

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE**



TESIS

“Evaluación de la composición florística en zonas abandonadas por la actividad minera aurífera en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu, en el departamento de Madre de Dios”

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

AUTOR (ES)

Bachi. TITO QUISPE, Lucy

Bachi. VALLES PACAYA, Javier Francisco

ASESOR

M.Sc. VELA DA FONSECA, Mauro

CO- ASESOR

Ing. GALLEGOS RAMOS, Néstor Antonio

Puerto Maldonado, noviembre del 2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE**



TESIS

“Evaluación de la composición florística en zonas abandonadas por la actividad minera aurífera en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu, en el departamento de Madre de Dios”

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

AUTOR (ES)

Bachi. TITO QUISPE, Lucy

Bachi. VALLES PACAYA, Javier Francisco

ASESOR

M.Sc. VELA DA FONSECA, Mauro

CO- ASESOR

Ing. GALLEGOS RAMOS, Néstor Antonio

Puerto Maldonado, noviembre del 2025

DEDICATORIA

A Dios Padre, ser supremo y Rey de Reyes, expreso mi profundo agradecimiento por acompañarme en cada momento de mi vida. Su amor y entrega han sido el motor que me permitió alcanzar aquello que siempre anhelé, logro que no habría sido posible sin la guía de nuestro Señor Jesucristo. A pesar de las dificultades enfrentadas, Él me concedió paciencia y sabiduría para seguir adelante. Gracias, Padre celestial.

A las conciencias sabias que buscan la armonía de la existencia humana y la naturaleza.

A los maestros del mundo nuevo que luchan a diario por transmitir el conocimiento para el cuidado ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al instituto de investigación de la Amazonia peruana (IIAP) por habernos permitido realizar nuestro trabajo de investigación, y a la Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios (UNAMAD) por habernos formado como profesionalmente.

A nuestros asesores en especial a nuestros profesores incondicionalmente nos apoyaron para la realización del presente trabajo ya que ellos han sido un ejemplo a seguir para nuestra vida diaria.

A todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de esta tesis mediante su apoyo y participación. Asimismo, expreso mi agradecimiento a quienes me ayudaron a mantener el equilibrio emocional y mental a lo largo de estos años, acompañándome tanto en los momentos favorables como en los difíciles, brindándome ánimo para continuar y espacios de distracción, en especial a mi familia, amigos y compañeros durante todo este proceso.

RST-RI_Evaluación de la composición florística en zonas abandonadas por la actividad minera aurífera en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu, en el departamento de Madre de Dios

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %
INDICE DE SIMILITUD

12 %
FUENTES DE INTERNET

3 %
PUBLICACIONES

3 %
TRABAJS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 repositorio.unamad.edu.pe 9 %
Fuente de Internet

2 1library.co 2 %
Fuente de Internet

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 1 %
Excluir bibliografía Activo

PRESENTACIÓN

La presente tesis, elaborada como parte de los requisitos para optar por el título profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente en la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, tiene como objetivo contribuir al conocimiento sobre la dinámica de la vegetación en procesos de regeneración en zonas degradadas por la actividad de minería aurífera. En el contexto regional del Departamento de Madre de Dios, donde la minería aurífera desde hace dos décadas ha generado grandes impactos negativos en el medio ambiente, entre ellos la deforestación, remoción de suelos, contaminación, entre otros impactos, se torna imprescindible la ejecución de actividades de restauración forestal. Sin embargo, información relacionada a la composición florística y ecología de las especies, regenerados en las áreas degradadas y abandonadas, es necesario para la toma de decisiones respecto al tipo de intervención a realizar en las áreas, especies de mayor adaptación a suelos degradados, y el tiempo estimado de recuperación, con la finalidad de lograr el éxito de los proyectos de restauración. Esta investigación, consigna los métodos y técnicas validadas en anteriores investigaciones, para la consecución de los objetivos, siguiendo el método científico.

RESUMEN

El propósito del estudio fue evaluar la composición florística y estructura horizontal en las localidades de La Pampa, Sarayacu y Huepetuhe, sitios con áreas degradadas por minería aurífera, en el Departamento de Madre de Dios. Se levantaron parcelas de 10 x 25 m, se registraron y midieron todos los individuos arbóreos y arbustivos (altura total > 0,5 m). Además, se realizaron análisis de las características físicas y químicas, y concentración de metales pesados en los suelos de los tres sitios. Los resultados mostraron diferencias significativas en la composición florística entre los tres sitios; La Pampa registró 32 especies, mayor que en Sarayacu y Huepetuhe, con 23 y 16 especies, respectivamente. Sin embargo, Sarayacu tuvo la mayor abundancia total de individuos, alcanzando 27 940 ind. ha⁻¹, en comparación con La Pampa y Huepetuhe, con 8 837 y 6 215 ind. ha⁻¹, respectivamente. Los índices de diversidad fueron más altos en La Pampa. Huepetuhe, a pesar de la menor riqueza de especies y menor abundancia total, tuvo mayor diversidad que Sarayacu, que registró bajos índices de diversidad, debido a la alta abundancia y dominancia de *Ochroma pyramidale*. El tiempo de abandono de las áreas degradadas no tuvo relación significativa con la riqueza, abundancia y diversidad. *Ochroma pyramidale* fue la especie de más alto IVI en los tres sitios. Otras especies como *Maquira coriacea*, *Cecropia engleriana*, *Cecropia polystachya* y *Vernonathura patens* en La Pampa, *Cecropia engleriana* y *Trema orientalis* en Sarayacu, y *Chromolaena laevigata* en Huepetuhe, destacaron con IVI's sobresalientes.

Palabras clave: Áreas degradadas; regeneración natural forestal; alteración del suelo; metales pesados en el suelo.

ABSTRACT

The purpose of the study was to evaluate the floristic composition and horizontal structure in the localities of La Pampa, Sarayacu, and Huepetuhe, sites with areas degraded by gold mining in the Department of Madre de Dios. Plots measuring 10 x 25 m were surveyed, and all trees and shrubs (total height > 0.5 m) were recorded and measured. In addition, analyses of the physical and chemical characteristics and heavy metal concentrations in the soils of the three sites were carried out. The results showed significant differences in floristic composition between the three sites; La Pampa recorded 32 species, more than Sarayacu and Huepetuhe, with 23 and 16 species, respectively. However, Sarayacu had the highest total abundance of individuals, reaching 27940 ind. ha⁻¹, compared to La Pampa and Huepetuhe, with 8837 and 6215 ind. ha⁻¹, respectively. Diversity indices were highest in La Pampa. Huepetuhe, despite its lower species richness and total abundance, had greater diversity than Sarayacu, which recorded low diversity indices due to the high abundance and dominance of *Ochroma pyramidale*. The length of time the degraded areas had been abandoned had no significant relationship with richness, abundance, or diversity. *Ochroma pyramidale* was the species with the highest IVI at all three sites. Other species such as *Maquira coriacea*, *Cecropia engleriana*, *Cecropia polystachya*, and *Vernonathura patens* in the Pampa, *Cecropia engleriana* and *Trema orientalis* in Sarayacu, and *Chromolaena laevigata* in Huepetuhe stood out with outstanding IVIs.

Keywords: Degraded areas; forest natural regeneration; soil alteration; heavy metals in the soil.

INTRODUCCIÓN

La región de Madre de Dios contiene una de las mayores extensiones de bosques preservados de la Amazonia Peruana, con alta diversidad de flora de más de 1 000 especies registradas (Phillips et al. 2003). Las actividades humanas como la extracción de madera, agricultura de subsistencia, ganadería (pasturas) y la minería aurífera son las fuentes más importantes de la deforestación y pérdida de biodiversidad de esta zona (Joshi et al. 2015). Dentro de estas actividades la minería aurífera, se ha expandido exponencialmente desde el 2003, relacionado directamente con el incremento del precio internacional del oro, que fue aproximadamente 18% cada año (Swenson et al. 2011), así como el incremento de la demanda mundial de oro después de la crisis internacional (Alvarez-Berrios y Mitchell Aide 2015).

En esta región de Madre de Dios, se estima que desde el 2001 al 2013, se perdieron 1 680 km² de bosques tropicales a causa de la minería aurífera, con mayor tasa de deforestación a partir del 2007 (Alvarez-Berrios y Mitchell Aide 2015). Otros estudios indican una tasa de 1 915 ha deforestadas cada año (2006-2009) (Swenson et al. 2011). Como resultado, se han creado extensos paisajes desolados e innumerados fragmentos forestales en diferentes estados de sucesión ecológica.

Los ecosistemas poseen, según la intensidad del impacto sufrido, una capacidad de recuperación natural que les permite, en determinados plazos, aproximarse a las condiciones existentes antes de la perturbación. No obstante, en el caso de la minería aurífera aluvial, la alteración no se limita a la remoción de la cobertura vegetal superficial, sino que afecta de manera significativa las capas superiores del suelo, lo que prolonga y complejiza el proceso de recuperación de sus características originales, dificultando la recolonización por especies nativas (Lamb, Erskine y Parrotta 2005). A pesar de ello, los remanentes de bosque ubicados en las cercanías de las áreas degradadas constituyen una fuente fundamental de semillas, influyendo directamente en la composición florística y en la estructura de la regeneración natural (Rodrigues, Martins y De Barros 2004). En este sentido, aun frente a una degradación severa del suelo, la recolonización de especies propias del ecosistema puede ser viable cuando existen fragmentos de bosque

conservados en el entorno, lo que resalta la importancia de su preservación (Rodrigues, Martins y De Barros 2004). De esta manera, las áreas impactadas por la minería aurífera pueden dar inicio a procesos de regeneración forestal a través de una sucesión secundaria gradual, donde las especies pioneras modifican las condiciones ecológicas y favorecen el establecimiento posterior de especies de etapas sucesionales más avanzadas (Rodrigues, Martins y De Barros 2004). Evidencias de este proceso se han documentado en zonas degradadas por minería aurífera en la comunidad de Tres Islas, Madre de Dios, donde áreas abandonadas por períodos de entre cinco y diez años fueron colonizadas por especies pioneras como *Cecropia engleriana*, *Ochroma pyramidale*, *Baccharis* sp. y *Guazuma crinita*, así como por especies secundarias iniciales como *Bauhinia* sp., *Ficus insipida* y *Senna silvestris*, generando condiciones favorables para el establecimiento de especies secundarias tardías (Cutire y Ramírez 2017). Sin embargo, en comparación con áreas sujetas a disturbios menos intensos, como aquellas destinadas a la ganadería o la agricultura, el proceso de regeneración en zonas afectadas por minería aurífera resulta considerablemente más lento (Román-Dañobeytia et al. 2015).

