

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



**“CARACTERIZACIÓN DE LA REGENERACIÓN NATURAL EN ÁREAS  
DEGRADADAS POR MINERÍA AURÍFERA EN LA COMUNIDAD NATIVA  
SAN JACINTO, MADRE DE DIOS”**

**TESIS PRESENTADA POR:**

Bachiller: FERNANDEZ MAMANI,  
Yoni

PARA OPTAR AL TITULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

**ASESOR:** M.Sc. GARATE QUISPE,  
Jorge Santiago

**PUERTO MALDONADO, 2021**



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



**“CARACTERIZACIÓN DE LA REGENERACIÓN NATURAL EN ÁREAS  
DEGRADADAS POR MINERÍA AURÍFERA EN LA COMUNIDAD NATIVA  
SAN JACINTO, MADRE DE DIOS”**

**TESIS PRESENTADA POR:**

Bachiller: FERNANDEZ MAMANI,  
Yoni

PARA OPTAR AL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO  
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

**ASESOR:** M.Sc. GARATE QUISPE,  
Jorge Santiago

**PUERTO MALDONADO, 2021**

## **Dedicatoria**

Muy especialmente a mi señora madre Doña María Julia Mamani Layme, hasta el cielo, es para ella y por ella, por todo el apoyo incondicional que me proporciono siempre sin escatimar recursos económicos ni afectuosos, que hizo que me enfoque en mis estudios a pesar de mi carga familiar, que siempre deseo que concrete esta etapa, aunque no está con nosotros físicamente, es que dedico a ella sobre todo y a mi Señor padre Don Cecilio Fernández Ortiz, por no haber dudado nunca de mis éxitos.

A mis hijos Hairton Jhonny, Aslessandra Francielle y Julia de Belén, por ser la razón, mi motivo que me impulsan a ser mejor persona y profesional, a toda mi familia por comprenderme siempre, por ustedes.

## **Agradecimiento**

Un agradecimiento a mi asesor M.Sc. Jorge Garate Quispe, a los colaboradores M.Sc. Sufer Marcial Baez Quispe, Ph.D. Francisco Román y M.Sc. Telesforo Vásquez Zavaleta por su apoyo y sugerencias durante el desarrollo de esta tesis.

Asimismo, agradezco a la Asociación Huarayo Madre de Dios – Perú, al Proyecto HED-UF por el apoyo financiero del presente estudio; a su equipo técnico, en especial al Ph.D. Julio Araújo Flores por el acompañamiento técnico durante la ejecución en campo y su apoyo logístico durante la evaluación en campo de la presente investigación. A la Comunidad Nativa de San Jacinto, Por facilitar el ingreso al área de estudio para la ejecución del presente trabajo de tesis.

## Presentación

Madre de Dios es una región del Perú que experimenta por más de seis décadas a la minería como actividad económica, crecientemente significativa y destructiva a la vez debido a que deja a su paso un cambio estructural del suelo modificado su topografía natural. Como también es altamente agresiva con los ecosistemas circundantes, sumado a la poca rigidez, vacíos y complejos sistemas legales ambientales de restauración de suelo hacia los responsables, sin considerar el grado de conciencia de la población en relación con la importancia y el desconocimiento de la riqueza de sus bosques como tal. El presente estudio evaluó y caracterizó la regeneración natural leñosa en áreas después de la actividad de minera aurífera artesanal y de pequeña escala en la comunidad nativa de San Jacinto, considerando diferente tiempo de abandono (1-6 años). Para lo cual se establecieron parcelas de 10 x 25 m (250 m<sup>2</sup>), donde se evaluó la composición florística de la regeneración natural a partir de 1 cm de diámetro.

Nuestros resultados nos mostrarán las especies con mayor capacidad de aclimatación y resistencia a condiciones adversas de las áreas abandonadas por actividades mineras. De esta manera se mostrará una representación de la composición florística de estas zonas dejadas por la minería aurífera artesanal de la Comunidad de Nativa de San Jacinto, en la región Madre de Dios.

## Resumen

En Madre de Dios la minería aurífera se desarrolla desde tiempo coloniales, recientemente esta actividad se ha incrementado de forma significativa y destructiva a la vez, debido a los impactos ambientales que ocasiona. El objetivo del presente estudio fue evaluar y caracterizar la regeneración natural leñosa en áreas de diferente tiempo de abandono después de la actividad de minera aurífera artesanal y de pequeña escala en la comunidad nativa de San Jacinto. Se establecieron 12 parcelas de 10 m x 25 m, en cada parcela se evaluaron e identificaron todos los individuos con un diámetro mayor a 1 cm. El diámetro promedio de los individuos analizados fue de 3,6 cm, mientras que la altura promedio fue de 3,1 cm. La riqueza de especies fue superior en la categoría de brinzales. La riqueza de especies de latizales y fustales se incrementó con el tiempo de abandono. El área basal de los brinzales disminuyó con el tiempo de abandono, a diferencia de los fustales, en el cual el área basal se incrementó con el tiempo de abandono. La proporción de brinzales disminuyó significativamente con el tiempo de abandono. Las especies con mayor importancia ecológica fueron *Cecropia membranacea*, *Ochroma pyramidale* y *Chromolaena laevigata*. Las especies más frecuentes fueron *Apeiba tibourbou*, *Bixa urucurana*, *Cecropia engleriana*, *Cecropia membranacea*, *Ceiba samauma* y *Apeiba aspera*. El análisis por periodos de abandono no mostró diferencias significativas para la densidad, área basal, riqueza de especies, DAP y altura. Nuestros resultados sugieren que la restauración forestal de las zonas de extracción de oro abandonadas en la Amazonia peruana debería tener en cuenta la distancia al bosque, y deberían aprovechar el potencial de la regeneración natural para acelerar este proceso.

**Palabras clave:** Bosque amazónico tropical, minería de oro, regeneración leñosa, Regeneración post-minería, riqueza de especies

## Abstract

In Madre de Dios, gold mining has been developed since colonial times. Recently, this activity has increased significantly and destructively due to the environmental impacts it causes. The present study aimed to evaluate and characterize natural woody regeneration in areas of different time since abandonment after artisanal and small-scale gold mining activity in the native community of San Jacinto. Twelve plots of 10 m x 25 m were established, in each plot all individuals with a diameter greater than 1 cm were evaluated and identified. The average diameter of the individuals analyzed was 3.6 cm, while the average height was 3.1 cm. Species richness was higher in the sapling category. The species richness of saplings and trees increased with the time of abandonment. The basal area of the saplings decreased with the abandonment time, unlike the mature trees, in which the basal area increased with the abandonment time. The proportion of saplings decreased significantly with abandonment time. The species with the greatest ecological importance were *Cecropia membranacea*, *Ochroma pyramidale* and *Chromolaena laevigata*. The most frequent species were *Apeiba tibourbou*, *Bixa urucurana*, *Cecropia engleriana*, *Cecropia membranacea*, *Ceiba samauma* and *Apeiba aspera*. The analysis by periods of abandonment did not show significant differences for density, basal area, species richness, DBH and height. Our results suggest that the forest restoration of abandoned gold-mining areas in the Peruvian Amazon should take the distance from forest into account, and they should take advantage of the potential of natural regeneration to accelerate this process.

**Keywords:** Gold-mining, post-mining regeneration, species richness, tropical amazon forest, woody regeneration.



## Introducción

En Madre de Dios, la minería aurífera se desarrolla desde tiempo coloniales (Kuramoto 2001), recientemente esta actividad se ha incrementado de forma significativa y destructiva a la vez, debido a los impactos ambientales que ocasiona. Por ejemplo, ocasiona un cambio estructural del suelo, alterando severamente sus características fisicoquímicas. La minería en Madre de Dios es altamente agresiva con los ecosistemas naturales circundantes, sumado a la poca rigidez, vacíos y complejos sistemas legales ambientales de restauración de suelo hacia los responsables, el grado de conciencia de la población en relación con la importancia y el desconocimiento de la riqueza de sus bosques.

El incremento del precio del oro y la demanda mundial viene siendo el soporte de la expansión de la minería aurífera (Swenson et al. 2011 ; Alvarez-Berrios y Mitchell Aide 2015). Por otro lado, en la áreas degradadas por actividades mineras, las alteraciones en las propiedades físico-químicas del suelo, carencia de nutrientes y la elevada concentración de metales pesados en el suelo pueden limitar el establecimiento y crecimiento de las plantas (Bradshaw 1997 ; Rocha-Nicoleite et al. 2018), Por lo tanto, “en ausencia de regeneración natural y con altos niveles de degradación de los suelos, se necesitan intervenciones de restauración activas para reiniciar el proceso natural de sucesión forestal y desarrollar suelos en pleno funcionamiento” (Holl y Aide 2011).

Por otro lado, en el Perú son escasos los estudios de restauración ecológica de áreas degradadas por actividades antrópicas (Michi y Ibarra 2015). Principalmente debido a que “se carece de soporte de nivel científico para determinar el nivel de impacto ocasionado por estas actividades sobre los ecosistemas forestales, así como también el potencial de las especies forestales” (Michi y Ibarra 2015). A pesar de la elevada tasa de deforestación y altos niveles de degradación de los ecosistemas, después de la actividad minera, son escasos los intentos para recuperar su productividad.

Actualmente, para Madre de Dios son pocos los estudios de reforestación de áreas degradadas por minería (Román-Dañobeytia et al. 2015 ; Huayllani-Enriquez 2016 ; Ancco-Mamani 2017 ; Lefebvre et al. 2019 ; Román-Dañobeytia et al. 2020).

Además, en los últimos años, diversos estudios han registrado otros impactos directos e indirectos de la minería. Por ejemplo, el incremento de la contaminación por mercurio en recursos hidrobiológicos y en la salud de las personas, además de problemas sociales como el aumento de la violencia y de enfermedades de transmisión sexual (Moreno-Brush et al. 2016 ; Caballero et al. 2018 ; Moody et al. 2020 ; Cortés-McPherson 2019 ; Reuben et al. 2020 ; Román-Dañobeytia et al. 2015).

En el presente estudio se evaluó y caracterizó la regeneración natural leñosa en áreas abandonadas por la minería aurífera en la comunidad nativa San Jacinto. Para el estudio se estableció parcelas de 10 x 25 m (250 m<sup>2</sup>), considerando un gradiente de tiempo de abandono de 1 a 6 años.

Los resultados del estudio nos muestran las especies con mayor capacidad de establecimiento y resistencia a condiciones edáficas muy limitadas, como consecuencia de la actividad minera. De esta manera se pretende mostrar representativamente la composición florística de estas zonas abandonadas por la minería aurífera en la Comunidad de Nativa San Jacinto.

## Contenido

<b>CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema General .....	2
1.2.2. Problemas específicos .....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos .....	2
1.4 Variables.....	3
1.5 Operacionalización de variables.....	3
1.6 Justificación e importancia .....	6
1.7 Consideraciones éticas .....	7
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 Antecedentes de estudio .....	8
2.1.1 Antecedentes Internacionales .....	8
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	9
2.1.3. Antecedentes regionales .....	9
2.2 Marco teórico .....	11
2.3 Definición de términos.....	12
2.3.1. Definición de Inventario forestal.....	12
2.3.2. Tipos de parcelas de muestreo .....	12
2.4. Diseño de muestreo para fustales y regeneración natural .....	13
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>14</b>
3.1. Tipo de estudio .....	14
3.2. Diseño del estudio .....	14
3.3. Población y muestra .....	14
3.3.1. Población .....	14
3.3.2. Muestra .....	14
3.4. Métodos y técnicas.....	14
3.4.1. Lugar de estudio.....	14
3.4.1. Ubicación de las parcelas .....	15
3.4.2. Caracterización del área de estudio.....	16

3.4.5. Recursos materiales.....	18
3.4.6. Equipos y Materiales.....	19
4. Tratamiento de datos .....	19
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>21</b>
4.1 Análisis florístico y estructural de la regeneración natural y su relación con el tiempo de abandono por actividades mineras.....	25
4.1.1 Atributos estructurales y riqueza de especies según categoría de regeneración natural.....	25
4.1.2 Análisis de correlación entre el tiempo de abandono, riqueza de especies y atributos estructurales .....	26
4.1.3 Análisis de regresión no lineal entre el tiempo de abandono y (1) riqueza de especies, (2) área basal y (3) densidad de individuos. ....	29
4.1.4. Tiempo de abandono vs densidad de individuos.....	30
4.1.5. Tiempo de abandono vs riqueza de especies .....	31
4.1.6. Tiempo de abandono vs área basal .....	33
4.1.7. Análisis de similitud de especies de (Índice Jaccard) por categorías de edad .....	35
4.1.8. Análisis por Tipo de Regeneración (brinzal, latizal, fustal) .....	37
4.1.9. Análisis de composición florística .....	40
4.1.10. Correlación entre variables y el tiempo de abandono.....	42
4.1.11. Curvas de rango-abundancia (Whittaker) según categoría de tiempo de abandono .....	42
4.1.12. Análisis de cobertura por categoría de edad .....	44
4.1.13. Factores que influencia en la composición florística .....	48
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>58</b>
ANEXO 1: matriz de consistencia. ....	59
ANEXO 2: instrumentos de recolección de datos.....	61

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Mapa de ubicación de la comunidad Nativa San Jacinto .....	15
<b>Figura 2.</b> Distribución de las parcelas y sub parcelas .....	17
<b>Figura 3.</b> Análisis de correlación múltiple entre el tiempo de abandono y la riqueza de especies y atributos florísticos en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. Edad = tiempo de abandono, S = riqueza de especies, DAP = diámetro a la altura del pecho y H = altura. Los valores de significancia (p-valor) corresponden a: *** < 0,001; ** < 0,01; * < 0,05 y • < 0. 1. ....	28
<b>Figura 4.</b> Correlograma de la selección de variables (riqueza de especies y atributos florísticos) que tienen una relación significativa con el tiempo de abandono en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. Edad = tiempo de abandono, S = riqueza de especies, DAP = diámetro a la altura del pecho y H = altura. Los valores corresponden al coeficiente de correlación de Pearson, y los que tengan un círculo corresponden a una relación significativa entre las variables (P-valor < 0,05). ....	29
<b>Figura 5.</b> Diagrama de dispersión y ajuste de modelos lineal y no lineal entre el tiempo de abandono (edad) y la riqueza total de especies de regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. ....	31
<b>Figura 6.</b> Diagrama de dispersión y ajuste de modelos lineal y no lineal entre el tiempo de abandono (edad) y la riqueza total de especies de regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. ....	33
<b>Figura 7.</b> Diagrama de dispersión y ajuste de modelos lineal y no lineal entre el tiempo de abandono (edad) y el área basal de regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. ....	35
<b>Figura 8.</b> Dendrograma de la similitud florística entre categorías de tiempo de abandono, utilizando las distancias de Bray-Curtis (A) y Jaccard (B) en áreas	

degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. .....	36
<b>Figura 9.</b> Diagrama de dispersión y ajuste de modelos de regresión lineal entre el tiempo de abandono (edad) y la proporción de individuos de brinzales, latizales y fustales de regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. ....	37
<b>Figura 10.</b> Curvas de rango-abundancia o de Whittaker para mostrar la abundancia de las especies según tiempo de abandono y categorías de regeneración natural (brinzal, latizal y fustal) en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. (brinzal, latizal y fustal). BR = brinzal, LT = latizal y FT = fustal. ....	44
<b>Figura 11.</b> Gráfico de barras ( $\pm$ desviación estándar) de la comparación de la riqueza de especies y atributos florísticos según periodos de tiempo de abandono. Los promedios se compararon utilizando el Análisis de Varianza (ANOVA) al 5% de probabilidad de error. ....	47

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables consideradas para el presente estudio de caracterización de regeneración natural de la vegetación en áreas degradadas por minería aurífera en Madre de Dios. ....	4
<b>Tabla 2.</b> Ubicación geográfica y riqueza de especies en 12 parcelas evaluadas de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. ....	22
<b>Tabla 3.</b> Abundancia de especies según familia encontrados en las 12 parcelas evaluadas de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.....	23
<b>Tabla 4.</b> Análisis florístico y estructural general de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. AB = Área basal, DAP = diámetro a la altura del pecho y H = altura total. ....	25
<b>Tabla 5.</b> Resumen del análisis de regresión entre el tiempo de abandono (variable independiente) y la densidad de individuos (variable dependiente) de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. ....	30
<b>Tabla 6.</b> Resumen del análisis de regresión entre el tiempo de abandono (variable independiente) y la riqueza de especies (variable dependiente) de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. ....	32
<b>Tabla 7.</b> Resumen del análisis de regresión entre el tiempo de abandono (variable independiente) y el área basal (variable dependiente) de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. SCE = Suma de cuadrados de los residuos. ....	34
<b>Tabla 8.</b> Similitud florística entre las categorías de tiempo de abandono, utilizando dos índices de similitud (Jaccard y Bray-Curtis) en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. Clase I = 1 y 2 años, Clase II = 3 y 4 años, y Clase III = 5 y 6 años. ....	36

<b>Tabla 9.</b> Análisis florístico y estructural según categorías de regeneración natural (brinzal, latizal y fustal) en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.....	39
<b>Tabla 10.</b> Índice de Valor de Importancia (IVI) general de las especies en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.....	40
<b>Tabla 11.</b> Matriz de correlación (Pearson) entre el tiempo de abandono, distancia al bosque, diversidad de especies y características de los sitios evaluados. <i>P</i> -valor fueron obtenidos mediante 9999 permutaciones, además: * < 0.05, **<0.01 y *** < 0.001.....	43
<b>Tabla 12.</b> Similitud florística entre las parcelas evaluadas, utilizando el índice de Bray-Curtis en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. Ta = tiempo de abandono en años.....	45
<b>Tabla 13.</b> Resultados de la comparación de promedios de los atributos florísticos y dendrométricos entre periodos de abandono, utilizando el análisis de varianza (ANOVA) .....	45
<b>Tabla 14.</b> Resultados de la prueba de significación de los factores que influencia en la composición florística de la regeneración natural en las áreas abandonadas por minería aurífera, utilizando el análisis redundancia basado en la distancia de Bray-Curtis (dbRDA). .....	48



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

### **1.1 Descripción del problema**

En Madre de Dios se evidencia una significativa actividad minera la cual es “altamente agresiva con la naturaleza y con los ecosistemas circundantes, siendo además una actividad transitoria y no definitiva” (Michi y Ibarra 2015). Desde las últimas décadas las investigaciones de su flora y fauna silvestre se orientaron a la diversidad de especies arbóreas (Gentry y Terborgh 1990 ; Pitman et al. 2003), siendo reconocido a “nivel global como una de las áreas biológicas más ricas y únicas de la tierra” (Brooks et al. 2006). La pérdida de horizontes superficiales de los suelos y los cambios en su estructura se caracterizan como zonas degradadas. Entre las actividades humanas que provocan el deterioro del medio ambiente, podemos mencionar a: (1) la construcción de carreteras, (2) la urbanización, (3) la expansión de la frontera agrícola, (4) el uso inadecuado del suelo y (5) 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).

