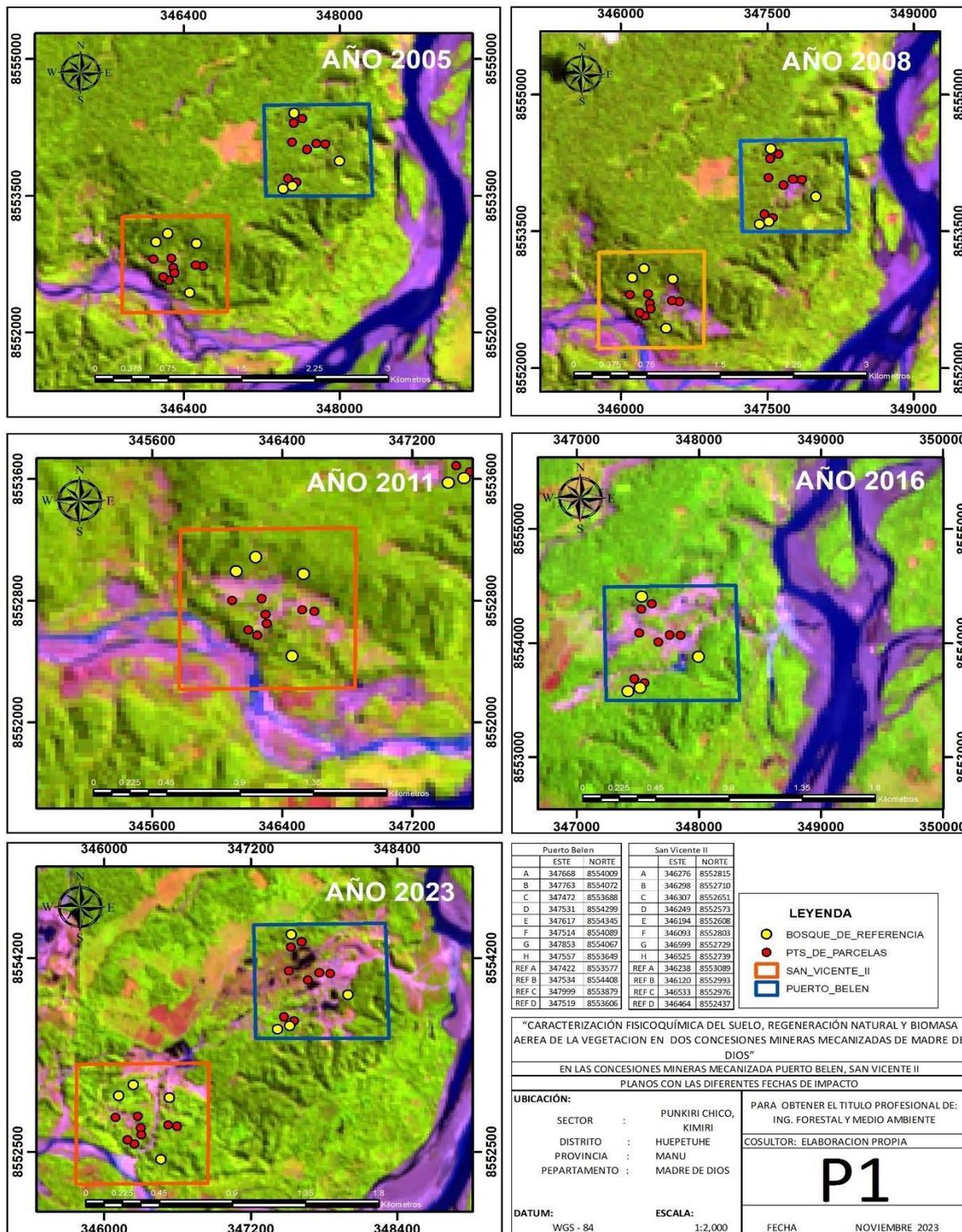


Figura 3. Imágenes satelitales LANDSAT (LC08 CO2 T1 TOA) de los años 2005 hasta el 2023. Fuente <https://code.earthengine.google.com/>. <https://glovis.usgs.gov/>

El Departamento de Madre de Dios, ubicado en la parte sur oriente del territorio peruano, entre los paralelos 09°55´ y 13°20´ de latitud sur y los meridianos 68°39´ y 72°23´ de longitud oeste. Su capital es la ciudad de Puerto Maldonado, la misma que se ubica en la confluencia de los ríos Madre de Dios y Tambopata (Cordova 2021). Es un territorio amazónico con vegetaciones de zonas de selva alta y selva baja que tiene una superficie de 85 873,22 km² (6,6% del territorio nacional). Limita al Norte con el Departamento de Ucayali y con el País de Brasil; al Este con el País de Bolivia; al Oeste con los Departamentos de Cusco y Ucayali y por el Sur con el Departamento de Puno.

El área de estudio comprende específicamente el siguiente contexto geográfico:

3.3.2 Ubicación geográfica y política

Sector	Punkiri y Kimiri	Punkiri coordenadas UTM 348 807 E, 855 4626 N	Kimiri coordenadas UTM 346 806 E, 855 3627 N
Distrito	Huepetuhe	Coordenadas UTM 333 788 E, 8562 380 N	
Provincia	Manu	Coordenadas UTM 436 920 E, 8790 043 N	
Departamento	Madre de Dios	Coordenadas UTM 351 669 E, 8551 683 N	

El Distrito de Huepetuhe, fue creado por Ley N° 27285; el 9 de junio del año 2000. Es uno de los 4 distritos, que conforman la Provincia de Manu; perteneciente a la Región Madre de Dios. El mismo que se ubica, en la zona Sur Este de Perú. Limita al Norte y Oeste con el distrito de Madre de Dios; al Sur, con la provincia de Quispicanchis, departamento del Cusco; al Este con el distrito de Inambari y la provincia de Carabaya, departamento de Puno (Cordova 2021).

El distrito de Huepetuhe posee una extensión de 1 478,42 km², equivalente a 147 842,00 hectáreas y representa el 5,31% de la superficie territorial de la

provincia. Su territorio se caracteriza por ser geodinámica medianamente estable vulnerable, con zonas de planicies aluviales pleistocénicas terminales y en otro sector constituido por una llanura de sedimentación holocénica o reciente, donde se concentra la mayor cantidad de población.

Su altitud promedio es de 410 m.s.n.m (Cordova 2021). Su territorio incluye la totalidad de la cuenca del río Huepetuhe; así como las cuencas del río Pukiri, Caychihue y Setapo. La carretera Puente Inambari – Bajo Pukiri – Huepetuhe; forma parte de la dinámica económica de los principales centros poblados, así como Kimiri, Puerto Punkiri, Caychihue, Choque, Nueva; conectándose a la carretera interoceánica a la altura del puente Inambari, por un lado y la otra por Puerto Mazuko (Cordova 2021).

Fisiografía: En el Distrito se constituyen dos pisos altitudinales; selva alta que colinda con los departamentos de Cusco y Puno; selva baja con los distritos de Inambari y Madre de Dios.

Clima: El distrito de Huepetuhe presenta un clima húmedo y semicaldo, con valores de precipitación pluvial anual de 2 500 mm. Presenta una temperatura promedio que oscila entre los 23 - 30 °C, con una máxima de 35 °C y una mínima de 10 °C. Existe dos estaciones; una seca, denominada verano que se da entre los meses de Mayo – Noviembre y otra denominada lluviosa que se da entre los meses de diciembre – abril y va acompañada de descargas eléctricas; situación que pone en riesgo los campamentos mineros. Excepcionalmente se producen invasiones de masas frías de aire procedentes del sur del continente, causan fríos intensos llamados “Friajes” con las subsiguientes pulmonías y gripes graves (Cordova 2021).

La precipitación es abundante y distribuida en forma irregular en estos tiempos, a lo largo del año, lo cual origina una fuerte escorrentía que incrementa el caudal de los ríos. La información sub regional señala que llega a 2 445 mm como promedio anual (Cordova 2021).

Hidrografía: El distrito de Huepetuhe, se encuentra en las cuencas del río Colorado y el río Inambari. Este, tiene un curso aproximado de 437 km y nace en el departamento de Puno, al Norte del Lago Titicaca, en el nevado de

Ananea; con el nombre de río Quiaca; sigue su dirección de sur a norte formando una curva hasta llegar al lado oeste donde cambia de nombre, denominándole el Huari Huari hasta desembocar al río Coasa; a partir de este sector se llama alto Inambari, confluyendo con el río San Gabán y el río Marcapata. Ingresa a Madre de Dios con el nombre de río Inambari, continúa su curso hasta desembocar en el río Madre de Dios, en el distrito de Laberinto (Cordova 2021).

La red hidrográfica del Distrito de Huepetuhe, se encuentra conformada por el río Huepetuhe, Caychihue, Puquiri y Setapo. Las microcuencas de Puquiri y Huepetuhe, las cuales tienen longitudes de 80 km y 18 km respectivamente. Las aguas del río Huepetuhe son alimentadas por las quebradas; Libertad, Padilla, Choque San Juan, Nueva, Padilla, Buena fortuna, Santa elena y nueve de setiembre. En río Huepetuhe desemboca en el río Punquiri; ambos ríos forman la sub cuenca del río colorado (Cordova 2021).

Vía de principal accesibilidad terrestre:

Primer tramo: Es de 145 km desde Puerto Maldonado, por vía terrestre hasta la localidad de Mazuko, es aproximadamente 2 horas con 30 minutos en auto. Segundo tramo: es de 3 km, desde la localidad de Mazuko hasta Puerto Mazuko aproximadamente 10 minutos en auto. Tercer tramo: Es de 400 metros desde Puerto Mazuko hasta Puerto Punkiri se hace el transbordo vía fluvial (bote motorizado) para cruzar el río Inambari, el tiempo es de 12 minutos aproximado. Cuarto tramo: Es de 35km, desde Puerto Punkiri hasta el área de estudio de la primera concesión minera Puerto Belén. Quinto tramo: Es de 50 km desde la primera concesión hasta la segunda concesión San Vicente II.

Área útil de estudio será de ocho parcelas intervenidas por la actividad minera y cuatro parcelas de bosques de referencia, en la primera concesión y la misma cantidad de parcelas será para la segunda concesión a partir del año 2005.

En la Tabla 2, se detalla las coordenadas UTM de ubicación de la concesión minera Puerto Belén y en la Tabla 3, las coordenadas UTM de la concesión minera San Vicente II.

Tabla 2. Concesión Minera: Puerto Belén. Coordenadas UTM WGS84 (100 ha).

Vértice	Coordenadas	
	Este	Norte
V1	347812	8554628
V2	348807	8554626
V3	348805	8553638
V4	347814	8553634

Tabla 3. Concesión Minera: San Vicente II. Coordenadas UTM WGS84 (100 ha).

Vértice	Coordenadas	
	Este	Norte
V1	345813	8553627
V2	346806	8553627
V3	346804	8552636
V4	345813	8552640

3.4 Población y muestra

3.4.1 Tamaño y forma de las parcelas

Se escogieron las unidades de muestreo de área fija o también llamadas (parcelas) de forma rectangular de 10 metros por 25 metros, con un área de 250 m² equivalente a 0,025 hectáreas (Carrera et al. 2002). En total fueron 24 parcelas entre las dos concesiones mineras (8 en regeneración natural en áreas degradadas y 4 en bosques de referencia para cada concesión minera,

formando así 12 parcelas por concesión y un total de 24 parcelas en ambas concesiones).

Para escoger la unidad muestral adecuada se considera lograr la mayor eficiencia y reducir el sesgo. En los bosques latifoliados el autor recomienda parcelas largas y angostas con la finalidad de cubrir más área del terreno. Sin embargo, no se recomienda utilizar parcelas circulares ni cuadradas debido a que demanda un mayor tiempo para su levantamiento (Carrera et al. 2002).

3.4.2 Población

Se consideraron como población el total de los sitios de las dos concesiones mineras mecanizadas que fueron afectadas y abandonadas por la actividad minera, como también se consideró a los sitios de bosques de referencia (bosques primarios) que nos sirvió para realizar y comparar nuestros objetivos. De forma natural se evidenció la presencia de vegetación en áreas de abandono por la actividad minera mecanizada en ambas concesiones mineras.

3.4.3 Muestra

El tipo de muestreo se realizó por conveniencia, de acuerdo a la accesibilidad de sitios en las áreas degradadas por minería mecanizada, con presencia de regeneración florística dentro de las concesiones mineras Puerto Belén y San Vicente II.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Métodos y técnicas

Metodología

En la investigación se aplicó el método de inventario por conveniencia, con el propósito de que la muestra se distribuya adecuadamente sobre la población logrando así abarcar la mayor parte del área, mediante 24 parcelas de 250 m² (0,025 ha) donde se registró e identificó latizales y fustales mayores o iguales a 3 cm de circunferencia. Posteriormente, se determinó la composición florística, abundancia, diversidad, especies indicadoras, estructura diamétrica

y alométricas, caracterización fisicoquímica del suelo y estimación de biomasa con ecuaciones alométricas. Las parcelas con regeneración natural en áreas degradadas fueron evaluadas y comparadas con bosques de referencia (bosques primarios) del mismo tamaño de parcelas también se evaluaron composición florística, abundancia, diversidad, especies indicadoras, estructura dimétrica y alométricas, caracterización fisicoquímica del suelo y estimación de biomasa con ecuaciones alométricas. El área evaluada presentaba dos composiciones diferentes en el desarrollo boscoso por ende se estratificó como se explica a continuación.

Estratificación del área de estudio.

Para realizar la evaluación de las parcelas de la primera concesión “Puerto Belén” en regeneración natural en áreas degradadas como en bosques de referencia primero se estratificó, debido a la diferencia notable en el desarrollo boscoso en comparación al otro, por esta razón la parcela de evaluación dentro de la misma concesión fue dividida en dos: De I-A hasta I-H (I-A, I-B, I-C, I-D, I-E, I-F, I-G, I-H) fueron las parcelas de regeneración natural en áreas degradadas y BR-REFE I-A hasta BR-REFE I-D (BR-REFE I-A, BR-REFE I-B, BR-REFE I-C, BR-REFE I-D) fueron las parcelas de bosques de referencia. Las parcelas establecidas dentro de los bosques de referencia presentaban una composición boscosa con mayor desarrollo de altura, diámetro, diversidad, abundancia y cantidad árboles en el área, en cuanto al suelo se caracterizaba por ser más arcilloso con presencia de mucha humedad. De diferente forma, las parcelas de I-A hasta I-H presentaba una composición boscosa con menor desarrollo de altura, diámetro y cantidad de árboles en el área, en cuanto al suelo se caracterizaba por ser más arenoso, con poca presencia de arcilla. Similares resultados se encontraron en la segunda concesión San Vicente II. Esta concesión también fue dividida en dos: II-A hasta II-H para parcelas con regeneración natural en áreas degradadas y BR-REFE II-A hasta BR-REFE II-D para bosques de referencia.

Técnicas de recopilación de datos:

Para la presente investigación, la recopilación de datos y muestras botánicas

(trabajo de campo) se ejecutaron en los meses de junio, julio y agosto del año 2023. La toma de datos corresponde a la unidad de análisis de muestreo de las dos concesiones (Puerto Belén y San Vicente II) se establecieron 24 parcelas de 10 m x 25 m (250 m²), en ambas concesiones 12 parcelas por concesión (8 parcelas en regeneración natural y 4 parcelas en bosques de referencia) estas parcelas fueron divididas en los dos Estratos I-A Y BR . Para ubicar las parcelas se procedió a ingresar sus coordenadas UTM al GPS (parcelas que fueron seleccionadas realizando un análisis multitemporal con programas como LANDSAT y Glovis). La recopilación de datos se recopiló en las siguientes fases:

a) Fase de inventario

- **Instalación de parcelas.**

Una vez obtenido el mapa y el diseño, se empezó a establecer las parcelas y realizar las mediciones. Generalmente, una cuadrilla de dos tesisistas y un técnico forestal es suficiente. Con el uso de una brújula y GPS se ubicó los vértices de las parcelas, luego se procedió a colocar ralias de polipropileno de color rojo, en todo el perímetro de las parcelas a inventariar.

- **Información que registrar.**

El personal estuvo bien capacitado para el registro y recolección de muestras botánicas para su posterior identificación. La secuencia fue empezar las mediciones por las plantas más pequeñas y seguir hasta los árboles más grandes. Se registró árboles y arbustos con una circunferencia mayor o igual a 3 cm, descartando lianas y herbáceas. Adicionalmente, se registraron la altura total con ayuda de un clinómetro y DAP de cada individuo, de la misma manera se recolectaron muestras botánicas para la identificación de las mismas. Las muestras botánicas fueron tomadas cumpliendo los protocolos de colección del Herbario Alwyn Gentry.

Especie vegetal (Esp):

De esta manera se conocen a una planta, los especímenes que no fueron reconocidos en el campo son recolectados para su posterior reconocimiento

en gabinete en los herbarios, los mismos que fueron en el campo debidamente codificados, si no se reconoce las especies,

se toma en cuenta el género o familia (Baez 2014).

Diámetro a la altura del pecho (DAP):

Esta medida nos ayudó a determinar el volumen del bosque, esta medición es medido con la corteza, esta medida es a la altura el pecho 1,30 m, posteriormente la medida se demarca y codifica con una cinta roja (Baez 2014).

Altura total: es la medición directa los árboles o arbusto desde su base hasta su ápice.

➤ **Colección de especímenes vegetales.**

En la parcela, se ubicó y recolectó la flora existente, se colectaron la muestra con los implementos de campo como tijera telescópica, tijera de podar, posteriormente se puso una etiqueta con una codificación específica para cada muestra botánica. Se utilizaron sacos grandes, para su traslado al área de trabajo, donde se realizó el prensado y preservación. Se colectó en su mayoría muestras en estado fértil, lo cual ayudó mucho en la identificación individuo (Dueñas y Nieto 2010).