En este contexto se torna fundamental la necesidad de conocer la rapidez de la regeneración, la composición florística y estructural, la diversidad de especies y la dinámica sucesional, como herramienta para proyectos de restauración forestal que impliquen el manejo de regeneración natural.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
PRESENTACIÓN	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Objetivos	4
1.4. Variables	5
1.5. Operacionalización de variables	6
1.6. Justificación	7
1.7. Consideraciones éticas.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes de estudios	10
2.2. Marco teórico	12
2.2.1. Regeneración natural.....	12
2.2.2. Minería aurífera	13
2.3. Definición de términos	14
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	17
3.1. Tipo de estudio.....	17
3.2. Diseño del estudio.....	17
3.3. Población y Muestra.....	17
3.3.1. Población.....	17
3.3.2. Muestra.....	17
3.4. Métodos y técnicas.....	17
3.4.1. Lugar de estudio.	18
3.4.2. Determinación de la composición florística de la regeneración natural ..	19
3.4.3. Caracterización de la estructura horizontal de la regeneración natural ..	21
3.4.4. Caracterización de los suelos y contenido de metales pesados.....	23
3.4.5. Determinación de los índices de diversidad	23
3.5. Tratamiento de los datos	24
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES	25
CONCLUSIONES	51
SUGERENCIAS	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Principales impactos ambientales en la etapa de beneficio.....	3
Figura 2: Mapa de localización de los sitios de estudio. Fuente: Instituto Geográfico Nacional	19
Figura 3: Mapa de localización de las parcelas en las áreas degradadas por minería aurífera en La Pampa. Fuente: Google earth 2018.	20
Figura 4: Mapa de localización de las parcelas en las áreas degradadas por minería aurífera en Sarayacu. Fuente: Google Earth 2018.	20
Figura 5: Mapa de localización de las parcelas en las áreas degradadas por minería aurífera en Huepetuhe. Fuente: Google earth 2018.	21
Figura 6: Elaboración propia. Curva de acumulación de especies, en La Pampa (a), Sarayacu (b) y Huepetuhe (c).	26
Figura 7: Abundancia absoluta por familia, en La Pampa (a), Sarayacu (b) y Huepetuhe (c).	28
Figura 8: Abundancia relativa (AR_i) de individuos en las etapas de desarrollo de brinzal, latizal y fustal.	29
Figura 9: Riqueza de especies (S), índice de dominancia (D), índice de diversidad de Simpson (1-D), índice de diversidad de Shannon (H) e índice de diversidad de Evennes (e^H/S), por sitio.	30
Figura 10: Similitud entre sitios, según el índice de Jaccard, mediante análisis multivariado (Cluster).	31
Figura 11: Abundancia relativa (AR_i) de las 10 especies más abundantes, en La Pampa (a), Sarayacu (b) y Huepetuhe (c).	33
Figura 12: Dominancia relativa (DR_i) de 10 especies más dominantes, en La Pampa (a), Sarayacu (b) y Huepetuhe (c).	35
Figura 13: Frecuencia relativa (FR_i) de las 10 especies más frecuentes en La Pampa (a), Sarayacu (b) y Huepetuhe (c).	36
Figura 14: Parámetros fitosociológicos de las 10 especies con mayor índice de valor de importancia "IVI" (%), en áreas degradadas por minería aurífera de La Pampa.	41
Figura 15: Parámetros fitosociológicos de las 10 especies con mayor índice de valor de importancia "IVI" (%) en áreas degradadas por minería aurífera de Sarayacu.	41
Figura 16: Parámetros fitosociológicos de las 10 especies con mayor índice de valor de importancia "IVI" (%), en áreas degradadas por minería aurífera, de Huepetuhe.	42
Figura 17: Concentración de metales pesados del suelo (mg kg^{-1}) de áreas degradadas por minería aurífera, en cada sitio.	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables	6
Tabla 2: Composición florística: Familia, especie y abundancia absoluta (A_i) por sitio.....	26
Tabla 3: Riqueza de especies, índice de dominancia e índices de diversidad, por sitio.....	29
Tabla 4: Matriz de comparación de la diversidad alfa mediante test t entre los sitios evaluados.	30
Tabla 5: Coeficiente de correlación (r) y significancia de la correlación (p) entre la riqueza de especies y abundancia de individuos versus el tiempo de abandono de las áreas degradadas. Valores de p mayores a 0,05 indican que la correlación entre las variables no es significativa.....	31
Tabla 6: Parámetros fitosociológicos de las especies en las áreas degradadas por minería aurífera de La Pampa: Abundancia absoluta " A_i " (ind. ha^{-1}), dominancia absoluta " D_i " ($m^2 ha^{-1}$), Frecuencia absoluta " F_i " (proporción del número total de parcelas), abundancia relativa " AR_i " (%), dominancia relativa " DR_i " (%), frecuencia relativa " FR_i " (%), e índice de valor de importancia " IVI " (%).	38
Tabla 7: Parámetros fitosociológicos de las especies en las áreas degradadas por minería aurífera de Sarayacu: Abundancia absoluta " A_i " (ind. ha^{-1}), dominancia absoluta " D_i " ($m^2 ha^{-1}$), Frecuencia absoluta " F_i " (proporción del número total de parcelas), abundancia relativa " AR_i " (%), dominancia relativa " DR_i " (%), frecuencia relativa " FR_i " (%), e índice de valor de importancia " IVI " (%).	39
Tabla 8: Parámetros fitosociológicos de las especies en las áreas degradadas por minería aurífera de Huepetuhe: Abundancia absoluta " A_i " (ind. ha^{-1}), dominancia absoluta " D_i " ($m^2 ha^{-1}$), Frecuencia absoluta " F_i " (proporción del número total de parcelas), abundancia relativa " AR_i " (%), dominancia relativa " DR_i " (%), frecuencia relativa " FR_i " (%), e índice de valor de importancia " IVI " (%).	40
Tabla 9: Valores de los parámetros físico-mecánicos y químicos del suelo de áreas degradadas por minería aurífera, en cada sitio.....	43
Tabla 10: Valores de concentración de metales pesados del suelo de áreas degradadas por minería aurífera, en cada sitio.....	43
Tabla 11: Coeficiente de correlación " r ", y significancia " p " entre las características físicas, químicas y metales pesados del suelo vs. la abundancia, riqueza y diversidad de la composición florística, en áreas degradadas por minería aurífera.	45

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En la región de Madre de Dios, la minería aurífera aluvial ha ocasionado la destrucción de más de 50 mil hectáreas de cobertura forestal, sin considerar los árboles muertos en pie ni la degradación de cuerpos de agua como lagunas y pantanos (Asner et al. 2013). Asimismo, el intenso movimiento de suelos modifica los sistemas naturales de drenaje y provoca la pérdida de hábitats para numerosas especies. Adicionalmente, los métodos empleados para la extracción y concentración del oro involucran el uso de procesos e insumos que generan residuos tóxicos, como aquellos que contienen cianuro o mercurio, los cuales contaminan el aire, el suelo y los recursos hídricos. Si bien algunos impactos ambientales pueden ser mitigados a largo plazo, en muchos casos los daños resultan irreversibles. En particular, los suelos degradados y contaminados con metales pesados producto de la minería aurífera informal conllevan una significativa pérdida de suelo y biodiversidad. Estas tienen muy baja fertilidad y se caracterizan por presentar, en la parte superior, texturas gruesas (gravas y arenas gruesas), con muy poco contenido de humedad y bajas proporciones de limo, arcillas y materia orgánica, a causa del proceso de acarreo y deposición hídrica en las partes bajas de la cola. Similar ocurre con el desbroce, con la diferencia de que se utilizan maquinarias pesadas, como cargador frontal, excavadoras y volquetes, para la extracción del material aurífero. La colonización vegetal generalmente comienza por la zona baja, donde hay más humedad y se han depositado el limo y la arcilla (Díaz y Elcoro 2009).

En las zonas, donde se realizarán los estudios, se pueden distinguir, como tipo de explotación, el semimecanizado, en donde la recuperación del oro es manual

y con la utilización de algún tipo de máquinas, tales como: carancheras, chupaderas, balsas (dragas) y chute (cargadores frontales, excavadoras y volquetes). Esta actividad está ocasionando deforestación y emisión de carbono, erosión y compactación del suelo, sumado a la contaminación de ríos y suelos por metales pesados y alteración de los cauces y del relieve del terreno.

De todas los impactos que genera la actividad minera, la más importante y que va a hacer materia del presente estudio es la remoción del suelo y el desbosque total del área, lo que genera como producto, suelos contaminados ya sea por insumos utilizados para la actividad o minerales que se encuentran de forma natural en esas áreas (Mercurio - Hg, Cadmio - Cd, Plomo - Pb, Cromo – Cr y Arsénico - As) y que dichas áreas con el tiempo son cubiertos por la vegetación de forma natural, generalmente por plantas que resisten a éstos suelos degradados y contaminados.

También uno de los impactos importantes es la dispersión de mercurio (Figura 1), insumo más utilizado para la recuperación del oro, a través del proceso de amalgamación. Los estudios llevados a cabo por el Ministerio de Energía y Minas indican que, de un total de 150 muestras analizadas: 51 correspondientes a agua del río Madre de Dios, 67 a sedimentos y 32 a materia orgánica; se registraron concentraciones de mercurio inferiores a 0,5 µg/L, valor que se encuentra por debajo del Límite Máximo Permisible para agua de uso doméstico establecido por la Organización Mundial de la Salud (LMP = 1 µg/L). No obstante, las concentraciones más elevadas de mercurio fueron detectadas en sectores ubicados aguas arriba del río Madre de Dios, a partir de la desembocadura del río Inambari, coincidiendo con zonas de mayor actividad minera. A pesar de ello, la contaminación por mercurio no se limita al punto de emisión, ya que los peces contaminados pueden desplazarse a grandes distancias y los vapores liberados durante el proceso ingresan al ciclo atmosférico, extendiendo así el alcance del impacto ambiental.

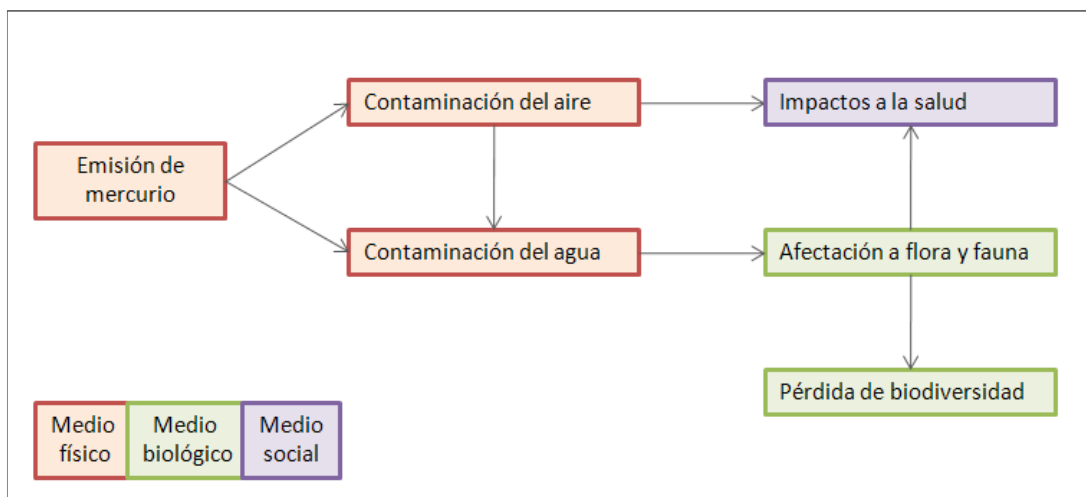


Figura 1: Principales impactos ambientales en la etapa de beneficio.

Estas áreas abandonadas por la actividad minera aurífera presentan suelos contaminados y uno de los contaminantes más importantes es el mercurio, por lo que sería necesario implementar programas de fitorremediación y restauración ambiental. Se ha determinado que el uso de leguminosas arbóreas es lo más efectivo para recolonizar el medio con vegetación e iniciar la restauración ya que no sólo permite la fijación de nitrógeno y la formación progresiva de suelo, sino la recuperación del potencial productivo del espacio. Adicionalmente, permite dar seguimiento a los estadios sucesionales del ecosistema (Vidalón 2002).

La región de Madre de Dios, la más afectada por la actividad minera aurífera, presenta escasa información y estudios realizados sobre la recuperación de áreas degradadas por minería. La rehabilitación, basada en el conocimiento de la dinámica sucesional de las comunidades vegetales, constituye una alternativa para la recuperación de funciones y productividad de los ecosistemas afectados, por lo que nace la presente investigación, para contribuir con información científica oportuna y adecuada.

1.2. Formulación del problema

En el contexto del problema planteado, nos formulamos las siguientes interrogantes:

- ¿Cómo se caracteriza la composición florística de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu?

- ¿Cuál es la diversidad de la composición florística de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu?
- ¿Cómo se caracteriza la estructura horizontal de la vegetación de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu?
- ¿Existe alguna relación entre la composición florística y las características físicas y químicas del suelo de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu?
- ¿Existe alguna relación entre la composición florística y la concentración de metales pesados del suelo de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu?

1.3. Objetivos

Objetivo General

Evaluar la composición florística y estructura horizontal de tres sitios con áreas degradadas por minería aurífera, en el Departamento de Madre de Dios.