En ese contexto, el problema central de la investigación es el limitado conocimiento de estudios de relevo florístico en áreas degradadas por la actividad minera aurífera artesanal y de pequeña escala. Con la presente investigación se pretende realizar un análisis característico de esta actividad y así poder determinar el comportamiento del relevo florístico en estas zonas degradadas y el resultado puede generar información valiosa para emplear en acciones que propicien el retorno de las funciones de los ecosistemas perdidos por la actividad de minera aurífera artesanal y de pequeña escala.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo será el desarrollo de la regeneración natural temprana en áreas degradadas por minería aurífera con distinto tiempo de abandono en la Comunidad Nativa de San Jacinto?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuáles serán los atributos florísticos y estructurales de la regeneración natural y su relación con el tiempo de abandono en áreas degradadas y abandonadas por la actividad de minería aurífera?

¿Cuáles serán las características florísticas y estructurales de la regeneración natural según categorías de tamaño en áreas degradadas por la minería aurífera?

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

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar y caracterizar la regeneración natural leñosa en áreas de diferente tiempo de abandono después de la actividad de minera aurífera artesanal y de pequeña escala en la Comunidad Nativa de San Jacinto.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Analizar los atributos florísticos y estructurales de la regeneración natural y su relación con el tiempo de abandono en áreas degradadas y abandonadas por la actividad de minería aurífera en la Comunidad Nativa de San Jacinto.

- Caracterizar la regeneración natural según categorías de tamaño en áreas degradadas por minería aurífera en la Comunidad Nativa de San Jacinto.
- Analizar la influencia del tiempo de abandono en la composición florística de áreas degradadas por minería aurífera en la Comunidad Nativa de San Jacinto.

#### **1.4 Variables**

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

#### **1.5 Operacionalización de variables**

En la Tabla 1 se describe la operacionalización de las variables utilizadas para el presente estudio:

**Tabla 1.** Operacionalización de variables consideradas para el presente estudio de caracterización de regeneración natural de la vegetación en áreas degradadas por minería aurífera en Madre de Dios.

Objetivo específico	Variable	Dimensión	Indicador	Escala		
Analizar los atributos florísticos y estructurales de la regeneración natural y su relación con el tiempo de abandono en áreas degradadas y abandonadas por la actividad de minería aurífera en la CC. NN. de San Jacinto	Variable independiente	Área	Tiempo de abandono	Años		
			Categoría de tiempo de abandono	Rango de 2 años		
	Variable dependiente	Estructura horizontal	Atributos florísticos	Nº de individuos	Individuos / ha	
				Riqueza de especies	Especies / parcela	
				Nº de familias	Familias / parcela	
				Atributos estructurales	Diámetro	Centímetros
					Altura	Metros
			Área basal (AB)		m <sup>2</sup> /ha	
			Categorías de regeneración natural: Brinzal, latizal y fustal.	Abundancia (abun)	Nº individuos por especie / área muestreada	
				Frecuencia (frec)	Frec de una especie / Sumatoria de todas las frec	
				Dominancia (domin)	AB de una especie / AB de todas las especies	
				Índice de valor de importancia (IVI)	(abun + frec + domin) / 3	
	Nº de individuos	Individuos / ha				
	Similitud florística	Riqueza de especies	Especies / parcela			
		Diámetro	Centímetros			
		Altura	Metros			
		Área basal	m <sup>2</sup> /ha			
		Índice de Jaccard	Porcentaje			

**Tabla 1 (continuación).** Operacionalización de variables consideradas para el presente estudio de caracterización de regeneración natural de la vegetación en áreas degradadas por minería aurífera en Madre de Dios.

Objetivo específico	Variable	Dimensión	Indicador	Escala
Caracterizar la regeneración natural según categorías de tamaño en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad nativa de San Jacinto	Variable independiente	Área	Tiempo de abandono	Años
			Categoría de tiempo de abandono	Rango de 2 años
	Variable dependiente	Categorías de regeneración natural: Brinzal, latizal y fustal.	Nº de individuos	Individuos / ha
			Riqueza de especies	Especies / parcela
			Diámetro	Centímetros
			Altura	Metros
			Área basal	m <sup>2</sup> /ha
Analizar la influencia del tiempo de abandono en la composición florística de áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad nativa de San Jacinto	Variable independiente	Área	Tiempo de abandono	Años
			Categoría de tiempo de abandono	Rango de 2 años
		Similitud florística	Índice de Bray-Curtis	Porcentaje
		Curvas rango-abundancia	Log(abundancia) vs ranking de especies	Individuos / especie

## 1.6 Justificación e importancia

El desconocimiento de estudios de relevo florístico en áreas degradadas por la actividad de minera aurífera artesanal y de pequeña escala en Madre de Dios, crea un vacío entre la diferenciación de especies forestales nativas desenvueltas en un habitat sin remoción de suelos frente a un habitat con remoción de suelo causado por la actividad minera aurífera artesanal y de pequeña escala. En Madre de Dios se han registrado experiencias de rigor científico similares mas no enfocadas a los trastornos ocasionados por la actividad de minera aurífera artesanal y de pequeña escala, por lo que es necesario tener estudios específicos para visualizar el comportamiento ambiental consistente y vinculante a la adaptación natural.

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 recursos naturales renovables como la pesca, la caza y la explotación maderera; o recursos no renovables como la explotación aurífera” (Román-Dañobeytia et al. 2007). Actualmente los proyectos de restauración del medio ambiente se llevan a cabo con la utilización de las técnicas reduccionista que ponen en peligro el proceso de restauración, especialmente aquellos específicos de centrar sus técnicas únicas principalmente en siembra de especies arbóreas (Brancaion et al. 2010), sin considerar sus relaciones con su entorno. Aquí la importancia del presente estudio, debido a que reportaremos las especies arbóreas que se han establecido en las áreas abandonadas por minería aurífera, y estas puedan ser utilizadas en futuros estudios reforestación o restauración. De esta manera se podría incrementar la probabilidad de éxito de estos proyectos, ya que utilizarían especies nativas con potencial para establecerse en estas áreas severamente degradadas.

Por otro lado, los trabajos de estudios de caracterización florística muestran siempre un enfoque real sobre la mejor adecuación de las especies en condiciones óptimas y/o adversas, los cuales se puede considerar en la

restauración del medio ambiente de áreas degradadas por la actividad minera tomando en cuenta que debe ser abordado en su contexto específico, sin opiniones premeditadas, para mejores resultados.

### **1.7 Consideraciones éticas**

El presente estudio se desarrolló con la autorización de los concesionarios de las áreas abandonadas y de la Comunidad Nativa de San Jacinto. Además, se tramitó la Autorización de Investigación Científica en Flora Silvestre y los permisos de colecta en la Dirección Forestal y de Fauna Silvestre de Madre de Dios. Por otro lado, se consideró los aspectos éticos de la Conducta responsable en Investigación establecidas por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC).

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes de estudio**

#### **2.1.1 Antecedentes Internacionales**

Hou et al. (2019) evaluaron la composición de comunidades vegetales en un gradiente de distribución en áreas degradadas por minería en China. Encontraron que las características fisicoquímicas del suelo (Cd, As, Zn, Pb) y la altitud tienen efectos significativos en la diversidad de especies. Para la evaluación florística utilizaron el método de Braun-Blanquet, establecieron 40 parcelas en tres gradientes de disturbio (área abandonada por minería, área restaurada y sitios de referencia). Hou et al. (2019) sugieren que los planes de restauración en áreas degradadas por minería deberían considerar, previamente antes de la intervención, características de intensidad del disturbio, tipo de minería y variables medioambientales del entorno.

Miranda-Neto et al. (2014) evaluaron la regeneración natural en áreas restauradas después de la minería en el sureste de Brasil. Evaluaron la composición florística de la regeneración natural de árboles y arbustos con una altura mayor a 30 cm, utilizando parcelas de 9 m<sup>2</sup> (3 m x 3 m). Mediante análisis multivariados (CCA) encontraron que la vegetación estuvo relacionada significativamente con la cobertura de dosel, descomposición de hojarasca y resistencia del suelo. Asimismo, encontraron que Fabaceae y Melastomataceae fueron las familias con el mayor número de especies. Luego de 10 años, la mayoría de las especies fueron las típicas de sucesión secundaria y el síndrome de dispersión fue zoocoria.

Squizzato et al. (2005) evaluaron la composición florística de la vegetación arbórea-arbustiva colonizadora de áreas degradadas por minería en Pires (Brasil). Para la evaluación florística, individuos con DAP mayor a 3 cm,



utilizaron 50 parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m). Encontraron que la familia con el mayor número de especies fue Fabaceae, Annonaceae, Lauraceae y Melastomataceae. El síndrome de dispersión preponderante fue zoocoria, destacando las especies de fragmentos próximos al área degradada (Squizzato et al. 2005).

Rodrigues, Martins y De Barros (2004) evaluaron la regeneración natural en áreas degradadas por minería en la Amazonia de Brasil. A diferencia de Miranda-Neto et al. (2014) y Squizzato et al. (2005), Rodrigues, Martins y De Barros (2004) utilizaron transectos para evaluar la regeneración natural (20 m x 160 m) y sub parcelas de 200 m<sup>2</sup> (10 m x 20 m) en áreas con diferente tiempo de abandono (5, 13 y 18 meses). Registraron a todos los individuos con una altura superior a 50 cm. Encontraron que el número de individuo, especies, familias y diversidad se incrementan con el tiempo de abandono y disminuye con la distancia al bosque de referencia. Interesantemente, encontraron que *Trema micrantha* y *Schizolobium amazonicum* fueron las especies con mayor importancia, y que estas cumplirían la función de facilitadores de la sucesión ecológica de las especies de tardías.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

No se encontraron antecedentes nacionales de estudios similares al que se plantea en el presente estudio. A continuación, se presentan estudios similares desarrollados en la región Madre de Dios.

### **2.1.3. Antecedentes regionales**

Garate (2011) evaluó el primer proyecto de reforestación de áreas degradadas por minería aurífera en Huepetuhe (Madre de Dios). El área evaluada fue reforestada en los años 1999 y 2002 utilizando especies rusticas exóticas y nativas. Sin embargo, 10 años después Garate (2011) encontró 14 especies espontaneas que se establecieron en el área, entre herbáceas, arbustivas y arbóreas. Entre las especies arbóreas oportunistas destacaron *Alchornea triplinervia*, *Cinchona micrantha*, *Jacaranda glabra*, *Cecropia sp. 1* y *Vismia baccifera*.

Román-Dañobeytia et al. (2015) realizaron un experimento de reforestación de áreas degradadas por minería aurífera en La Pampa, en la zona de amortiguamiento de la reserva Tambopata. En este experimento utilizaron dos tipos de plantación, fertilización y 4 especies nativas, especies pioneras *Apeiba membranacea* y *Ochroma pyramidale*, y especies de sucesión temprana *Ceiba pentandra* y *Erythrina ulei*. La supervivencia de las especies fue influenciada significativamente por el método de plantación y la fertilización. En general, *O. pyramidale*, *C. pentandra* y *E. ulei* presentaron las tasas de crecimiento en diámetro, especialmente en el método de trasplante. Por otro lado, *O. pyramidale* y *C. pentandra* presentaron las mayores tasas de crecimiento en altura, en comparación con las plántulas de *E. ulei* y *A. membranacea*.

Sobre la regeneración natural de áreas degradadas por minería, diversos estudios se han realizado en la Madre de Dios evaluando la diversidad y composición florística de la vegetación espontánea que se ha establecido en las áreas abandonadas después de la actividad minera (Huayllani-Enriquez 2016 ; Pacheco 2014 ; Sajami 2017 ; Cutire y Ramirez 2017 ; Canahuire 2017).

Canahuire (2017) y Cutire y Ramirez (2017) realizaron sus estudios en el sector de Tres Islas, analizando a través de una consecuencia la diversidad y composición florística de la vegetación establecida de forma espontánea. Sin embargo, ambos estudios utilizaron una metodología distinta en la evaluación. Canahuire (2017) utilizó parcelas de 20 m x 20 m (400 m<sup>2</sup>) y evaluó todos los individuos con diámetro a la altura del pecho mayor a 1 cm (DAP > 1 cm). Mientras que Cutire y Ramirez (2017) utilizaron parcelas más pequeñas 10 m x 25 m (250 m<sup>2</sup>), en un muestreo según categorías de regeneración. Sin embargo, los valores de riqueza y diversidad reportados por Cutire y Ramirez (2017) son menores a los reportados por Canahuire (2017). Las diferencias entre estos estudios estarían relacionadas con el tiempo de abandono y tipo de explotación minera. Canahuire (2017) tuvieron parcelas de hasta 23 años de abandono, mientras que Cutire y Ramirez (2017) encontraron parcelas con hasta 12 años de abandono. El nivel de degradación de los sitios entre ambos estudio fue diferente, Canahuire (2017) muestreo en sitios con menos

degradación que Cutire y Ramirez (2017), y sus parcelas estuvieron rodeadas de bosques. Asimismo, Sajami (2017) utilizó la misma metodología de Cutire y Ramirez (2017), aunque Sajami (2017) encontró más especies e individuos que Cutire y Ramirez (2017).

Lefebvre et al. (2019) evaluaron el efecto del seis sustratos de biocarbón en el crecimiento y supervivencia de *Terminalia amazonia* y *Guazuma crinita* durante seis meses y su potencial en la recuperación de áreas degradadas por minería aurífera en Madre de Dios. Manifestando que el crecimiento en diámetro y altura fue significativamente superior en los tratamientos que tuvieron biocarbón que en el tratamiento control. concluyendo así, que el biocarbón y los fertilizantes aplicados generan un efecto sinérgico en el desarrollo de las especies evaluadas. Sugiriendo que el estudio podría ser utilizado en futuros proyecto de recuperación de áreas degradadas por minería en Madre de Dios.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.2 Degradación de suelos por efectos de la minería en el departamento de Madre de Dios**

La actividad minera en el Perú está normada por el Texto Único Ordenado de la Ley general de Minería y comprende una serie de operaciones siendo los más importantes con relación al medio ambiente, la explotación y el beneficio de minerales. Las fuentes potenciales de contaminación de aguas más significativas de la industria minera son: a) Los efluentes de las canchas de relaves; b) La emisión de polvo y gases; c) Los efluentes líquidos generados por procesos de concentración de minerales; d) El drenaje ácido de mina y drenaje de agua de mina; e) Derrame de aceites.

### **2.2.3 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 2004). 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 (Brokaw 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).

#### **2.2.4. 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 ; Sáenz y Finegan 2000).

### **2.3 Definición de términos**

#### **2.3.1. Definición de 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 2015).

#### **2.3.2. Tipos de parcelas de muestreo**

##### **a. Parcelas rectangulares o fajas**

“Las parcelas rectangulares o fajas se emplean corrientemente en inventarios de bosques naturales” (Prodan et al. 1997). “El ancho de las fajas corresponde a una distancia que permita comprobar fácilmente la situación de árboles en el límite, este puede variar entre 5-20 m, mientras que su longitud puede variar entre 50 y 100 m” (Prodan et al. 1997).