➤ **Registro de fotografías de las especies vegetales.**

Las fotografías tomadas fueron codificadas con los mismos códigos que las muestras botánicas con la finalidad de no cometer equivocaciones, estos códigos fueron anotados en un cuaderno de campo. Con una cámara fotográfica digital se tomaron fotos a las muestras, las fotos nos ayudaron mucho en el trabajo de herbario para el proceso de identificación.

b) Fase de laboratorio

➤ **Secado de las muestras.**

Las muestras botánicas fueron secadas en el herbario “Alwyn Gentry” ubicado en las instalaciones de la UNAMAD, cumpliendo rigurosamente todos los protocolos establecidos y siendo asesorados por el especialista botánico en este proceso.

➤ **Identificación y/o determinación de especímenes vegetales.**

En este procedimiento las muestras vegetales obtenidas en campo se agruparon en especies, géneros y familias; todas las muestras de campo, con la ayuda de los especialistas del Herbario “Alwyn Gentry”, se realizó la comparación con muestras que ya se tenía en la base de datos del herbario, también con guías, manuales y literatura especializada.

c) Técnica de recopilación de datos para evaluar las características fisicoquímicas del suelo en las dos concesiones mineras.

En el presente estudio se recolectaron 24 muestras de suelo, de 1 kg de cada una de las parcelas. Para la primera concesión “Puerto Belén” se colectaron ocho muestras de las ocho parcelas que fueron establecidas en áreas degradadas con regeneración natural, una muestra por cada parcela y cuatro muestras se colectaron de las cuatro parcelas de los bosques de referencia una muestra por cada parcela, esta muestra fue obtenida de las áreas cercanas donde actualmente se está estudiando la regeneración natural en áreas degradadas formando así un total de 12 muestras por concesión. Este mismo procedimiento se realizó en la segunda concesión “San Vicente II” donde también se obtuvo 12 muestras de suelo. Con los resultados de las 24 muestras se realizó la comparación y discusión. La recolección se realizó en dos etapas, como se detallan a continuación.

- **Primera etapa:** Toma de muestras de suelo de las parcelas con regeneración natural en áreas degradadas por minería mecanizada para las dos concesiones mineras:

Para la toma de la muestra de suelo se utilizó la metodología de (Cordova 2021). que consiste en tomar como mínimo ocho submuestras por parcela.

Las muestras de suelo se tomaron de las parcelas con regeneración natural en áreas degradadas, las ocho submuestras fueron obtenidas de la parte superficial del suelo con una pala a una medida de 30 cm x 30 cm de ancho y largo y 30 cm de profundidad. Luego todas las submuestras se mezclaron de forma uniforme en un envase limpio de 20 litros, seguidamente fueron tamizados para retirar impurezas, el proceso del tamizaje se realizó con una maya metálica de 3 mm esto sirvió para separar las piedras, raíces, ramas, etc. de las muestras de suelo.

Se obtuvo una muestra compuesta por cada parcela de 1 kilo estas muestras de suelo se recogieron en un recipiente de bolsa de polietileno densa, seguidamente se prosiguió al etiquetado que acompañe a la muestra; el etiquetado llevaba el lugar de muestreo, nombre de la concesión minera, número de parcela, fecha, hora de muestreo y nuestros nombres, ya que fuimos nosotros las personas que colectaron la muestra.

Por último, se les realizó la cadena de custodia de todas las muestras para ser enviados al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Segunda etapa: Toma de muestras de suelo de las parcelas de bosques de referencia (bosques primarios) para las dos concesiones mineras mecanizadas

Para la toma de la muestra de suelo se utilizó la misma metodología de (Cordova 2021). Que consiste en tomar como mínimo ocho submuestras por parcela. Las muestras de suelo se tomaron de las parcelas de bosque de referencia, las ocho submuestras fueron obtenidas de la parte superficial del suelo con una pala a una profundidad máxima de 30 cm x 30 cm de ancho y 30 cm de profundidad. Luego todas las submuestras se mezclaron de forma uniforme en un envase limpio de 20 litros, seguidamente fueron tamizados para retirar impurezas, el proceso del tamizaje se realizó con una maya metálica de 3 mm esto sirvió para separar las piedras, raíces, ramas, etc. de las muestras de suelo.

Se obtuvo una muestra compuesta por cada parcela de 1 kilo, estas muestras de suelo se recogieron en un recipiente de bolsa de polietileno densa,

seguidamente se prosiguió al etiquetado que acompañe a la muestra; el etiquetado llevaba el lugar de muestreo, nombre de la concesión minera, número de parcela, fecha y hora de muestreo, nombre de las personas que colectaron la muestra.

Por último, se les realizó la cadena de custodia de todas las muestras para ser enviados al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

d) Técnicas de recolección de datos para la estimación de biomasa aérea presentes en las parcelas de regeneración natural en aéreas degradadas y bosques de referencia en las dos concesiones mineras.

- Para el caso de la biomasa aérea presente en las parcelas de regeneración natural en aéreas degradadas.

Se utilizaron todos los datos obtenidos a través del inventario forestal que se realizó en las 24 parcelas, los datos utilizados fueron: DAP, altura total y número de parcelas. Los cuales fueron usados para el cálculo de la biomasa aérea por parcela.

- Para el caso de biomasa aérea presentes bosques de referencia en las dos concesiones mineras

Se utilizó la misma metodología, se usaron todos los datos obtenidos a través del inventario forestal que se realizó en las 24 parcelas, los datos utilizados fueron: DAP, altura total y número de parcelas. Los cuales fueron usados para el cálculo de la biomasa aérea por parcela.

e) Ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa aérea.

Para la estimación de biomasa aérea se utilizó ecuaciones alométricas, estas ecuaciones alométricas son modelos estadísticos que predicen la biomasa de un árbol a partir de otras características dendrométricas (es decir, DAP, altura y densidad de la madera) que son más fáciles de medir y no son destructivas. Para hallar su densidad primero se identificó la especie y nombre científico de cada individuo, con ayuda del especialista se prosiguió hallar su densidad correcta de cada individuo inventariado.

Fórmula para estimar la biomasa aérea:

$$BA = 0,0673 \times (\rho D^2 H)^{0.976}$$

Donde:

ρ = densidad de la madera (g/cm^3)

D = diámetro a la altura del pecho (cm)

H= altura del árbol (m).

BA= biomasa aérea

3.5.2 Instrumentos

A continuación, se muestran los instrumentos que fueron requeridos en el presente estudio:

a). Composición florística, diversidad y riqueza de especies:

- Brújula SUUNTO
- Clinómetro SUUNTO
- Cinta diamétrica de 5 metros de longitud total
- Wincha de 50 metros de longitud total
- GPS Garmin Map 65s.
- Cámara fotográfica digital CANON 16 megapíxeles
- Plumones indelebles
- Periódicos pasados para el secado de muestras botánicas.
- Rafias de polipropileno
- Cinta de agua color rojo

- Prensa botánica
- Botas de lluvia
- Ponchos impermeables.

b). Caracterización fisicoquímica del suelo

- Balanza manual de 1 kg
- Análisis de laboratorio suelos (caracterización) laboratorio UNALM.
- GPS Garmin Map 65s.
- Cámara fotográfica digital CANON 16 megapíxeles.
- Bolsas de polietileno
- Envase de 20 litros
- Maya metálica para realizar el tamizaje de suelo

c). Biomasa total y almacenamiento de carbono

- Clinómetro SUUNTO
- Cinta diamétrica de 5 metros longitud total
- Wincha de 50 metros longitud total
- GPS Garmin Map 65s.
- Cámara fotográfica digital CANON 16 megapíxeles

3.5.3 Procesamientos de datos y análisis estadístico

Para el análisis estadístico se aplicó la estadística descriptiva, para ello se usó

Softwares como: RStudio dentro de ello se utilizó la distancia de Bray-Curtis para hallar la similitud florística, el análisis de Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) se utilizó para la representación gráfica de las parcelas por similitud florística, mediante el análisis multivariado permutado de la varianza (PERMANOVA) se halló las diferencias significativas entre regeneración

natural y bosques de referencia. Para la composición florística, abundancia y diversidad en la regeneración natural en áreas degradadas por minería y bosques de referencia, se usó el método de inventario muestreo por conveniencia, donde se realizó la cuantificación de los individuos, agrupándolos por familias, géneros y especies. Para hallar la diversidad se usó el índice de Shannon, Margalef, Chao. Con este objetivo se realizó, promedio, gráficos y cálculo de sumas.

Acerca del segundo objetivo. Para determinar las especies indicadoras se utilizó el Softwar : RStudio dentro de ello el Análisis de especies indicadoras (IndVal) tanto para regeneración natural como bosques de referencia. Realizando promedios, cálculos de sumas, elaboración de gráficos, y frecuencias.

Respecto al objetivo tercero: Caracterizar y comparar la estructura de la regeneración natural según categorías de tamaño se utilizó el software Microsoft Excel Realizando promedios, cálculos de sumas, elaboración de gráficos, y frecuencias

Respecto al objetivo cuarto: Analizar la influencia del tiempo de abandono en la composición florística en dos concesiones mineras mecanizadas se utilizó el software coeficiente de correlación de Spearman y coeficiente de correlación de Pearson representando mediante un correlograma realizando promedios, cálculos de sumas, elaboración de gráficos, y frecuencias.

Respecto al objetivo quinto: Analizar la relación entre las características fisicoquímica del suelo y los atributos florísticos de la regeneración natural en dos concesiones mineras mecanizadas: Se aplicó la caracterización, interpretación y comparación del resultado de los análisis de las 24 muestras de suelos. Para ellos se realizó cálculos de sumas, promedios, frecuencias y elaboración de gráficos

Acerca del último objetivo: Determinar y comparar Biomasa aérea de la regeneración natural se utilizó ecuaciones alométricas con datos obtenidos en campo. Para ellos se realizó cálculos de sumas, promedios, frecuencias y elaboración de gráficos.

CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1 Abundancia, diversidad y composición florística de la regeneración natural.

4.1.1 Abundancia y diversidad de la vegetación

En la Tabla 4 se muestran los atributos florísticos de número de especies, abundancia e índices de diversidad encontrados en las parcelas con regeneración natural en las áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en las dos concesiones mecanizadas, así como su comparación con sus bosques de referencia. Como se esperaba, la riqueza y diversidad de especies de la vegetación fue superior en el bosque de referencia, en comparación con la regeneración natural de las áreas abandonadas por la minería aurífera de las concesiones mecanizadas.

Los valores de riqueza y diversidad de especies fueron similares a los reportados por Garate-Quispe et al. (2023) y Alarcón-Aguirre et al. (2023). Por lo que a pesar de que son zonas con diferente tipo de minería (Garate-Quispe et al. 2023; Alarcón-Aguirre et al. 2023) pero similar fragmentación del paisaje la actividad minera en el área de estudio genera problemas medioambientales severos, ya que no solo dañan la superficie del terreno, sino también la vegetación natural y la biodiversidad y limitaría el establecimiento de la regeneración natural (Chaurasia y Mohapatra 2025). Además, en las zonas degradadas San Vicente II, el rendimiento de las plantas en las primeras fases de establecimiento, es decir, la germinación y la supervivencia y el crecimiento temprano, depende en gran medida de las condiciones del suelo, como la humedad y la temperatura, que son muy variables en las distintas estaciones y ecosistemas (Navarro-Ramos et al. 2022).

Tabla 4. Abundancia, riqueza y diversidad de especies de la regeneración natural en áreas degradadas por la minería aurífera y la comparación con los valores encontrados en el bosque de referencia en las dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1= Puerto Belén), kimiri (S2= San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

Concesión minera	Tipo	Parcela	Número de especies	Abundancia	Índices de diversidad		
					Shannon	Margalef	Chao
S1	Áreas degradadas	S1-A	18	20	3.28	5.68	78.80
		S1-B	15	17	3.08	4.94	54.76
		S1-C	17	20	3.16	5.34	127.00
		S1-D	17	19	3.22	5.43	70.29
		S1-E	18	19	3.32	5.77	154.90
		S1-F	15	17	3.08	4.94	54.76
		S1-G	17	17	3.30	5.65	145.00
		S1-H	15	17	3.08	4.94	54.76
	Bosque de referencia	S1-BR-A	21	23	3.45	6.38	107.30
		S1-BR-B	20	20	3.47	6.34	200.50
		S1-BR-C	23	28	3.48	6.60	54.24
		S1-BR-D	22	22	3.57	6.79	242.50
S2	Áreas degradadas	S2-A	20	20	3.47	6.34	200.50
		S2-B	15	18	3.05	4.84	37.67
		S2-C	15	16	3.12	5.05	106.90
		S2-D	19	19	3.42	6.11	181.00
		S2-E	16	17	3.19	5.29	121.90
		S2-F	16	16	3.24	5.41	128.50
		S2-G	20	20	3.47	6.34	200.50
		S2-H	17	18	3.26	5.54	137.90
	Bosque de referencia	S2-BR-A	19	20	3.38	6.01	172.90
		S2-BR-B	20	20	3.47	6.34	200.50
		S2-BR-C	22	22	3.57	6.79	242.50
		S2-BR-D	23	25	3.55	6.84	128.80

Composición florística

En la Tabla 5 se muestran los valores promedio de similitud florística (beta diversidad) promedio entre las áreas degradadas y los bosques de referencia en las dos concesiones mecanizadas estudiadas. La mayor similitud en la composición de especies (26 %) se encontró entre las parcelas de regeneración natural de la concesión S1 (Puerto Belén). La similitud florística entre las parcelas de bosque de referencia fue relativamente homogénea, entre 15.5 a 18.2 %.

Mientras que los valores más bajos de similitud florística se encontraron entre las áreas degradadas y los bosques de referencia (entre 7 a 10.5 %).

Tabla 5. Similitud florística promedio (% , utilizando la distancia de Bray-Curtis) entre las áreas degradadas y el bosque de referencia en las dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1=Puerto Belén), kimiri (S2= San Vicente II) distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

	S1 áreas degradadas	S1 bosque de referencia	S2 áreas degradadas	S2 bosque de referencia
S1 áreas degradadas	26.07			
S1 bosque de referencia	9.28	18.20		
S2 áreas degradadas	15.62	7.06	14.41	
S2 bosque de referencia	8.14	18.26	10.54	15.57

En la Figura 2 y 3, se muestra una representación gráfica en dimensión reducida, mediante el análisis de Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), de las parcelas evaluadas según su similitud florística. En el nMDS de la Figura 2 se observó una diferenciación en la composición de especies entre los bosques de referencia (cuadrados rojos) y la regeneración natural de las áreas degradadas (círculos azules). Por otro lado, mediante el análisis multivariado permutado de la varianza (PERMANOVA), se demostró que existen diferencias significativas en la composición de especies arbóreas entre la regeneración natural que coloniza las áreas abandonadas por minería y el bosque de referencia (PERMANOVA, P-PseudoF = 1.82, $p = 0.001$).

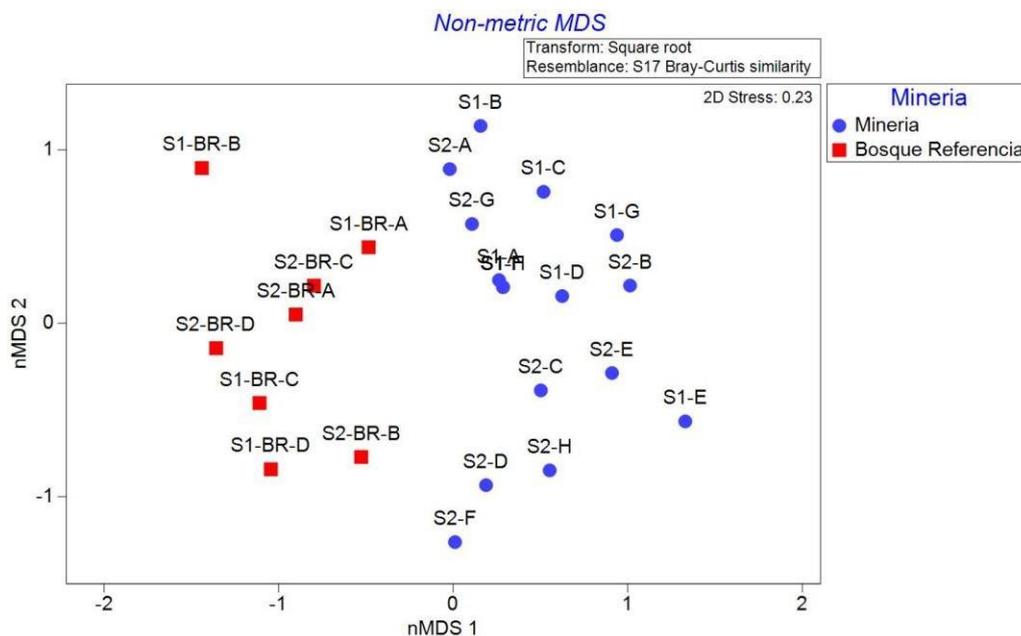


Figura 4. Comparación de la similitud florística entre la regeneración natural encontrada en las dos concesiones mineras y el bosque de referencia. S1 y S2 corresponden a las concesiones evaluadas, Puerto Belén y San Vicente II, respectivamente.

En la Figura 5, se muestra una representación gráfica en dimensión reducida, mediante nMDS, se observó una diferenciación en la composición de especies entre las parcelas de regeneración natural y las ubicadas en cada uno de los bosques de referencia. Mediante el análisis PERMANOVA se demostró que existen diferencias significativas en la composición de especies arbóreas entre la regeneración natural que coloniza las áreas abandonadas por minería y los bosques de referencia (PERMANOVA, Pseudo-F = 1.98, $p = 0.001$). Por otro lado, mediante la comparación por pares *a posteriori* del PERMANOVA (Tabla 5), se encontró que la composición de especies de la regeneración natural de las dos concesiones difiere significativamente de los bosques de referencia evaluados ($p < 0.05$). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la composición de especies entre los dos bosques de referencia evaluados ($p = 0.743$).