Objetivos Específicos

- Caracterizar la composición florística de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu.
- Determinar la diversidad de la composición florística de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu.
- Caracterizar la estructura horizontal de la vegetación de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu.
- Determinar la relación entre las características físicoquímicas del suelo y la composición florística de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu.
- Determinar la relación entre la concentración de metales pesados del suelo y la composición florística de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu.

1.4. Variables

Variables independientes:

- **Tiempo de abandono:** Es el tiempo transcurrido desde la finalización de las actividades mineras en el área, hasta la evaluación realizada del presente estudio, medido en años.
- **Características físicas y químicas del suelo:** Son los contenidos de materia orgánica, arcilla, limo, arena, conductividad eléctrica, pH, contenido de elementos químicos y cationes.
- **Altura total:** Es la altura desde la base hasta la última hoja de un individuo medido en metros.
- **Diámetro:** En el caso de fustales, es el diámetro del tronco medido a 1,3 m de altura desde la base (DAP), en el caso de brinzales y latizales es el diámetro a la altura de la superficie del suelo (DAS).
- **Contaminación del suelo por metales pesados:** En la cantidad en que se encuentra un determinado metal en el suelo. Se subdivide en las siguientes subvariables:
 - Plomo (Pb) (mg/kg)
 - Cadmio (Cd) (mg/kg)
 - Cromo (Cr) (mg/kg)
 - Arsénico (As) (mg/kg)
 - Mercurio (Hg) (mg/kg)

Variables dependientes:

- **Riqueza de especies:** Es el número de especies existentes.
- **Abundancia:** Es el número de individuos por hectárea.
- **Frecuencia:** Es el porcentaje de presencia en las 25 parcelas de una determinada especie.
- **Dominancia:** La dominancia es la sumatoria del área basal de los individuos por especie en metros cuadrados por hectárea.
- **Diversidad:** Es representada por el índice de diversidad de Shannon (H'), un índice clásico que combina la información de la riqueza de especies y la equidad en lo que se llama diversidad o heterogeneidad (Magurran 1988).

- **Índice de Valor de Importancia.** Se calcula para cada especie a partir de la suma de la abundancia relativa, la frecuencia relativa y la dominancia relativa. Permite comparar el peso ecológico de cada especie dentro del bosque. El valor del IVI similar para diferentes especies registradas en el inventario sugiere una igualdad o semejanza del bosque en su composición, estructura, calidad de sitio y dinámica.

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

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

Objetivo	Variables	Sub-variables	Indicadores	Unidad de medida
Caracterizar la composición florística de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu.	Tiempo de abandono	-	Años de abandono de las minas	Año
	Abundancia	-	Número de individuos por hectárea	Ind. ha ⁻¹
	Riqueza de especies	-	Número de especies diferentes	Especies
	Diversidad	-	Índice de diversidad de Shannon	Adimensional
Caracterizar la estructura horizontal de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa, y Sarayacu	Tiempo de abandono	-	Años de abandono de las minas	Año
	Diámetro	-	Diámetro del tronco de una planta, medido a 1,3 m de altura desde la base	cm
	Abundancia	-	Número de individuos por hectárea	Ind. ha ⁻¹
	Frecuencia	-	Porcentaje de presencia en las parcelas, de una determinada especie	%
	Dominancia	-	Sumatoria de áreas basales de individuos de una misma especie	m ² ha ⁻¹
	Índice de Valor de Importancia	-	Sumatoria de Abundancia, Frecuencia y Dominancia	Adimensional

Determinar la relación entre la composición florística y las características físico-químicas del suelo, de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa, y Sarayacu	Tiempo de abandono	-	Años de abandono de las minas	Año
	Abundancia	-	Número de individuos por hectárea	Ind. ha ⁻¹
	Riqueza de especies	-	Número de especies diferentes	Especies
	Características físicas y químicas del suelo	Características químicas del suelo	Propiedades químicas del suelo (pH, contenido de materia orgánica, potasio disponible, fósforo disponible, y capacidad de intercambio catiónico)	%, ppm
		Características físicas del suelo	Contenido de materia orgánica, Contenido de arcilla, Contenido de limo, Contenido de arena	%
Evaluar la contaminación de los suelos por metales pesados, de áreas degradadas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa, y Sarayacu	Contaminación del suelo por metales pesados	Plomo (Pb)	Concentración de plomo	(mg/kg)
		Cadmio (Cd)	Concentración de cadmio	(mg/kg)
		Cromo (Cr)	Concentración de cromo	(mg/kg)
		Arsénico (As)	Concentración de arsénico	(mg/kg)
		Mercurio (Hg)	Concentración de Mercurio	(mg/kg)

1.6. Justificación

Científico: La investigación contribuye con conocimiento de especies nativas que se desarrollan en condiciones de suelos disturbados, infértiles y contaminados por la minería aurífera artesanal.

Social: Con la identificación de especies nativas que se desarrollan óptimamente en condiciones severas, como las que vienen dejando la explotación minera en Madre de Dios, permite promover la recuperación de estas áreas, en cuanto al suelo y la composición florística. Con la información

generada la población puede lograr programas de reforestación, fitorremediación y belleza paisajística, permitiéndoles recuperar la calidad del agua, erosión y paisaje. Al recuperarse estos servicios, el ambiente será más saludable y la población que vive en la zona de influencia tendría menos riesgos de salud, ya que los metales pesados (Hg, Cd, Pb, Cr y As) estarían dentro del rango de los Estándares de Calidades Ambientales.

Económico: Como producto de la recuperación de estas áreas alteradas por minería aurífera, se obtendrían productos maderables y no maderables; asimismo como otros servicios tales como bonos de carbono y pagos por servicios ambientales, que generaría ingresos a las poblaciones asentadas en el ámbito de estas áreas. Por otro lado, al disminuir los riesgos de salud, como disminuir las concentraciones de mercurio y otros metales pesados, la población gastará menos en los tratamientos de posibles enfermedades.

Ambiental: Los resultados que se obtengan del presente estudio y su posterior utilización en programas de reforestación, fitorremediación y en recuperación de los servicios ambientales en las áreas disturbadas por minería contribuirán en la remediación de estos espacios, que ya son considerados como pasivos ambientales.

1.7. Consideraciones éticas

La presente investigación fue elaborada en conformidad con las disposiciones establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Asimismo, las fuentes consultadas fueron debidamente citadas, respetando en todo momento los derechos de autor y la propiedad intelectual. Los resultados del presente proyecto de tesis fueron producto de exhaustivas y cuidadosas mediciones realizadas durante el periodo de ejecución en campo, y analizadas en base a metodologías validadas de la literatura científica. En general, el desarrollo de la investigación siguió el método científico para la obtención de resultados válidos y comparables.

Durante el desarrollo de las actividades de investigación, se procuró minimizar cualquier acción que pudiera generar efectos adversos sobre el medio

ambiente, adoptándose además las medidas de seguridad necesarias para prevenir accidentes laborales. Las actividades realizadas fueron autorizadas por los propietarios de las áreas evaluadas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudios

Debido a que Madre de Dios es la región con mayor producción de oro, responsable del 12% del oro producido en el Perú, mediante minería aluvial (Damonte et al. 2013), diversos organismos nacionales, internacionales e investigadores, generaron publicaciones mostrando el impacto de la minería aurífera aluvial en el medio ambiente.

Se estima que, en Madre de Dios, se han deforestado alrededor de 1680 km² de bosques tropicales a causa de la minería aurífera, con mayor tasa de deforestación a partir del 2007 (Alvarez-Berríos y Mitchell Aide 2015). Por ejemplo, 6600 ha de bosques han sido convertidos en vastas extensiones de relaves y estanques mineros, en los sectores “Guacamayo” y “Delta 1” desde el 2003 al 2009, con una tasa de 1915 ha deforestadas cada año (2006-2009) (Swenson et al. 2011). Recientemente, se han encontrado mayores niveles de mercurio en el cabello de las personas cercanas a las minas aluviales de oro, indicando un alto riesgo para la salud humana (Langeland, Hardin y Neitzel 2017).

En áreas degradadas por minería aurífera aluvial, el proceso de regeneración natural de la vegetación parece ser mucho más lento en comparación con áreas con menor perturbación del suelo (ganadería y agricultura) (Román-Dañobeytia et al. 2015). Sin embargo recientes estudios encontraron que en áreas abandonadas entre 5 y 10 años, fueron colonizadas por especies pioneras como *Cecropia engleriana*, *Ochroma pyramidale*, *Baccharis sp*, *Guazuma crinita*, entre muchas otras, así como especies secundarias iniciales como *Bauhinia sp*, *Ficus insípida* y *Senna silvestris* entre otras generando condiciones propicias para el establecimiento de especies secundarias tardías

(Cutire y Ramírez 2017). Similarmente en otra zona minera, *Ochroma pyramidale*, *Cecropia membranacea*, *Chromolaena laevigata*, *Inga thibaudiana*, y *Piper sp.* fueron especies de mayor valor de importancia ecológica, encontrándose en una etapa de una transición de la etapa pionera a secundaria inicial y presentando características típicas de los bosques en etapas más avanzadas como especies secundarias tardías, indicando el avance de la sucesión secundaria (Sajami 2017).

Considerando que los fragmentos de bosque adyacentes a las zonas degradadas constituyen una fuente clave de semillas y, por ende, influyen en la composición florística y en la estructura de la regeneración natural (Rodrigues, Martins y De Barros 2004), a recolonización de las especies nativas puede ocurrir incluso bajo condiciones de fuerte alteración del suelo, siempre que se conserven remanentes forestales en el entorno. En este contexto, la preservación de fragmentos de bosque resulta fundamental (Rodrigues, Martins y De Barros 2004). En consecuencia, a pesar del elevado nivel de degradación generado por la minería aurífera, estas áreas tienen el potencial de iniciar procesos de regeneración forestal mediante una sucesión secundaria progresiva, en la que las especies pioneras modifican las condiciones ecológicas y favorecen el establecimiento posterior de especies de etapas sucesionales más avanzadas (Rodrigues, Martins y De Barros 2004).

Moschella (2011) señala que la revegetación natural en antiguas áreas mineras ha sido documentada previamente, como en el estudio del Proyecto Piloto de Rehabilitación del Área Minera Huepetuhe–Caychive, desarrollado por José Ríos Trigos y Juan Juscamaita. Dichos autores reportan que en zonas abandonadas se establece de manera espontánea una cobertura vegetal compuesta por especies con afinidad xerofítica, predominando aquellas pertenecientes a las familias Melastomataceae, Leguminosae y Poaceae.

Mosquera et al. (2009) escriben áreas mineras abandonadas en las que se observa un proceso de revegetación natural sobre montículos de desmonte de grava, donde se han establecido especies como cetico, topa y caña brava.

Asimismo, los autores indican que, como resultado de los procesos sucesionales, existe la posibilidad de que el bosque logre una recuperación completa en términos de composición, estructura y funcionamiento ecológico.

Pacheco (2014) destaca el papel fundamental de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam) y *Cecropia engleriana* Snethl. en los procesos de recuperación de áreas afectadas por la minería aurífera. Dichas especies se registraron como las más abundantes dentro de las comunidades vegetales colonizadoras y demostraron una alta capacidad de adaptación a las condiciones propias de estos ambientes degradados.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Regeneración natural

Las selvas húmedas han experimentado procesos intensos de deforestación y degradación como consecuencia de las actividades humanas. Amplias extensiones que anteriormente albergaban bosques de alta diversidad biológica han sido transformadas en áreas agrícolas y pecuarias, bosques secundarios, terrenos degradados abandonados y, en menor medida, en fragmentos aislados de selva. En este contexto, los enfoques tradicionales de la regeneración natural resultan limitados para analizar los procesos de sucesión y restauración ecológica en vastas áreas deforestadas, por lo que se hace necesaria la formulación de nuevos principios ecológicos que faciliten el desarrollo de estrategias y tecnologías eficaces para la recuperación de selvas en ambientes degradados.