#### **2.4. Diseño de muestreo para fustales y regeneración natural**

Los fustales ( $DAP \geq 10$  cm, hasta  $DAP < 25$  cm), latizales ( $DAP \geq 5$  cm hasta  $DAP < 10$  cm) y brinzales ( $DAP < 5$  cm hasta altura  $\geq 0,30$  m) deben ser registrados en subparcelas de 25 x 10m, 5 x 5m y 2 x 2m respectivamente, al principio (y al final) de las unidades de muestreo. Las subparcelas de 5 x 5m y 2 x 2 m deben tener una distancia mínima de 2 m de la línea central de la faja.

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

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

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo. Según el alcance fue una investigación descriptiva con matices de correlacional (Hernández y Mendoza 2018).

### **3.2. Diseño del estudio**

El diseño del estudio fue no experimental de tipo transversal (Hernández y Mendoza 2018). Debido a que los datos se colectaron en un solo momento sin ninguna intervención ni manipulación de las variables.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Se consideró como población el total de los sitios con regeneración natural que hayan sido abandonadas por actividades de minería aurífera en la comunidad Nativa de San Jacinto. Se excluyeron los sitios con vegetación herbácea.

#### **3.3.2. Muestra**

Para la selección de muestras se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la accesibilidad a los sitios y proximidad a vías de acceso.

### **3.4. Métodos y técnicas**

#### **3.4.1. Lugar de estudio.**

El sector del estudio se encuentra en la Comunidad Nativa de San Jacinto en el distrito de Tambopata, Departamento de Madre de Dios, accediendo desde puerto Maldonado capital del departamento de Madre de Dios, tomando como ruta la carretera interoceánica hasta el km 30, tramo puerto Maldonado -

Cusco, luego adentrando 12 km a la margen izquierda una trocha si afirmar hasta llegar a la Comunidad Nativa de San Jacinto (Figura 1), en la cual se procederá a ubicar las unidades muestrales en las áreas previamente planificadas en zonas donde hubo actividad de minería aurífera artesanal y de pequeña escala y que estas a su vez sean poseedoras de regeneración natural, dentro del contexto general el área en mención se situada en la Selva Sur del Perú, región Madre de Dios, dentro de la zona del corredor minero, gran riqueza sociocultural que hace de estos ecosistemas únicos en el mundo.

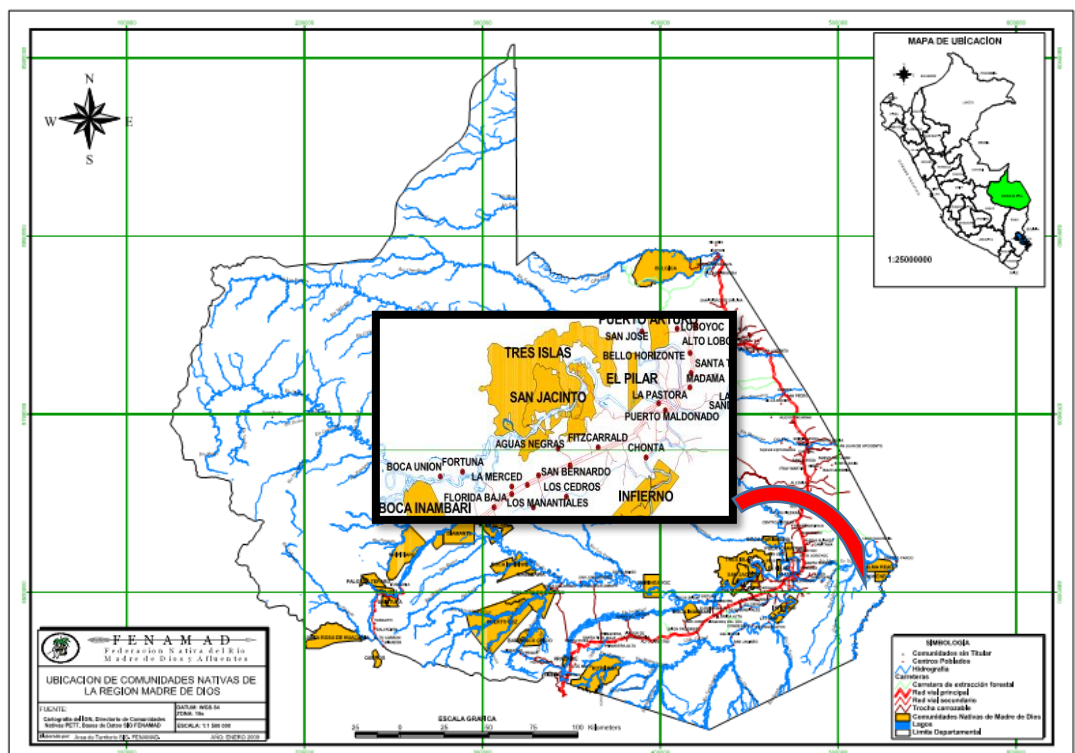


Figura 1: Mapa de ubicación de la comunidad Nativa San Jacinto

### 3.4.1. Ubicación de las parcelas

Se ubicaron los sitios a evaluar tomando como referencia el área que comprende la Comunidad Nativa San Jacinto. Se identificaron las áreas que fueron degradadas y luego abandonadas por la minería aurífera aplicando instrumentos de la teledetección. Dentro de los sitios identificados se distribuyó al azar las parcelas a evaluadas considerando el tiempo de abandono del área. Sin embargo, es importante mencionar que como criterio de inclusión se consideró a los sitios con vegetación mayor a un tiempo de abandono.

### 3.4.2. Caracterización del área de estudio

#### a. Situación del área de estudio

El área donde se instalaron las unidades muestrales abarca la totalidad del área de la comunidad nativa de San Jacinto, enfatizando en las zonas categorizadas como bosques secundarios generada por la actividad de minería aurífera artesanal y de pequeña escala, siendo abandonados o dejados por no encontrar más recurso a explotar en la perspectiva del morador de la zona.

#### b. Fisiografía

El área de las concesiones se encuentra a una altitud media de 220 metros sobre el nivel del mar, la mayor parte del terreno es una terraza alta ligeramente disectada (GOREMAD-IIAP 2008). De acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge, el área de estudio corresponde a la zona de vida Bosque Húmedo Sub-Tropical (bh-S) (Aybar et al. 2017).

#### c. Hidrología:

El sistema hidrológico del área de estudio está conformado por la cuenca del río Madre de Dios.

#### d. Clima

El clima es cálido tropical, Considerando el periodo 1980-2017, la temperatura media anual es  $25.4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ , mientras que la precipitación anual es 2120 mm. El área de estudio presenta una estación seca de junio a septiembre, cuando la precipitación es menor a 100 mm, con valores mínimos entre los 12 y 20 °C y máximos entre 33 y 37 °C (SENAMHI 2018 ; Aucahuasi 2017).

#### e. Vegetación

En los bosques del área de estudio las especies con mayor importancia son *Astrocaryum murumuru*, *Virola surinamensis*, *Guarea macrophylla*, *Spondias mombin*, *Brosimum lactescens*, *Inga sertulifera*, *Dendropanax arboreus*, *Inga marginata*, *Gallesia integrifolia* y *Leonia crassa* (Canahuire 2017). En las áreas con reciente abandono por minería aurífera (5 años), las especies más frecuentes son *Inga marginata*, *Cecropia membranacea*, *Trema micrantha*,



*Salix humboldtiana*, *Ochroma pyramidale* y *Tessaria integrifolia* (Canahuire 2017).

### 3.4.3. Instalación de las parcelas

Se utilizó las imágenes satelitales para la ubicación y establecimiento de las parcelas de 10 m x 25 m (Figura 2). En cada parcela se identificaron a todos los individuos con un diámetro a la altura de pecho (DAP) mayor a 1 cm, y se le midió su diámetro a la altura del pecho (DAP) y su altura total.

Diseño que nos permitió representar la composición florística del lugar. Para la determinación de la cubierta se empleó el diseño de las subparcelas la cual fue de 2 m x 2 m (Figura 2). Para la caracterización de la cobertura boscosa porcentual, se consideró todos los tipos de cobertura existentes en dichas áreas, del mismo modo mediante las subparcelas poder establecer la cobertura por categoría de edad.

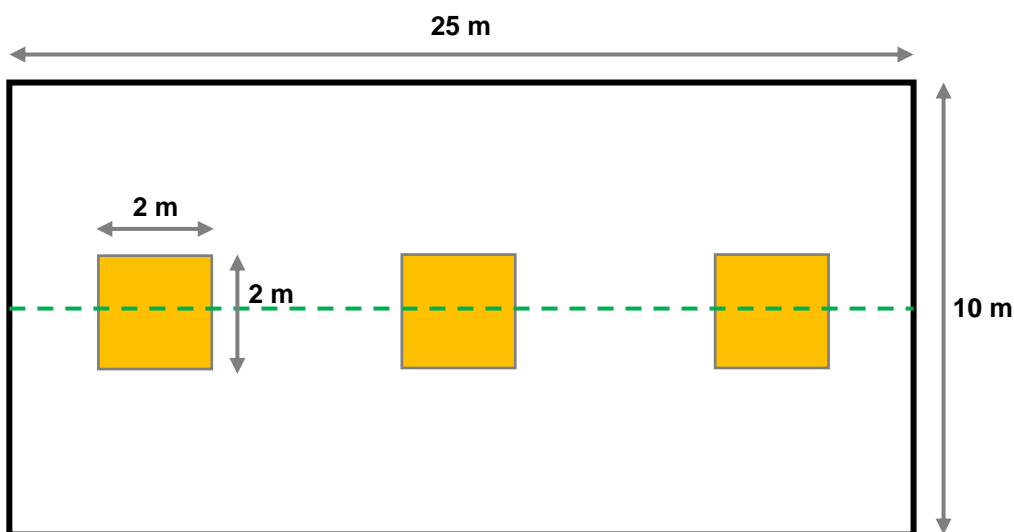


Figura 2. Distribución de las parcelas y subparcelas

### 3.4.4. Información para registrar

Dentro de cada parcela se establecieron 3 subparcelas de 4 m<sup>2</sup>, trazando una proyección media a 5 metros ambos lados en forma transversal de la parcela e instaurando cada 4,75 cm. las subparcelas (orilla 1, Medio y orilla 2) donde se estimó la cobertura del suelo (arbustos, lianas, hojarasca, herbáceas, Cancha, Lama, desechos mineros, subleñosa, leñosa y suelo desnudo).

La información necesaria para la evaluación del desarrollo de las especies nativas arbóreas en sus distintos estadios de regeneración encontrada en las

parcelas establecidas se realizó en un formato diseñado para facilitar la toma de datos.

Considerando las especies leñosas mayores a 1 cm de DAP, que se encuentren dentro de las parcelas instaladas, se realizaron las descripciones generales, identificación, colección de la muestra, codificación y herborización. Para determinar la cobertura del suelo por la vegetación en sus diversos estadios u otros organismos (arbustos, lianas, hojarasca, herbáceas, Cancha, Lama, desechos mineros, sub leñosa, leñosa y suelo desnudo), se registró todos los organismos que ocupen un espacio en las tres subparcelas establecidas (orilla 1 medio y orilla 2) determinando su dominio de cobertura en forma porcentual.

#### **3.4.5. Recursos materiales.**

Los recursos materiales a utilizados fueron los siguientes:

- Libreta de campo.
- Prensa botánica para los especímenes colectados en campo.
- Pico y pala.
- Tijeras de podar.
- Papel periódico.
- Lupas de mano de 10x.
- Lápices.
- Plumones indelebles o marcadores.
- Tijera telescópica.
- Marcadores de plástico
- Bolsas de plástico para el material fresco
- Bolsas pequeñas herméticas para frutos o semillas
- Rafias (100 m)
- Formato de hoja de datos
- Cinta de agua (color: rojo)
- Pilas Duracell AA.
- Botas de jebe

- Poncho de plástico o impermeable.

### **3.4.6. Equipos y Materiales**

Los equipos y herramientas a utilizados fueron los siguientes:

- Receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) GARMIN 60 CSX Map.
- Cámara fotográfica digital SONY DS 700.
- Computadora portátil HP core i5.
- Impresora.
- Software ARCGIS 10.5
- Clinómetro SUUNTO.
- Binoculares.
- Tijera podadora.
- Machete.
- Winchas de 50 metros.
- Cintas diamétricas (10 y 50 m).
- Vernier.
- Winchas de 3 metros.

## **4. Tratamiento de datos**

Una vez obtenido la información de campo se analizaron mediante pruebas estadísticas enmarcando los aspectos como: El Análisis descriptivo, el Análisis estadístico por Tipo de Regeneración enfatizando en sus diversas etapas u estadios, Análisis estadístico de composición florística mostrando su importancia y abundancia que representa, Análisis estadístico de cobertura en los distintos tiempos de abandono de las áreas a evaluar.

Previo al análisis inferencial se evaluarán los supuestos paramétricos de normalidad y homogeneidad de varianzas, utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y de Levene, respectivamente. Se realizará un análisis de varianza de las variables: Área basal/ha, Individuos/ha, Número de especies, Diámetro promedio, Altura promedio, considerando el periodo de abandono como factor

y la prueba de posprueba de Tukey. Para modelar la relación entre las variables se realizará un análisis de regresión simple (linear o no-linear).

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Composición florística

En las 12 parcelas evaluadas se registraron 451 individuos, representando a 21 familias botánicas y 58 especies (Tabla 1). Fabaceae, Moraceae y Euphorbiaceae fueron las familias con mayor número de especies, con 14, 6 y 6 especies, respectivamente (Tabla 2). Similar patrón, de las familias con mayor número de especies, fue encontrados por otros estudios en bosques sucesionales post minería en la Amazonia (Valdez-Hernández et al. 2019 ; Miranda-Neto et al. 2014). El tiempo de abandono de las parcelas evaluadas varía entre 1 hasta 6 años. *Chromolaena laevigata*, *Ochroma pyramidale* y *Cecropia membranacea* fueron las especies más frecuentes, presentes en más del 66% de las parcelas (Tabla 2). La colonización por estas especies pioneras en la sucesión primaria debería ser considerado en los proyectos de restauración, como un esquema de rápido inicio para recuperar la productividad de las áreas degradadas por minería (Novianti et al. 2018). Asimismo, la presencia de *Chromolaena laevigata* sugiere un alto nivel de disturbio (Akinbiola et al. 2016) por la minería aurífera en la comunidad San Jacinto.

El análisis de la composición florística realizado mediante intervalos de tiempo (Tabla 2) nos permite caracterizar la cobertura vegetal en las áreas degradadas. Los cambios en las comunidades vegetales que ocurren en los sitios evaluados indican una tendencia de avance en la sucesión. De esta manera, las especies pioneras vienen siendo sustituidas por especies de grupos ecológicos tardíos (Rodrigues, Martins y de Barros 2004). Por ejemplo, especies de *Cecropia membranacea* es muy frecuente y abundante en las parcelas de 1-3 años de abandono, sin embargo, se encontraron pocos

individuos en las parcelas con mayor tiempo de abandono (6 años). Por otro lado, especies del género *Ficus* (especie secundaria temprana) solo está presente en las áreas con más de 4 años de abandono (Tabla 2).