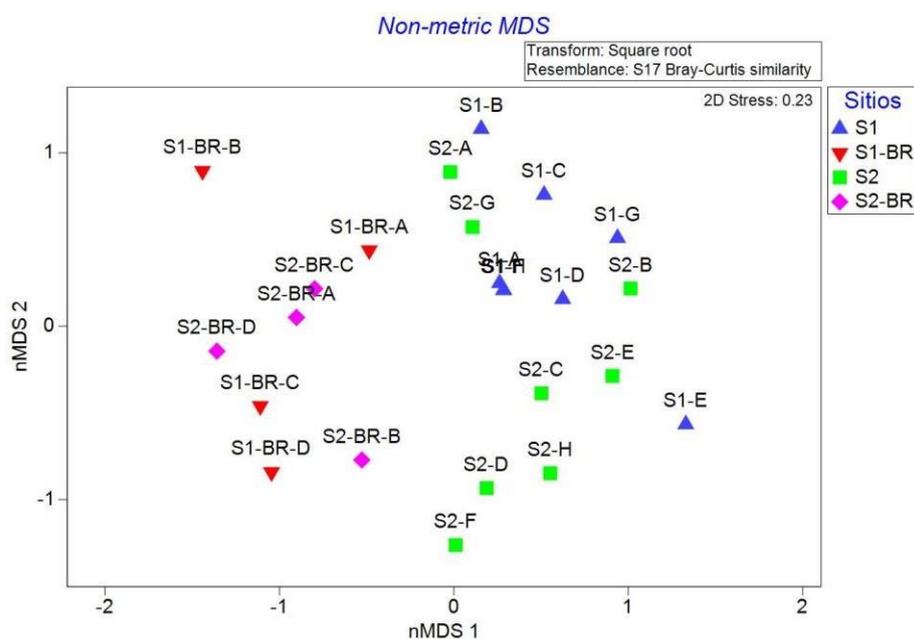


Figura 5. Comparación de la similitud florística entre la regeneración natural encontrada en las dos concesiones mineras y los dos bosques de referencia. S1 y S2 corresponden a las concesiones evaluadas. BR es el bosque de referencia.

Tabla 6. Comparación por pares de la composición florística mediante el análisis PERMANOVA entre las áreas degradadas y el bosque de referencia en las dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1=Puerto Belén), kimiri (S2=San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

Groups	t	P(perm)
S1, S1-BR	1.6868	0.007
S1, S2	1.2886	0.026
S1, S2-BR	1.6489	0.003
S1-BR, S2	1.4719	0.004
S1-BR, S2-BR	0.93685	0.743
S2, S2-BR	1.2361	0.022

La baja similitud florística entre la regeneración natural y los bosques de referencia estaría generando que la estructuración de las comunidades de la vegetación que se establece en las áreas abandonadas por la minería estaría tendiendo a una convergencia con la composición de la comunidad del bosque maduro (Norden et al. 2009). Además, esta capacidad de recuperación se debe a tres factores clave que coexisten localmente: la granabundancia de especies generalistas en la flora regional,

los altos niveles de dispersión de semillas y la presencia local de remanentes de bosques antiguos (Norden et al. 2009).

4.2 Especies indicadoras de la regeneración natural.

4.2.1 Especies indicadoras de áreas degradadas por minería aurífera

El análisis de especies indicadoras (IndVal) es un método utilizado para seleccionar especies indicadoras de hábitats, el cual se basa en el grado de especificidad (exclusividad a un hábitat particular) y el grado de fidelidad (frecuencia de ocurrencia dentro del mismo hábitat) de las especies. Mediante el IndVal se identificaron nueve especies indicadoras de las áreas degradadas por la minería aurífera en las dos concesiones mineras mecanizadas (Tabla 7). En la Tabla 8 se muestran los resultados para el índice IndVal y los valores de significancia asociados al IndVal para todas las especies encontradas en las áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en las dos concesiones mineras mecanizadas.

Tabla 7. Especies indicadoras de la regeneración natural en áreas degradadas de dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (Puerto Belén), kimiri (San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

Especie	stat	<i>p</i>
<i>Bellucia pentamera</i>	0.87 7	0.004
<i>Gustavia longifolia</i>	0.82	0.018
<i>Stryphnodendron sp1</i>	0.81 6	0.011
<i>Miconia poeppigii</i>	0.71 6	0.045
<i>Vochysia sp1</i>	0.77 5	0.03
<i>Guarea macrophylla</i>	0.89 4	0.008
<i>Ocotea sp1</i>	0.77 5	0.032
<i>Jacaranda copaia</i>	0.85 3	0.034
<i>Ochroma pyramidale</i>	0.86 4	0.013

Los resultados encontrados de especies indicadoras del bosque secundario productos del abandono por actividades mineras en el área de estudio, coincide con estudio previos. Debido a que *Ochroma pyramidale*, *Bellucia pentamera* y *Jacaranda copaia* son especies típicas que dominan los bosques secundarios de la Amazonia (Cabrera y Rivera 2016; Alegría et al. 2010). Peña-Claros et al. 2002). Por otro lado, *Miconia poeppigii* ha sido reportada como especie dominante en bosques secundarios de la Amazonia sur del Perú (Rocha, Vieira y Simon 2016a) y en regeneración natural de plantaciones en la zona minera de Huepetuhe en Madre de Dios (Garate-Quispe et al. 2021).

Tabla 8. Resultados del índice de especies indicadores (Ind.Val) de la regeneración natural en áreas degradadas de dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (concesión puerto Belén), kimiri (concesión San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

Especie	Ind.Va	p-value	Especie	Ind.Val	p-value
Abarema floribunda	0.447	0.629	Pseudolmedia	0.408	1
Allantoma decandra	0.447	0.624	Psychotria sp1	0.447	0.621
Allophylus floribundus	0.447	0.618	Psychotria sp2	0.447	0.644
Annona herzogii	0.408	1	Rinorea sp	0.447	0.629
Apeiba tibourbou	0.447	0.629	Rinoreocarpus ulei	0.408	1
Aphelandra sp1	0.447	0.629	Roucheria columbiana	0.408	1
Carpotroche longifolia	0.447	0.646	Sapium glandulosum	0.447	0.644
Cedrelinga	0.408	1	Sapium marmieri	0.447	0.625
Cestrum sp	0.447	0.644	Senna sp	0.447	0.629
Chimarrhis hookeri	0.447	0.644	Senna silvestris	0.447	0.629
Chromolaena laevigata	0.447	0.629	Sloanea brevipes	0.447	0.605
Clidemia sp	0.408	1	Sloanea pubescens	0.447	0.625
Clusia sp	0.447	0.644	Smilax poeppigii	0.447	0.605
Connarus punctatus	0.447	0.624	<i>Tachigali alba</i>	0.447	0.621
Diospyros angustifolia	0.447	0.646	<i>Tapirira guianensis</i>	0.408	1
Dussia tessmannii	0.447	0.644	<i>Tetrathylacium macrop</i>	0.447	0.629
Eschweilera coriacea	0.408	1	<i>Trema micrantha</i>	0.447	0.625
Faramea occidetalis	0.408	1	<i>Annona papilionella</i>	0.577	0.288
Ficus insipida	0.408	1	<i>Aparisthmium cordatu</i>	0.426	1
Fridericia sp	0.447	0.605	<i>Cordia alliodora</i>	0.577	0.288
Fusaea peruviana	0.447	0.644	<i>Doliocarpus dentatus</i>	0.632	0.17
Fusaea peruviana	0.408	1	<i>Eugenia feijoi</i>	0.426	1
Graffenrieda limbata	0.447	0.601	<i>Inga thibaudiana</i>	0.577	0.288
Guarea guidonia	0.447	0.618	<i>Licania apetala</i>	0.426	1
Guarea kunthiana	0.408	1	<i>Licaria triandra</i>	0.632	0.164
Guatteria cinnamomea	0.447	0.644	<i>Mollinedia lanceolata</i>	0.632	0.164
Guatteria sp	0.447	0.605	<i>Ocotea puberula</i>	0.632	0.158
Hevea guianensis	0.408	1	<i>Palicourea</i>	0.426	1
Hieronyma alchorneoi	0.447	0.629	<i>Palicourea guianensis</i>	0.447	0.494

Hymenaea oblongifolia	0.447	0.644	<i>Piper bellidifolium</i>	0.577	0.306
Inga alba	0.408	1	<i>Psychotria</i>	0.632	0.183
Inga auristellae	0.447	0.618	<i>Schefflera morototoni</i>	0.426	1
Inga cordatoalata	0.447	0.646	<i>Tachigali tinctoria</i>	0.632	0.16
Inga edulis	0.447	0.618	<i>Tococa guianensis</i>	0.426	1
Inga cayennensis	0.447	0.629	<i>Faramea torquata</i>	0.522	0.742
Inga coruscans	0.447	0.605	<i>Margaritaria nobilis</i>	0.548	0.255
Iryanthera juruensis	0.447	0.605	<i>Ocotea sp1</i>	0.775	0.032
Lacistema aggregatum	0.447	0.624	<i>Pouteria caimito</i>	0.548	0.25
Machaerium	0.447	0.625	<i>Senefeldera inclinata</i>	0.548	0.416
Machaerium sp	0.447	0.629	<i>Tibouchina longifolia</i>	0.548	0.271
Matisia sp	0.447	0.624	<i>Vernonanthura patens</i>	0.707	0.093
Meliosma herbertii	0.447	0.624	<i>Vochysia sp1</i>	0.775	0.03
Miconia abbreviata	0.408	1	<i>Cecropia obtusifolia</i>	0.500	NA
Miconia aureoides	0.447	0.621	<i>Cinchona micrantha</i>	0.685	0.083
Miconia barbinervis	0.447	0.625	<i>Guarea macrophylla</i>	0.894	0.008
Miconia inusitata	0.447	0.621	<i>Isertia laevis</i>	0.671	0.128
Miconia longifolia	0.447	0.621	<i>Laetia procera</i>	0.632	0.221
Miconia minutiflora	0.408	1	<i>Miconia nervosa</i>	0.500	NA
Miconia prasina	0.447	0.644	<i>Parinari sp1</i>	0.603	0.48
Miconia pubescens	0.447	0.601	<i>Piper longifolium</i>	0.603	0.442
Miconia sp1	0.447	0.624	<i>Pourouma minor</i>	0.500	NA
Morisonia oblongifolia	0.447	0.646	<i>Stryphnodendron sp1</i>	0.816	0.011
Myrsine sp	0.447	0.644	<i>Cordia nodosa</i>	0.575	0.537
Ocotea oblonga	0.447	0.601	<i>Ladenbergia graciliflora</i>	0.716	0.072
Palicourea justiciifolia	0.447	0.605	<i>Miconia poeppigii</i>	0.716	0.045
Perebea guianensis	0.447	0.605	<i>Gustavia longifolia</i>	0.820	0.018
Phytolacca rivinoides	0.447	0.644	<i>Miconia calvescens</i>	0.739	0.182
Piper arboreum	0.447	0.605	<i>Solanum rugosum</i>	0.645	0.38
Piper coruscans	0.447	0.605	<i>Vismia gracilis</i>	0.663	0.301
Piper crassinervium	0.447	0.618	<i>Alchornea triplinervia</i>	0.798	0.08
Piper longestylosum	0.447	0.644	<i>Marila laxiflora</i>	0.798	0.07
Piper obliquum	0.408	1	<i>Bellucia pentamera</i>	0.877	0.004
Piper phytolaccifolium	0.408	1	<i>Jacaranda copaia</i>	0.853	0.034
Pouteria reticulata	0.447	0.621	<i>Vismia baccifera</i>	0.707	NA
Pouteria krukovii	0.447	0.646	<i>Ochroma pyramidale</i>	0.864	0.013
Protium nodulosum	0.447	0.644			
Pseudobombax	0.447	0.644			
Pseudolmedia	0.447	0.646			

4.2.2 Especies arbóreas indicadoras de bosque primario

A diferencia de lo encontrado en la regeneración natural de las concesiones mecanizadas, con el IndVal en los bosques de referencia se identificaron solo a tres especies indicadoras (Tabla 9). En la Tabla 10 se muestran los resultados para el índice IndVal y los valores de significancia asociados al IndVal para todas las especies encontradas en los bosques de referencia de las dos concesiones mineras mecanizadas. Las especies indicadoras de bosques primarios fueron *Miconia nervosa*, *Protium nodulosum* y *Symphonia globulifera* (Indval $p < 0,05$, Tabla 9). *Protium nodulosum* y *Symphonia globulifera* son especies típicas de bosques primarios y estudios previos han reportado su presencia en bosques de sucesión intermedia y avanzada en la Amazonia (McClain, Victoria y Richey 2001; Silva et al. 2016). Mientras que *Miconia nervosa* es común en el sotobosque de los bosques primarios (Cámara et al. 2020).

Tabla 9. Especies indicadoras del bosque de referencia de dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (concesión Puerto Belén), kimiri (concesión San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

Especie	Ind.Val	p-value
<i>Miconia nervosa</i>	1	0.028
<i>Protium nodulosum</i>	1	0.031
<i>Symphonia globulifera</i>	1	0.048

Tabla 10. Resultados del índice de especies indicadores (Ind.Val) del bosque de referencia en dos mineras mecanizadas del sector Punkiri (concesión Puerto Belén), kimiri (concesión San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

Especie	Ind.Val	p.value	Especie	Ind.Val	p.value
<i>Abuta grandifolia</i>	0.577	1	<i>Vismia macrophylla</i>	0.577	1
<i>Albizia sp1</i>	0.707	0.283	<i>Bellucia pentamera</i>	0.577	1
<i>Alchornea triplinervia</i>	0.577	1	<i>Chimarrhis hookeri</i>	0.632	0.689
<i>Arawakia weddelliana</i>	0.577	1	<i>Cordia nodosa</i>	0.816	0.258
<i>Banara arguta</i>	0.707	0.283	<i>Diospyros capreifolia</i>	0.632	0.693
<i>Bauhinia longicuspis</i>	0.707	0.283	<i>Eugenia feijoi</i>	0.816	0.229

<i>Brosimum Lactensis</i>	0.707	0.283	<i>Guarea macrophylla</i>	0.632	0.693
<i>Casearia negrensis</i>	0.707	0.283	<i>Heisteria sp</i>	0.577	1
<i>Cheiloclinium cognatum</i>	0.577	1	<i>Inga auristellae</i>	0.577	1
<i>Clidemia sp</i>	0.577	1	<i>Lonchocarpus sp</i>	0.632	0.693
<i>Cordia alliodora</i>	0.707	0.283	<i>Marila laxiflora</i>	0.816	0.262
<i>Dalbergia ovalis</i>	0.577	1	<i>Meliosma sp</i>	0.632	0.694
<i>Eugenia sp</i>	0.577	1	<i>Miconia calvescens</i>	0.577	1
<i>Geissospermum reticulatum</i>	0.577	1	<i>Miconia chrysophylla</i>	0.816	0.229
<i>Geonoma deversa</i>	0.577	1	<i>Miconia sp1</i>	0.577	1
<i>Guarea kunthiana</i>	0.577	1	<i>Ocotea bofo</i>	0.632	0.685
<i>Guatteria hirsuta</i>	0.577	1	<i>Piper augustum</i>	0.577	1
<i>Gustavia longifolia</i>	0.577	1	<i>Piper obliquum</i>	0.577	1
<i>Hevea guianensis</i>	0.707	0.283	<i>Pleurothyrium vasquezii</i>	0.632	0.693
<i>Hieronyma alchorneoides</i>	0.577	1	<i>Pourouma cecropiifolia</i>	0.816	0.222
<i>Hippotis sp</i>	0.577	1	<i>Pourouma minor</i>	0.632	0.694
<i>Hyptis odorata</i>	0.577	1	<i>Protium puncticulatum</i>	0.577	1
<i>Inga chrysantha</i>	0.707	0.283	<i>Psychotria sp1</i>	0.632	0.693
<i>Inga edulis</i>	0.707	0.283	<i>Sloanea pubescens</i>	0.816	0.248
<i>Inga thibaudiana</i>	0.577	1	<i>Solanum rugosum</i>	0.577	1
<i>Jacaranda copaia</i>	0.577	1	<i>Symphonia globulifera</i>	1.000	0.048
<i>Licania canescens</i>	0.577	1	<i>Terminalia amazonia</i>	0.816	0.248
<i>Maquira calophylla</i>	0.577	1	<i>Vernonanthura patens</i>	0.632	0.693
<i>Margaritaria nobilis</i>	0.577	1	<i>Xylopia calophylla</i>	0.577	1
<i>Miconia affinis</i>	0.577	1	<i>Alchornea glandulosa</i>	0.612	NA
<i>Miconia aureoides</i>	0.577	1	<i>Caryocar amygdaliforme</i>	0.775	0.347
<i>Miconia punctata</i>	0.707	0.267	<i>Dussia tessmannii</i>	0.775	0.329
<i>Miconia sp2</i>	0.577	1	<i>Ficus yoponensis</i>	0.866	0.156
<i>Miconia tomentosa</i>	0.577	1	<i>Guatteria guianensis</i>	0.775	0.329
<i>Micropholis egensis</i>	0.577	1	<i>Miconia nervosa</i>	1.000	0.028
<i>Morisonia oblongifolia</i>	0.577	1	<i>Naucleopsis ulei</i>	0.707	0.686
<i>Naucleopsis krukovii</i>	0.577	1	<i>Paypayrola guianensis</i>	0.775	0.351
<i>Ocotea sp1</i>	0.707	0.267	<i>Protium nodulosum</i>	1.000	0.031
<i>Piper longestylosum</i>	0.577	1	<i>Quiina amazonica</i>	0.905	0.136
<i>Piper hispidinervum</i>	0.577	1	<i>Senefeldera inclinata</i>	0.866	0.173

<i>Pouteria sp1</i>	0.577	1	<i>Virola calophylla</i>	0.775	0.348
<i>Sagotia Racemosa</i>	0.577	1	<i>Vismia gracilis</i>	0.775	0.353
<i>Siparuna cristata</i>	0.577	1	<i>Zygia latifolia</i>	0.866	0.145
<i>Stryphnodendron sp1</i>	0.577	1	<i>Clusia sp</i>	0.775	0.496
<i>Tachigali chrysaloides</i>	0.577	1	<i>Ladenbergia graciliflora</i>	0.816	0.376
<i>Tapirira guianensis</i>	0.577	1	<i>Tachigali macbridei</i>	0.707	NA
<i>Tetracera parviflora</i>	0.707	0.283	<i>Pourouma guianensis</i>	0.791	NA
<i>Trema micrantha</i>	0.707	0.283	<i>Rudgea stipulacea</i>	0.816	0.459
<i>Virola mollissima</i>	0.577	1			

4.3 Caracterización y comparación de la estructura de la regeneración natural según categorías de tamaño.

En las dos concesiones evaluadas, el patrón de la estructura horizontal de la regeneración natural fue similar, con la mayor cantidad de individuos en la categoría menor de la clase diamétrica (0-10 cm de DAP). En la regeneración natural se encontraron individuos de hasta 40 cm de DAP, una menor cantidad de clases diamétricas si comparamos con los bosques de referencia, en los que se encontraron individuos hasta en la categoría de 60-70 cm de DAP.