La regeneración natural se define como el proceso mediante el cual un bosque se recupera tras una perturbación sin la intervención directa del ser humano. Este proceso contribuye al aumento de la funcionalidad del ecosistema, así como a una mayor complejidad estructural, diversidad de especies vegetales y disponibilidad de hábitats, entre otros aspectos (Mongabay 2017). Asimismo, abarca áreas sometidas a aprovechamiento selectivo, terrenos que se regeneran tras su uso agrícola y zonas en proceso de recuperación luego de incendios de origen antrópico. También incluye bosques en los que no es posible distinguir si su origen fue natural o producto de plantaciones, así como

aquellos conformados por una combinación de árboles regenerados naturalmente y árboles plantados o sembrados, siempre que los primeros representen más del 50 % de los individuos al alcanzar la madurez (FAO 2010).

2.2.2. Minería aurífera

Ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. En la práctica, el término incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie. Consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre (Ministerio de Minas y Energía-Colombia 2003).

La Minería Aurífera, es aquella actividad donde se extrae el oro (Au), como producto, después de un proceso de recuperación en un determinado sólido que se encuentra de forma natural. En el Departamento de Madre de Dios se desarrolla la minería aurífera aluvial, principalmente en las provincias de Manu y Tambopata, en los estratos correspondientes a la pequeña minería y minería artesanal, normado por la Ley N° 27651, Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal y su Reglamento el Decreto Supremo N° 013-2002-EM, modificado por los D.L N° 1100, Decreto que Regula la Interdicción de la Minería Ilegal en toda la República y Establece Medidas Complementarias. Con este último Decreto se establece zona exclusiva para la pequeña minería y minería artesanal, en donde se lleva a cabo el proceso de formalización, regulado por los D.S. N° 003-2012- MEM y normas modificatorias.

La minería informal de oro en Madre de Dios inicia a partir de 1980, a raíz de la recesión económica y terrorismo que generó migración a las zonas auríferas, sumado a los altos precios del oro. El incremento sostenido del precio del oro ha impulsado en los últimos años una rápida expansión de la minería aurífera en depósitos aluviales, a un ritmo superior al observado en periodos históricos anteriores, generando elevados costos tanto para la salud humana como para el medio ambiente. En el Perú, la denominada “minería

artesanal” o “pequeña minería” tiene una especial relevancia en la región de Madre de Dios (Brack et al. 2011).

Esta actividad minera se caracteriza por el uso de prácticas empíricas en todas sus etapas, desde la exploración hasta la explotación, lo que conlleva al desperdicio de recursos —incluido el propio oro— y a la degradación innecesaria de los ecosistemas. Por ejemplo, con frecuencia se procesa material con bajo contenido aurífero debido al desconocimiento de su valor real, producto de la ausencia de estudios exploratorios previos; además, los métodos gravimétricos empleados son rudimentarios, lo que ocasiona la pérdida de partículas finas de oro. A ello se suma el uso excesivo y la contaminación innecesaria de grandes volúmenes de agua, así como la disposición desordenada de las gravas removidas, que altera el paisaje y dificulta futuras operaciones (Brack et al. 2011).

Entre los principales impactos asociados a esta actividad se encuentran la contaminación ambiental, la alteración de los suelos y la deforestación. La contaminación se origina principalmente por el uso de mercurio durante el proceso de recuperación del oro metálico, así como por la descarga de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua y el vertimiento de residuos de amalgamación en ríos y superficies terrestres. Por su parte, la disturbación de los suelos y la pérdida de cobertura forestal son consecuencia de métodos de explotación aplicados sin criterios técnicos ni prácticas orientadas a la rehabilitación del área intervenida (Brack et al. 2011).

2.3. Definición de términos

- **Composición florística:** Se refiere al número de individuos de cada especie presentes en un área determinada, considerando además la familia botánica a la que pertenecen y la cantidad de ejemplares por especie (Peet 1975). En este sentido, la composición florística de un bosque se entiende como la diversidad de especies que conforman un ecosistema, la cual se evalúa a partir de su riqueza y representatividad. Dicha composición está constituida por el conjunto de especies arbóreas que integran el ecosistema forestal. Por lo tanto, el análisis de la composición florística implica la elaboración y

evaluación de un inventario que incluye los nombres comunes, científicos y las familias botánicas correspondientes (Peet 1975).

- **Deforestación:** La deforestación se define como la pérdida permanente de la cobertura forestal y su conversión a un uso distinto del suelo. Este proceso puede originarse y mantenerse tanto por acciones humanas como por perturbaciones de origen natural. La deforestación comprende aquellas áreas boscosas transformadas en tierras agrícolas, pastizales, cuerpos de agua o zonas urbanas. Sin embargo, el término excluye específicamente los espacios donde los árboles han sido removidos debido a actividades de aprovechamiento forestal o tala, siempre que se prevea la regeneración del bosque de forma natural o mediante prácticas silvícolas. En general, cuando la tala no es seguida por un desbosque continuo, los bosques tienden a regenerarse, aunque frecuentemente bajo condiciones distintas a las originales, dando lugar a bosques secundarios. En sistemas como la agricultura itinerante, los bosques, barbechos forestales y tierras agrícolas se distribuyen de manera dinámica, generando patrones en los que la deforestación y la recuperación del bosque ocurren en pequeñas áreas o parches. Con fines de simplificación en los reportes, suele emplearse el cambio neto de cobertura forestal en áreas de mayor extensión. Asimismo, se considera deforestación a aquellas zonas donde factores como disturbios severos, sobreexplotación o cambios ambientales impiden que el bosque mantenga una cobertura de copa superior al umbral del 10 % (FAO 2010).
- **Características edáficas del suelo:** El análisis de suelos permite conocer sus propiedades físico-químicas y evaluar su nivel de fertilidad. Asimismo, constituye una herramienta fundamental para definir estrategias orientadas al mantenimiento de la fertilidad, al incremento de la productividad y a la conservación del recurso suelo. Para obtener resultados confiables, es indispensable que las muestras analizadas sean representativas del área de estudio. Los análisis de suelos realizados en laboratorio se llevan a cabo siguiendo metodologías rigurosas y empleando técnicas analíticas cada vez más precisas y confiables (Gonçalves y Benedetti 2000).
- **Metales pesados en el suelo:** Los metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Tienen

aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios. Los más importantes son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn) (Harte et al. 1991).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio

La presente investigación es de tipo descriptivo. Según el carácter de medida es cuantitativa. Según el alcance temporal es transversal.

3.2. Diseño del estudio

El diseño del estudio es de tipo no experimental; se enmarca dentro de un diseño observacional sin grupo control del tipo longitudinal.

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población es conformada por la superficie total de áreas degradadas por la minería aurífera en los Sectores de Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu. Según estimaciones, existen aproximadamente 10 000 ha y 5 000 ha degradadas en los sectores de Huepetuhe y La Pampa respectivamente (Asner et al. 2013). Para Sarayacu no se tienen estimaciones del área impactada por la minería aurífera. En general, Madre de Dios registra aproximadamente 50 000 ha degradadas por la extracción del oro.

3.3.2. Muestra

En total, se instalaron y evaluaron 32 parcelas de 250 m² (10 m x 25 m), específicamente 12 parcelas en La Pampa, 12 parcelas en Sarayacu y 8 parcelas en Huepetuhe. Para evaluar la eficiencia del muestreo se construyeron curvas de acumulación de especies (Figura 6a, Figura 6b y Figura 6c), las cuales son mostradas en el capítulo de resultados.

3.4. Métodos y técnicas

3.4.1. Lugar de estudio.

La investigación se realizó en los tres sectores donde predomina la actividad minera (Figura 2):

- Huepetuhe: Ubicado en el Distrito de Huepetuhe, Provincia del Manú, Departamento de Madre de Dios.
- Sarayacu: Ubicado en el Distrito de Inambari, Provincia del Manú, Departamento de Madre de Dios.
- La Pampa: Ubicada en el Distrito de Inambari, Provincia del Manú, Departamento de Madre de Dios.

El clima de los distritos de Inambari y Huepetuhe se caracteriza por registrar precipitaciones anuales que oscilan entre 2 800 y 3 000 mm, con la presencia de una estación seca bien definida que se extiende de mayo a noviembre. El período más lluvioso se concentra entre los meses de octubre y marzo, con valores superiores a 200 mm mensuales, mientras que durante la estación seca se presentan entre dos y tres meses con precipitaciones inferiores a 100 mm al mes, siendo agosto el mes con menor precipitación, con registros por debajo de los 50 mm mensuales (GOREMAD 2010). La temperatura media anual se sitúa entre 24 °C y 25 °C, y la precipitación pluvial varía entre 1 000 y 2 000 mm; adicionalmente, es frecuente la influencia de masas de aire frío provenientes del sur durante los meses de junio a agosto, fenómeno común en toda la región (GOREMAD 2010).

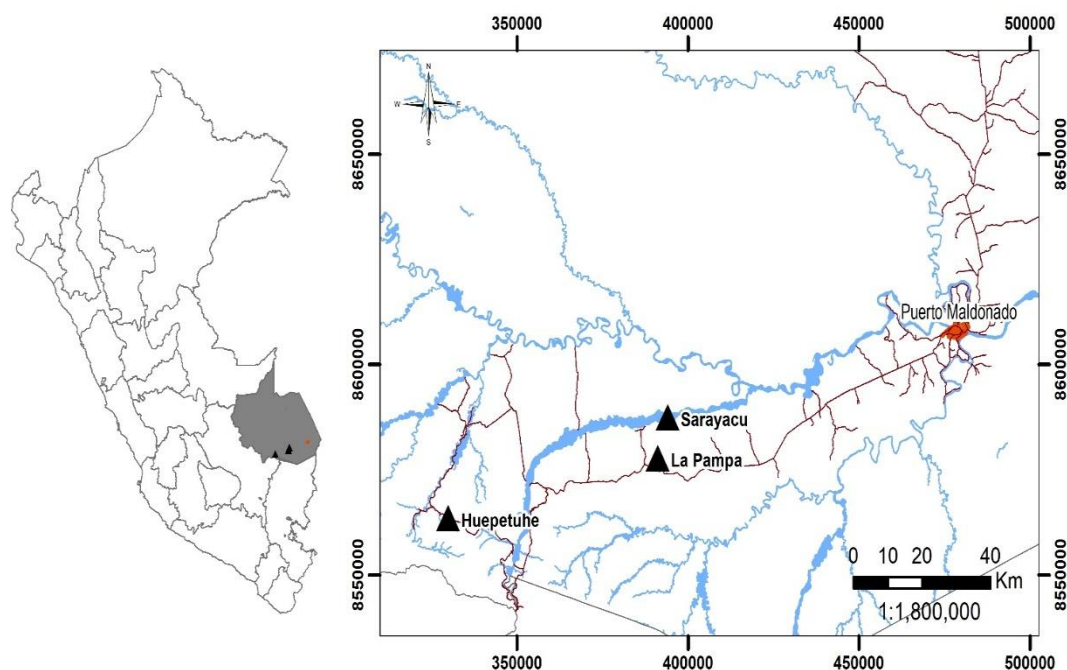


Figura 2: Mapa de localización de los sitios de estudio. Fuente: Instituto Geográfico Nacional

3.4.2. Determinación de la composición florística de la regeneración natural

La composición florística de cada sector se determinó en base al inventario forestal de fustales ($DAP \geq 10$ cm), latizales ($DAS \geq 5$ cm y < 10 cm) y brinzales ($altura \geq 0,3$ m y $< 1,3$ m, con $DAS < 5$ cm). Los fustales fueron evaluados en las parcelas de 10 m x 25 m, en cuanto que los latizales y brinzales fueron evaluados en subparcelas de 5 m x 5 m instaladas dentro de las parcelas de 10 m x 25 m.

Los inventarios se realizaron en 12 parcelas en La Pampa (Figura 3), 12 parcelas en Sarayacu (Figura 4) y 8 parcelas en Huepetuhe (Figura 5), distribuidas aleatoriamente en las áreas degradadas.