**Tabla 2.** Ubicación geográfica y riqueza de especies en 12 parcelas evaluadas de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

Parcela	Edad (Años)	Coordenadas UTM		N° de Individuos / Parcela	N° de Especies / Parcela	especies Nuevas / Parcelas	especies nuevas acumuladas
		Este	Norte				
I	2	459241	8608979	43	7	7	7
II	1	458891	8609077	12	5	2	9
III	3	456602	8606665	50	15	12	21
IV	3	455366	8606906	41	9	4	25
V	2	455655	8607029	21	4	1	26
VI	4	456034	8606569	74	16	10	36
VII	4	456262	8606717	19	8	3	39
VII	4	457328	8606410	48	10	4	43
IX	5	457705	8606367	45	11	4	47
X	5	457447	8606780	42	11	1	48
XI	6	458267	8607047	21	13	6	54
XII	6	457706	8606781	35	11	4	58
Total				451	58		

**Tabla 3.** Abundancia de especies según familia encontrados en las 12 parcelas evaluadas de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

	Parcelas											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Tiempo de abandono (años)</b>	2	1	3	3	2	4	4	4	5	5	6	6
<b>ASTERACEAE</b>												
<i>Chromolaena laevigata</i>	1		18	22		11		11	19	15		8
<i>Tessaria integrifolia</i>				4	6							
<i>Vernonanthura patens</i>								1				
<b>BIXACEAE</b>												
<i>Bixa urucurana</i>			6			1						
<b>BORAGINACEAE</b>												
<i>Cordia sp</i>												1
<b>EUPHORBIACEAE</b>												
<i>Alchornea triplinervia</i>												1
<i>Conceveiba guianensis</i>												1
<i>Margaritaria nobilis</i>			1	2						1	1	
<i>Pera benensis</i>									2			
<i>Sapium glandulosum</i>			1				1					
<i>Sapium marmieri</i>						1						1
<b>FABACEAE</b>												
<i>Aeschynomene sp</i>					3							
<i>Andira multistipula</i>								3				
<i>Dalbergia monetaria</i>						1						
<i>Dioclea virgata</i>	2											
<i>Erythrina poeppigiana</i>							1					
<i>Inga edulis</i>	1											
<i>Inga marginata</i>				2								
<i>Inga nobilis</i>			1									
<i>Inga oersteriana</i>								1				
<i>Inga punctata</i>		1										
<i>Inga ruiziana</i>						1						
<i>Machaerium sp</i>				1								
<i>Mimosa pellita</i>			1		11							
<i>Schizolobium parahyba</i>			5									1
<b>HYPERICACEAE</b>												
<i>Vismia glaziovii</i>						5						
<b>MALVACEAE</b>												
<i>Apeiba aspera</i>												6
<i>Apeiba tibourbou</i>						1						1
<i>Ceiba samauma</i>								1				
<i>Guazuma crinita</i>		1						3				
<i>Guazuma ulmifolia</i>			3						2		1	

<i>Malachra sp</i>			1					1	
<i>Ochroma pyramidale</i>	1	1	2	37	1			1	1 2
<b>MORACEAE</b>									
<i>Ficus americana</i>									2
<i>Ficus guianensis</i>				1					
<i>Ficus insipida</i>						1			
<i>Ficus juruensis</i>				1					
<i>Ficus krukovii</i>							1		
<i>Ficus obtusifolia</i>							1		1
<b>MUNTINGIACEAE</b>									
<i>Muntingia calabura</i>	5	3						1	
<b>MYRTACEAE</b>									
<i>Psidium guajava</i>			1	1	1	1		1	
<b>PHYLLANTACEAE</b>									
<i>Hyeronima alchorneoides</i>									1
<b>PIPERACEAE</b>									
<i>Piper aduncum</i>	9	1		2		1	1	1	2
<b>POACEAE</b>									
<i>Gynerium sagittatum</i>					6				2
<b>RUBIACEAE</b>									
<i>Landenbergia sp</i>				1		1	3		
<i>Uncaria guianensis</i>				1					1
<b>RUTACEAE</b>									
<i>Zanthoxylum sprucei</i>									2
<b>SALICACEAE</b>									
<i>Casearia aculeata</i>		1							
<i>Casearia sp</i>									1
<b>SIMAROUBACEAE</b>									
<i>Simaba sp</i>								1	
<b>SOLANACEAE</b>									
<i>Solanum caricaefolium</i>									2
<i>Solanum rugosum</i>							1		1
<i>Solanum sessile</i>		1							
<b>ULMACEAE</b>									
<i>Trema micrantha</i>		1	3		5			1	1
<b>URTICACEAE</b>									
<i>Bixa urucurana</i>		1							
<i>Cecropia engleriana</i>						1			
<i>Cecropia membranacea</i>	24	5	7	4	8	3	23	13	2 4
<i>Coussapoa ovalifolia</i>					1			1	1
<i>Ochroma pyramidale</i>		1							
<b>VERBENACEAE</b>									
<i>Lantana camara</i>		1				2	1	17	10



## 4.1 Análisis florístico y estructural de la regeneración natural y su relación con el tiempo de abandono por actividades mineras.

### 4.1.1 Atributos estructurales y riqueza de especies según categoría de regeneración natural.

La densidad de individuos estimada en el área de estudio fue de 1503 ind. /ha (Tabla 4). El área basal (AB) promedio fue de 37,6 m<sup>2</sup>/ha. Como se esperaba los valores más bajos de AB correspondieron a los con menor tiempo de abandono, de 1 a 2 años (0,14 - 0,20 m<sup>2</sup>/ha). Mientras que los valores más altos de AB se encontraron en las áreas entre 4 y 6 años de abandono (> 4 m<sup>2</sup>/ha) (Tabla 4). El diámetro promedio de los individuos fue de 3,6 cm y la altura promedio fue de 3,1 m.

**Tabla 4.** Análisis florístico y estructural general de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. AB = Área basal, DAP = diámetro a la altura del pecho y H = altura total.

Parcela	Tiempo de abandono	Densidad (Ind. /ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Especies / Parcela			DAP promedio (m)	H promedio (m)	
				Total	Brinzal	Latizal			Fustal
1	2	1720	0,20	43	39	3	1	3,21	2,98
2	1	480	0,15	12	12	0	0	1,88	1,80
3	3	2000	3,78	50	42	6	2	3,70	2,95
4	3	1640	0,14	41	37	3	1	2,76	2,48
5	2	840	0,16	21	21	0	0	1,50	1,47
6	4	2960	4,08	74	61	12	1	3,61	4,03
7	4	760	4,66	19	15	2	2	5,53	4,67
8	4	1920	3,13	48	38	10	0	3,99	3,77
9	5	1800	2,86	45	39	4	2	3,34	2,71
10	5	1680	1,84	42	41	0	1	2,47	2,13
11	6	840	5,71	21	7	9	5	7,99	5,48
12	6	1400	2,33	35	31	2	2	3,54	3,22
<b>Promedio</b>		1503,3	2,4	37,6	31,9	4,3	1,4	3,6	3,1

En promedio se encontró 37 individuos por parcela. El análisis de la riqueza de especies según categorías de regeneración (brinzal, latizal y fustal) mostró que los brinzales presentaron una mayor riqueza de especies (> 30 especies) y los fustales presentaron una menor riqueza de especies (Tabla 4). Se observó un incremento en la riqueza de especies de latizales y fustales a medida que aumenta el tiempo de abandono. Es decir, se encontró una mayor riqueza de especies de latizales y fustales en los sitios con un tiempo de abandono mayor a 4 años.

Por otro lado, es interesante mencionar que en todas las parcelas de 5 y 6 años de abandono se encontraron individuos de fustales. A diferencia de los sitios con tiempo de abandono entre 1 a 3 años, en algunas de estas parcelas no se encontró individuos de latizales y fustales (Tabla 4).

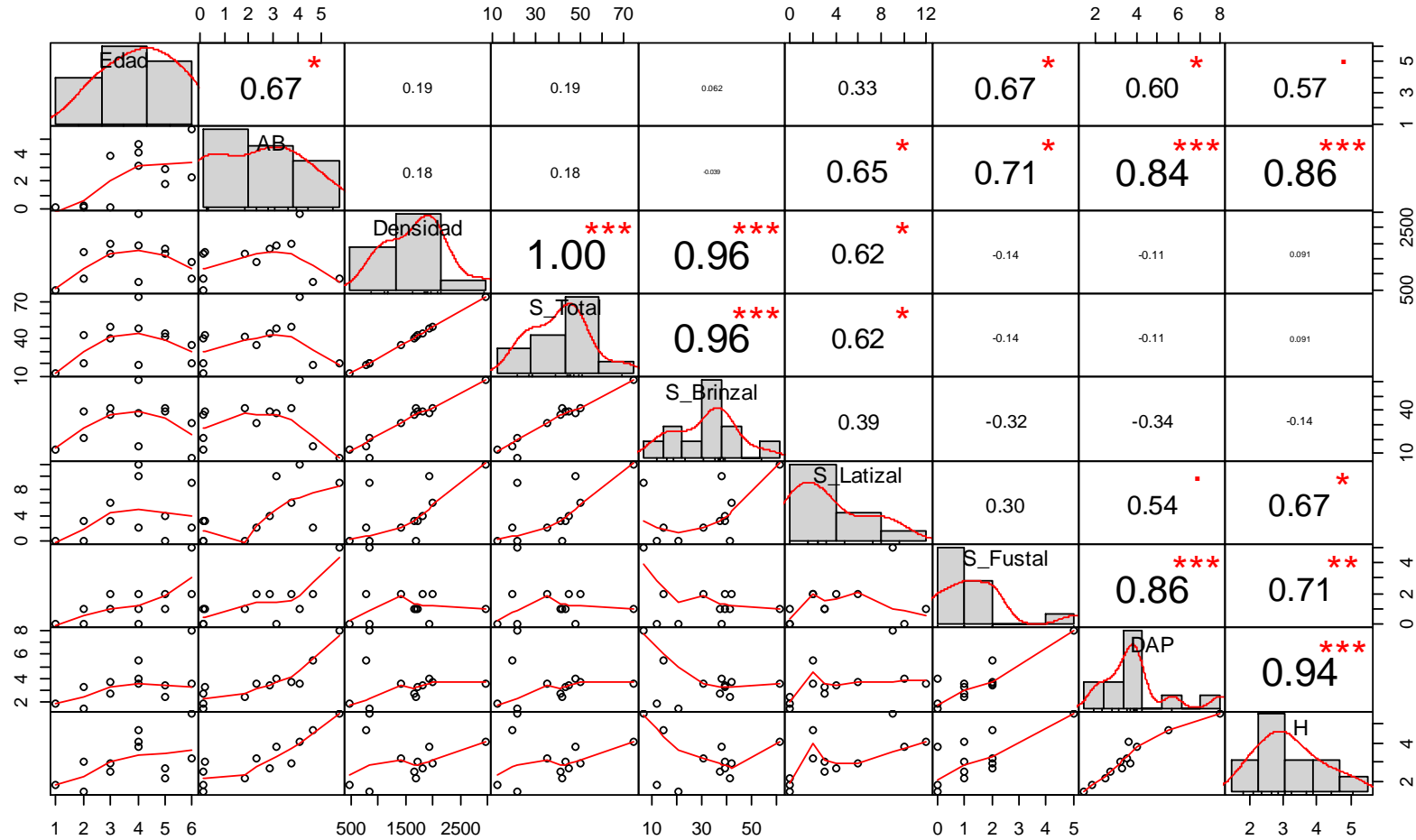
#### **4.1.2 Análisis de correlación entre el tiempo de abandono, riqueza de especies y atributos estructurales**

La matriz de correlación lineal múltiple entre el tiempo de abandono (edad), riqueza de especies y atributos estructurales de los bosques evaluados se muestra en la Figura 3. El tiempo de abandono está correlacionado directa y significativamente con el área basal ( $r = 0,67$ ,  $p\text{-valor} < 0,05$ ), riqueza de especies de fustales ( $r = 0,67$ ,  $p\text{-valor} < 0,05$ ) y con el DAP ( $r = 0,60$ ,  $p\text{-valor} < 0,05$ ). Esto sugiere una recuperación de la riqueza de especies y los atributos estructurales de estos bosques a lo largo de la sucesión. Otra variable con un elevado coeficiente de correlación con el tiempo de abandono, aunque no significativo, fue la altura promedio ( $r = 0,57$ ,  $p\text{-value} > 0,05$ ) (Figura 3).

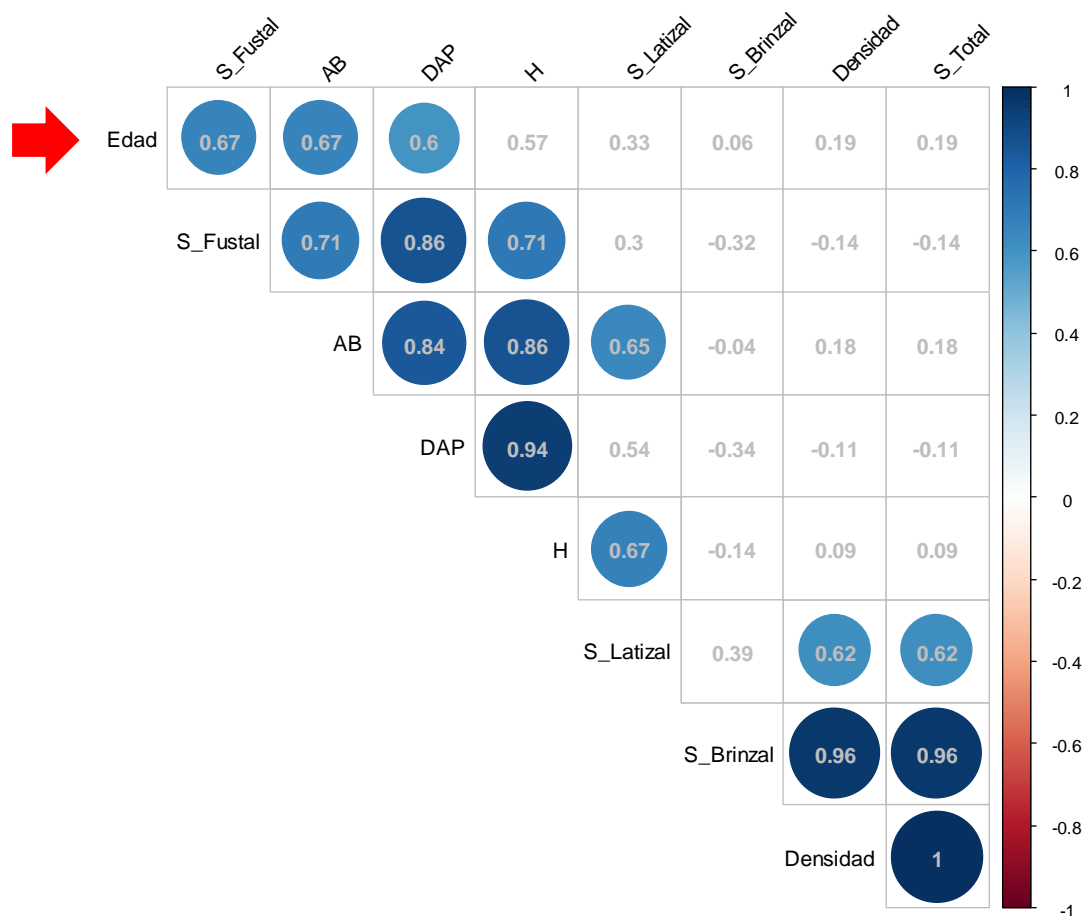
Por otro lado, el área basal se relaciona de forma directa y significativa con la riqueza de latizales ( $r = 0,65$ ,  $p\text{-valor} < 0,05$ ), riqueza de fustales, ( $r = 0,71$ ,  $p\text{-valor} < 0,01$ ) DAP ( $r = 0,84$ ,  $p\text{-valor} < 0,05$ ) y altura total ( $r = 0,86$ ,  $p\text{-valor} < 0,01$ ) (Figura 3).

En el correlograma (Figura 4) muestra de forma ordenada los resultados de la correlación entre las variables evaluadas, y selecciona a aquellas que presente una relación significativa.

Considerando la matriz de correlaciones (Figura 3), es interesante mencionar que no se encontró una relación significativa entre el tiempo de abandono, densidad y riqueza de especies de brinzales, debido a que estas variables estarían relacionadas de forma no lineal, tal como se observa en los gráficos de dispersión (Figura 3).



**Figura 3.** Análisis de correlación múltiple entre el tiempo de abandono y la riqueza de especies y atributos florísticos en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. Edad = tiempo de abandono, S = riqueza de especies, DAP = diámetro a la altura del pecho y H = altura. Los valores de significancia (p-valor) corresponden a: \*\*\* < 0,001; \*\* < 0,01; \* < 0,05 y • < 0. 1.



**Figura 4.** Correlograma de la selección de variables (riqueza de especies y atributos florísticos) que tienen una relación significativa con el tiempo de abandono en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. Edad = tiempo de abandono, S = riqueza de especies, DAP = diámetro a la altura del pecho y H = altura. Los valores corresponden al coeficiente de correlación de Pearson, y los que tengan un círculo corresponden a una relación significativa entre las variables (P-valor < 0,05).

#### 4.1.3 Análisis de regresión no lineal entre el tiempo de abandono y (1) riqueza de especies, (2) área basal y (3) densidad de individuos.

Se utilizaron 10 modelos no lineales para el análisis de regresión entre el tiempo de abandono y las variables que previamente se identificaron que no tenían una relación no lineal. Para discriminar entre el mejor modelo que explique la relación entre dos variables se utilizaron los siguientes criterios:

(1) P-valor al 5% de significancia, (2) coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) y (3) minimización de los residuos del modelo (MCO).

#### 4.1.4. Tiempo de abandono vs densidad de individuos

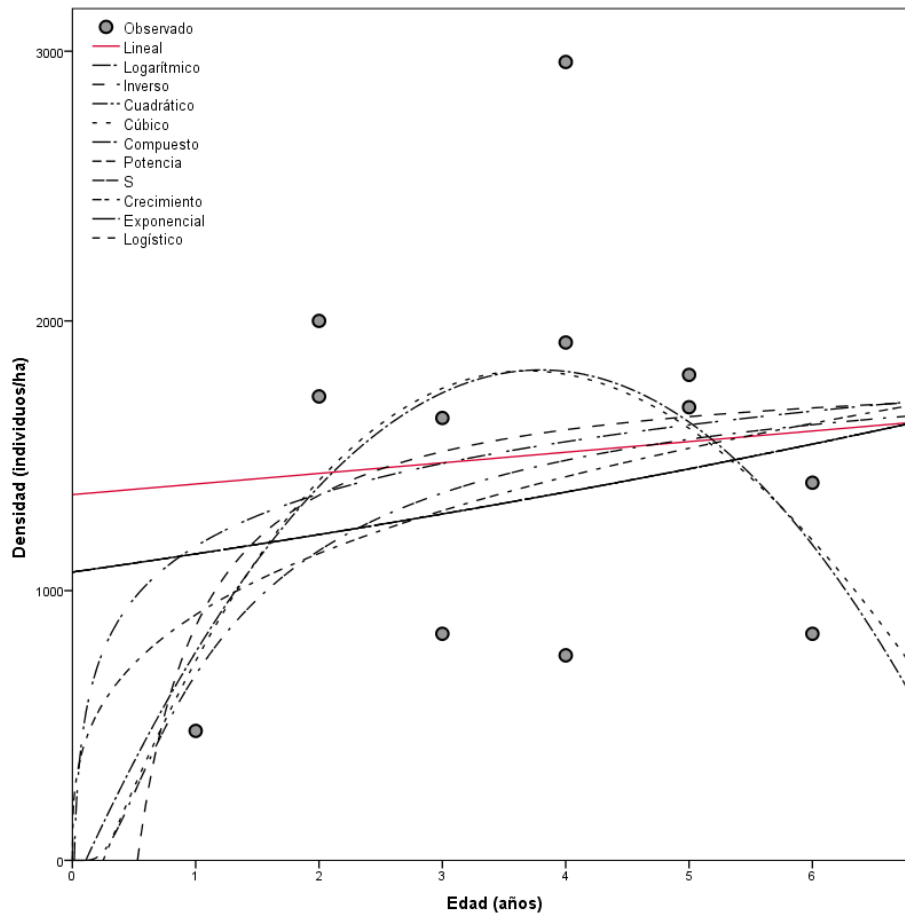
De los modelos de regresión lineales y no lineales utilizados, ninguno resultó significativo en la relación entre el tiempo de abandono y la densidad de individuos. Es decir, con una probabilidad de error del 5% ( $P\text{-valor} > 0.05$  en todos los modelos) nuestros resultados sugieren que los cambios en el tiempo de abandono no están asociados con cambios en la densidad de individuos (Tabla 5). Así se la acepta la hipótesis nula de que los coeficientes ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y/o  $\beta_3$ ) de los modelos son ceros y se declara la no validez global de todos los modelos.