Tabla 11. Comparación del número de individuos según categorías de diámetro (clases diamétricas) entre las áreas degradadas y el bosque de referencia en las dos mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1=Puerto Belén), kimiri (S2=San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

Concesión / parcela	0 a < 9.9	10 a < 19.9	20 a < 29.9	30 a < 39.9	40 a < 49.9	50 a < 59.9	60 a < 69.9
I	74	42	25	5			
S1-A	11	4	5				
S1-B	9	6	1	1			
S1-C	12	7	1				
S1-D	9	5	5				
S1-E	11	5	2	1			
S1-F	8	5	2	2			
S1-G	6	6	5				
S1-H	8	4	4	1			

II	79	48	15	2			
S2-A	13	5	2				
S2-B	12	5	1				
S2-C	7	5	3	1			
S2-D	8	8	3				
S2-E	10	6		1			
S2-F	8	7	1				
S2-G	9	9	2				
S2-H	12	3	3				
REF II	14	16	25	10	9	6	2
S2-BR-A	3	5	7	3	1	1	
S2-BR-B	4	3	6	4	1		2
S2-BR-C	6	3	5	1	4	3	
S2-BR-D	1	5	7	2	3	2	
RFE I	43	20	22	6	2	3	
S1-BR-A	9	3	6	1	1	1	
S1-BR-B	6	5	4	2	1	2	
S1-BR-C	13	8	6	1			
S1-BR-D	15	4	6	2			

Con respecto a la estructura vertical, fue similar el número de clases altimétricas presentes en la regeneración natural y los bosques de referencias, ya que en la regeneración natural se encontraron individuos hasta la categoría 15-20 m de altura. Mientras que en los bosques de referencias individuos de hasta la categoría de 15-25 m de altura, aunque esto varió según concesión minera (Tabla 12).

Tabla 12. Comparación del número de individuos según categorías de altura (clases altimétricas) entre las áreas degradadas y el bosque de referencia en las dos mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1=Puerto Belén), kimiri (S2=San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

Concesión / parcela	0 a < 4.9	5 a < 9.9	10 a < 14.9	15 a < 19.9	20 a < 24.9
I	45	38	51	12	
S1-A	3	7	9	1	
S1-B	4	6	6	1	
S1-C	6	6	5	3	
S1-D	6	4	6	3	
S1-E	11	1	6	1	
S1-F	6	4	5	2	
S1-G	4	5	8		
S1-H	5	5	6	1	
II	61	41	34	8	
S2-A	6	8	5	1	
S2-B	8	5	5		
S2-C	4	5	4	3	
S2-D	6	4	8	1	
S2-E	8	5	3	1	
S2-F	8	4	4		
S2-G	9	8	3		
S2-H	12	2	2	2	
REF II	11	14	31	24	2
S2-BR-A	3	2	9	6	
S2-BR-B	4	2	9	3	2
S2-BR-C	3	4	7	8	
S2-BR-D	1	6	6	7	
RFE I	19	34	32	11	
S1-BR-A	3	5	10	3	
S1-BR-B	3	7	5	5	
S1-BR-C	6	11	10	1	
S1-BR-D	7	11	7	2	

La estructura de la vegetación de regeneración natural presentó un patrón de distribución diamétrica J invertida (Figura 6), típica de bosques secundarios sucesionales en la Amazonia tropical (Dardengo et al. 2017; Valdez-Hernández et al. 2019), en las cuales la densidad de individuos disminuye con el incremento de las categorías diamétricas (Vargas-larreta y Islebe 2020).

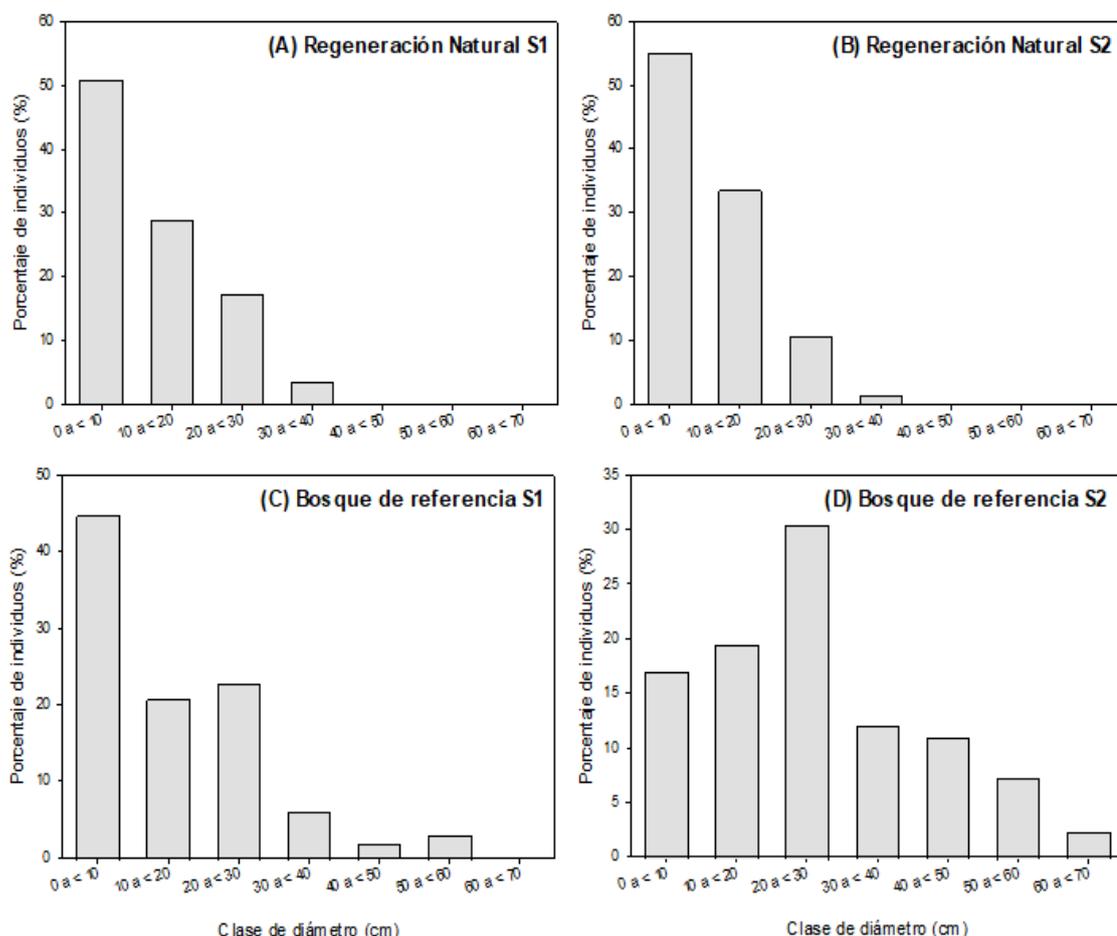


Figura 6. Comparación de la proporción de individuos según clase de diámetro entre la regeneración natural encontrada en las dos concesiones mineras y los dos bosques de referencia. S1 y S2 corresponden a las concesiones evaluadas.

Para una comparación adecuada entre los bosques de referencia y la regeneración natural se utilizaron las proporciones que representan según clase de altura. Se encontró que el patrón de proporciones de individuos según clase de altura difiere según concesión y bosque de referencia. Por ejemplo, en la regeneración natural los individuos de 0-5 m de altura representan más del 30% del total de individuos. Mientras que en los bosques de referencias esta categoría representó menos del 20% del total de individuos presentes. Las categorías de mayor tamaño (15-20 m) tuvieron una mayor representación en los bosques de referencia (> 10%) que en la regeneración natural (< 10%).

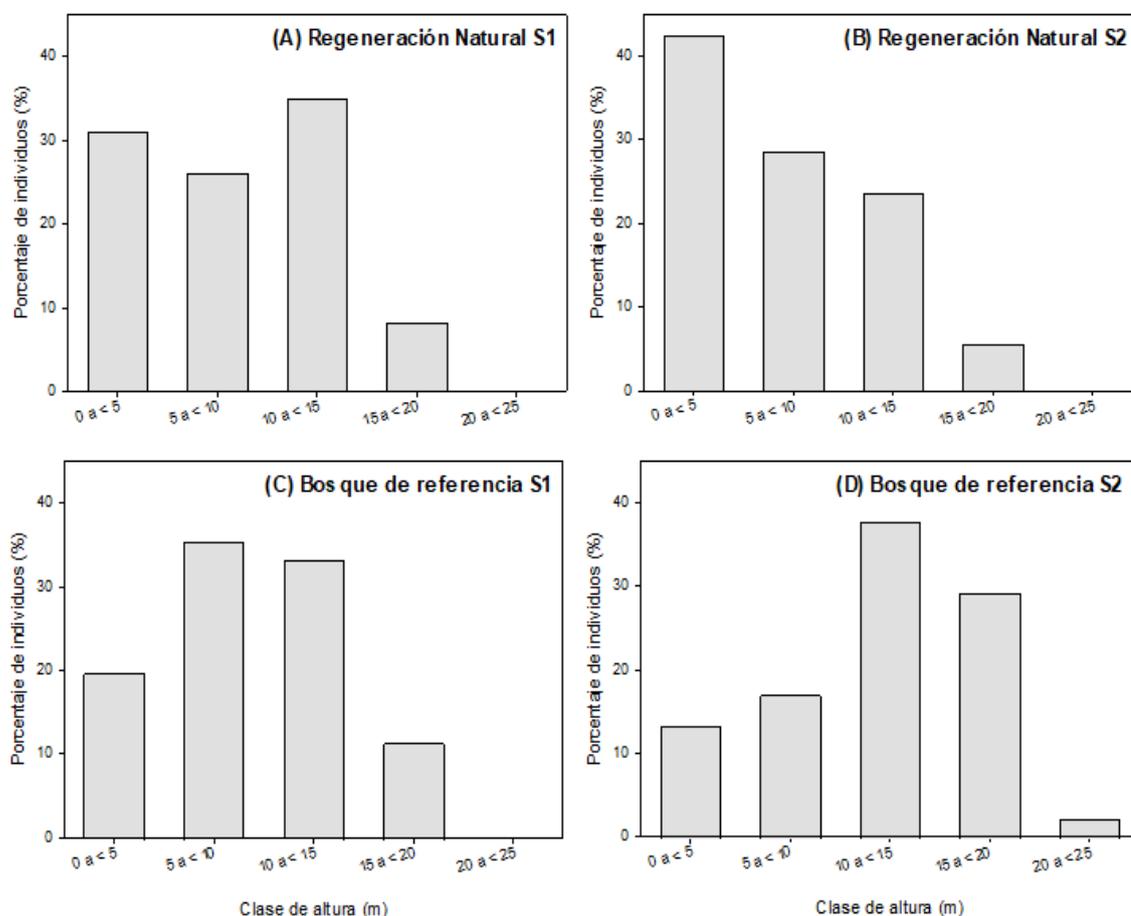


Figura 7. Comparación de la proporción de individuos según clase de altura entre la regeneración natural encontrada en las dos concesiones mineras y los dos bosques de referencia. S1 y S2 corresponden a las concesiones evaluadas.

4.4 Influencia del tiempo de abandono en la composición florística en dos concesiones mineras mecanizadas.

Mediante el análisis de correlación, en la regeneración natural de las dos concesiones se encontró una relación directa entre tiempo de abandono y la riqueza y diversidad de la regeneración natural. Mientras que la distancia al bosque se relacionó de forma inversa con y la riqueza y diversidad de la regeneración natural (Figura 8 y Figura 9). Con los datos de la concesión Puerto Belén, la relación entre las variables se analizó con el coeficiente de correlación de Spearman, ya que los datos no cumplieron con el supuesto paramétrico de normalidad (Figura 8).

Para la concesión San Vicente II los datos sí cumplieron con el supuesto de normalidad, debido a ello la relación entre las variables se analizó con el

coeficiente de correlación de Pearson (Figura 9).

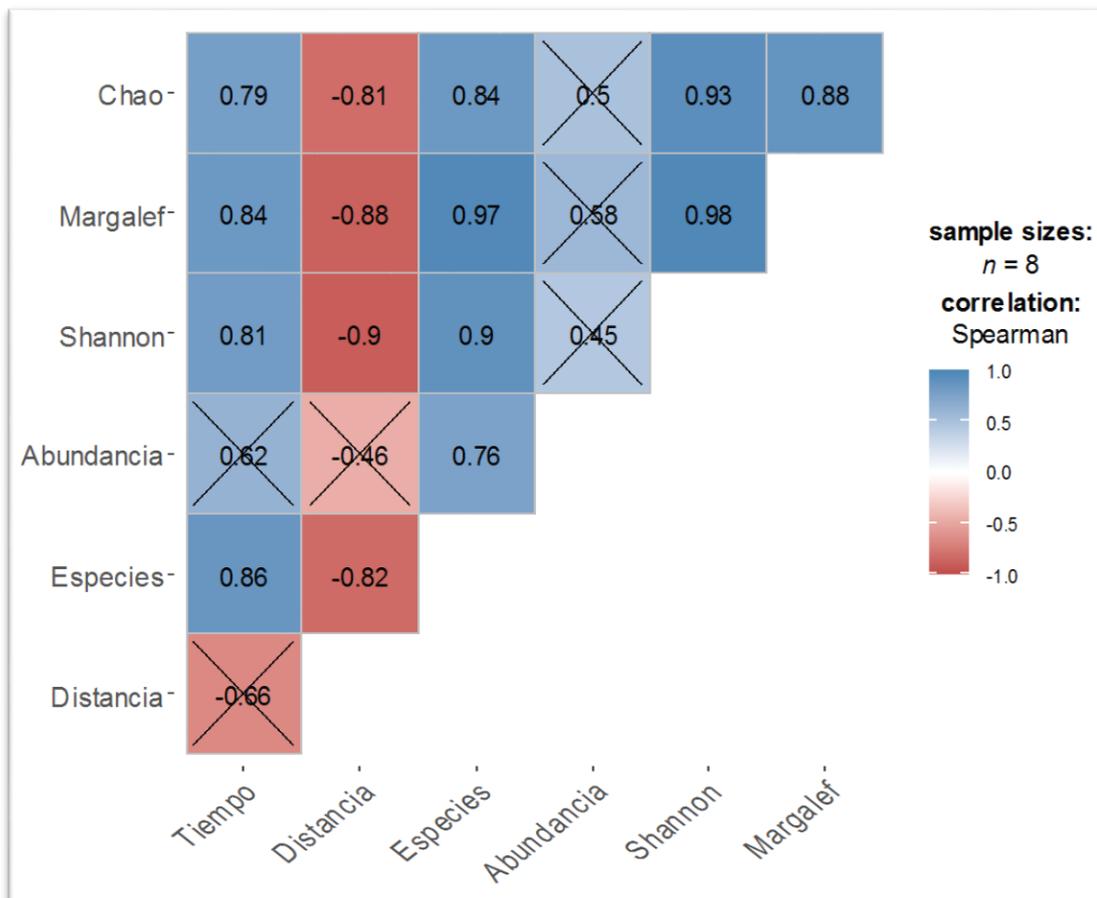


Figura 8. Correlograma de la relación entre el tiempo de abandono y la abundancia y diversidad de la regeneración natural en la concesión mecanizada Puerto Belén del sector Punkiri, distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

En ambas concesiones, se encontró que la abundancia de árboles no se correlacionó de forma significativa con el tiempo de abandono y la distancia al bosque ($p > 0,05$; Figura 8 y 9). En cuanto a la diversidad y riqueza de especies, la relación entre estas y el tiempo de abandono y la distancia al bosque variaron según concesión.