Solo se consideraron árboles, arbustos y palmeras. Las herbáceas y lianas fueron excluidas de la vegetación evaluada. Se midió la altura total y el diámetro a la altura del pecho de cada individuo, y se colectó material botánico para la posterior herborización e identificación. Las muestras herborizadas fueron depositadas en el Herbario de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para la identificación botánica a nivel de especie.

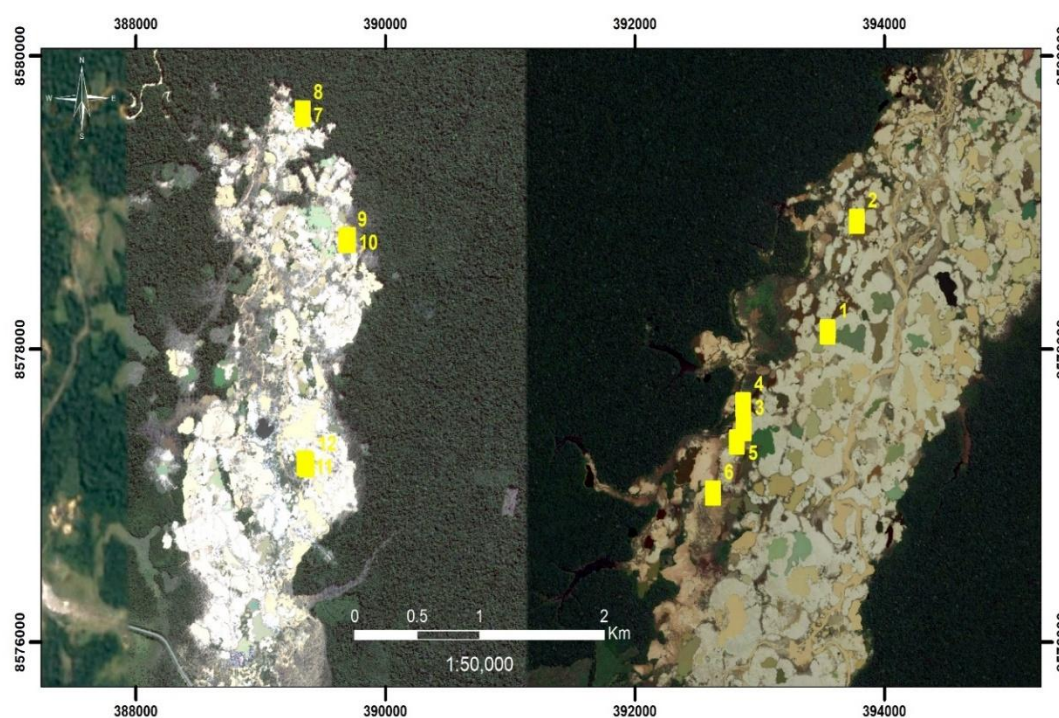


Figura 3: Mapa de localización de las parcelas en las áreas degradadas por minería aurífera en La Pampa. Fuente: Google earth 2018.

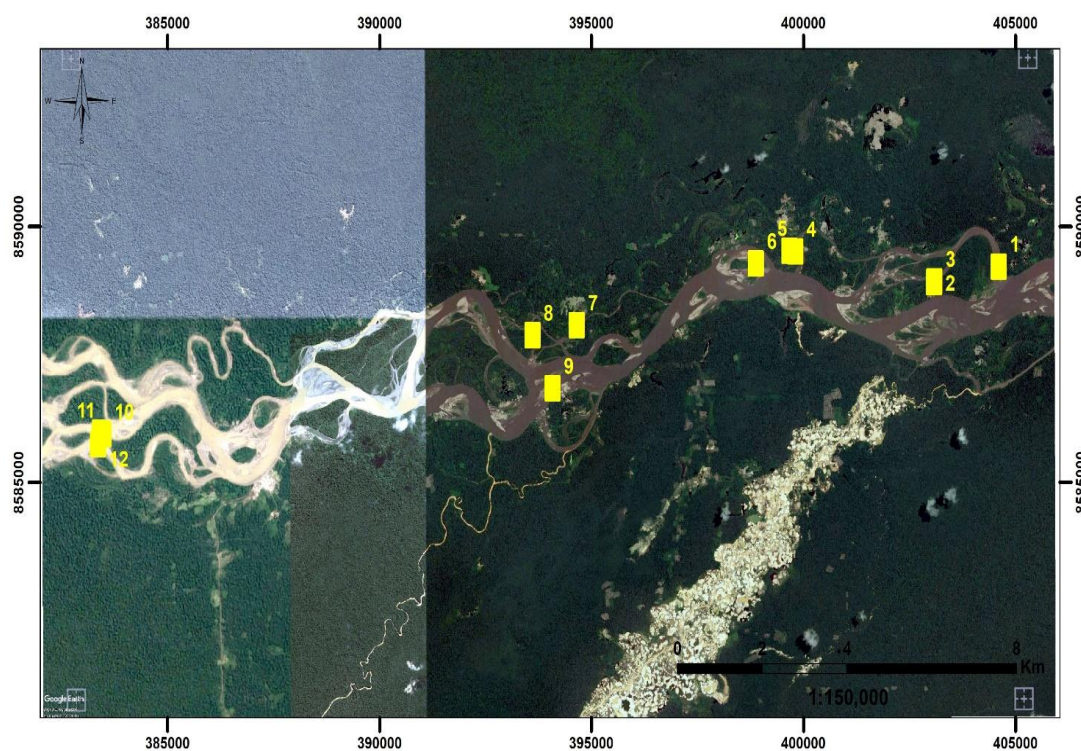


Figura 4: Mapa de localización de las parcelas en las áreas degradadas por minería aurífera en Sarayacu. Fuente: Google Earth 2018.

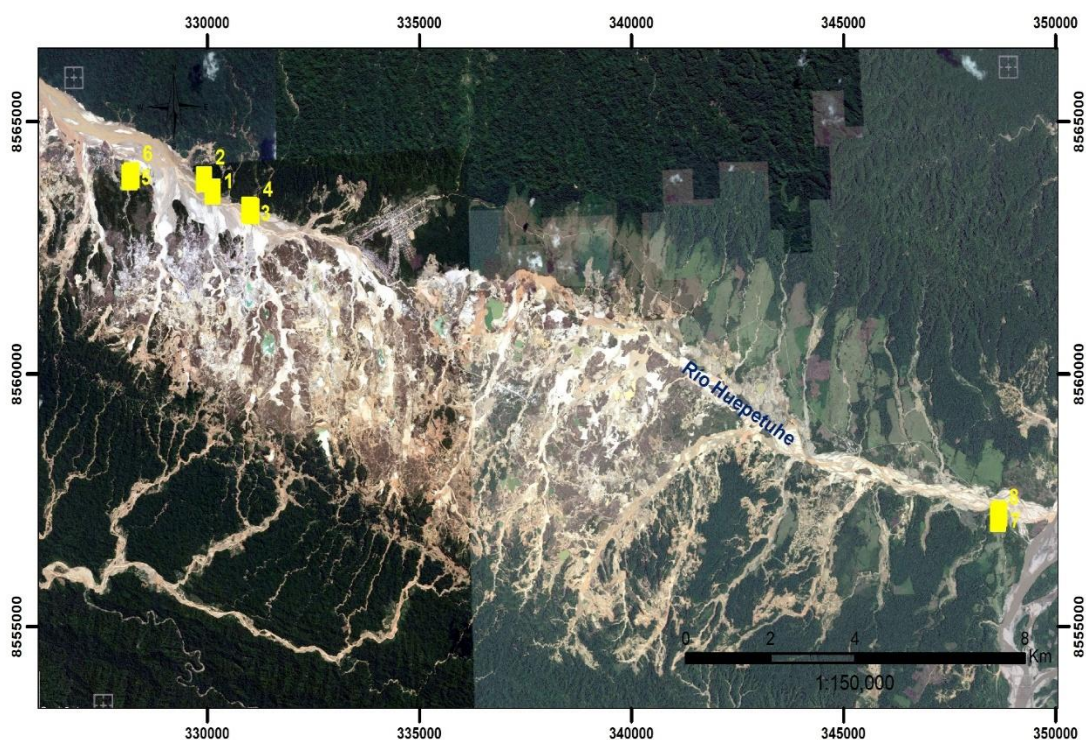


Figura 5: Mapa de localización de las parcelas en las áreas degradadas por minería aurífera en Huepetuhe. Fuente: Google earth 2018.

3.4.3. Caracterización de la estructura horizontal de la regeneración natural

El Índice de Valor de Importancia (IVI), propuesto por Lamprecht (1990), se utilizó para evaluar la relevancia relativa de cada especie dentro de la comunidad, y se calcula a partir de la suma de la abundancia relativa, la frecuencia relativa y la dominancia relativa:

$$IVI = AR_i + FR_i + DR_i$$

Donde IVI: Índice de valor de importancia

AR_i: Abundancia relativa

FR_i: Frecuencia relativa

DR_i: Dominancia relativa

La abundancia relativa se define como el número de individuos de una especie “i” respecto a la sumatoria de todos los individuos de todas las especies.

$$A_i = N_i / S$$

$$AR_i = (A_i / \sum A_i) \times 100$$

Donde: A_i : Abundancia absoluta de la especie i
 N_i : Número de individuos de la especie i
 S : Área inventariada (ha)
 AR : Abundancia relativa de la especie i
 $\sum A_i$: Sumatoria de la abundancia absoluta de todas las

especies

La frecuencia relativa determina el número de parcelas en que aparece una determinada especie, en relación al total de parcelas inventariadas, respecto a la frecuencia total.

$$F_i = n_i / n$$

$$FR_i = (F_i / \sum F_i) \times 100$$

Donde: F_i : Frecuencia absoluta de la especie i
 FR_i : Frecuencia relativa de la especie i
 n_i : Número de parcelas en las que aparece la especie i
 n : Número total de parcelas inventariadas
 $\sum F_i$: Sumatoria de la frecuencia absoluta de todas las

especies.

La dominancia relativa expresa el nivel de cobertura de una especie como indicador del espacio que ocupa dentro del ecosistema. En bosques tropicales, este parámetro se calcula a partir de la proporción que representa el área basal total de una especie respecto al área total evaluada, en relación con la suma de las áreas basales de todas las especies presentes en el área de estudio.

$$D_i = \sum AB_i / S$$

$$DR_i = (D_i / \sum D_i) \times 100$$

Donde: D_i : Dominancia absoluta de la especie i
 $\sum AB_i$: Sumatoria de las áreas basales de la especie i
 S : Área inventariada (ha)
 DR_i : Número total de parcelas inventariadas
 $\sum D_i$: Sumatoria de la dominancia absoluta de todas las

especies.

3.4.4. Caracterización de los suelos y contenido de metales pesados

En cada sector se recolectaron muestras de suelo de la capa superficial, con un peso aproximado de 0,5 kg por muestra, a una profundidad máxima de 30 cm. Durante el proceso se eliminaron impurezas tales como plásticos, raíces y piedras, las cuales se encuentran en alta proporción en estos suelos. Posteriormente, las muestras obtenidas en cada sector fueron homogenizadas y remitidas al Laboratorio de Química Agrícola, auspiciado por el Instituto Rural Valle Grande, donde se realizaron los análisis correspondientes.

3.4.5. Determinación de los índices de diversidad

El índice de diversidad de Shannon (H') (Magurran 1988) se definió como:

$$H' = - \sum p_i \times \ln p_i$$

Donde p_i es la abundancia relativa de la especie i , es decir, la proporción de individuos de la especie i .