**Tabla 5.** Resumen del análisis de regresión entre el tiempo de abandono (variable independiente) y la densidad de individuos (variable dependiente) de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

Ecuación	Resumen del modelo			Estimaciones de los parámetros			
	R <sup>2</sup>	F	P-valor	Constante	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
Lineal	0,01	0,084	0,777	1355,988	39,292		
Logarítmica	0,05	0,489	0,500	1164,340	279,682		
Inversa	0,11	1,241	0,291	1839,396	-971,747		
Cuadrático	0,23	1,353	0,306	-108,837	1014,922	-133,632	
Cúbico	0,23	0,806	0,525	-294,612	1228,859	-201,205	6,258
Compuesto	0,04	0,369	0,557	1068,771	1,063		
Potencia	0,11	1,214	0,296	910,644	0,322		
Curva-S	0,21	2,737	0,129	7,558	-1,023		
Crecimiento	0,04	0,369	0,557	6,974	0,061		
Exponencial	0,04	0,369	0,557	1068,771	0,061		
Logística	0,04	0,369	0,557	0,001	0,941		

En la Figura 5 se observa los 10 modelos no lineales ajustados en la relación entre el tiempo de abandono y la densidad de individuos, además se resalta en rojo el modelo de regresión lineal simple. Estos resultados nos sugieren

que el tiempo de abandono no sería un buen predictor de la abundancia de regeneración natural en el área de estudio.



**Figura 5.** Diagrama de dispersión y ajuste de modelos lineal y no lineal entre el tiempo de abandono (edad) y la riqueza total de especies de regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

#### 4.1.5. Tiempo de abandono vs riqueza de especies

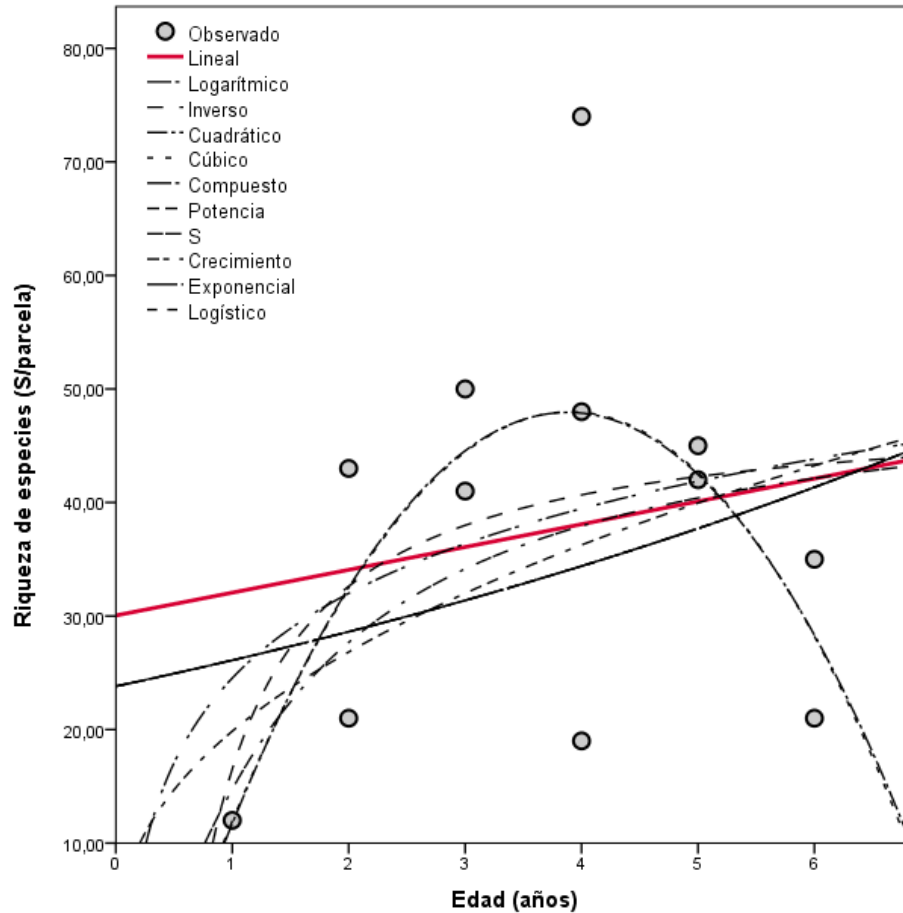
De los modelos de regresión lineales y no lineales utilizados, ninguno resultó significativo en la relación entre el tiempo de abandono y la riqueza de especies. Es decir, con una probabilidad de error del 5% ( $P\text{-valor} > 0.05$  en todos los modelos) nuestros resultados sugieren que los cambios en el tiempo de abandono no están asociados significativamente con cambios en la riqueza de especies (Tabla 6). Así se acepta la hipótesis nula de que los coeficientes ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y/o  $\beta_3$ ) de los modelos son ceros y se declara la no validez global de todos los modelos.

**Tabla 6.** Resumen del análisis de regresión entre el tiempo de abandono (variable independiente) y la riqueza de especies (variable dependiente) de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

Ecuación	Resumen del modelo			Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	<i>P</i> -valor	Constante	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
Lineal	0,035	0,362	0,561	30,050	2,009		
Logarítmica	0,111	1,245	0,291	24,529	10,770		
Inversa	0,194	2,410	0,152	48,725	-32,216		
Cuadrático	0,415	3,199	0,089	-17,804	33,882	-4,366	
Cúbico	0,416	1,896	0,209	-16,584	32,477	-3,922	-0,041
Compuesto	0,080	0,873	0,372	23,813	1,096		
Potencia	0,198	2,464	0,148	19,852	0,435		
Curva-S	0,326	4,836	0,053	3,951	-1,260		
Crecimiento	0,080	0,873	0,372	3,170	0,092		
Exponencial	0,080	0,873	0,372	23,813	0,092		
Logística	0,080	0,873	0,372	0,042	0,912		

En la Figura 6, se observa los 10 modelos no lineales ajustados en la relación entre el tiempo de abandono y la riqueza de especies, además se resalta en rojo el modelo de regresión lineal simple. Estos resultados nos sugieren que el tiempo de abandono no sería un buen predictor de la riqueza total de especies de regeneración natural en el área de estudio. Similar a los modelos de regresión ajustados para la densidad de individuos, se observa una gran diferencia entre los valores observados y modelados (residuos), incluso en la riqueza y abundancia de especies para parcelas de similar tiempo de abandono (Figura 6).





**Figura 6.** Diagrama de dispersión y ajuste de modelos lineal y no lineal entre el tiempo de abandono (edad) y la riqueza total de especies de regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

#### 4.1.6. Tiempo de abandono vs área basal

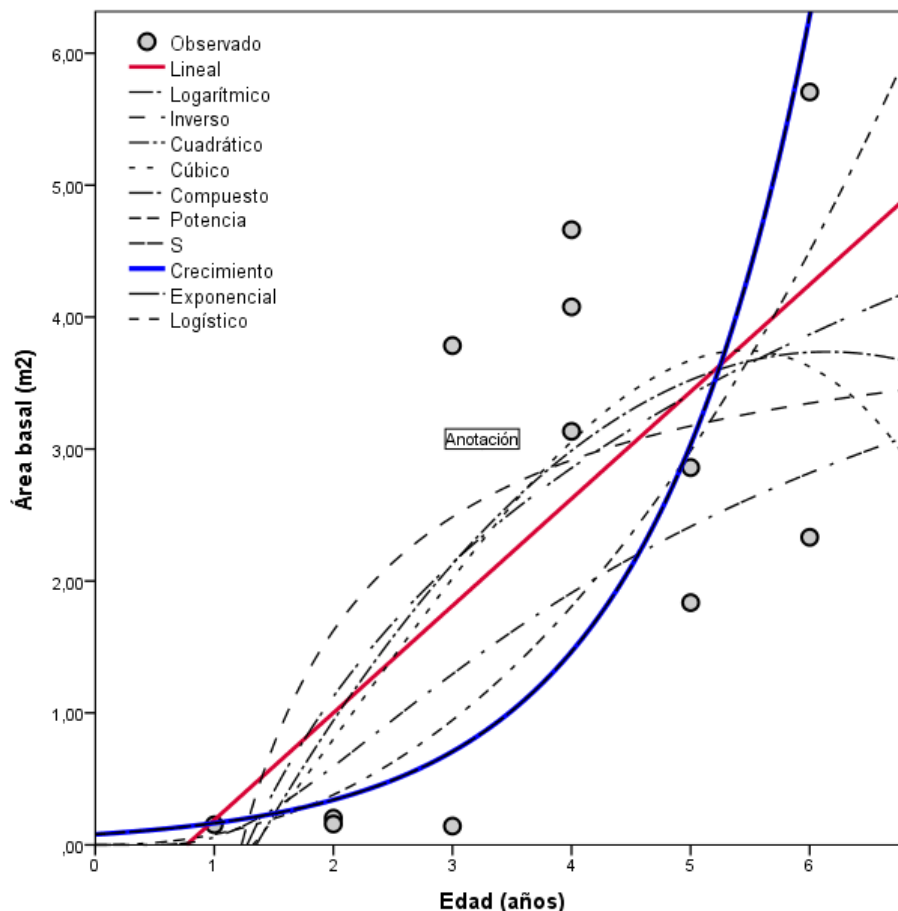
De los modelos de regresión lineales y no lineales utilizados, a diferencia de los modelos previos en la densidad y riqueza de especies, en el área basal varios resultaron significativos en la relación con el tiempo de abandono. Es decir, con una probabilidad de error del 5% nuestros resultados sugieren que los cambios en el tiempo de abandono están asociados significativamente con cambios en el área basal de la vegetación en los sitios evaluados (Tabla 7). Así se rechaza la hipótesis nula de que los coeficientes ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y/o  $\beta_3$ ) de los modelos son ceros y se declara la validez global de todos los modelos lineal ( $P$ -valor < 0,05), logarítmica ( $P$ -valor < 0,05), inversa ( $P$ -valor < 0,05),

compuesto ( $P$ -valor < 0,001), potencia ( $P$ -valor < 0,001), crecimiento ( $P$ -valor < 0,001), exponencial ( $P$ -valor < 0,001) y logístico ( $P$ -valor < 0,001) (Tabla 7).

**Tabla 7.** Resumen del análisis de regresión entre el tiempo de abandono (variable independiente) y el área basal (variable dependiente) de la regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. SCE = Suma de cuadrados de los residuos.

Ecuación	Resumen del modelo				Estimaciones de los parámetros			
	R cuadrado	F	Sig.	SCE	Constante	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
Lineal	0,445	8,004	0,018	88,9	-0,623	0,811		
Logarítmica	0,464	8,665	0,015	159,9	-0,608	2,498		
Inversa	0,390	6,399	0,030	3304,3	4,210	-5,173		
Cuadrático	0,486	4,249	0,050	71,2	-2,404	1,998	-0,163	
Cúbico	0,490	2,565	0,128	59,0	-1,207	0,619	0,273	-0,040
Compuesto	0,589	14,308	0,004	36,8	0,080	2,071		
Potencia	0,619	16,280	0,002	31,0	0,080	2,251		
S	0,523	10,960	0,008	23,7	1,815	-4,670		
<b>Crecimiento</b>	<b>0,589</b>	<b>14,308</b>	<b>0,004</b>	<b>12,8</b>	<b>-2,531</b>	<b>0,728</b>		
Exponencial	0,589	14,308	0,004	36,8	0,080	0,728		
Logística	0,589	14,308	0,004	29,3	12,567	0,483		

Por otro lado, considerando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y minimización de los residuos del modelo (MCO) se seleccionó al modelo de **crecimiento** ( $Y = e^{(\beta_0 + \beta_1 * X)}$ ) como el mejor modelo que explica la relación entre el tiempo de abandono y el área basal. Esto debido a que este modelo genera un menor suma de cuadrados de los residuos (SCE = 12,8) y un elevado coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.59$ ) (Tabla 6), indicando que el 59% de la variación en el área basal esta explicado por el tiempo de abandono. Es importante mencionar que el modelo **potencia** presentó un mayor coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.62$ ), sin embargo, genero un 242% más de residuos que el modelo de **crecimiento**.



**Figura 7.** Diagrama de dispersión y ajuste de modelos lineal y no lineal entre el tiempo de abandono (edad) y el área basal de regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

#### 4.1.7. Análisis de similitud de especies de (Índice Jaccard) por categorías de edad

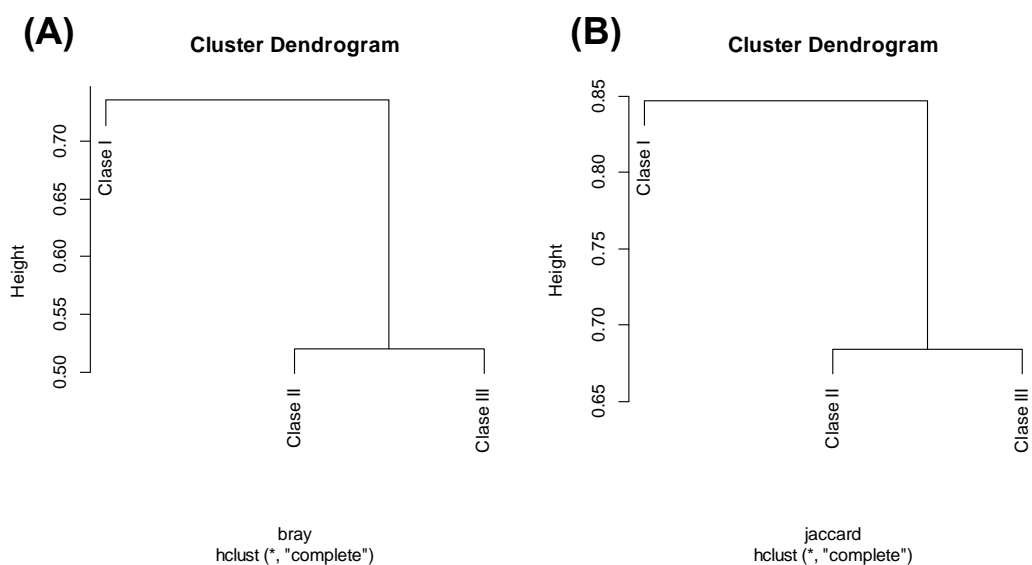
La similitud en la composición florística fue superior entre las clases con mayor tiempo de abandono (II y III), entre 3-4 y 5-6 años, en ambos índices de similitud (Bray-Curtis y Jaccard) (Tabla 7). La menor similitud florística se encontró entre la clase de mayor tiempo de abandono (5-6 años) y la con menor (1-2 años) tiempo de abandono. Esta afinidad en la composición florística también entre la Clase II y Clase III se observa en el dendrograma (Figura 8), con una disimilitud inferior al 70%.

**Tabla 8.** Similitud florística entre las categorías de tiempo de abandono, utilizando dos índices de similitud (Jaccard y Bray-Curtis) en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. Clase I = 1 y 2 años, Clase II = 3 y 4 años, y Clase III = 5 y 6 años.