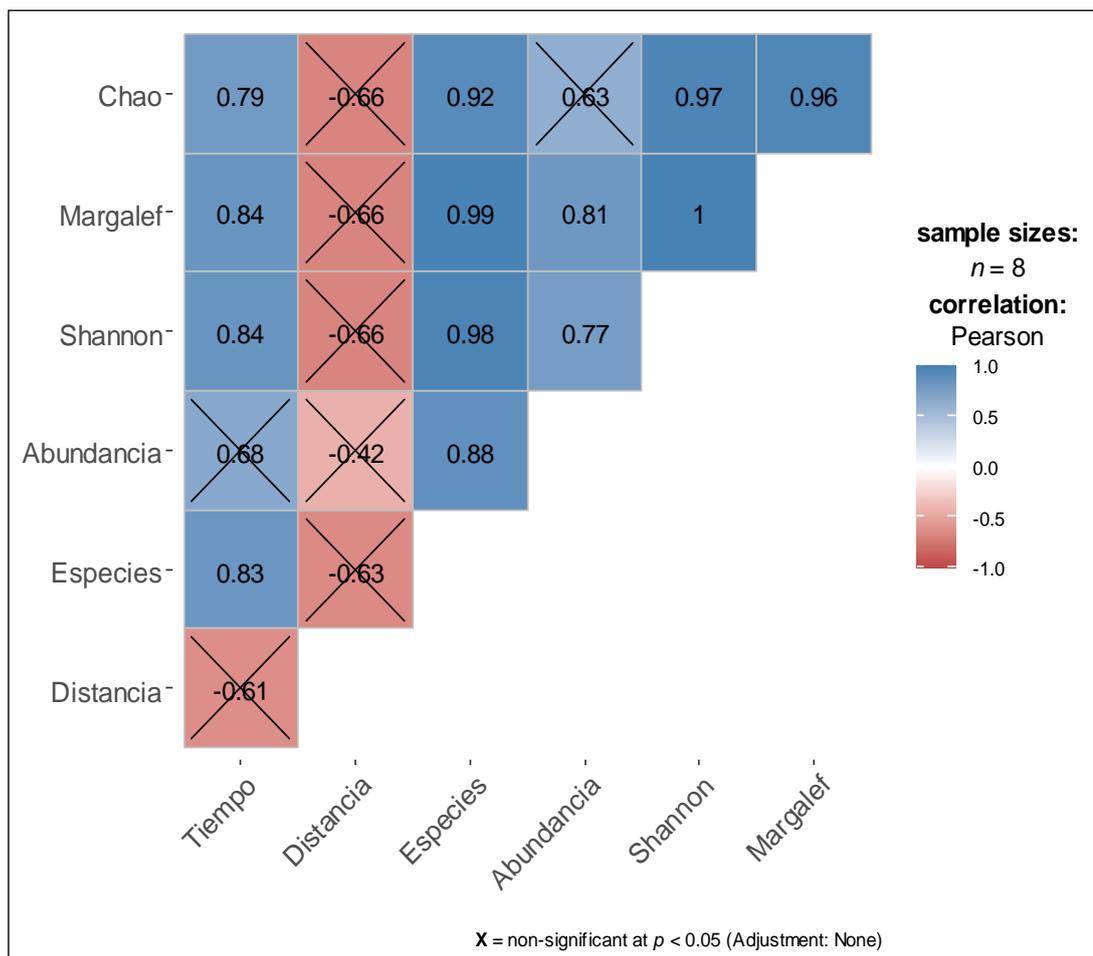


Figura 9. Correlograma de la relación entre el tiempo de abandono y la abundancia y diversidad de la regeneración natural en la concesión mecanizada San Vicente II del sector kimiri, distrito de Huepetuhe, Madre de Dios.

En Puerto Belén, se encontraron correlaciones directas y significativas entre el tiempo de abandono con la riqueza de especies ($\rho = 0,86$; $p < 0,05$), y los índices de diversidad de Shannon ($\rho = 0,81$; $p < 0,05$), Margalef ($\rho = 0,84$; $p < 0,05$) y Chao ($\rho = 0,79$; $p < 0,05$). Similar patrón se observó con la distancia al bosque, aunque las correlaciones fueron inversas y significativas la distancia al bosque con la riqueza de especies ($\rho = -0,82$; $p < 0,05$), y los índices de diversidad de Shannon ($\rho = -0,90$; $p < 0,05$), Margalef ($\rho = -0,88$; $p < 0,05$) y Chao ($\rho = -0,81$; $p < 0,05$) (Figura 8). Al igual que en la concesión Puerto Belén en San Vicente II se encontraron, correlaciones directas y significativas entre el tiempo de abandono con la riqueza de especies ($r = 0,83$; $p < 0,05$), y los índices de diversidad de Shannon ($r = 0,84$; $p < 0,05$), Margalef ($r = 0,84$; $p < 0,05$) y Chao ($r = 0,79$; $p < 0,05$).

Mientras que, a diferencia de lo encontrado en Puerto Belén, en San Vicente II no se encontraron correlaciones significativas entre la distancia al bosque de referencia con la abundancia, riqueza y diversidad de especies de la regeneración natural (Figura 9).

El análisis florístico, estructural y su relación con los factores que limitan el establecimiento de la regeneración natural sigue siendo esencial para investigar y comprender mejor el proceso de regeneración de la vegetación tras el abandono de las tierras en la región amazónica (Silva et al. 2016). Por otro lado, estudio previo que utilizaron el enfoque de cronosecuencia mostraron que la edad de abandono tenía un alto poder explicativo para los seis atributos florísticos área basal, densidad, altura de los árboles, índices de diversidad y composición florística (Mora et al. 2015). Lo cual concuerda con lo encontrado en el presente estudio y otros trabajos realizados en áreas degradadas por la minería aurífera en Madre de Dios (Garate-Quispe et al. 2023; Chambi-Legoas et al. 2021; Alarcón-Aguirre et al. 2023).

Se sabe que la dispersión de semillas es uno de los factores que más limitan la regeneración natural en los bosques tropicales, y suele estar relacionada con la distancia al borde del bosque remanente o bosque de referencia (Rocha, Vieira y Simon 2016). En nuestro estudio la influencia de la distancia al bosque varió según concesión minera, lo cual sugiere que el nivel de fragmentación del paisaje y degradación del ecosistema (Garate-Quispe et al. 2023), por lo tanto, solo en la concesión Puerto Belén se encontró que a mayor distancia del bosque se espera encontrar una menor riqueza y diversidad de especies. Por lo tanto, la elección de los métodos de restauración, reforestación o rehabilitación de los ecosistemas degradados y su rendimiento depende de factores internos y externos y generados por la actividad minera (Martins et al. 2022). Por los resultados encontrados, la distancia a los remanentes de bosques primarios adyacentes en buenas condiciones de conservación (Longworth y Williamson 2018) y la mano de obra técnica calificada para llevar a cabo las operaciones de restauración (Martins et al. 2022).

4.5 Relación entre las características fisicoquímica del suelo y los atributos florísticos de la regeneración natural en áreas degradadas y bosques de referencia.

En la Tabla 13 se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica de suelo de las dos áreas degradadas con regeneración natural y los dos bosques de referencia de cada uno. En ambas concesiones, los valores de pH fueron significativamente superiores (T-student, $p < 0,05$) en las áreas degradadas (pH entre 4,2 a 4,4) en comparación con los bosques de referencia (pH entre 3,6 a 3,8).

Tabla 13. Comparación de valores promedio (\pm desviación estándar) de las características fisicoquímicas del suelo entre las parcelas con regeneración natural en áreas degradadas por la minería aurífera y el bosque de referencia en las dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri (S1=Puerto Belén), kimiri (S2=San Vicente II), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios. CE =Conductividad. CIC = Capacidad de intercambio catiónico.

Característica fisicoquímica	Concesión S1 (Belén)		Característica fisicoquímica	Concesión S2 (San Vicente)	
	Áreas degradadas	Bosque de referencia		Áreas degradadas	Bosque de referencia
pH	4.39 \pm 0.31 a	3.82 \pm 0.17 b	pH	4.19 \pm 0.26 a	3.62 \pm 0.36 b
C.E.	0.12 \pm 0.09 a	0.2 \pm 0.09 a	C.E.	0.05 \pm 0.02 b	0.15 \pm 0.1 a
M.O.	2.5 \pm 0.64 a	3.09 \pm 0.43 a	M.O.	2.51 \pm 0.31 a	2.69 \pm 0.69 a
P	1.96 \pm 0.36 a	1.1 \pm 0.25 b	P	1.85 \pm 0.56 a	1.64 \pm 0.2 a
K	54.87 \pm 15.13 a	46.25 \pm 7.36 a	K	61.62 \pm 11.05 a	48.75 \pm 9.03 a
Arena	59.75 \pm 3.61 a	57 \pm 6.83 a	Arena	62 \pm 6.84 a	50.5 \pm 1.91 b
Limo	23.5 \pm 2.07 a	21 \pm 1.63 a	Limo	22.25 \pm 2.6 a	22 \pm 1.15 a
Arcilla	16.75 \pm 2.91 a	22 \pm 5.29 a	Arcilla	15.75 \pm 5.33 a	27.5 \pm 1.91 b
CIC	6.6 \pm 0.83 a	6.28 \pm 0.84 a	CIC	9.02 \pm 0.73 a	8.64 \pm 0.64 a
Ca ⁺²	0.4 \pm 0.15 a	0.2 \pm 0.12 a	Ca ⁺²	0.7 \pm 0.4 a	0.25 \pm 0.15 b
Mg ⁺²	0.34 \pm 0.16 a	0.13 \pm 0.01 b	Mg ⁺²	0.55 \pm 0.18 a	0.23 \pm 0.04 b
K ⁺	0.14 \pm 0.03 a	0.08 \pm 0.02 b	K ⁺	0.2 \pm 0.14 a	0.1 \pm 0.03 a
Na ⁺	0.12 \pm 0.04 a	0.11 \pm 0.04 a	Na ⁺	0.14 \pm 0.04 a	0.16 \pm 0.06 a
Al ⁺³ + H ⁺	1.86 \pm 0.6 a	2.57 \pm 0.17 a	Al ⁺³ + H ⁺	2.04 \pm 0.91 a	2.68 \pm 0.35 a
Cationes	2.87 \pm 0.48 a	3.11 \pm 0.11 a	Cationes	3.65 \pm 0.64 a	3.44 \pm 0.44 a
Bases	1.01 \pm 0.32 a	0.54 \pm 0.14 b	Bases	1.61 \pm 0.53 a	0.76 \pm 0.23 b
Sat.Bases	15.44 \pm 4.97 a	8.79 \pm 2.69 b	Sat.Bases	17.95 \pm 5.85 a	8.75 \pm 2.5 b

Estos mayores valores de pH coinciden con estudios previos en área degradados por la minería aurífera en Madre de Dios (Román-Dañobeytia et al. 2020; Alarcón-Aguirre et al. 2023b).

Además, los mayores valores de pH en las áreas degradadas que en bosque de referencia también ha sido reportado por estudios previos (Velásquez-Ramírez et al. 2021).

Como era de esperarse, el promedio de materia orgánica del suelo, en las dos concesiones, fue superior en el bosque de referencia que en el suelo de las áreas abandonadas por la minería aurífera (Velásquez-Ramírez et al. 2021). En los bosques de referencia el promedio de materia orgánica varió entre 2,7% a 3,1%, mientras que en las áreas con regeneración natural fue en promedio 2,5%, aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (T-student, $p > 0,05$). Estos valores más bajos de materia orgánica en las áreas degradadas también han sido encontrados por otros estudios en Madre de Dios, en el tipo de minería de succión semi-mecanizada (Román-Dañobeytia et al. 2020; Velásquez-Ramírez et al. 2021; Velásquez-Ramírez et al. 2020), aunque fueron más bajos a los reportados previamente, lo cual demuestra los impactos en el suelo por esta actividad minera (Alarcón-Aguirre et al. 2023b). Los porcentajes de arena y limo fueron superiores en las áreas degradadas que, en los bosques de referencia, mientras que los porcentajes de arcilla fueron superiores en los bosques. Aunque estas diferencias solo fueron significativas (T-student, $p < 0.05$) para los porcentajes de arena y arcilla en solo una de las concesiones (San Vicente II-S2). Por otro lado, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y las concentraciones de P, K, y los cationes de Ca^{+2} y Mg^{+2} fueron ligeramente superiores en las áreas degradadas que, en los bosques de referencias, pero estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Tabla 13). Los resultados encontrados demuestran una ligera mejora en las características fisicoquímicas del suelo (Alarcón-Aguirre et al. 2023b). Además, demuestra la minería de oro no solo resulta en la pérdida de la capa superior del suelo y la reestructuración extrema del perfil del suelo, sino que también afecta negativamente a la fertilidad del suelo (Velásquez-Ramírez et al. 2020). Por otro lado, los resultados del análisis de correlación entre las características fisicoquímica

de suelo (bosque de referencia y áreas degradadas) con los atributos florísticos de la regeneración natural se muestran en la Tabla 14. Solo se encontraron correlaciones inversas y significativas ($\rho > 0.4$; $p < 0.05$) entre el pH, Mg²⁺, K⁺, bases y saturación de las bases con la riqueza de especies, abundancia de especies, e índices de diversidad de Shannon y Margalef. Lo cual nos sugiere que en sitios con menos pH y menos concentraciones de los cationes Mg²⁺ y K⁺ se espera encontrar una mayor abundancia, riqueza y diversidad de especies arbóreas.

Sin embargo, si solo consideramos las parcelas en áreas degradadas y analizamos la correlación entre las características fisicoquímicas del suelo y los atributos florísticos de la regeneración natural (Tabla 15), los resultados difieren de lo encontrado previamente (Tabla 14). Ya que encontramos que las concentraciones de fósforo en el suelo se correlacionan de forma directa significativa con la riqueza ($\rho > 0,53$; $p < 0.05$) y abundancia de especies arbóreas ($\rho > 0,69$; $p < 0.05$). El porcentaje de arena se correlaciona de forma directa significativa con la diversidad de Chao ($\rho > 0,50$; $p < 0.05$). Mientras que el porcentaje de arcilla se correlacionan de forma inversa y significativa con la riqueza ($\rho > -0,56$; $p < 0.05$), diversidad de Shannon ($\rho > -0,54$; $p < 0.05$), Margalef ($\rho > -0,53$; $p < 0.05$) y Chao ($\rho > -0,63$; $p < 0.05$). Con respecto a los cationes, solo se encontró que la concentración de Ca²⁺ se correlaciona de forma directa significativa con la abundancia ($\rho > 0,50$; $p < 0.05$) y riqueza de especies ($\rho > 0,56$; $p < 0.05$).

Nuestros resultados demuestran que las relaciones entre las características fisicoquímicas del suelo y los atributos florísticos y de diversidad pueden variar entre los bosques primarios remanentes y las áreas con regeneración natural, áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera. Por otro lado, una mayor fertilidad del suelo (es decir, contenido de materia orgánica, nutrientes y bases intercambiables totales) puede promover el crecimiento de las plantas, lo que puede aumentar la diversidad florística (Villa et al. 2023). Por otro lado, la buena correlación positiva entre las concentraciones de fósforo y Ca²⁺ coincide con estudios previos (Villa et al. 2023; Meng et al. 2023).

Tabla 14. Matriz de correlación (coeficiente de correlación de Spearman) entre las características fisicoquímicas del suelo y los atributos florísticos en las parcelas evaluadas en áreas degradadas por la minería y el bosque de referencia en la concesión mineras mecanizada del sector Punkiri (concesión puerto Belén), distrito de Huepetuhe, Madre de Dios. S = número de especies. Abun = abundancia. H' = índice de diversidad de Shannon. Marg = índice de diversidad Margalef. *p<0,05; **p<0,01;***p< 0,001.

	pH	C.E.	M.O.	P	K	Arena	Limo	Arcilla	CIC	Ca+2	Mg+2	K+	Na+	Al+3 + H+	Cat	Bases	Sat Bases	S	Abun	H'	Marg
C.E.	-0.53***																				
M.O.	-0.60***	0.54***																			
P	0.55***	-0.38	-0.31																		
K	0.20	-0.03	0.26	0.21																	
Arena	0.36	-0.06	-0.05	0.10	0.43*																
Limo	0.31	-0.28	-0.17	0.62***	0.12*	-0.37															
Arcilla	-0.48*	0.18	0.12	-0.35	-0.48*	-0.94***	0.06														
CIC	-0.19	-0.18	0.20	0.08	0.49*	0.22	-0.26	-0.19													
Ca+2	0.51*	-0.20	-0.10	0.72***	0.48*	0.34	0.47	-0.58***	0.24												
Mg+2	0.51*	-0.46*	-0.16	0.62***	0.58***	0.54***	0.19	-0.68***	0.54***	0.79***											
K+	0.39	-0.35	-0.09	0.34	0.80	0.21	0.40	-0.32	0.29	0.44*	0.55***										
Na+	-0.07	-0.29	0.03	0.27	0.10	-0.36	0.32	0.25	0.21	0.20	0.10	0.23									
Al+3 + H+	-0.46*	-0.03	0.23	-0.64***	-0.24***	-0.22	-0.54	0.43*	0.24	-0.71***	-0.40	-0.34	-0.02								
Cat	-0.10	-0.34	0.16	-0.18	-0.01	-0.04	-0.36	0.13	0.58***	-0.05	0.23	-0.09	0.12	0.67***							
Bases	0.47*	-0.35	-0.08	0.64***	0.61***	0.40	0.39	-0.60***	0.44*	0.93***	0.90***	0.60***	0.23	-0.52***	0.16						
Sat Bases	0.62*	-0.28	-0.23	0.67***	0.43***	0.38	0.45	-0.60***	0.12	0.95***	0.79***	0.49*	0.16	-0.69***	-0.04	0.92***					
S	-0.51*	0.29	0.16	-0.28	-0.41	-0.24	-0.26	0.31	-0.06	-0.35	-0.43*	-0.63***	-0.22	0.21	0.03	-0.43*	-0.42*				
Abun	-0.47*	0.38	0.21	-0.18	-0.46	-0.29	-0.25	0.36	-0.16	-0.32	-0.44*	-0.73***	-0.22	0.15	-0.03	-0.46*	-0.42*	0.92***			
H'	-0.48*	0.19	0.11	-0.31	-0.40	-0.25	-0.20	0.30	-0.02	-0.33	-0.40	-0.55***	-0.15	0.23	0.07	-0.38	-0.39	0.97***	0.81***		
Marg	-0.51*	0.25	0.13	-0.32	-0.40	-0.25	-0.22	0.31	-0.05	-0.36	-0.43*	-0.57***	-0.22	0.22	0.03	-0.43*	-0.42*	0.99***	0.86***	0.99***	
Chao	-0.23	-0.05	-0.06	-0.01	-0.22	-0.06	0.00	0.03	0.14	0.07	0.01	-0.23	0.11	0.00	0.10	0.05	0.03	0.59***	0.37	0.72***	0.65***

Tabla 15. Matriz de correlación (coeficiente de correlación de Spearman) entre las características fisicoquímicas del suelo y los atributos florísticos solo considerando a las parcelas evaluadas en áreas degradadas por la minería en dos concesiones mineras mecanizadas del sector, Kimiri (concesión San Vicente II), distrito de Huetpetuhe, Madre de Dios. S = número de especies. Abun = abundancia. H' = índice de diversidad de Shannon. Marg = índice de diversidad Margalef. *p<0,05; **p<0,01;***p< 0,001.