El índice de Evenness fue calculado de la siguiente forma (Magurran 1988):

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde H' representa el índice de Shannon y H_{max} corresponde a $\ln S$, siendo S la riqueza de especies. Por su parte, el índice de dominancia de Simpson expresa la probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente de una comunidad de tamaño muy grande pertenezcan a especies distintas, y se define matemáticamente como:

$$D = \sum p_i^2$$

Donde p_i es la proporción de individuos en la i ésima especie (Magurran 1988). Con la finalidad de calcular el índice de forma apropiada para una comunidad finita, es usado:

$$D = \sum \left(\frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right)$$

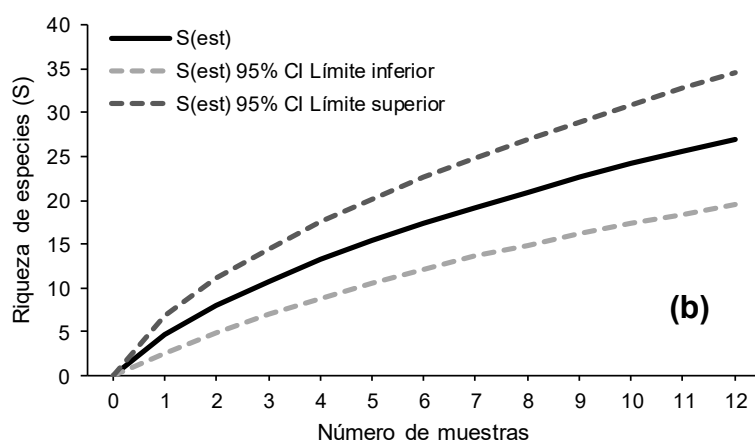
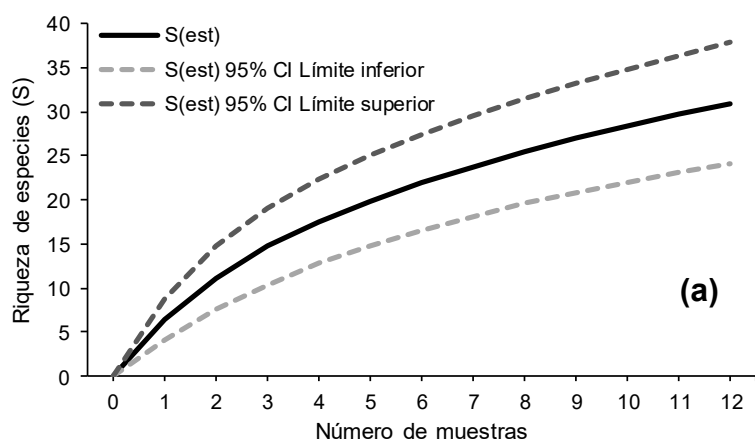
Donde n_i es el número de individuos en la i ésima especie y N es el número total de individuos (Magurran 1988).

3.5. Tratamiento de los datos

Los datos obtenidos fueron organizados y procesados en hojas de cálculo de Excel. Mediante el uso de tablas dinámicas se elaboraron cuadros y figuras que permitieron representar la composición florística y la estructura horizontal de la vegetación en cada una de las zonas evaluadas, así como realizar comparaciones descriptivas entre ellas. Las curvas de acumulación de especies e índices de diversidad fueron construidas y/o determinadas usando el software EstimateS y Past3. Se realizó un análisis de correlación simple entre la riqueza de especies e índice de diversidad versus las características físicas, químicas y concentración de metales pesados, usando el software SAS 9.3.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

La tendencia de las curvas de acumulación de especies indicó una buena eficiencia de muestreo en La Pampa, Sarayacu y Huepetuhe (Figura 6 a, b, c).



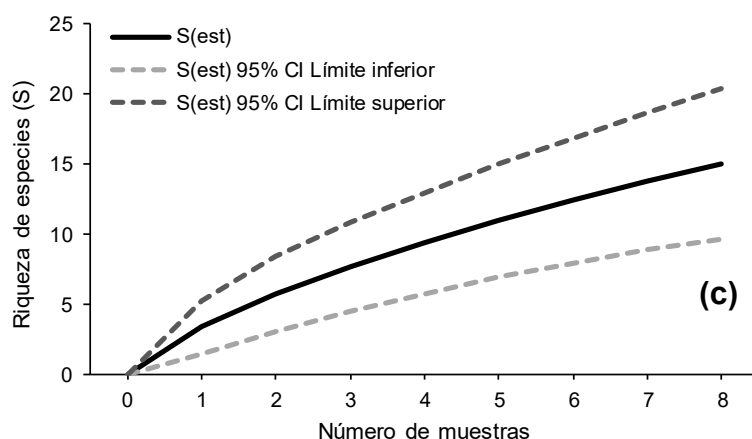


Figura 6: Elaboración propia. Curva de acumulación de especies, en La Pampa (a), Sarayacu (b) y Huepetuhe (c).

Composición florística de las áreas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu:

En La Pampa fueron registrados 8 837 individuos por hectárea (ind. ha⁻¹) distribuidos en 30 especies y 16 familias; en cuanto que en Sarayacu se registraron 27 940 ind. ha⁻¹, la más alta abundancia, distribuidos en 23 especies y 15 familias. En contraste, Huepetuhe registró la más baja abundancia de plantas con 6 215 ind. ha⁻¹, distribuidas en 13 especies y 10 familias (Tabla 2). Las familias con mayor abundancia de individuos fueron Moraceae y Cecropiaceae en La Pampa, Malvaceae y Cecropiaceae en Sarayacu, y Asteraceae y Malvaceae en Huepetuhe (Figura 7).

Tabla 2: Composición florística: Familia, especie y abundancia absoluta (Ai) por sitio.

Familia	Especie	Ai (Ind. ha ⁻¹)		
		La Pampa	Sarayacu	Huepetuhe
Annonaceae	Cananga odorata (Lam.) Hook. f. & Thomson	37	0	0
	Guatteria sp.	0	110	0
Arecaceae	Bactris major Jacq.	220	0	0
	Mauritia flexuosa L. f.	220	0	0
Asteraceae	Chromolaena laevigata (Lam.) R.M. King & H. Rob.	0	0	2 530
	Tessaria integrifolia L.	0	477	0
	Vernonanthura patens (Kunth) H. Rob.	660	37	385
Caesalpiniaceae	Tachigali tinctoria (Benth.) Zarucchi & Herend	37	0	0
Cannabaceae	Trema micrantha (L.) Blume	0	37	0
	Trema orientalis (L.) Blume	0	953	0
Cecropiaceae	Cecropia engleriana Snethl.	1 173	2 860	165
	Cecropia polystachya Trécul	660	0	0

	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	330	0	0
Combretaceae	<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	37	0	0
Euphorbiaceae	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.	220	0	55
	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	37	0	0
	<i>Margaritaria nobilis</i> L. f.	0	110	0
Fabaceae	<i>Abarema jupunba</i> (Willd.) Britton & Killip	37	0	0
	<i>Crotalaria retusa</i> L.	0	73	0
	<i>Crotalaria</i> sp.	0	37	0
	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O.F. Cook	0	73	0
	<i>Inga ruiziana</i> G. Don	37	0	0
	<i>Inga thibaudiana</i> DC.	37	257	0
	<i>Machaerium</i> sp.	37	0	0
	NN	37	293	110
	<i>Parkia panurensis</i> Benth. ex H.C. Hopkins	37	0	0
	<i>Senna reticulata</i> (Willd.) H.S. Irwin & Barneby	0	220	0
Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	477	0	110
Lauraceae	<i>Nectandra pulverulenta</i> Nees	0	37	0
Malvaceae	<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	367	20 753	1 760
Melastomataceae	<i>Clidemia capitellata</i> (Bonpl.) D. Don	37	0	0
	<i>Miconia Calvescens</i> DC.	110	0	0
	<i>Miconia</i> sp.	110	0	0
	<i>Miconia tomentosa</i> (Rich.) D. Don ex DC.	73	37	0
	<i>Tibouchina longifolia</i> (M.Vahl) Baillon	0	0	385
	<i>Tibouchina ochypetala</i> (Ruiz & Pav.) Baill.	0	0	55
Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i> Vahl	0	477	0
Mimosaceae	<i>Albizia saman</i> (Jacq.) F. Mueller	0	0	110
Moraceae	<i>Ficus maxima</i> Mill.	293	37	0
	<i>Maquira coriacea</i> (H. Karst.) C.C. Berg	2 603	0	0
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	0	110	0
Phyllanthaceae	<i>Richeria grandis</i> Vahl	110	0	0
Piperaceae	<i>Piper</i> sp.	0	623	220
Rubiaceae	<i>Ferdinandusa guainiae</i> Spruce ex Schumann	110	0	0
Solanaceae	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	367	37	110
	<i>Solanum goodspeedii</i> K.E. Roe	293	0	220
	<i>Solanum sessile</i> Ruiz & Pav.	0	37	0
Urticaceae	<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich.	0	257	0
Verbenaceae	<i>Petrea maynensis</i> Huber	37	0	0

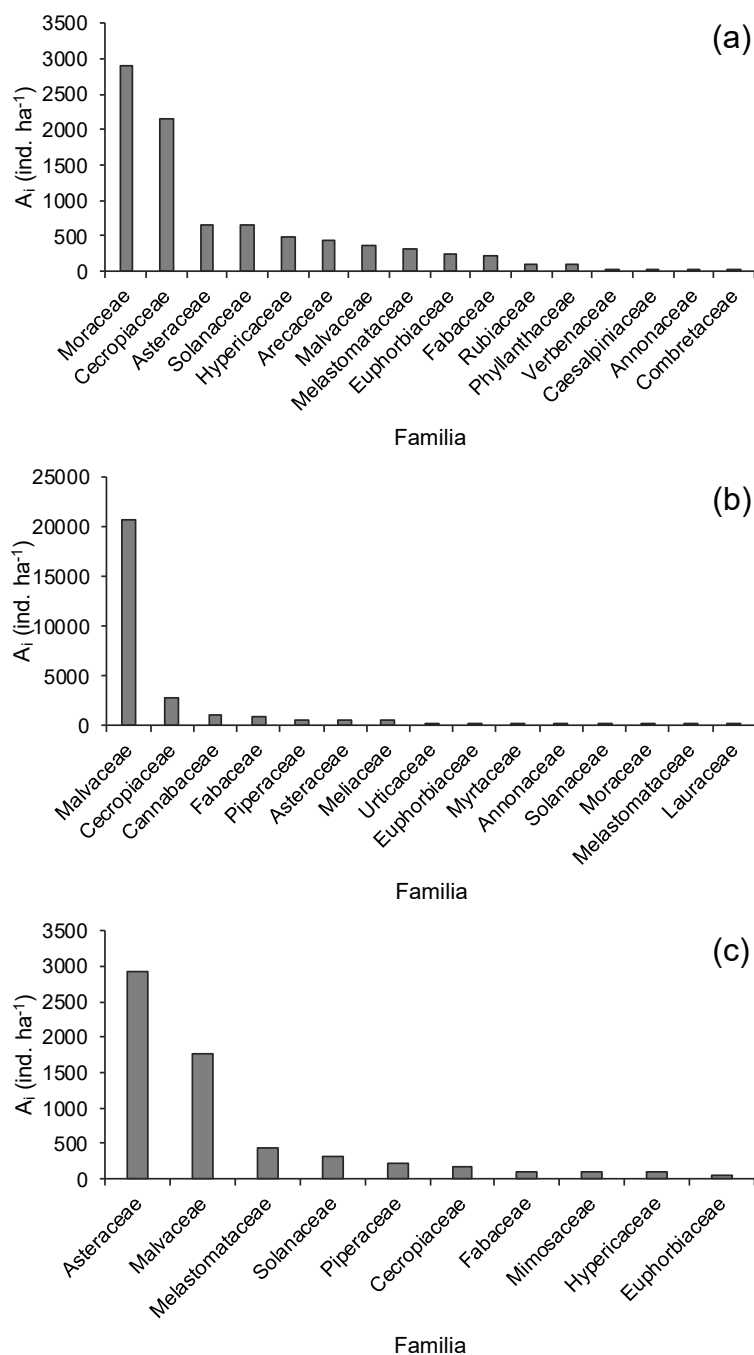


Figura 7: Abundancia absoluta por familia, en La Pampa (a), Sarayacu (b) y Huepetuhe (c).

La comunidad vegetal en La Pampa estuvo conformada por individuos en la etapa de latizal (84%) y brinzal (16%), en contraste, en Sarayacu y Huepetuhe fue conformada exclusivamente por latizales (98,2% y 100%, respectivamente). Los fustales apenas representaron el 0,1% del total de individuos en Sarayacu.