(a) Índice de similitud de Bray-Curtis			
	Clase I	Clase II	Clase III
Clase I	-		
Clase II	36,5	-	
Clase III	33,9	61,1	-

(b) Índice de similitud de Jaccard			
	Clase I	Clase II	Clase III
Clase I	-		
Clase II	16,7	-	
Clase III	12,5	20,8	-

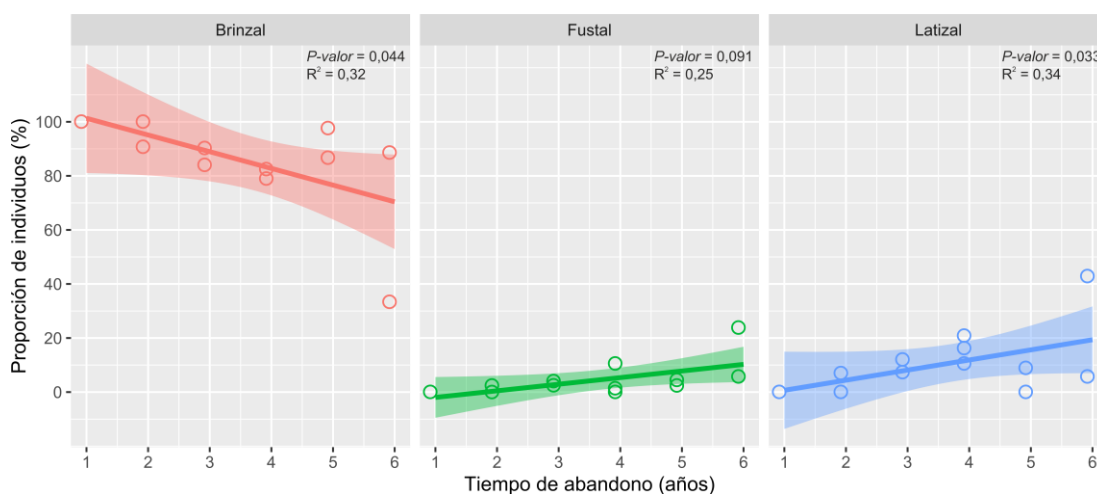


**Figura 8.** Dendrograma de la similitud florística entre categorías de tiempo de abandono, utilizando las distancias de Bray-Curtis (A) y Jaccard (B) en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

#### 4.1.8. Análisis por Tipo de Regeneración (brinzal, latizal, fustal)

En la Tabla 8, se muestra los resultados de los atributos florísticos y estructurales de las áreas evaluadas según categorías de regeneración natural (brinzal, latizal y fustal). El área basal de los brinzales disminuyó a medida que aumenta el tiempo de abandono, a diferencia de los fustales en el cual el área basal se incrementó con el tiempo de abandono (Tabla 9). El promedio de altura de los brinzales y latizales no varió significativamente a lo largo del tiempo de abandono. Sin embargo, en los fustales, la altura promedio se incrementó con el tiempo de abandono (Tabla 9).

El mayor número de especies de fustales se encontró en las parcelas con 6 años de abandono (5-20 especies). el mayor número de especies de brinzales y latizales se encontraron en las parcelas con 4 años de abandono (Tabla 9). Otro resultado interesante que encontramos fue los cambios significativos en la proporción de individuos de brinzales, latizales y fustales a lo largo de tiempo de abandono. La proporción de brinzales disminuyó significativamente ( $R^2 = 0.32$ ,  $P\text{-valor} < 0,05$ ) (Figura 9). A diferencia de la proporción fustales ( $R^2 = 0.34$ ,  $P\text{-valor} < 0,05$ ) que se incrementaron de forma significativa con el tiempo de abandono, mientras que la proporción de latizales aumentó, aunque no de forma no significativa ( $R^2 = 0.25$ ,  $P\text{-valor} > 0,05$ ).



**Figura 9.** Diagrama de dispersión y ajuste de modelos de regresión lineal entre el tiempo de abandono (edad) y la proporción de individuos de brinzales, latizales y fustales de

regeneración natural en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

**Tabla 9.** Análisis florístico y estructural según categorías de regeneración natural (brinzal, latizal y fustal) en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

Parcela	Tiempo de abandono	Brinzales					Latizales					Fustales				
		Densidad (Ind. /ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Especies / Parcela	DAP promedio (m)	H promedio (m)	Densidad (Ind. /ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Especies / Parcela	DAP promedio (m)	H promedio (m)	Densidad (Ind. /ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Especies / Parcela	DAP promedio (m)	H promedio (m)
1	2	1560	1,04	39	2,65	2,67	120	0,60	3	7,83	5,33	40	0,38	1	11,00	8,00
2	1	480	0,15	12	1,56	1,80										
3	3	1680	1,15	42	2,72	2,47	240	0,76	6	6,30	4,50	80	1,88	2	16,35	8,50
4	3	1480	0,70	37	2,27	2,18	120	0,35	3	6,07	3,00	40	0,38	1	11,00	12,00
5	2	840	0,16	21	1,50	1,47										
6	4	2440	1,76	61	2,83	3,41	480	1,86	12	6,88	6,75	40	0,45	1	12,00	9,00
7	4	600	0,37	15	2,67	3,12	80	0,37	2	7,50	6,00	80	3,93	2	25,00	15,00
8	4	1520	1,20	38	3,02	3,28	400	1,93	10	7,66	5,60					
9	5	1560	0,79	39	2,37	2,18	160	0,65	4	7,00	5,33	80	1,42	2	15,00	9,00
10	5	1640	0,58	41	2,04	1,82						40	1,26	1	20,00	15,00
11	6	280	0,32	7	3,73	3,00	360	1,57	9	7,30	4,56	200	3,81	5	15,20	10,60
12	6	1240	0,76	31	2,61	2,41	80	0,43	2	8,00	8,00	80	1,15	2 0	13,50	11,00

#### 4.1.9. Análisis de composición florística

- Índice de valor de importancia (IVI) general

Las tres especies con los mayores valores del IVI fueron *Cecropia membranacea*, *Ochroma pyramidale* y *Chromolaena laevigata* (IVI > 10%). Un análisis detallado sugiere que *Cecropia membranacea* y *Ochroma pyramidale* fueron las especies dominantes en las áreas abandonadas por la minería aurífera en el área de estudio (> 24% de dominancia relativa). Por otro lado, *Apeiba tibourbou*, *Bixa urucurana*, *Cecropia engleriana*, *Cecropia membranacea*, *Ceiba samauma* y *Apeiba aspera* fueron las especies más frecuentes en el área de estudio (Tabla 10). La presencia de estas especies también fue reportado en otros estudios de sucesión después del abandono por actividades mineras (Esdaile y Chalker 2018 ; Novianti et al. 2018 ; Akinbiola et al. 2016).

**Tabla 10.** Índice de Valor de Importancia (IVI) general de las especies en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios.

N	Especie	Abundancia	Abundancia relativa (%)	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)	Dominancia absoluta (m <sup>2</sup> )	Dominancia relativa (%)	IVI 100%
1	<i>Cecropia membranacea</i>	93	20,62	125	2,73	0,2023	25,17	16,18
2	<i>Ochroma pyramidale</i>	47	10,42	59	1,29	0,1946	24,21	11,97
3	<i>Chromolaena laevigata</i>	105	23,28	114	2,49	0,0352	4,38	10,05
4	<i>Lantana camara</i>	31	6,87	76	1,66	0,0112	1,39	3,31
5	<i>Guazuma ulmifolia</i>	6	1,33	90	1,97	0,0476	5,92	3,07
6	<i>Erythrina poeppigiana</i>	1	0,22	99	2,16	0,0491	6,11	2,83
7	<i>Apeiba aspera</i>	6	1,33	121	2,64	0,0334	4,15	2,71
8	<i>Bixa urucurana</i>	8	1,77	131	2,86	0,0121	1,51	2,05
9	<i>Piper aduncum</i>	17	3,77	48	1,05	0,0086	1,08	1,96
10	<i>Andira multistipula</i>	3	0,67	121	2,64	0,0192	2,39	1,90
11	<i>Trema micrantha</i>	11	2,44	24	0,52	0,0184	2,29	1,75
12	<i>Ficus obtusifolia</i>	2	0,44	93	2,03	0,0208	2,59	1,69
13	<i>Alchornea triplinervia</i>	1	0,22	121	2,64	0,0177	2,20	1,69
14	<i>Muntingia calabura</i>	9	2,00	61	1,33	0,0103	1,28	1,54
15	<i>Mimosa pellita</i>	12	2,66	65	1,42	0,0022	0,28	1,45
16	<i>Landenbergia sp</i>	5	1,11	77	1,68	0,0103	1,29	1,36
17	<i>Margaritaria nobilis</i>	5	1,11	67	1,46	0,0118	1,46	1,35
18	<i>Gynerium sagittatum</i>	8	1,77	88	1,92	0,0025	0,32	1,34



19	<i>Schizolobium parahyba</i>	6	1,33	33	0,72	0,0150	1,86	1,31
20	<i>Apeiba tibourbou</i>	2	0,44	132	2,89	0,0038	0,48	1,27
21	<i>Aeschynomene sp</i>	3	0,67	132	2,89	0,0004	0,05	1,20
22	<i>Cordia sp</i>	1	0,22	105	2,30	0,0079	0,98	1,16
23	<i>Ficus americana</i>	2	0,44	98	2,14	0,0072	0,89	1,16
24	<i>Guazuma crinita</i>	4	0,89	92	2,01	0,0044	0,55	1,15
25	<i>Coussapoa ovalifolia</i>	3	0,67	104	2,27	0,0039	0,48	1,14
26	<i>Casearia sp</i>	1	0,22	127	2,78	0,0007	0,09	1,03
27	<i>Tessaria intigrifolia</i>	10	2,22	25	0,55	0,0025	0,32	1,03
28	<i>Casearia aculeata</i>	1	0,22	129	2,82	0,0003	0,03	1,02
29	<i>Cecropia engleriana</i>	1	0,22	126	2,75	0,0007	0,09	1,02
30	<i>Ceiba samauma</i>	1	0,22	124	2,71	0,0009	0,11	1,02
31	<i>Conceveiba guianensis</i>	1	0,22	113	2,47	0,0020	0,24	0,98
32	<i>Dioclea virgata</i>	2	0,44	100	2,19	0,0007	0,08	0,90
33	<i>Psidium guajava</i>	5	1,11	47	1,03	0,0040	0,50	0,88
34	<i>Inga marginata</i>	2	0,44	82	1,79	0,0032	0,40	0,88
35	<i>Dalbergia monetaria</i>	1	0,22	103	2,25	0,0004	0,05	0,84
36	<i>Ficus insipida</i>	1	0,22	96	2,10	0,0007	0,09	0,80
37	<i>Ficus guianensis</i>	1	0,22	97	2,12	0,0005	0,06	0,80
38	<i>Ficus krukovii</i>	1	0,22	94	2,05	0,0006	0,08	0,78
39	<i>Ficus juruensis</i>	1	0,22	95	2,08	0,0003	0,04	0,78
40	<i>Inga edulis</i>	1	0,22	83	1,81	0,0020	0,24	0,76
41	<i>Inga nobilis</i>	1	0,22	81	1,77	0,0020	0,24	0,75
42	<i>Machaerium sp</i>	1	0,22	73	1,60	0,0033	0,41	0,74
43	<i>Inga oersteriana</i>	1	0,22	80	1,75	0,0020	0,25	0,74
44	<i>Inga ruiziana</i>	1	0,22	78	1,70	0,0021	0,26	0,73
45	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	1	0,22	85	1,86	0,0007	0,09	0,72
46	<i>Inga punctata</i>	1	0,22	79	1,73	0,0003	0,04	0,66
47	<i>Zanthoxylum sprucei</i>	2	0,44	14	0,31	0,0099	1,23	0,66
48	<i>Malachra sp</i>	2	0,44	68	1,49	0,0004	0,05	0,66
49	<i>Sapium marmieri</i>	2	0,44	35	0,77	0,0054	0,68	0,63
50	<i>Pera benensis</i>	2	0,44	56	1,22	0,0007	0,09	0,59
51	<i>Vismia glaziovii</i>	5	1,11	15	0,33	0,0015	0,19	0,54
52	<i>Sapium glandulosum</i>	2	0,44	40	0,87	0,0012	0,15	0,49
53	<i>Solanum rugosum</i>	2	0,44	28	0,61	0,0009	0,11	0,39
54	<i>Solanum caricaefolium</i>	2	0,44	29	0,63	0,0006	0,08	0,39
55	<i>Uncaria guianensis</i>	2	0,44	22	0,48	0,0008	0,10	0,34
56	<i>Simaba sp</i>	1	0,22	31	0,68	0,0006	0,07	0,32
57	<i>Solanum sessile</i>	1	0,22	27	0,59	0,0002	0,02	0,28
58	<i>Vernonanthura patens</i>	1	0,22	17	0,37	0,0015	0,18	0,26

#### 4.1.10. Correlación entre variables y el tiempo de abandono

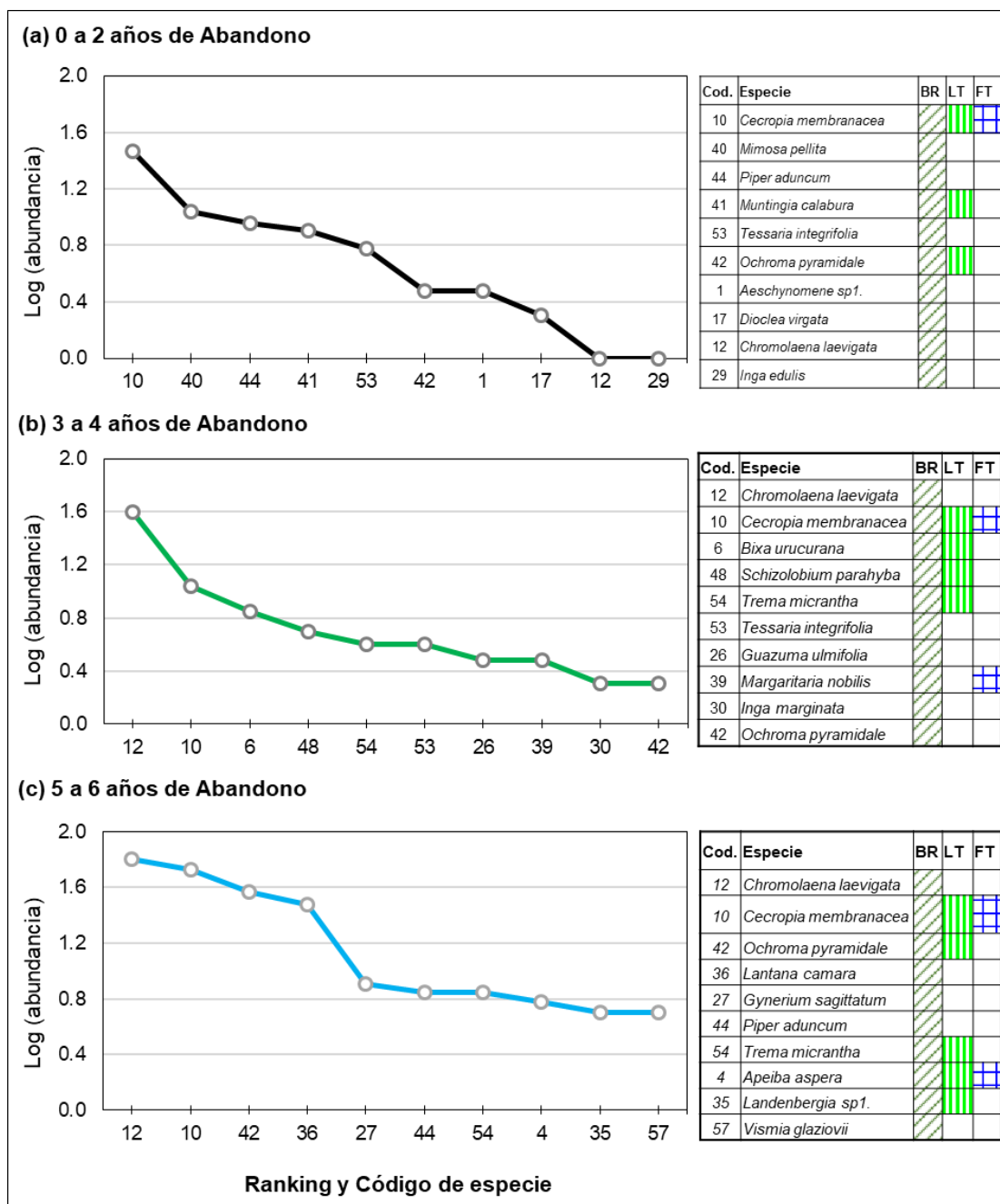
El tiempo de abandono por actividades mineras, la cobertura vegetal y la cobertura arbóreo-arbustiva tuvieron influencia significativa en la diversidad de la regeneración natural ( $P$ -value $<0.05$ ; Tabla 11). Sin embargo, la distancia al bosque solo tuvo una relación significativa en la abundancia de la regeneración natural ( $r = -0.58$ ;  $P$ -value $<0.05$ ).

#### 4.1.11. Curvas de rango-abundancia (Whittaker) según categoría de tiempo de abandono

El número de especies de latizales y fustales según el periodo de abandono después de actividades de minería aurífera (Figura 10). La única especie encontrada en la categoría de fustal en los tres periodos analizados fue *Cecropia membranacea*. Por otro lado, debido al estadio sucesional inicial de las áreas evaluadas las especies encontradas en la categoría de latizales fueron pioneras, por ejemplo, *Cecropia membranacea*, *Ochroma pyramidale* y *Trema micrantha* (Figura 10). Por otro lado, considerando que la forma suave de las pendientes de las curvas de Rango-Abundancia las comunidades de generación natural con mayor tiempo de abandono (5-6 años) son equitativas, es decir existe poca diferencia entre las especies más abundantes y las que siguen en el análisis de Rango-Abundancia (Medina, Leirana y Navarro 2016) (Figura 10c). A diferencia de las áreas con menor tiempo de abandono, en las cuales *Cecropia membranacea* (0-2 años) y *Chromolaena laevigata* (3-4 años) son abundantes.