	pH	C.E.	M.O.	P	K	Arena	Limo	Arcilla	CIC	Ca+2	Mg+2	K+	Na+	Al+3 + H+	Cat	Bases	Sat. Bases	S	Abun	H'	Marg
C.E.	-0.15																				
M.O.	-0.68**	0.52*																			
P	0.24	-0.14	-0.07																		
K	-0.15	0.25	0.42	0.02																	
Arena	0.01	0.23	-0.01	-0.12	0.19																
Limo	-0.09	-0.01	0.04	0.40	0.13	-0.67**															
Arcilla	0.06	-0.27	-0.05	-0.15	-0.22	-0.91***	0.38														
CIC	-0.41	-0.16	0.36	-0.10	0.45	0.48	-0.47	-0.43													
Ca+2	0.09	0.20	0.16	0.57	0.42	0.32	0.21	-0.57*	0.27												
Mg+2	-0.04	-0.03	0.22	0.40	0.35	0.51*	-0.23	-0.59*	0.63*	0.79***											
K+	-0.04	-0.14	0.11	0.06	0.75*	-0.22	0.38	0.22	0.21	0.22	0.13										
Na+	-0.20	-0.56*	-0.08	0.25	0.12	-0.22	0.25	0.17	0.10	-0.02	0.09	0.39									
Al+3 + H+	-0.26	-0.31	-0.01	-0.61	-0.40*	-0.09	-0.41	0.31	0.16	-0.69**	-0.31	-0.37	-0.08								
Cat	-0.23	-0.37	0.18	-0.25	-0.07	0.17	-0.46	-0.04	0.65*	-0.02	0.41	-0.14	-0.07	0.68							
Bases	-0.06	-0.02	0.19	0.41	0.47	0.26	0.16	-0.45	0.47	0.90***	0.86***	0.39	0.05	-0.47	0.26						
Sat.Bases	0.27	0.02	-0.03	0.51	0.32	0.22	0.24	-0.42	0.11	0.89**	0.76**	0.30	0.03	-0.58*	0.04	0.89***					
S	0.18	-0.06	-0.22	0.53*	-0.17	0.36	0.09	-0.56*	0.07	0.50*	0.38	-0.34	-0.31	-0.32	0.02	0.40	0.42				
Abun	0.24	0.13	-0.08	0.69**	-0.24	0.15	0.11	-0.39	-0.13	0.56*	0.40	-0.48	-0.31	-0.38	-0.09	0.36	0.44	0.79***			
H'	0.11	-0.15	-0.28	0.34	-0.14	0.37	0.09	-0.54*	0.13	0.38	0.26	-0.23	-0.27	-0.23	0.05	0.34	0.32	0.94***	0.54*		
Marg	0.14	-0.11	-0.26	0.41	-0.15	0.34	0.13	-0.53*	0.08	0.43	0.28	-0.25	-0.31	-0.28	0.02	0.37	0.37	0.97***	0.63**	0.99***	
Chao	0.02	-0.19	-0.27	0.22	-0.10	0.50*	-0.01	-0.64**	0.27	0.45	0.40	-0.18	-0.10	-0.23	0.12	0.45	0.39	0.84***	0.41	0.93***	0.90***

4.6 Determinación y comparación de la Biomasa aérea en la regeneración natural en áreas degradadas y los bosques de referencia.

En la Tabla 16 se muestran los resultados del análisis descriptivo de la biomasa de la vegetación sobre el suelo estimado para las áreas degradadas y los bosques de referencia evaluados. En la Figura 10 se representa de forma gráfica las diferencias que existen en la biomasa promedio entre las parcelas de regeneración natural y los de bosque de referencia en las dos concesiones estudiadas. Mediante el análisis de varianza (ANOVA, $p < 0.001$) encontramos diferencias significativas en el stock de biomasa aérea de los sitios evaluados. Mediante la prueba de comparaciones múltiples de Bonferroni encontramos diferencias significativas entre la biomasa acumulada por los bosques y los sitios con regeneración natural ($p < 0.001$). Mientras que, en la regeneración natural, las parcelas de Puerto Belén (53,4 Mg/ha) almacenaron una mayor biomasa promedio que las parcelas de San Vicente II (28,8 Mg/ha), aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Bonferroni, $p < 0.001$).

Tabla 16. Biomasa sobre el suelo promedio (Mg/ha) de la regeneración natural en áreas degradadas por la minería aurífera y la comparación con los valores encontrados en el bosque de referencia en las dos concesiones mineras mecanizadas del sector Punkiri, Kimiri, distrito de Huepetuhe, Madre de Dios. Letras diferentes representan diferencias significativas del posthoc test de Bonferroni del Análisis de Varianza (ANOVA).

Concesión	Tipo	Promedio (Mg/ha)	Desviación estandar (Mg/ha)	Mediana (Mg/ha)	CV (%)
S1	Áreas degradadas	53.4 c	9.7	51.1	18.2
Belén	Bosque de referencia	185.5 b	112.9	155.0	60.8
S2	Áreas degradadas	28.8 c	13.6	21.7	47.2
San Vicente	Bosque de referencia	370.9 a	71.6	386.9	19.3

A pesar de la importancia de la minería como motor principal de la deforestación tropical, su impacto en la acumulación de biomasa forestal sigue sin cuantificarse en gran medida. Solo conocemos un estudio de campo previo que haya intentado evaluar la recuperación de los bosques tras la deforestación provocada por la minería del oro en la región Amazónica (Kalamandeen et al. 2020).

Los valores promedio de biomasa (Mg/ha) de los bosques de referencia evaluados coinciden con los valores de referencia reportados para bosques primarios tropicales (Asner et al. 2014; Gutierrez et al. 2014), entre 200 a 400 Mg/ha. Los valores encontrados de biomasa en la regeneración natural fueron inferiores a los valores de referencia de bosques secundarios de 10-20 años (80 Mg/ha) de Madre de Dios, pero superiores a los bosques secundarios de 5-10 años (30 Mg/ha) (Baker y Aguilar-Amuchastegui 2014; Gutierrez et al. 2014). Esta lenta recuperación de la biomasa por la regeneración natural posterior al abandono por la actividad minera ha sido reportada por un estudio previo en Madre de Dios (Garate-Quispe, et al. 2021), que estaría limitado por los impactos severos en el suelo que ralentiza los procesos de sucesión natural y la recuperación de la funcionalidad de los ecosistemas.

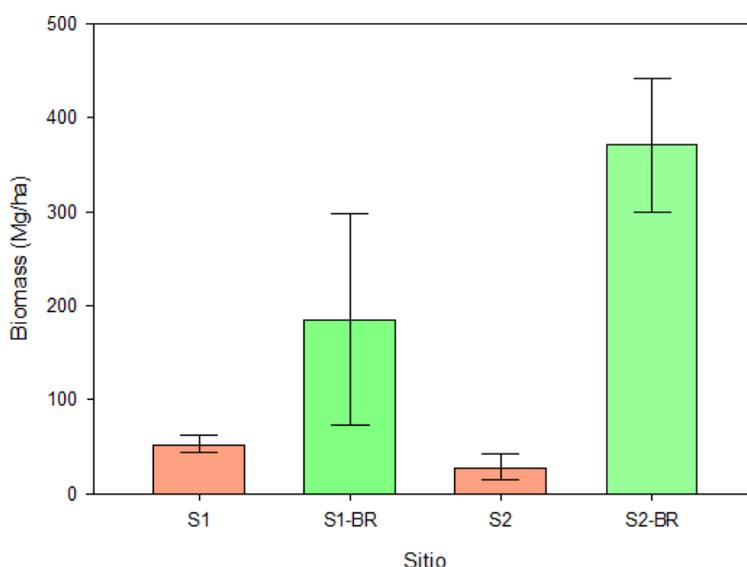


Figura 10. Comparación de biomasa aérea entre la regeneración natural encontrada en las dos concesiones mineras y los dos bosques de referencia. S1 y S2 corresponden a la regeneración natural de las concesiones evaluadas. BR es el bosque de referencia.

CONCLUSIONES

- La riqueza y diversidad de especies de la vegetación fue superior en el bosque de referencia, en comparación con la regeneración natural de las áreas abandonadas por la minería aurífera de las concesiones mecanizadas. Los valores más bajos de similitud florística se encontraron entre las áreas degradadas y los bosques de referencia (entre 7 a 10.5 %). Encontramos diferencias significativas en la composición de especies arbóreas entre la regeneración natural que coloniza las áreas abandonadas por minería y el bosque de referencia.
- Mediante el IndVal se identificaron nueve especies indicadoras de las áreas degradadas por la minería aurífera en las dos concesiones mineras mecanizadas. Las especies indicadoras fueron: *Bellucia pentamera*, *Gustavia longifolia*, *Stryphnodendron sp1*, *Miconia poeppigii*, *Vochysia sp1*, *Guarea macrophylla*, *Ocotea sp1*, *Jacaranda copaia* y *Ochroma pyramidale*.
- El patrón de la estructura horizontal de la regeneración natural fue similar, con la mayor cantidad de individuos en la categoría menor de la clase diamétrica (0-10 cm de DAP). En la regeneración natural se encontraron individuos de hasta 40 cm de DAP, una menor cantidad de clases diamétricas si comparamos con los bosques de referencia. Con respecto a la estructura vertical, fue similar el número de clases altimétricas presentes en la regeneración natural y los bosques de referencia.
- En las dos concesiones se encontró una relación directa entre tiempo de abandono y la riqueza y diversidad de la regeneración natural. Mientras que la distancia al bosque se relacionó de forma inversa con y la riqueza y diversidad de la regeneración natural.

- Los valores de pH fueron significativamente superiores en las áreas degradadas en comparación con los bosques de referencia. El promedio de materia orgánica del suelo, en las dos concesiones, fue superior en el bosque de referencia que en el suelo de las áreas abandonadas por la minería aurífera. Los porcentajes de arena y limo fueron superiores en las áreas degradadas que, en los bosques de referencia, mientras que los porcentajes de arcilla fueron superiores en los bosques. Se encontraron correlaciones inversas y significativas entre el pH, Mg^{+2} , K^{+} , bases y saturación de las bases con la riqueza de especies, abundancia de especies, e índices de diversidad de Shannon y Margalef.
- Encontramos diferencias significativas entre la biomasa acumulada por los bosques y los sitios con regeneración natural ($p < 0.001$). Mientras que, en la regeneración natural, las parcelas de Puerto Belén (53,4 Mg/ha) almacenaron una mayor biomasa promedio que las parcelas de San Vicente II (28,8 Mg/ha), aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

RECOMENDACIONES

- ✓ Resultaría muy interesante para el avance científico, hacer el análisis de cómo realizar la inserción de nuevas especies arbóreas en áreas abandonadas por la minería. También realizar estudios sobre cómo colonizar nuevas especies arbóreas en las áreas degradadas por minería y mejorar la diversidad de las especies.
- ✓ Realizar futuras investigaciones sobre la influencia en una especie arbórea para convertirse en especies indicadoras, ya que sabemos que la especie indicadora son los que tienen mayor población en una parcela, o qué parámetros cumple y cómo podríamos ayudar a nuevas especies para que puedan integrarse en áreas degradadas por minería.
- ✓ Resultaría muy interesante para el avance científico, realizar investigaciones en las áreas degradadas por minería acerca del % de metales pesados existentes en las especies arbóreas, si es que las hubiera y si existe alguna relación con las categorías diamétrica y alométrica.
- ✓ También se recomienda utilizar otros tipos de instrumentos o softwares para poder medir la relación directa entre tiempo de abandono, riqueza y diversidad de especies arbóreas en áreas degradadas por minería. Y realizar investigaciones si tiene alguna relación con la fauna silvestre.
- ✓ Realizar más investigaciones acerca de análisis de suelo en relación con los metales pesados tales como el Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu), entre otros, que se podrían encontrar en dichas áreas degradadas por la minería y que son perjudicial para la salud humana cuando sobrepasan los niveles de toxicidad.
- ✓ Realizar investigaciones en sistemas o alternativas de cómo remediar la disminución de la biomasa aérea en áreas degradadas por minería. De igual forma, utilizar nuevos instrumentos para poder estimar con mayor precisión la biomasa aérea. Por último, realizar talleres, conferencias y charlas educativas respecto a la biomasa aérea para poder concientizar a la población sobre las consecuencias traídas por la disminución de esta.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- ALARCON, G. y POLLITO, P.A., 2011. Estructura y Composición Florística de un bosque Terraza Baja em Tambopata, Madre de Dios.
- ALVAREZ-BERRÍOS, N.L. y MITCHELL AIDE, T., 2015. *Erratum : Global demand for gold is another threat for tropical forests*. 2015. S.l.: IOP Publishing.
- ARAUJO M, A., 2014. *Manual de monitoreo de carbono*. S.l.: s.n. ISBN
- ARISTIZABAL, J. y GUERRA, A., 2002. *Estimación de la tasa de fijación de Carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero Cordia alliodora - cacao Theobroma cacao L., -plátano Musa paradisiaca*. S.l.: Universidad Distrital.
- AROSTEGUI SÁNCHEZ, Vi., 2017. *Determinación de los niveles de concentración de mercurio en suelos y plátano Musa cultivar AAB, sub grupo Platain, en Sarayacu, Punkiri Chico e Iberia - Madre de Dios*.
- BAEZ, S., 2014. Evaluacion dendrologica de Especies Forestales en Bosque.
- BAIRD, C., 2004. ilide.info-quimica-ambiental pr_9ab3a5e52e0e362a72d8d79e88d2e9f0.pdf. 2004. S.l.: s.n.
- BENTES, A., NETO, B., SCHWARTZ, G., CORNEJO, N., ANDR, M., GAMA, P. y FERREIRA, G.C., 2021. Natural regeneration for restoration of degraded areas after bauxite mining: A case study in the Eastern Amazon. , vol. 171.
- BUENO, R.B. y FERNÁNDEZ, J.C.L., 2019. La capacidad de intercambio catiónico del suelo: una bovéda de nutrición clave en la producción de alimentos., vol. 1, no. 2, pp. 1-7.
- BRADSHAW, A., 1997. Restoration of mined lands—using natural processes. *Ecological Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 255–269.
- BRICEÑO, V.H., AGUIRRE, G.A., ROBLES, R.C., HERRERA-MACHACA, M. y GARATE-QUISPE, J., 2021. Regeneración Natural Arborea Y Arbustiva En Áreas Degradadas Por Minería Aurífera En La Amazonia Peruana.

- BROWN, N., 1985. Natural Regeneration of Tropical Rain Forests. *Encyclopedia of Forest Sciences*, no. 1990, pp. 1062–1066.
- CAMPO, A.M. y DUVAL, V.S., 2014. Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural.
- CANAHUIRE-ROBLES, R.R., 2017. Composición Florística y Estructura de la Recuperación Natural en una Área Degradado por la Minería en la Comunidad Nativa de Tres Islas, Tambopata - Madre de Dios. S.l.: s.n.
- CARRERA, F., OROZCO, L., BRUMÉR, C., BENITA, M., NUÑEZ, D. y ORTIZ, L., 2002. Inventarios Forestales Bosques Latifoliados en América Central.
- CASTILLO, C., 2005. Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá el Tuma - La Dalia Matagalpa, 2005.
- CCALLOMAMANI HILASACA, M. de G., 2016. *Diversidad de especies de flora silvestre en la isla Lagarto del lago Titicaca - Puno*. S.l.: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- CHANCA Y GARCIA, G. de las M., 2015. *Inventario Forestal de Especies Nativas y su Conservación Biológica*. S.l.: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- CORDOVA, F. teresa, 2021. Universidad Nacional Amazónica De Madre De Dios.
- DAUBER ERHARD, T.F., MARIELOS PEÑA-CLAROS, C.L., LICONA, J.C. y CONTRERAS, F., 2003. Tasas de incremento diamétrico, mortalidad y reclutamiento con base en las parcelas permanentes instaladas en diferentes ecoregiones de Bolivia.
- DEONTOLOGIA, A.E.E.Y., JESUS, M., ANSELMY, V., ALUMNO, N.R.O., SULLCA, A. y FERNANDA, S., 2019. Universidad nacional amazonica de madre de dios.
- DÍAZ P, W.A. y ELCORO, S., 2009. Plantas colonizadoras en áreas perturbadas por la minería en el Estado Bolívar, Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, vol. 32, pp. 453–466.
- DUEÑAS, H. y NIETO, C., 2010. DENDROLOGÍA TROPICAL.

- ECOLOGIA VERDE, 2020. Causas de la deforestación.
- EVANS, M., 2006. Caracterización de la vegetación natural de sucesión primaria en el Parque Nacional Volcán Pacaya y Laguna de Calderas, Guatemala.
- EUCEDA, L., 2004. ¿Qué es y cómo se mide el ph? El Crisol [en línea], pp. 10.
- FAO, 2015. *Global Forest Resources Assessment 2015. FAO Forestry Paper No. 1.* 2015.
- FERNANDEZ MAMANI, Y., 2021. Caracterización de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad nativa San Jacinto, Madre de Dios.
- 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.
- GARCIA TUEROS, M.A., 2021. *Evaluación del Estado de Reatauración por Minería Aurífera de Seis Años, Distrito de Huepetuhe, Madre de Dios-Perú.* S.I.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- GARCÍA, D., 2014. Composición y Estructura Florística del Bosque de Neblina Montano, del Sector San Antonio de la Montaña, Cantón Baños, Provincia De Tungurahua. Escuela de Ingeniería Forestal, pp. 105.
- GARCIA, I., 2009. Mobility of Arsenic and Heavy Metals in a Sandy-Loam. vol. 19, pp. 1-10.
- GENTRY, A. y TERBORGH, J., 1990. Composition and Dynamics Of the Cocha Cashu Mature Floodplain Forest Peru. *Four Neotropical Rainforests.*, pp. 542–564.
- GOMEZ-AGURTO, C., 2012. Evaluación de escenarios alternativos en sistemas social ecológicos afectados por la minería aluvial en Madre de Dios. pp. 100.