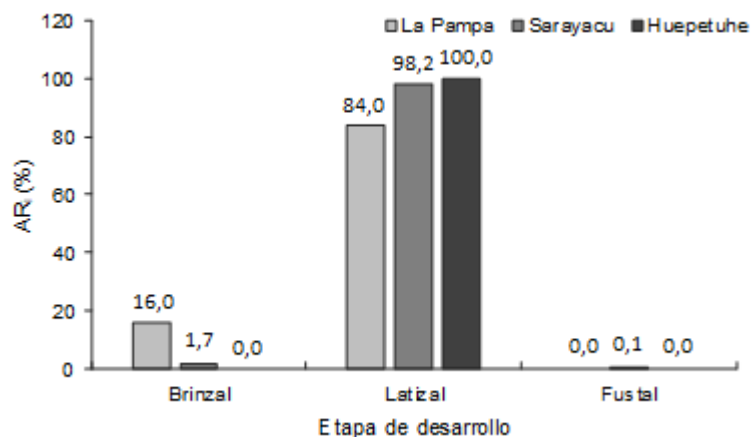


Figura 8: Abundancia relativa (AR_i) de individuos en las etapas de desarrollo de brinzal, latizal y fustal.

Diversidad de la composición florística:

Los valores de diversidad más altos fueron encontrados en La Pampa, índices de Simpson (1-D), Shannon (H) y Evenness (e^H/S) indicaron cada uno según sus principios, una alta heterogeneidad de especies y similitud de abundancia entre las especies. A su vez, el índice de Dominancia (D) indicó baja dominancia entre las especies, concentrando similar número de individuos. Huepetuhe tuvo mayor diversidad en comparación con Sarayacu, a pesar de su menor riqueza de especies. Los menores valores de H y e^H/S , y alto valor de D, en las áreas de Sarayacu, indicaron alta concentración de individuos en pocas especies, o alta dominancia de algunas especies sobre el resto (Tabla 3 y Figura 9).

Tabla 3: Riqueza de especies, índice de dominancia e índices de diversidad, por sitio.

Sitio	Riqueza de especies (S)	Índice de Dominancia de Simpson (D)	Índice de Shannon (H)	Índice de Evenness (e^H/S)
La Pampa	30	0,13	2,59	0,5
Sarayacu	23	0,56	1,13	0,13
Huepetuhe	13	0,26	1,77	0,45

Los test t mostraron que existieron diferencias significativas de los índices de diversidad entre los sitios evaluados, por tanto, cada sitio es significativamente diferente a otro respecto a su diversidad (Tabla 4).

Tabla 4: Matriz de comparación de la diversidad alfa mediante test t entre los sitios evaluados.

	Índice de Shannon			Índice de Simpson		
	La Pampa	Sarayacu	Huepetuhe	La Pampa	Sarayacu	Huepetuhe
La Pampa		$p < 0,01$	$p < 0,01$		$p < 0,01$	$p < 0,01$
Sarayacu	$p < 0,01$		$p < 0,01$	$p < 0,01$		$p < 0,01$
Huepetuhe	$p < 0,01$	$p < 0,01$		$p < 0,01$	$p < 0,01$	

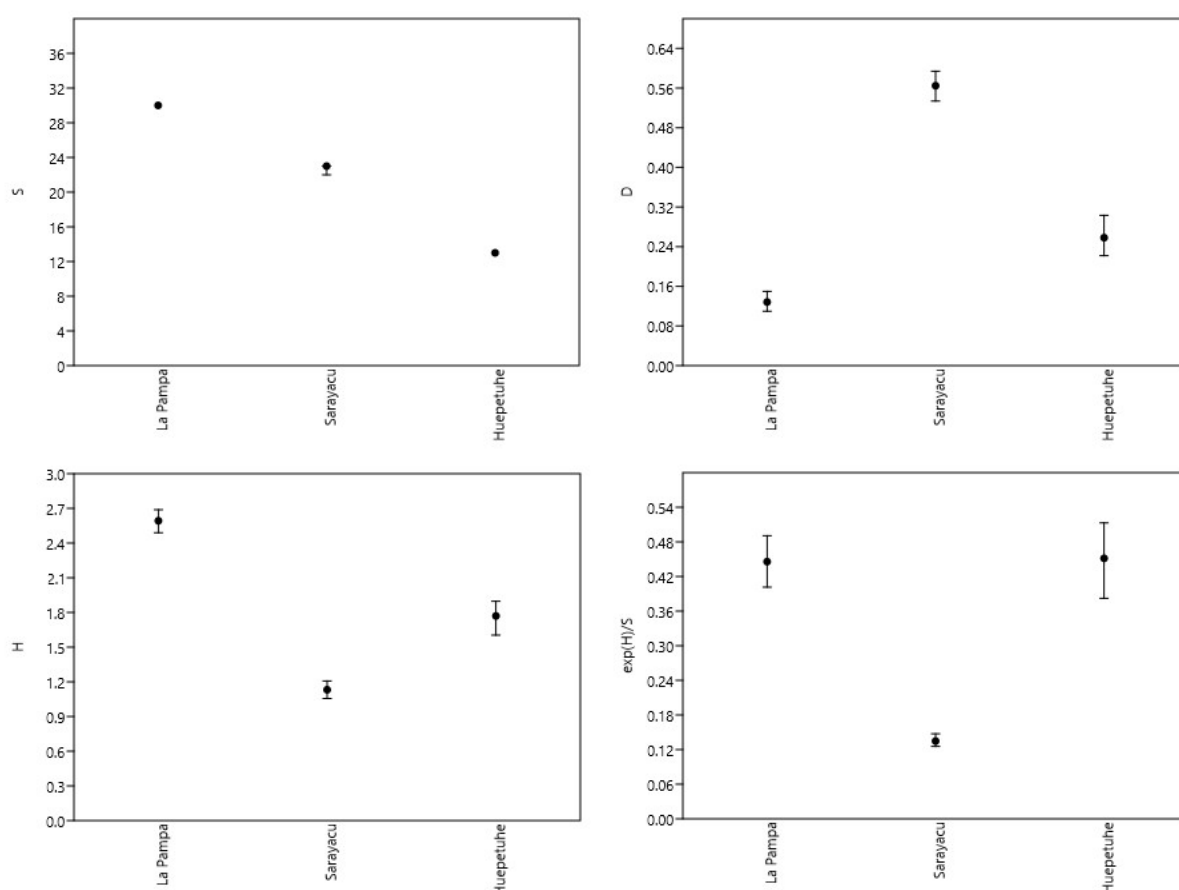


Figura 9: Riqueza de especies (S), índice de dominancia (D), índice de diversidad de Simpson (1-D), índice de diversidad de Shannon (H) e índice de diversidad de Evennes (e^H/S), por sitio.

Sin embargo, un análisis multivariado de similaridad entre los sitios mostró que la composición florística de La Pampa y Huepetuhe fueron ligeramente más similares entre sí que con Sarayacu (Figura 10).

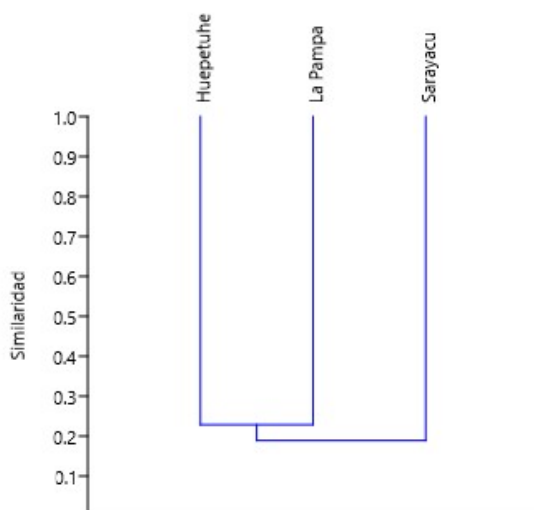


Figura 10: Similitud entre sitios, según el índice de Jaccard, mediante análisis multivariado (Cluster).

Tanto la riqueza de especies como la abundancia de individuos no fueron influenciados por el tiempo de abandono de las áreas, los análisis de correlación simple mostraron coeficientes muy bajos no significativos ($p > 0,05$) en los tres sitios (Tabla 5).

Tabla 5: Coeficiente de correlación (r) y significancia de la correlación (p) entre la riqueza de especies y abundancia de individuos versus el tiempo de abandono de las áreas degradadas. Valores de p mayores a 0,05 indican que la correlación entre las variables no es significativa.

Sitio	Estadístico	Riqueza de especies vs. Tiempo de Abandono	Abundancia de individuos vs. Tiempo de abandono
Huepetuhe	r	-0,40	-0,32
	p	0,32	0,44
La Pampa	r	0,32	0,10
	p	0,36	0,78
Sarayacu	r	0,36	0,02
	p	0,26	0,96

Estructura horizontal de las áreas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu:

En La Pampa, las especies más abundantes fueron *Maquira coriácea* (29,46%) y *Cecropia engleriana* (13,28%); seguidas de *Cecropia polystachya* y *Vernonanthura patens* (7,47% cada una). Completan la lista *Vismia baccifera* (5,39%), *Jacaranda copaia* (4,15%), *Ochroma pyramidale* (4,15%), *Cecropia sciadophylla* (3,73%), *Ficus máxima* (3,32%) y *Solanum goodspeedii* (3,32%) (Figura 11a). Las otras 20 especies, registran menos de 3% de abundancia relativa (AR_i).

En Sarayacu, la vegetación estuvo conformada casi exclusivamente con *Ochroma pyramidale*, especie más abundante (74,28%) destacando ampliamente sobre el resto. Otras especies como *Cecropia engleriana* (10,24%) y *Trema orientales* (3,41%) tuvieron mayor abundancia frente a las demás especies con abundancia de menos del 3% (Figura 11b).

Huepetuhe tuvo a *Chromolaena laevigata* como la más abundante (40,71%), seguida de *Ochroma piramydale* (28,32%). Con menos abundancia se reportan *Vernonanthura patens* (6,19%), *Tibouchina longifolia* (6,19%), *Solanum goodspeedii* (3,54%) y *Piper sp.* (3,54%). Las restantes 7 especies se registraron con menos del 3% de abundancia (Figura 11c).