**Tabla 11.** Matriz de correlación (Pearson) entre el tiempo de abandono, distancia al bosque, diversidad de especies y características de los sitios evaluados. P-valor fueron obtenidos mediante 9999 permutaciones, además: \* < 0.05, \*\*<0.01 y \*\*\* < 0.001

	Tiempo de abandono	Distancia al bosque	Cobertura (%)	Hojarasca	Cobertura herbácea (%)	Cobertura Árbol-Arbusto (%)	Riqueza de especies	Nº de Individuos	Diversidad de Shannon	Diversidad de Margalef
Distancia al bosque	0,17 <sup>ns</sup>									
Cobertura (%)	0,75 **	-0,03								
Hojarasca	0,22	-0,32	0,30							
Cobertura herbácea (%)	0,00	0,19	0,28	-0,24						
Cobertura Árbol-Arbusto (%)	0,76 **	0,03	0,67 *	0,13	-0,32					
Riqueza de especies	0,65 *	-0,36	0,77 **	0,25	0,06	0,69 *				
Nº de Individuos	0,19	-0,58 *	0,43	0,45	-0,14	0,37	0,66 *			
Diversidad de Shannon	0,73 **	-0,07	0,75 **	0,01	0,21	0,63 *	0,80 **	0,11		
Diversidad de Margalef	0,73 **	-0,22	0,76 **	0,12	0,09	0,70 *	0,94 ***	0,37	0,94 ***	
Diversidad $\alpha$ -Fisher	0,63 *	0,10	0,54	-0,10	-0,01	0,57 *	0,61 *	-0,10	0,85 ***	0,83 ***



**Figura 10.** Curvas de rango-abundancia o de Whittaker para mostrar la abundancia de las especies según tiempo de abandono y categorías de regeneración natural (brinzal, latizal y fustal) en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. (brinzal, latizal y fustal). BR = brinzal, LT = latizal y FT = fustal.

#### 4.1.12. Análisis de cobertura por categoría de edad

En la Tabla 12, se muestra la evaluación de los supuestos paramétricos (normalidad y homogeneidad de varianzas) de las variables a comparar según los tres periodos de abandono. Todo esto previo a la comparación entre los

periodos de abandono mediante el ANOVA. Se encontró que todas las variables florísticas y estructurales cumplen con los supuestos paramétricos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Tabla 12).

**Tabla 12.** Similitud florística entre las parcelas evaluadas, utilizando el índice de Bray-Curtis en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto, Madre de Dios. Ta = tiempo de abandono en años.

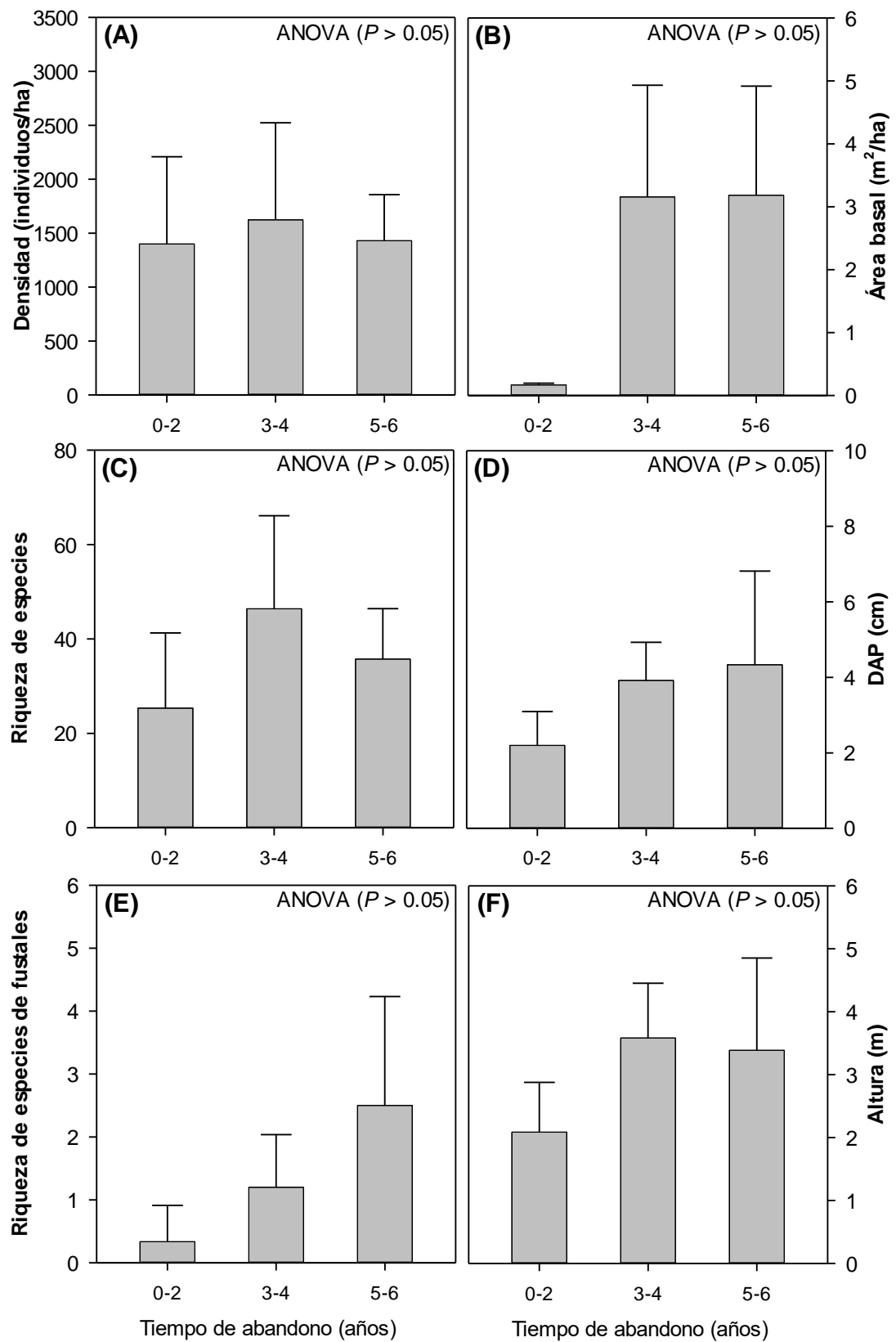
Variable	Normalidad (Shapiro-Wilk test)		Homogeneidad de varianzas (Brown-Forsythe test)	
	<i>P-Valor</i>	Si / No	<i>P-Valor</i>	Si / No
Densidad (individuos/ha)	0,36	Si	0,26	Si
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	0,77	Si	SI	Si
Riqueza total de especies	1,00	Si	0,52	Si
Riqueza de especies de fustales	0,19	Si	1,00	Si
DAP	0,07	Si	0,82	Si
Altura	0,52	Si	0,94	Si

**Tabla 13.** Resultados de la comparación de promedios de los atributos florísticos y dendrométricos entre periodos de abandono, utilizando el análisis de varianza (ANOVA)

Variable	Tiempo abandono (años)	Tipo	Test de comparación		
			F	<i>P</i> -valor	Decisión
Densidad (ind/ha)	1-2	ANOVA	0,112	0,896	N.S.
	3-4				
	5-6				
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	1-2	ANOVA	4,214	0,051	N.S.
	3-4				
	5-6				
Riqueza total de especies	1-2	ANOVA	1,592	0,256	N.S.
	3-4				
	5-6				
Riqueza de especies fustales	1-2	ANOVA	3,05	0,097	N.S.
	3-4				
	5-6				
Diámetro	1-2	ANOVA	1,596	0,255	N.S.
	3-4				
	5-6				
Altura	1-2	ANOVA	1,909	0,204	N.S.
	3-4				
	5-6				

Para todas las variables analizadas no se encontró diferencias significativas para los periodos analizados (*P*-valor < 0,05, Tabla 11). La densidad de

individuos no se incrementó con el tiempo de abandono (Figura 11A). La mayor riqueza de especies en el periodo de abandono de 3-4 años (Figura 11C), aunque la riqueza de fustales si se incrementó con el tiempo de abandono, siendo mayor en el periodo de 5-6 años (Figura 11E). Asimismo, las características dasométricas de los individuos (diámetro y altura) y estructurales (área basal) se incrementaron con el tiempo de abandono (Figura 11B, 11D y 11F).



**Figura 11.** Gráfico de barras ( $\pm$  desviación estándar) de la comparación de la riqueza de especies y atributos florísticos según periodos de tiempo de abandono. Los promedios se compararon utilizando el Análisis de Varianza (ANOVA) al 5% de probabilidad de error.

#### 4.1.13. Factores que influencia en la composición florística

Para analizar la influencia de los distintos factores en la composición florística se utilizó el análisis multivariado de redundancia basado en distancias (dbRDA), utilizando la distancia de Bray-Curtis. Sin embargo, a diferencia de lo encontrado en el análisis univariado, el dbRDA mostró que solo la distancia al bosque tiene influencia significativa ( $P\text{-value}<0.01$ ) en la composición florística de la vegetación espontánea en áreas abandonadas por minería aurífera en la comunidad San Jacinto (Tabla 14).

**Tabla 14.** Resultados de la prueba de significación de los factores que influencia en la composición florística de la regeneración natural en las áreas abandonadas por minería aurífera, utilizando el análisis redundancia basado en la distancia de Bray-Curtis (dbRDA).

	Suma de cuadrados	F	P-valor
Tiempo de abandono (años)	0,39	1,51	0,113
<b>Distancia al bosque</b>	<b>0,60</b>	<b>2,33</b>	<b>0,006</b>
Hojarasca	0,30	1,18	0,309
Cobertura herbácea	0,27	1,04	0,418
Cobertura herbáceo-arbustiva	0,19	0,72	0,750
Presencia de lianas	0,17	0,65	0,806
Cobertura del suelo (grava/arena)	0,27	1,03	0,457
Residual	1,03		



## CONCLUSIONES

De acuerdo a lo esperado, se encontró un incremento en los valores de los atributos estructurales (área basal, diámetro y altura) de la regeneración natural después del abandono por actividades mineras. Para la densidad no se encontró tendencia definida. Sin embargo, la riqueza de especies varió según categorías de tamaño. El diámetro promedio de los individuos analizados fue de 3,6 cm, mientras que la altura promedio fue de 3,1 cm. La riqueza de especies fue superior en la categoría de brinzales. La riqueza de especies de latizales y fustales se incrementó con el tiempo de abandono.

La generación natural varió según el tiempo de abandono. El área basal de los brinzales disminuyó con el tiempo de abandono, a diferencia de los fustales, en el cual el área basal se incrementó con el tiempo de abandono. La proporción de brinzales disminuyó significativamente con el tiempo de abandono. Interesantemente observamos diferentes tendencias en la proporción de individuos según categorías de tamaño. La proporción de individuos de brinzales disminuyeron con el tiempo de abandono, mientras que la proporción de latizales y fustales aumentó.

Las especies con mayor importancia ecológica fueron *Cecropia membranacea*, *Ochroma pyramidale* y *Chromolaena laevigata*. Las especies más frecuentes fueron *Apeiba tibourbou*, *Bixa urucurana*, *Cecropia engleriana*, *Cecropia membranacea*, *Ceiba samauma* y *Apeiba aspera*. El análisis por periodos de abandono no mostró diferencias significativas para la densidad, área basal, riqueza de especies, DAP y altura.

## RECOMENDACIONES

Considerando la influencia de la distancia al bosque en el establecimiento de la regeneración natural en áreas abandonadas por minería aurífera, se recomienda considerar este factor en futuros proyectos de reforestación, restauración y otros.

Se recomienda utilizar en proyectos de reforestación las especies arbóreas encontradas en el presente estudio. Debido a que facilitan el establecimiento de otras especies, mediante la generación de microclimas. Por ejemplo, *Ochroma pyramidale*, *Erythrina poeppigiana*, *Apeiba aspera*, *Bixa urucurana* y otras especies del género *Ficus*.

Se recomienda continuar con estudios de la influencia de la distancia al bosque en el establecimiento de áreas degradadas y abandonadas por la minería aurífera en Madre de Dios. Esto debido a que en el presente estudio solo evaluamos la regeneración natural para un solo tipo de minería (semi-mecanizada), que genera una severa fragmentación de los ecosistemas. Sin embargo, en Madre de Dios existen varios tipos de minería, además los impactos que generan también son variados. Por ejemplo, la minería altamente mecanizada en Huepetuhe y Delta 1 degradada y fragmenta severamente los ecosistemas y por lo tanto la distancia al bosque puede ser un factor clave en el establecimiento de la regeneración natural. En consecuencia, la restauración activa será una opción en este caso. A diferencia del tipo de minería semi-mecanizada que se desarrolla en los bosques de terrazas alta (por ejemplo, tracas), estos generan en algunos casos impactos focalizados en los cuales la distancia al bosque no suele ser un factor determinante. Por lo tanto, la restauración pasiva podría ser una opción. Debido a estas peculiaridades aún se tiene un vacío de conocimiento sobre los procesos que limitan el establecimiento de especies arbóreas en estas áreas degradadas.

En futuros estudios se recomienda: (1) considerar el análisis fisicoquímico de los suelos, (2) estudiar a la fauna asociada que esté participando en los procesos de dispersión, (3) establecer parcelas permanentes que puedan ser monitoreadas a mediano y largo plazo. Esto último porque nos brindaría una mejor información sobre los procesos de establecimiento y mortalidad que el enfoque de cronosecuencia, el cual fue aplicado en el presente estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINBIOLA, S., AWOTOYE, O., ADEPOJU, K. y SALAMI, A., 2016. Floristic indicators of tropical landuse systems: Evidence from mining areas in Southwestern Nigeria. *Global Ecology and Conservation*, vol. 7, pp. 141-147. ISSN 23519894. DOI 10.1016/j.gecco.2016.06.003.
- ALVAREZ-BERRÍOS, N.L. y MITCHELL AIDE, T., 2015. Erratum : Global demand for gold is another threat for tropical forests (Environmental Research Letters (2014) 10 (014006)). *Environmental Research Letters*, vol. 10, no. 2. ISSN 17489326. DOI 10.1088/1748-9326/10/2/029501.
- ANCCO-MAMANI, C., 2017. *Sobrevivencia y producción de biomasa de especies de flora en diferentes modelos de siembra, en suelos degradados por la minería en el sector la pampa-comunidad « Nueva Arequipa», distrito de Inambari - provincia Tambopata - Madre de Dios.* Tesis pre grado. Puerto Maldonado: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- ASNER, G.P., LLACTAYO, W., TUPAYACHI, R. y LUNA, E.R., 2013. Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, no. 46, pp. 18454-18459.
- AUCAHUASI, A., 2017. *Análisis de tendencias de precipitación y temperatura (1970-2017) en la ciudad de Puerto Maldonado, Perú.* Tesis de Post grado. Cusco: Universidad nacional de san Antonio Abad del Cusco.
- AYBAR, C., LAVADO, W., SABINO, E., HUERTA, A. y FELIPE, O., 2017. Atlas de zonas de vida del Perú - Guía explicativa. . S.l.: SENAMHI.
- BRADSHAW, A., 1997. Restoration of mined lands - Using natural processes. *Ecological Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 255-269. ISSN 09258574. DOI 10.1016/S0925-8574(97)00022-0.
- BRANCALION, P.H.S., RODRIGUES, R.R., GANDOLFI, S., KAGEYAMA, P.Y., NAVE, A.G., GANDARA, F.B., MAURO, L. y TABARELLI, M., 2010. INSTRUMENTOS LEGAIS PODEM CONTRIBUIR PARA A RESTAURAÇÃO DE FLORESTAS TROPICAIS BIODIVERSAS. *Revista Árvore*,
- BROKAW, N.V.L., 1985. Gap-phase regeneration in a tropical forest. *Ecology*, vol. 66, no. 3, pp. 682-687. ISSN 00129658. DOI 10.2307/1940529.
- BROOKS, T.M., MITTERMEIER, R.A., DA FONSECA, G.A.B., GERLACH, J., HOFFMANN, M., LAMOREUX, J.F., MITTERMEIER, C.G., PILGRIM, J.D. y RODRIGUES, A.S.L., 2006. Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science* [en línea], vol. 313, no. 5783, pp. 58-61. ISSN 0036-8075. DOI 10.1126/science.1127609. Disponible en: <https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1127609>.