- GÓMEZ, J., 2013. Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos. Servicio Nacional de Aprendizaje [en línea], pp. 100.
- HERRERA, P. y FRANCKE, P., 2009. Análisis de la eficiencia del gasto municipal y de sus determinantes. *Economía*, vol. 32, no. 63, pp. 113–178.
- HONORIO, E.N. y BAKER, T.R., 2010. *Manual para el monitoreo el ciclo del carbono en bosques amazónicos*.
- HONORIO, E., 2018. Selección de prácticas silviculturales para bosques tropicales. Manual técnico – Proyecto de manejo sostenible. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.
- HOU, X., LIU, S., CHENG, F., ZHANG, Y., DONG, S., SU, X. y LIU, G., 2018. Vegetation community composition along disturbance gradients of four typical open-pit mines in Yunnan Province of southwest China. *Land Degradation & Development*, vol. 30, pp. 437–447.
- IBARRA, E., 1999. Guía para la aplicación de evaluaciones de impacto ambiental en la industria minera. *Memorias de las I Jornadas de Impacto Ambiental*.
- INGEMMET, 2021. Actividad Minera Artesanal en la Región Madre de Dios. . S.l.:
- JONH, A. y GASTAÑAGA¹, MARÍA DEL CARMEN PÉREZ, D., 2014. Niveles de Metales Pesados en el Ambiente y su Exposición en la población luego de Cinco años de Exploración Minera en las Bambas, Perú 2010. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, vol. 31, no. 4, pp. 695–701
- KALAMANDEEN, M., GLOOR, E., JOHNSON, I., AGARD, S., KATOW, M., VANBROOKE, A., ASHLEY, D., BATTERMAN, S.A., ZIV, G., HOLDER-COLLINS, K., PHILLIPS, O.L., BRONDIZIO, E.S., VIEIRA, I. y GALBRAITH, D., 2020. Limited biomass recovery from gold mining in Amazonian forests.
- LAL, R., 2009. Soil Carbon Sequestration: Land and water use options for climate change adaptation and mitigation in agriculture. SOLAW Background Thematic Report – TRO4B, pp. 37. ISSN 00167061.

- LEOPARDI, C. y DUNO, R., 2010. La especie, su concepto y la más reciente de las propuestas. *Desde el Herbario CICY*, vol. 2, pp. 27–28.
- 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. ISSN 00063606. DOI 10.1111/j.1744-7429.2009.00517.x.
- LOZADA, J., 2010. Consideraciones metodológicas sobre los estudios de comunidades forestales. *Revista Forestal Venezolana*, vol. 54, no. 1, pp. 77–88.
- LUNA, ARENAS, R., RODRÍGUEZ, LOZADA, V., ACOSTA, M., RAMÍREZ, NIÑO, M.A. y NAVARRO, RAMÍREZ, M.A., 2007. Determinación de metales pesados en suelos agrícolas del valle del mezquital, vol. 6, no. 2, pp. Universidad Nacional Mayor de SAN MARCOS. ISSN 0121-7488.
- MANZANERO, M. y PINELO, G., 2004. Plan silvicultural en unidades de manejo forestal: Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. S.l.: s.n. ISBN 9968-825-12-3.
- MATTEUCCI, S.D. y COLMA, A., 2002. Metodología para el estudio de la vegetación / por Silvia D . Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, vol. 22, no. 22, pp. 165.
- MARTEN, G., 2001. *Human Ecology - Basic Concepts for Sustainable Development*. S.l.: Routledge.
- MARTÍNEZ LÓPEZ, J., GÓMEZ CAMAS, R., SANTOS REYNOSO, R., BÁEZ LÓPEZ, W. y TASISTRO, A., 2018. Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Fraylesca , Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 9.
- MENDOZA-ESCALONA, B., DUILIO-TORRES, R., MERÚ MARCÓ, L., GÓMEZ, C., ESTANGA-BARRIOS, M. y GARCÍA-ORELLANA, Y., 2021. Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas*, vol. 24.

- MICHI Y IBARRA, I.F., 2015. Evaluación Del Potencial De Reforestación De 4 Especies Nativas Zona De Amortiguamiento De La Reserva Nacional Tambopata , Madre De Dios , Perú.
- MINAM, 2015. Guía de inventario de la flora y vegetación. Ministerio del Ambiente, pp. 49.
- MOSQUERA, C., CHAVEZ, M., PACHAS, V. y MOSCHELLA, P., 2009. *Estudio diagnóstico de la actividad minera artesanal en Madre de Dios*. Primera ed. Lima Perú: Fundación Conservación Internacional, CooperAcción, CARITAS-Madre de Dios.
- MOSTACEDO, B. y FREDERICKSEN, T., 2000. Mostacedo & Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en Ecología Vegetal, no. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal, pp. 20-92.
- NAVARRO-AVIÑÓ, J.P., 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, vol. 16, no. 2, pp. 10-25. ISSN 1697-2473.
- OBLITAS MACHACA, J., 2021. *Composición Florística de la Regeneración Natural en Áreas Restablecidas de Bosques Degradados por Minería en las Comunidades de Santa Rita y San Jacinto, Madre de Dios*. S.I.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- PAUTRAT, L., 2001. Análisis de amenazas y oportunidades para la conservación de la biodiversidad de la zona de conectividad ríos Manu-Tambopata. Informe no publicado para la Sociedad Peruana de Eco-desarrollo. Puerto Maldonado:
- PAZ MAZA, P.M., 2019. *Reducción de mercurio en suelos contaminados del Campamento de la mina Santa Bárbara usando Pseudomona putida en Huancavelica*. S.I.: Universidad César Vallejo.
- PEÑA, J., 2019. ¿ Qué es la Conductividad Eléctrica ? Salinidad y Sodicidad en el Suelo.
- PEREIRA, C., MAYCOTTE, C., RESTREPO, B., MAURO, F., MONTES, A. y VELARDE, M.J., 2011. Edafología. Edafologia, pp. 170.
- PITMAN, N.C.A., PITMAN, R.L. y ALVAREZ, P., 2003. Alto Purús: Biodiversidad, conservación y manejo.

- PITMAN, R.L., PITMAN, N., ÁLVAREZ, P. y LEÓN DÍAZ, A., 2003. *Alto Purús: Biodiversidad, conservación y manejo*. S.I.: s.n. ISBN
- QUISPE, W., 2010. "Estructura Horizontal. pp. 98.
- QUINTO MOSQUERA, H., CUESTA-NAGLES, J., MOSQUERA-SÁNCHEZ, I.J., PALACIOS-HINESTROZA, L. y PEÑALOZA-MURILLO, H., 2013. Biomasa vegetal en zonas degradadas por minería en un bosque pluvial tropical del Chocó Biogeográfico. *Revista Biodiversidad Neotropical*, vol. 3, no. 1, pp. 53.
- RENDÓN, C.J., 2011. Herramientas de gestión de transferencia tecnológica para la recuperación de áreas degradadas por minería. [en línea], pp. 180.
- RENDÓN DÍAZ, C.J., 2011. *Herramientas de gestión de transferencia tecnológica para la recuperación de áreas degradadas por minería*. S.I.: Universidad Nacional de Colombia.
- RENDON, G., KATHERINE, V., RIVAS, M., ANDREINA, R., PARCIAL, R., AL, O. y DE:, T., 2011. *UNIVERSIDAD DE ORIENTE*. S.I.: UNIVERSIDAD DE OREIBTE.
- RIBEIRO RODRIGUES, R. y GANDOLFI, S., 1996. Recomposição de florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*, vol. 2,
- ROCHA-NICOLEITE, E., CAMPOS, M.L., COLOMBO, G.T., OVERBECK, G.E. y MÜLLER, S.C., 2018. Forest restoration after severe degradation by coal mining: lessons from the first years of monitoring. *Brazilian Journal of Botany*, vol. 41.
- ROMÁN, F. et al, 2007. Ecología Aplicada PASTIZAL DEGRADADO EN LA SELVA LACANDONA , CHIAPAS , MÉXICO ESTABLISHMENT OF SIX NATIVE TREE SPECIES IN A DEGRADED PASTURE AT LACANDON RAINFOREST , CHIAPAS , MEXICO. , vol. 6, pp. 1–8.
- ROMÁN DAÑOBEYTIA, F., LEVY TACHER, S., PERALES RIVERA, H., RAMÍREZ MARCIAL, N., DOUTERLUNGNE, D. y LÓPEZ MENDOZA, S., 2007. Establecimiento De Seis Especies Arbóreas Nativas En Un Pastizal Degradado En La Selva Lacandona, Chiapas, México. *Ecología Aplicada*, vol. 6.

- RUIZ, C., 2015. EVALUACION DEL ESTADO NUTRICIONAL DE SUELOS CON CULTIVO DE CAFÉ (*Coffea arábica*) DEL DISTRITO DE ANCO LA MAR, AYACUCHO. *Wildlife Conservation*, pp. 116.
- SÁENZ, G. y FINEGAN, B., 2000. Monitoreo de la regeneración natural con fines de manejo forestal. *Manejo Forestal Tropical No 15*. Turrialba, Costa Rica: CATIE: s.n.,
- SAJAMI, E., 2017. Evaluacion de la Regeneracion Natural en Areas Degradadas por la Minería Aurífera en el Distrito De Laberinto, Tambopata – Madre De Dios.
- SIQUEIRA, G.M., VIEIRA, Z.M., SOUZA, J. y DAFONTE, A., 2007. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*, vol. VIII, pp. 173–178.
- SOLER, P.E., BERROTERÁN, J.L., GIL, J.L. y ACOSTA, R.A., 2012. Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía Tropical*, vol. 62, pp. 25–38. ISSN 0002-192X.
- SWENSON, J.J., CARTER, C.E., DOMEQ, J.C. y DELGADO, C.I., 2011. Gold mining in the peruvian amazon: Global prices, deforestation, and mercury imports. *PLoS ONE*, vol. 6, no. 4, pp. e18875. ISSN 19326203. DOI 10.1371/journal.pone.0018875.
- TUEZTA, J. y RODRÍGUEZ, C., 2018. Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque secundario tardío del valle de Chanchamayo, Perú. *Revista Forestal del Perú*, vol. 33, no. 1, pp. 42. ISSN 0556-6592. DOI 10.21704/rfp.v33i1.1154.
- WEBB, J., MAINVILLE, N., MERGLER, D., LUCOTTE, M., BETANCOURT, O., DAVIDSON, R., CUEVA, E. y QUIZHPE, E., 2004. Mercury in Fish-eating Communities of the Andean Amazon, Napo River Valley, Ecuador.

- WRIGHT, J.S., 2002. Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*, vol. 130, no. 1, pp. 1–14. ISSN 1432-1939 (Electronic). DOI 10.1007/s004420100809.
- YUCRA, R.E., 2019. Universidad nacional amazónica de madre de dios facultad de ecoturismo. vol. 1, no. 2, pp. 72-77.

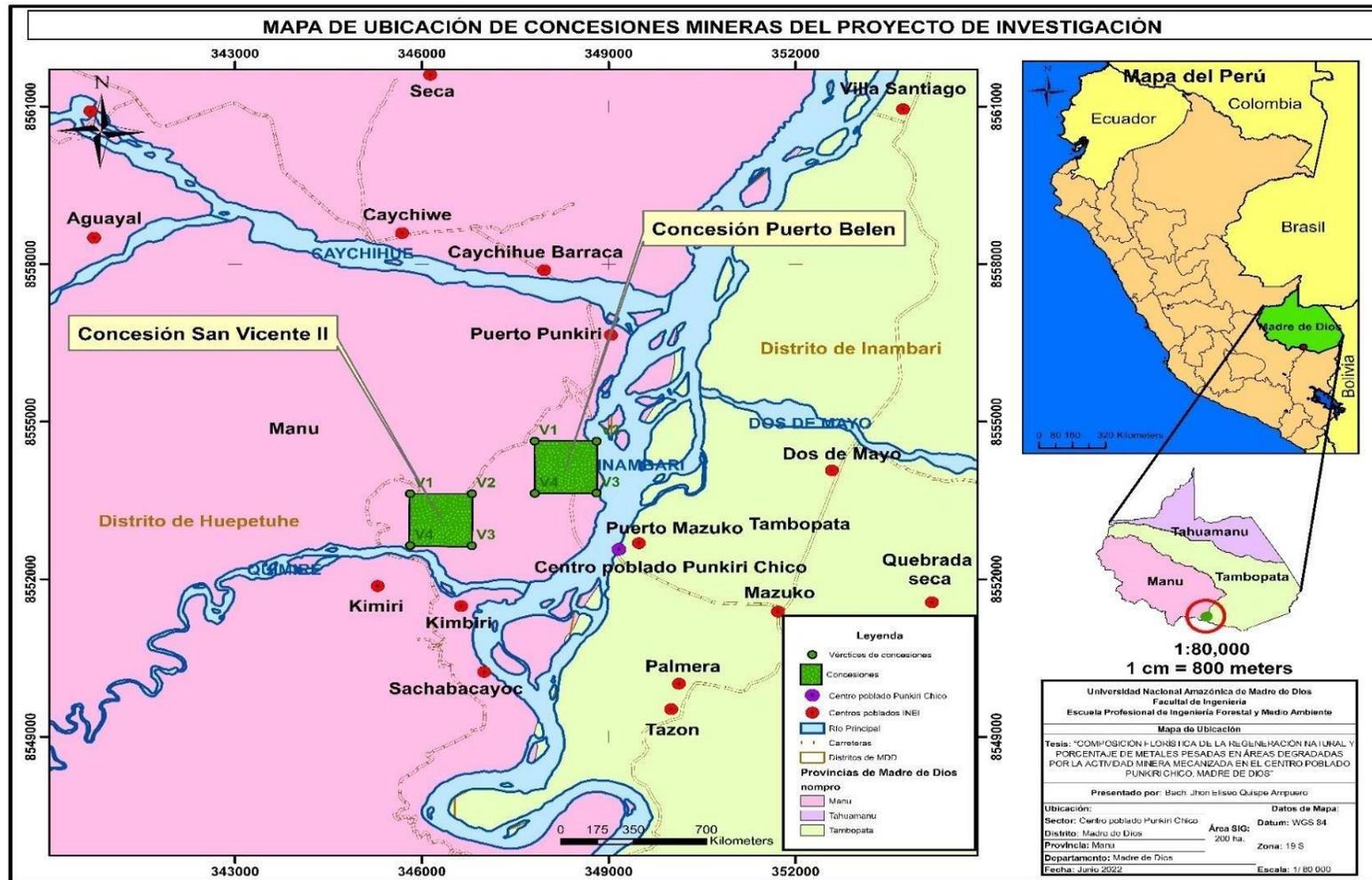
ANEXO

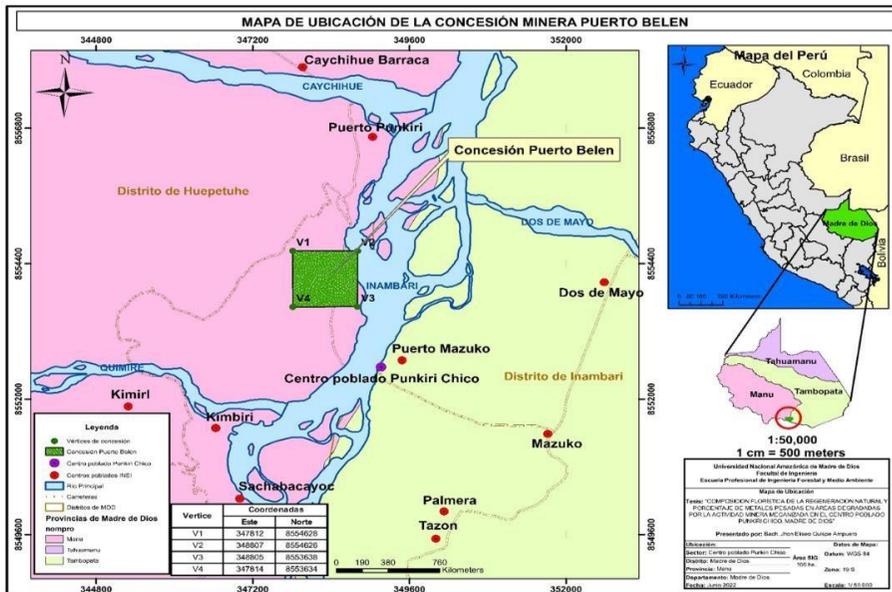
ANEXO 1. Matriz de consistencia

“CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL SUELO, REGENERACIÓN NATURAL Y BIOMASA AEREA DE LA VEGETACION EN DOS CONCESIONES MINERAS MECANIZADAS DE MADRE DE DIOS”				
QUISPE AMPUERO Jhon Eliseo, CRUZ HERRERA Ivan				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES/INDICADORES	METODOLOGIA
<p style="text-align: center;">GENERAL</p> <p>¿Qué características fisicoquímica del suelo, regeneración natural y biomasa aérea de la vegetación que existirán en las dos concesiones mineras mecanizadas de Madre de Dios?</p> <p style="text-align: center;">ESPECIFICOS</p> <p>¿Cómo será la abundancia, diversidad y composición florística de la regeneración natural dos concesiones mineras mecanizadas?</p> <p>¿Cuáles serán las especies indicadoras de la regeneración natural en áreas degradadas de dos concesiones mineras mecanizadas?</p> <p>¿Cómo será la estructura de la regeneración natural según categorías de tamaño en dos concesiones mineras mecanizadas?</p> <p>¿Cómo será la influencia del tiempo de abandono en la</p>	<p style="text-align: center;">GENERAL</p> <p>Caracterizar fisicoquímicamente el suelo, la regeneración natural y biomasa aérea de la vegetación en dos concesiones mineras mecanizadas de Madre de Dios.</p> <p style="text-align: center;">ESPECIFICOS</p> <p>Determinar y comparar la abundancia, diversidad y composición florística de la regeneración natural en dos concesiones mineras mecanizadas.</p> <p>Determinar las especies indicadoras de la regeneración natural en dos concesiones mineras mecanizadas.</p> <p>Caracterizar y comparar la estructura de la regeneración natural según categorías de tamaño en dos concesiones mineras mecanizadas.</p>	<p style="text-align: center;">GENERAL</p> <p>Se espera encontrar una baja diversidad de especies, y una mayor abundancia de especies pioneras debido a que severa degradación en el ecosistema que generan las actividades mineras.</p> <p>Con respecto a la estructura horizontal de la regeneración natural se espera encontrar el patrón tipo de J-invertida, es decir una población auto regenerativa con alta concentración de individuos en las categorías inferiores de DAP. Con respecto a la estructura vertical, se espera que las especies pioneras dominen los estratos superiores.</p> <p>Con respecto al tiempo de abandono, se espera encontrar una relación directa entre el tiempo de abandono con la riqueza y diversidad de especies arbóreas.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE: Variable y parámetros para la determinar la antecedencia del área intervenida por la minería.</p> <p>DIMENSIONES: Área</p> <p>INDICADORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Concesión minera ❖ Tiempo de abandono ❖ Características fisicoquímicas del suelo <p>VARIABLE DEPENDIENTE: Determinar la abundancia, diversidad, composición florística, con su relación al tiempo de abandono en áreas degradadas por la actividad minera mecanizada en dos concesiones “Puerto Belén”, “San Vicente II”</p>	<p style="text-align: center;">ENFOQUE:</p> <p>La investigación es descriptiva y comparativo, porque se consistirá en observar, inventariar, analizar y estimar la diversidad florística de especies arbóreas, analizar la biomasa y recolectar muestras de suelos para el análisis fisicoquímico del suelo.</p>