- BROWN, N., 2004. SILVICULTURE | Natural Regeneration of Tropical Rain Forests. *Encyclopedia of Forest Sciences*. Oxford: Elsevier, pp. 1062-1066.
- CABALLERO, J., MESSINGER, M., ROMÁN, F., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L. y SILMAN, M., 2018. Deforestation and forest degradation due to gold mining in the Peruvian Amazon: a 34-year perspective. , no. November, pp. 1-17. ISSN 2072-4292. DOI 10.20944/preprints201811.0113.v1.
- CANAHUIRE, R., 2017. *Composición florística y estructura de la recuperación natural en un área degradada por minería en la comunidad nativa de tres islas, Tambopata - Madre de Dios*. Tesis de pre grado. Puerto Maldonado: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- CHAMBERS, J.C. y BROWN, R.W., 1983. Methods for vegetation sampling and analysis on revegetated mined lands. *US Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report*, DOI 10.5962/bhl.title.99993.
- CHANCA, G., 2015. *Inventario forestal de especies nativas y su conservación biológica*. Tesis de Pre grado. Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- CORTÉS-MCPHERSON, D., 2019. Expansion of small-scale gold mining in Madre de Dios: 'capital interests' and the emergence of a new elite of entrepreneurs in the Peruvian Amazon. *Extractive Industries and Society*, vol. 6, no. 2, pp. 382-389. ISSN 2214790X. DOI 10.1016/j.exis.2019.01.002.
- CSILLIK, O. y ASNER, G.P., 2020. Aboveground carbon emissions from gold mining in the Peruvian Amazon. *Environmental Research Letters*, vol. 15, no. 1, pp. 014006. ISSN 1748-9326. DOI 10.1088/1748-9326/ab639c.
- CUTIRE, L. y RAMIREZ, L., 2017. *Caracterización de bosques secundarios regenerados en áreas degradadas producto de la actividad aurífera en la comunidad de tres islas, Madre de Dios, Perú*. Tesis de Pre grado. Puerto Maldonado: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- DAUBER, E., FREDERICKSEN, T., PEÑA-CLAROS, M., LEAÑO, C., LICONA, J. y CONTRERAS, F., 2003. *Tasas de Incremento Diamétrico, Mortalidad y Reclutamiento con base en las Parcelas Permanentes Instaladas en Diferentes Regiones de Bolivia*. Santa Cruz: Bolfor.
- ESDAILE, L.J. y CHALKER, J.M., 2018. The Mercury Problem in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. *Chemistry - A European Journal*, vol. 24, no. 27, pp. 6905-6916. ISSN 15213765. DOI 10.1002/chem.201704840.
- GARATE, J., 2011. Diez años de proyecto piloto de revegetación de áreas degradadas por minería aluvial en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios. *Biodiversidad Amazónica*, vol. 3, no. 3. ISSN 2075-8081.
- GENTRY, A. y TERBORGH, J., 1990. Composition and Dynamics Of the Cocha Cashu Mature Floodplain Forest Peru. *Four Neotropical Rainforests*. New Haven: Yale University Press, pp. 542-564.

- GOREMAD-IIAP, 2008. *Macro Zonificación Ecológica Económica del Departamento de Madre de Dios*. Puerto Maldonado (Perú): (Gobierno Regional de Madre de Dios e Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana).
- HERNÁNDEZ, R. y MENDOZA, C., 2018. *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill. ISBN 978-1-4562-6096-5.
- HOLL, K.D. y AIDE, T.M., 2011. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, vol. 261, pp. 1558-1563. DOI 10.1016/j.foreco.2010.07.004.
- HOU, X., LIU, S., CHENG, F., ZHANG, Y., DONG, S., SU, X. y LIU, G., 2019. Vegetation community composition along disturbance gradients of four typical open-pit mines in Yunnan Province of southwest China. *Land Degradation & Development*, vol. 30, no. 4, pp. 437-447. ISSN 10853278. DOI 10.1002/ldr.3234.
- HUAYLLANI-ENRIQUEZ, M., 2016. *Presencia de metales pesados en la estructura vegetal de Apeiba membranacea Spruce ex Benth. (Peine de mono), Ochroma pyramidale (Cav, ex. Lam.) Urb. (Topa), Ceiba pentandra (L.) Gaerth. (Lupuna), Erythrina ulei Harms (Amasisa) Instaladas en áreas interve*. Tesis de Pre grado. Puerto maldonado: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- JENKINS, A., 2003. Soil sense How to compost on farm. *Environmental Protection*. S.I.:
- KURAMOTO, J., 2001. Artisanal and Informal Mining in Peru. *Artisanal and Informal Mining in Peru*, vol. 82, no. June, pp. 38.
- LEFEBVRE, D., ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., SOETE, J., CABANILLAS, F., CORVERA, R., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L.E. y SILMAN, M., 2019. Biochar effects on two tropical tree species and its potential as a tool for reforestation. *Forests*, vol. 10, no. 8, pp. 1-14. ISSN 19994907. DOI 10.3390/f10080678.
- MEDINA, R., LEIRANA, J. y NAVARRO, J., 2016. Métodos gráficos para la exploración de patrones de diversidad en Ecología. *Bioagrocencias*, vol. 9, no. 1965, pp. 11-18.
- MICHI, A. y IBARRA, F., 2015. *Evaluación del potencial de reforestación de 4 especies nativas para la recuperación de áreas degradadas por la minería en la zona de amortiguamiento de la reserva nacional Tambopata, Madre de Dios*. Tesis de Pre grado. Puerto maldonado: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- MIRANDA-NETO, A., VENÂNCIO MARTINS, S., DE ALMEIDA SILVA, K., TEIXEIRA LOPES, A. y DE ABREU DEMOLINARI, R., 2014. Natural regeneration in a restored bauxite mine in southeast Brazil. *Bosque (Valdivia)*, vol. 35, no. 3, pp. 377-389. ISSN 0717-9200. DOI 10.4067/S0717-92002014000300012.

- MOODY, K.H., HASAN, K.M., ALJIC, S., BLAKEMAN, V.M., HICKS, L.P., LOVING, D.C., MOORE, M.E., HAMMETT, B.S., SILVA-GONZÁLEZ, M., SENEY, C.S. y KIEFER, A.M., 2020. Mercury emissions from Peruvian gold shops: Potential ramifications for Minamata compliance in artisanal and small-scale gold mining communities. *Environmental Research*, vol. 182, pp. 109042. ISSN 10960953. DOI 10.1016/j.envres.2019.109042.
- MORENO-BRUSH, M., RYDBERG, J., GAMBOA, N., STORCH, I. y BIESTER, H., 2016. Is mercury from small-scale gold mining prevalent in the southeastern Peruvian Amazon? *Environmental Pollution*, ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2016.08.038.
- NOVIANTI, V., MARRS, R.H., CHOESIN, D.N., ISKANDAR, D.T. y SUPRAYOGO, D., 2018. Natural regeneration on land degraded by coal mining in a tropical climate: Lessons for ecological restoration from Indonesia. *Land Degradation and Development*, vol. 29, no. 11, pp. 4050-4060. ISSN 1099145X. DOI 10.1002/ldr.3162.
- PACHECO, D., 2014. *Composición florística de la regeneración natural colonizadora de un área degradada por minería aurífera en el sector Teniente Acevedo - Tambopata - Madre de Dios*. Tesis de Pre grado. Puerto Maldonado: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- PITMAN, N.C.A., TERBORGH, J., NUÑEZ, P. y VALENZUELA, M., 2003. Los árboles de la cuenca del Río Alto Purús. En: N.C.A. PITMAN y P. ALVAREZ (eds.), *Alto Purús: Biodiversidad, conservación y manejo*. Lima, Perú: . Center for Tropical Conservation, Duke University, pp. 53-61.
- PRODAN, M., PETERS, R., COX, F. y REAL, P., 1997. *Mensura Forestal. GTZ/IICA*. S.l.: s.n. ISBN 9290393041.
- RENDÓN, C., 2011. *Herramientas de gestión de transferencia tecnológica para la recuperación de áreas degradadas por minería*. Tesis de Post grado. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- REUBEN, A., FRISCHTAK, H., BERKY, A., ORTIZ, E.J., MORALES, A.M., HSU-KIM, H., PENDERGAST, L.L. y PAN, W.K., 2020. Elevated Hair Mercury Levels Are Associated With Neurodevelopmental Deficits in Children Living Near Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Peru. *GeoHealth*, ISSN 24711403. DOI 10.1029/2019GH000222.
- RIBEIRO RODRIGUES, R. y GANDOLFI, S., 1996. Recomposição de florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*, DOI 10.14295/rbho.v2i1.114.
- 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, no. 3, pp. 653-664. ISSN 0100-8404. DOI 10.1007/s40415-018-0486-4.

- RODRIGUES, R.R., MARTINS, S.V. y DE BARROS, L.C., 2004. Tropical Rain Forest regeneration in an area degraded by mining in Mato Grosso State, Brazil. *Forest Ecology and Management*, vol. 190, no. 2-3, pp. 323-333. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2003.10.023.
- ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., CABANILLAS, F., LEFEBVRE, D., FARFAN, J., ALFEREZ, J., POLO-VILLANUEVA, F., LLACSAHUANGA, J., VEGA, C.M., VELASQUEZ, M., CORVERA, R., CONDORI, E., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L.E. y SILMAN, M.R., 2020. Survival and early growth of 51 tropical tree species in areas degraded by artisanal gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, pp. 106097. ISSN 09258574. DOI 10.1016/j.ecoleng.2020.106097.
- ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., HUAYLLANI, M., MICHI, A., IBARRA, F., LOAYZA-MURO, R., VÁZQUEZ, T., RODRÍGUEZ, L. y GARCÍA, M., 2015. Reforestation with four native tree species after abandoned gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering*, vol. 85, pp. 39-46. ISSN 09258574. DOI 10.1016/j.ecoleng.2015.09.075.
- 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, no. 1-2, pp. 1. ISSN 1726-2216. DOI 10.21704/rea.v6i1-2.335.
- 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.
- SAJAMI, E., 2017. *Evaluación de la regeneración natural en áreas degradadas por la minería aurífera en el distrito de laberinto, Tambopata – Madre de Dios*. Tesis de pre grado. Puerto Maldonado: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- SENAMHI, 2018. Monitoreo de las Temperaturas Extremas del Aire a Nivel Nacional durante la Temporada de Bajas Temperatura 2018. . Lima:
- SOUTHGATE, D., 2003. Agricultural Technologies and Tropical Deforestation Arild Angelsen, David Kaimowitz (Eds.), CAB International, Wallingford, UK, 2001, 384 pp., US\$ 60, ISBN 0851994512. *Agricultural Economics*, ISSN 01695150. DOI 10.1016/s0169-5150(02)00046-4.
- SQUIZZATTO, F., VENÂNCIO, S., ALVES, J., LANI, J. y PIRES, I., 2005. Floristic of Shrub-Tree Vegetation Colonizing an Area degraded by Kaolin Mining, in Brás Pires, MG. *Revista Árvore*, vol. 29, no. 6, pp. 983-992.
- SWENSON, J.J., CARTER, C.E., DOMEK, J.C. y DELGADO, C.I., 2011. Gold mining in the peruvian amazon: Global prices, deforestation, and mercury imports. *PLoS ONE*, vol. 6, no. 1, pp. e18875. ISSN 19326203. DOI 10.1371/journal.pone.0018875.
- VALDEZ-HERNÁNDEZ, M., GIL-MEDINA, R., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.O., TORRESCANO-VALLE, N., CABANILLAS-TERÁN, N. y ISLEBE, G.A.,



2019. Succession and the Relationship between Vegetation and Soil in the Marl Quarries of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Forests*, vol. 10, no. 2, pp. 116. ISSN 1999-4907. DOI 10.3390/f10020116.

WRIGHT, J.S., 2002. Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia* [en línea], vol. 130, no. 1, pp. 1-14. ISSN 0029-8549. DOI 10.1007/s004420100809. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s004420100809>.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1: matriz de consistencia.

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DE LA REGENERACIÓN NATURAL EN ÁREAS DEGRADADAS POR MINERÍA AURÍFERA EN LA COMUNIDAD NATIVA SAN JACINTO, MADRE DE DIOS				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<i>Problema General</i>	<i>Objetivo General</i>			<i>Variable independiente</i>
¿Como es el desarrollo de la regeneración natural temprana en áreas degradadas por minería aurífera con distinto tiempo de abandono en la comunidad nativa San Jacinto?	Evaluar y caracterizar la regeneración natural leñosa en áreas de diferente tiempo de abandono después de la actividad de minera aurífera artesanal y de pequeña escala en la CC. NN. de San Jacinto.		<i>Área degradada, (tiempo de abandono y Categoría de tiempo de abandono</i>	<b>El diseño del estudio</b> será no experimental de tipo transversal (Hernández y Mendoza 2018).
<i>Problemas específicos</i>	<i>Objetivos específicos</i>	No aplica (Estudio descriptivo)	<i>Variable Dependiente</i>	<b>Muestra:</b> Para la selección de muestras se utilizará un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la accesibilidad a los sitios y proximidad a vías de acceso.
¿Cuáles serán los atributos florísticos y estructurales de la regeneración natural y su relación con el tiempo de abandono en áreas degradadas y abandonadas por la actividad de minería aurífera en la comunidad nativa San Jacinto?	Analizar los atributos florísticos y estructurales de la regeneración natural y su relación con el tiempo de abandono en áreas degradadas y abandonadas por la actividad de minería aurífera en la CC. NN. de San Jacinto.		<i>Atributos florísticos, Atributos estructurales, Estructura horizontal, Categorías de regeneración natural: Brinzal, latizal y fustal, Similitud florística</i>	<b>Métodos y técnicas:</b> Utilizando las imágenes satelitales se ubicará y establecerán las parcelas de 10 m x 25 m. En cada parcela se identificará a todos los individuos con un diámetro a la altura de pecho (DAP) mayor a 1 cm, y se les medirá su DAP y altura.

<p>¿Cuáles serán las características florísticas y estructurales de la regeneración natural según categorías de tamaño en áreas degradadas por minería aurífera en la CC NN San Jacinto?</p>	<p>Caracterizar la regeneración natural según categorías de tamaño en áreas degradadas por minería aurífera en la CC. NN. de San Jacinto</p>			<p><b>Tratamiento de datos:</b> El Análisis estadístico descriptivo, el Análisis estadístico por Tipo de Regeneración enfatizando en sus diversas etapas u estadios, Análisis estadístico de composición florística mostrando su importancia y abundancia que representa, Análisis estadístico de cobertura en los distintos tiempos de abandono de las áreas a evaluar.</p>
<p>¿Cuál será la influencia del tiempo de abandono en la composición florística de áreas degradadas por minería aurífera en la CC. NN. San Jacinto?</p>	<p>Analizar la influencia del tiempo de abandono en la composición florística de áreas degradadas por minería aurífera en la CC. NN. de San Jacinto</p>			<p>Previo al análisis inferencial se evaluarán los supuestos paramétricos de normalidad y homogeneidad de varianzas, utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y de Levene, respectivamente. Se realizará un análisis de varianzas de las variables, considerando el periodo de abandono como factor y la prueba de post-prueba de Tukey. Para modelar la relación entre las variables se realizará un análisis de regresión simple (linear o no-linear).</p>



**ANEXO 3:** análisis de los residuos de los modelos no lineales, tiempo de abandono vs área basal

Edad (Años)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Lineal MCO	Logarítmica	Inversa	Cuadrático	Cúbico	Compuesto	Potencia	S	Crecimiento	Exponencial	Logística
1	0.15	0.04	28.59	916.82	4.44	1.23	0.01	0.00	0.00	0.09	0.01	5.87
2	0.2	1.00	21.42	469.02	4.04	1.15	0.01	0.00	0.00	0.09	0.01	5.69
2	0.16	1.00	26.89	790.93	4.36	1.21	0.01	0.00	0.00	0.09	0.01	5.83
3	3.78	3.28	7.37	8.07	7.99	8.16	1.56	2.53	3.18	1.25	1.56	0.05
3	0.14	3.28	30.46	1072.08	4.53	1.24	0.01	0.00	0.00	0.09	0.01	5.90
4	4.08	6.88	8.44	8.65	9.26	9.76	2.41	3.57	3.82	1.55	2.41	0.19
4	4.66	6.88	10.48	9.61	11.41	12.43	5.61	6.49	5.08	2.37	5.61	0.74
4	3.13	6.88	5.03	6.54	5.10	4.70	0.60	1.08	1.91	0.78	0.60	0.06
5	2.86	11.80	4.07	5.76	3.92	3.44	0.41	0.72	1.44	0.64	0.41	0.20
5	1.84	11.80	0.84	1.95	0.52	0.37	0.09	0.10	0.24	0.30	0.09	1.42
6	5.71	18.03	14.02	10.91	13.73	13.84	25.88	16.20	7.34	5.09	25.88	2.65
6	2.33	18.03	2.27	3.96	1.87	1.46	0.19	0.29	0.68	0.43	0.19	0.70
<b>Suma</b>		88.90	159.89	3304.31	71.17	58.98	36.78	30.99	23.69	12.77	36.78	29.30

**ANEXO 4: Anexo fotográfico.**

**Anexo 4.1.** Fotografías de las áreas identificadas de regeneración que fueron evaluadas. (A) áreas con grava y (B) áreas con arena.





**Anexo 4.2.** Fotografías de las áreas identificadas de regeneración que fueron evaluadas. (A) áreas con grava y (B) áreas con arena.





**Anexo 4.3.** Fotografías de la instalación de las parcelas utilizadas (10 m x 25 m) para evaluar la regeneración natural en áreas abandonadas por minería aurífera.





**Anexo 4.4.** Fotografías de la colecta (A y B) y montaje (c y D) de especímenes colectados en las áreas evaluadas.