<p>composición florística de áreas degradadas por minería?</p> <p>¿Cuál será la relación entre las características fisicoquímica del suelo y los atributos florísticos de la regeneración natural en dos concesiones mineras mecanizadas??</p> <p>¿Cómo será la biomasa aérea de la regeneración natural y su comparación entre las dos concesiones mineras mecanizadas?</p>	<p>Analizar la influencia del tiempo de abandono en la composición florística en dos concesiones mineras mecanizadas.</p> <p>Analiza la relación entre las características fisicoquímica del suelo y los atributos florísticos de la regeneración natural en dos concesiones mineras mecanizadas.</p> <p>Determinar y comparar la biomasa aérea de la regeneración natural entre dos concesiones mineras mecanizadas.</p>	<p>JUSTIFICACION</p> <p>La erosión de los suelos y la descomposición han sido inducidas por los procesos de degradación de los recursos naturales en los ecosistemas, que han afectado enormemente la superficie del terreno.</p> <p>Los productores forestales, ganaderos y agricultores se enfrentan a problemáticas medioambientales, económicas y sociales en los últimos años.</p> <p>Las áreas de restauración en degradadas del sector Caychihue por minería aurífera confirmaron niveles bajos de elementos disponibles en pH, materia orgánica, fosforo, nitrógeno, potasio y cationes intercambiables a efectos del impacto de la extracción del oro, como también se reportó metales tóxicos de Arsénico, plomo y mercurio que no superaron los Límites Máximos Permisibles (LMP) certificados por el estado peruano.</p>	<p>DIMENSIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Abundancias de especies arbóreas ❖ Diversidad de especies ❖ Composición florística ❖ Especies indicadoras ❖ Estructura de la regeneración natural ❖ Biomasa área <p>INDICAODRES:</p> <p>N° de individuos N° de familias</p> <p>No de individuos Riqueza de especies No de familias</p> <p>No de individuos Riqueza de especies No de familias</p> <p>No de individuos Diámetro Altura</p> <p>Diámetro Altura Área basal (AB) Riqueza de especies</p> <p>DAP Altura Volumen</p>	
--	---	---	---	--

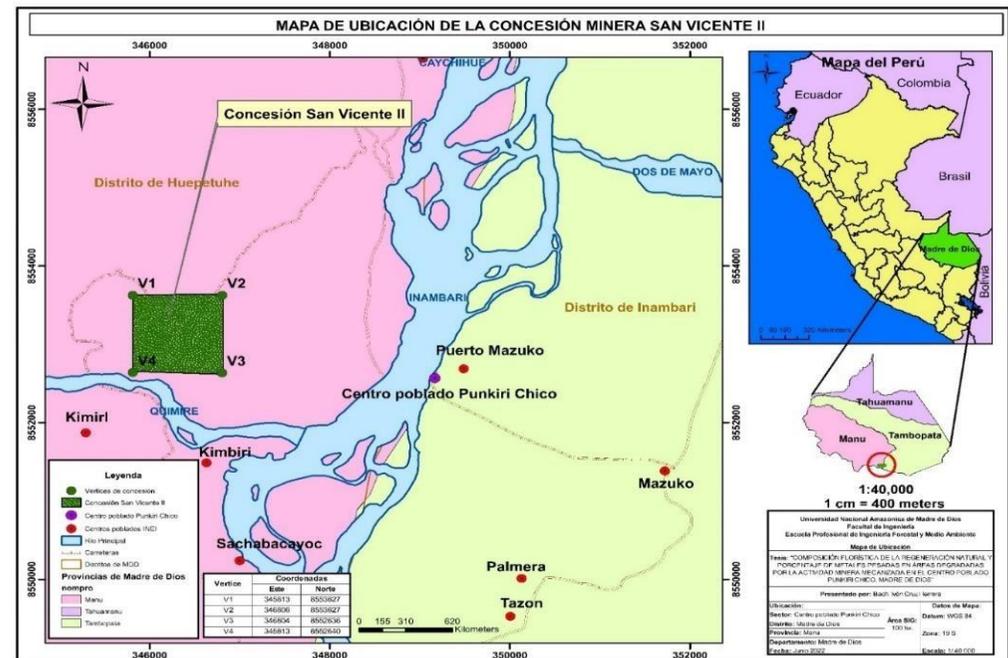
Anexo 2. Plano de Ubicación de Concesiones Mineras del Proyecto de Investigación





Anexo 3. Plano de Ubicación de la Concesión Minera Puerto Belén del Proyecto de Investigación.

Anexo 4. Plano de Ubicación de la Concesión Minera San Vicente II del Proyecto de Investigación.



Anexo 5. Viaje del equipo de investigación a las concesiones mineras Puerto Belén, San Vicente II, en el distrito de Huepetuhe. Se muestra el abandono de áreas impactadas por la minería mecanizada, el crecimiento de las especies encima de los agregados de la extracción minera.



Anexo 6. Ubicación y georreferenciación de los vértices de las parcelas. Establecimientos de 8 parcelas en las áreas degradadas 4 parcelas en bosque de referencia en las concesiones Puerto Belén, asimismo 8 parcelas en las áreas degradadas, 4 parcelas en bosque de referencia concesiones en la San Vicente II.



Anexo 7. Codificación y medición del diámetro (3cm >) del fuste de cada individuo en las dos concesiones mineras.



Anexo 8. Recolección de muestras botánicas, la medición longitudinal desde la base del árbol hasta el ápice con el clinómetro.



Anexo 9. La colección de las muestras botánicas se procede al prensado y la codificación de cada espécimen recolectado cubierto en un periódico para el buen secado de las muestras. Durante el proceso se hecha alcohol y formol para su preservación.



Anexo 10. Recolección de muestras de suelos in situ en las dos concesiones mineras.



Anexo 11: Algunos materiales que se utilizaron y fotos in situ de la concesión minera.



Anexo 12: Ficha de validación de la primera concesión minera "PUERTO BELEN".



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : IVÁN CRUZ HERRERA

Departamento : MADRE DE DIOS
 Distrito : HUEPETUHE

Provincia : MANU
 Predio : CONCESIÓN MINERA
 PUERTO BELEN

Referencia : H.R. 80212-125C-23

Bolt.: 5909

Fecha : 04/08/2023

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺² meq/100g	Mg ⁺² meq/100g	K ⁺ meq/100g	Na ⁺ meq/100g	Al ⁺³ +H ⁺ meq/100g			
7040	I-A	4.48	0.04	0.00	2.19	2.1	41	56	23	21	Fr.Ar.A.	5.92	0.23	0.18	0.09	0.10	2.55	3.15	0.60	10
7041	I-B	4.09	0.13	0.00	3.59	1.8	51	56	23	21	Fr.Ar.A.	8.32	0.36	0.26	0.12	0.11	2.90	3.76	0.86	10
7042	I-C	4.29	0.09	0.00	2.46	2.0	46	66	21	13	Fr.A.	6.72	0.50	0.64	0.08	0.14	1.85	3.21	1.36	20
7043	I-D	4.14	0.32	0.00	3.39	2.0	88	60	25	15	Fr.A.	7.04	0.66	0.54	0.19	0.09	1.40	2.86	1.48	21
7044	I-E	4.67	0.03	0.00	1.80	2.7	50	58	27	15	Fr.A.	5.92	0.47	0.36	0.15	0.21	1.30	2.49	1.19	20
7045	I-F	4.29	0.09	0.00	2.26	1.9	59	58	25	17	Fr.A.	5.76	0.43	0.26	0.18	0.17	1.45	2.50	1.05	18
7046	I-G	4.19	0.07	0.00	2.06	1.7	43	60	23	17	Fr.A.	6.40	0.15	0.23	0.14	0.11	2.10	2.73	0.63	10
7047	I-H	5.01	0.19	0.00	2.26	1.4	61	64	21	15	Fr.A.	6.72	0.41	0.26	0.16	0.09	1.35	2.27	0.92	14
7048	REFE: I-A	3.60	0.35	0.00	3.59	0.8	57	64	19	17	Fr.A.	7.04	0.13	0.15	0.09	0.08	2.60	3.05	0.45	6
7049	REFE: I-B	3.80	0.19	0.00	2.66	1.1	42	60	21	19	Fr.A.	5.12	0.17	0.13	0.11	0.09	2.50	3.00	0.50	10
7050	REFE: I-C	3.90	0.15	0.00	3.33	1.0	45	56	21	23	Fr.Ar.A.	6.72	0.15	0.12	0.07	0.13	2.80	3.26	0.46	7
7051	REFE: I-D	4.00	0.14	0.00	2.79	1.4	41	48	23	29	Fr.Ar.A.	6.24	0.39	0.13	0.07	0.17	2.40	3.16	0.76	12

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Dr. Constantino Calderón Mendoza
 Jefe del Laboratorio

Anexo 13: Ficha de validación de la segunda concesión minera "SAN VICENTE II".



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : IVÁN CRUZ HERRERA

Departamento : MADRE DE DIOS
 Distrito : HUEPETUHE

Provincia : MANU
 Predio : CONCESIÓN MINERA
 SAN VICENTE II
 Fecha : 04/08/2023

Referencia : H.R. 80212-125C-23

Boil: 5909

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
7052	II-A	4.39	0.06	0.00	2.06	1.9	47	68	21	11	Fr.A.	9.12	1.05	0.81	0.09	0.08	2.45	4.45	2.00	22
7053	II-B	4.09	0.04	0.00	2.66	2.0	53	54	23	23	Fr.Ar.A.	8.64	0.42	0.54	0.16	0.19	2.00	3.31	1.31	15
7054	II-C	4.10	0.03	0.00	2.33	1.5	57	50	25	25	Fr.Ar.A.	7.84	0.41	0.35	0.55	0.16	2.55	4.01	1.46	19
7055	II-D	4.72	0.05	0.00	2.46	2.5	68	62	23	15	Fr.A.	9.12	1.45	0.87	0.20	0.13	0.90	3.55	2.65	29
7056	II-E	4.29	0.03	0.00	2.19	1.8	73	64	21	15	Fr.A.	9.92	0.38	0.46	0.17	0.17	3.00	4.18	1.18	12
7057	II-F	4.00	0.05	0.00	2.79	0.7	56	70	17	13	Fr.A.	9.28	0.27	0.43	0.13	0.15	3.20	4.18	0.98	11
7058	II-G	3.90	0.10	0.00	2.99	1.9	59	62	25	13	Fr.A.	8.32	0.78	0.43	0.12	0.11	1.40	2.94	1.44	17
7059	II-H	4.05	0.08	0.00	2.66	2.5	80	66	23	11	Fr.A.	9.92	0.90	0.58	0.25	0.17	0.85	2.74	1.89	19
7060	REFE: II-A	3.71	0.24	0.00	2.39	1.9	41	48	23	29	Fr.Ar.A.	8.32	0.40	0.20	0.07	0.22	2.20	3.08	0.88	11
7061	REFE: II-B	3.27	0.23	0.00	3.72	1.5	61	52	21	27	Fr.Ar.A.	9.60	0.35	0.23	0.15	0.23	3.00	3.96	0.96	10
7062	REFE: II-C	4.09	0.02	0.00	2.46	1.7	50	52	23	25	Fr.Ar.A.	8.32	0.21	0.30	0.12	0.16	2.90	3.68	0.78	9
7063	REFE: II-D	3.42	0.14	0.00	2.19	1.4	43	50	21	29	Fr.Ar.A.	8.32	0.06	0.20	0.09	0.08	2.65	3.07	0.42	5

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limosa ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Constantino Calderón Mendoza
 Jefe del Laboratorio

Anexo 14: Método usado para el análisis de suelo.

MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS

1. Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de la pasta de saturación(es).
3. PH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 o en suspensión suelo: KCl N, relación 1:2.5.
4. Calcareo total (CaCO₃): método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.
5. Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. %M.O.= %C x 1.724.
6. Nitrógeno total: método del micro-Kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO₃=0.5M, pH 8.5.
8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH₃-COONH₄)N, pH 7.0.
9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH₃-COOCH₃)N; pH 7.0.
10. Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio

(CH₃-COONH₄)N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica.

11. Al³⁺+ H⁺: método de Yuan. Extracción con KCl, N

12. Iones solubles:

- a) Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ solubles: fotometría de llama y/o absorción atómica.
- b) Cl, Co₃=, HCO₃=, NO₃ solubles: volumetría y colorimetría, SO₄ turbidimetría con cloruro de Bario.
- c) Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
- d) Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

Equivalencias:

1 ppm=1 mg/kilogramo

1 milimho (mmho/cm) = 1 deciSiemens/metro

1 miliequivalente / 100 g = 1 cmol(+)/kg

Sales solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes

CE (1 : 1) mmho/cm x 2 = CE(es) mmho/cm

TABLA DE INTERPRETACION

Salinidad		Materia Orgánica	Fósforo disponible	Potasio disponible	Relaciones Catiónicas			
Clasificación del Suelo	CE(es)	CLASIFICACIÓN	%	ppm P	ppm K	Clasificación	K/Mg	Ca/Mg
*muy ligeramente salino	<2	*bajo	<2.0	<7.0	<100	*Normal	0.2 - 0.3	5 - 9
*ligeramente salino	2 - 4	*medio	2 - 4	7.0 - 14.0	100 - 240	*defc. Mg	>0.5	
*moderadamente salino	4 - 8	*alto	>4.0	>14.0	>240	*defc. K	>0.2	
*fuertemente salino	>8					*defc. Mg		>10

Reacción o pH		CLASES TEXTURALES				Distribución de Cationes %		
Clasificación del Suelo	pH	A	= arena	Fr.Ar.A	= franco arcillo arenoso	Ca ²⁺	=	60 - 75
*fuertemente ácido	<5.5	A.Fr	= arena franca	Fr.Ar	= franco arcilloso	Mg ²⁺	=	15 - 20
*moderadamente ácido	5.6 - 6.0	Fr.A	= franco arenoso	Fr.Ar.L	= franco arcilloso limoso	K ⁺	=	3 - 7
*ligeramente ácido	6.1 - 6.5	Fr.	= franco	Ar.A	= arcilloso arenoso	Na ⁺	=	<15
*neutro	6.6 - 7.0	Fr.L	= franco limoso	Ar.L	= arcilloso limoso			
*ligeramente alcalino	7.1 - 7.8	L	= limoso	Ar.	= arcilloso			
*moderadamente alcalino	7.9 - 8.4							
*fuertemente alcalino	>8.5							

Anexo 15: autorización para la investigación en las concesiones mineras.

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

MADRE DE DIOS CAPITAL DE LA BIODIVERSIDAD DEL PERÚ

Puerto Maldonado 08 de junio del 2023

AUTORIZACIÓN TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Damián Alfredo Ampuero Huaquisto Gerente General de la empresa Unión Minera HIPASUR S.A.C (concesión minera Puerto Belén) y INVERSIONES D.M.M.D - S.R.L (concesión minera San Vicente II) autorizo a los sr, bachilleres. **Jhon Eliseo Quispe Ampuero e Iván Cruz Herrera** de la escuela profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, para realizar el ingreso previa coordinación a las concesiones mineras con la única finalidad de realizar **"trabajo de investigación"**.

Dicha investigación se desarrollará a partir de la fecha 08 de junio hasta el 09 de julio del 2023, en la Provincia del Manu, Distrito de Huepetuhe en la Región de Madre De Dios.

Se expide el presente para fines convenientes



UNION MINERA HIPASUR S.A.C.
Damián Alfredo Ampuero Huaquisto
DNI: 04819808
GERENTE

.....
Damián Alfredo Ampuero Huaquisto
DNI: 04819808
Gerente General

Anexo 16: constancia de entrega, identificación y registros de nuestras botánicas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú
Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo



CONSTANCIA

En mi calidad de curador botánico del centro de investigación del herbario Alwyn Gentry Ing. Sufer Marcial Baez Quispe, de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

HACE CONSTAR:

Certifica Que ,los bachilleres **Cruz Herrera, Ivan y Quispe Ampuero, Jhon Eliseo** ; tesis egresados de la escuela profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios autores del trabajo de investigación titulado : **"CARACTERIZACIÓN FISIQUÍMICA DEL SUELO, REGENERACIÓN NATURAL Y BIOMASA AÉREA DE LA VEGETACIÓN EN DOS CONCESIONES MINERAS MECANIZADAS DE ADRE DE DIOS"**,han presentado a este centro de investigación ,especímenes vegetales para el proceso de investigación y/o determinación taxonómica . Por lo cual **CERTIFICO**, que dichos especímenes vegetativos corresponden a los nombres científicos de acuerdo a la **clasificación APG IV (2016)**; las cuales fueron verificadas e identificadas en este centro de enseñanzas e investigación HAG-UNAMAD.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado par los fines que estime conveniente.

Puerto Maldonado, 11 de Diciembre del 2023

Atentamente:

Ing. Sufer Marcial Baez Quispe
DIRECTOR DEL HERBARIO

Ciudad Universitaria – Puerto Maldonado – Madre de Dios
Av. Jorge Chavez N° 1116