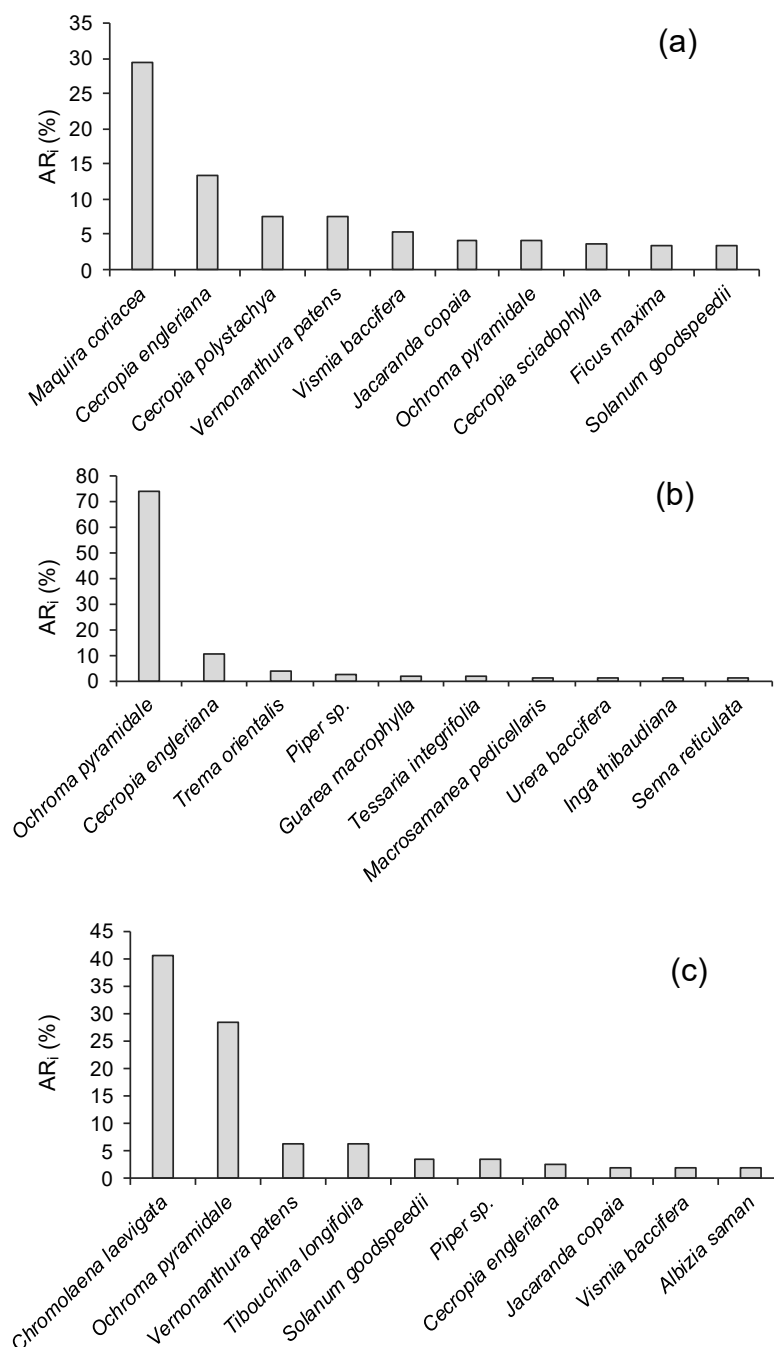
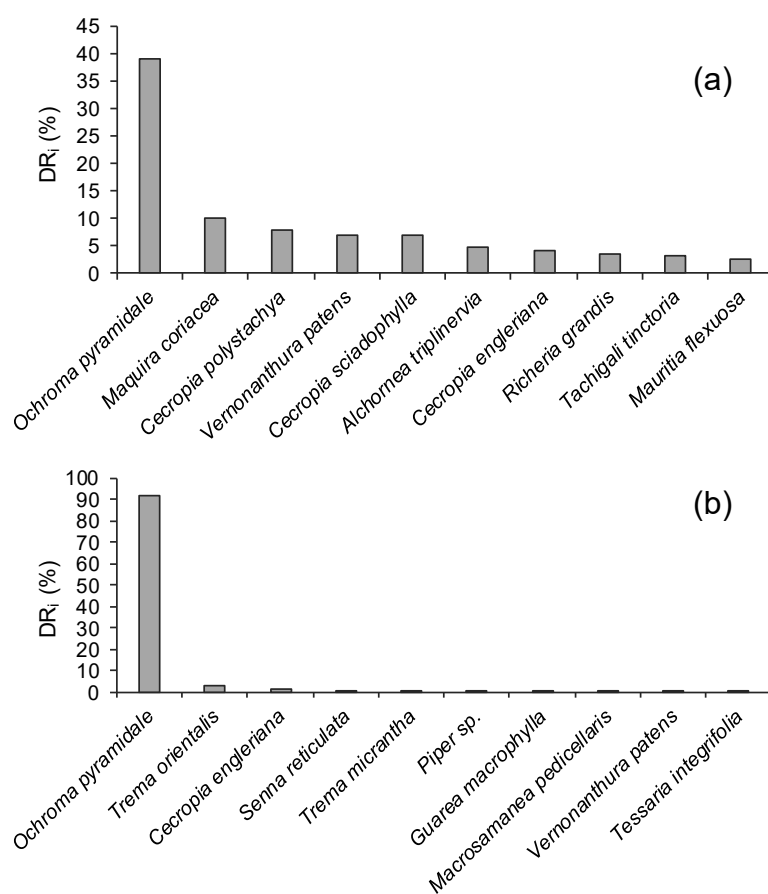


Figura 11: Abundancia relativa (AR_i) de las 10 especies más abundantes, en La Pampa (a), Sarayacu (b) y Huepetuhe (c).

En relación a la dominancia relativa, destaca *Ochroma pyramidale* (39,12%) y *Maquira coriacea* (10%). Seguidamente, con menos dominancia se encuentran *Cecropia polystachya* (7,68%), *Vernonanthura patens* (6,93%), *Cecropia sciadophylla* (6,87%), *Alchornea triplinervia* (4,75%) y *Cecropia engleriana* (4,14%) (Figura 12a).

En Sarayacu, la vegetación estuvo dominada casi exclusivamente por *Ochroma pyramidale* (92,03%), las demás especies registraron menos del 3% de dominancia (Figura 12b).

En Huepetuhe, *Ochroma pyramidale* también fue altamente dominante (85,22%), seguido de *Chromolaena laevigata* (5,48%) y *Vernonanthura patens* (4,90%). Otras especies registraron menos del 3% de dominancia (Figura 12c).



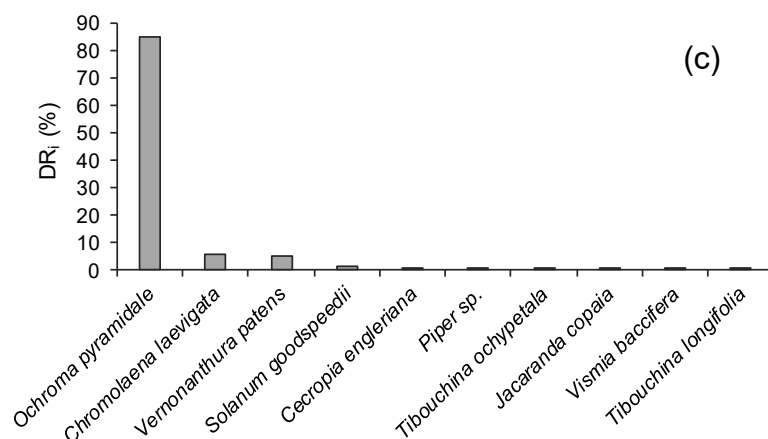


Figura 12: Dominancia relativa (DRi) de 10 especies más dominantes, en La Pampa (a), Sarayacu (b) y Huepetuhe (c).

Con respecto a la frecuencia relativa, en La Pampa, *Cecropia polystachia* (10%), *Cecropia engleriana* (8,57%), *Vernonanthura patens* (8,57%) y *Vismia baccifera* (7,14%) fueron las especies de mayor frecuencia en el área. Con menos frecuencia se registraron las especies: *Ochroma pyramidale*, *Ficus máxima* y *Solanum goodspeedii* (5,71% cada una); las demás especies tuvieron menos del 5% de frecuencia (Figura 13a).

En Sarayacu, *Ochroma pyramidale* (20,93%) fue la especie más frecuente, destacando sobre el resto. Le siguen *Trema orientales* (11,63%), *Cecropia engleriana* (9,30%), *Senna reticulata* (6,98%) y *Macrosamanea pedicellaris* (6,98%). Las especies restantes registraron menos de 5% de frecuencia (Figura 13b).

En el caso de Huepetuhe, *Chromolaena laevigata* (24%) y *Ochroma pyramidale* (20%) fueron las más frecuentes en el área, otras especies como *Solanum goodspeedii*, *Piper sp.* y *Cecropia engleriana* (8% cada una) fueron también frecuentes. Las demás registraron menos del 5% de frecuencia (Figura 13c).

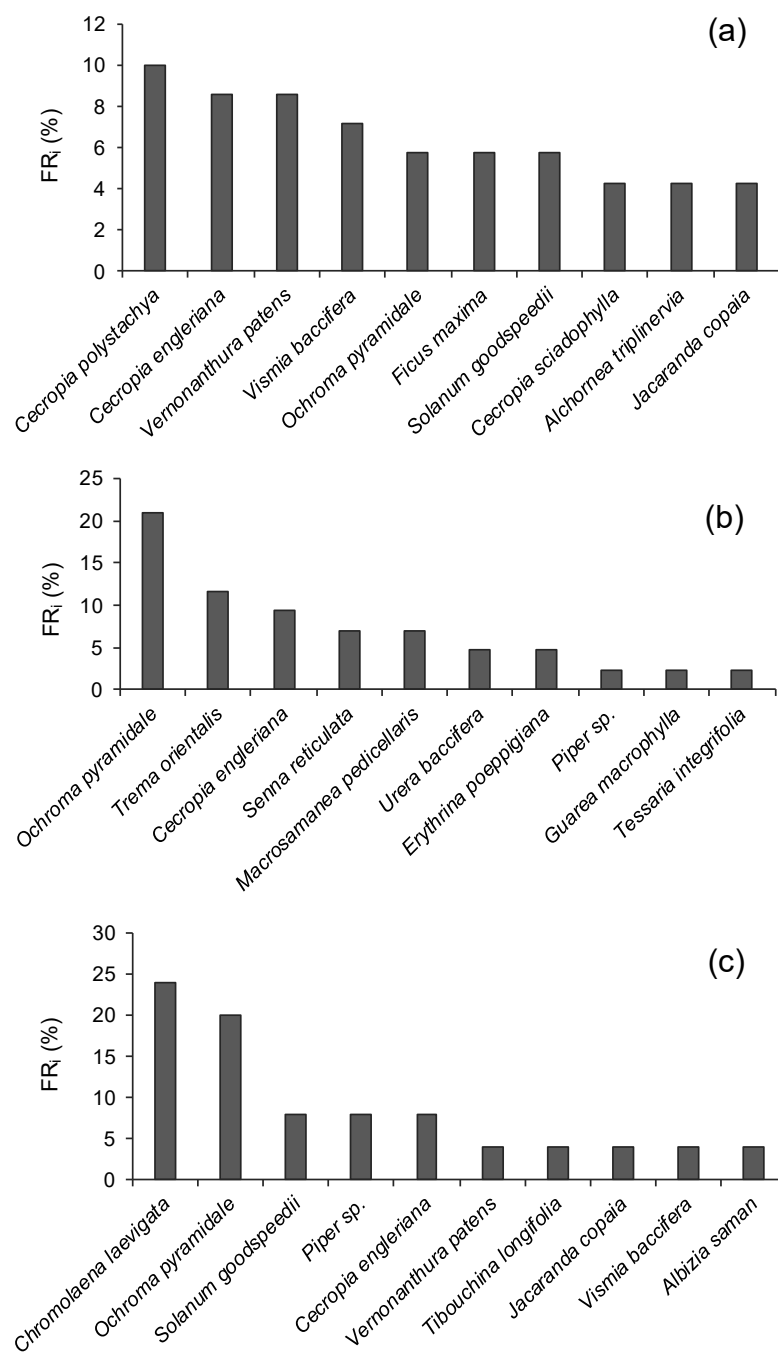


Figura 13: Frecuencia relativa (FR_i) de las 10 especies más frecuentes en La Pampa (a), Sarayacu (b) y Huepetuhe (c).

En los tres sitios, La Pampa, Sarayacu y Huepetuhe, *Ochroma pyramidale* se consolidó como la especie de mayor índice de valor de importancia (IVI) (Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8); en La Pampa esta especie alcanzó un IVI de 48,98%, en cuanto que en Sarayacu su IVI fue mucho más alto en torno de 187,24%; en contraste, en Huepetuhe *Ochroma pyramidale* alcanzó 133,54% de IVI. En La Pampa, otra especie de similar IVI fue *Maquira coriacea* con 42,32% (Tabla 6), mientras que en Sarayacu el segundo lugar fue para *Cecropia engleriana* que tuvo un IVI de 21,36% (Tabla 7), esta misma especie fue la tercera importante en La Pampa con IVI de 25,99% seguida de cerca por *Cecropia polystachia* con 25,15% (Tabla 6). En Huepetuhe, otra especie muy importante fue *Chromolaena laevigata* alcanzando un IVI de 70,18%, así como *Vernonanthura patens* con 15,09% (Tabla 8). Trema orientales, fue la tercera especie importante en Sarayacu con 17,90% de IVI (Tabla 7).

Dentro de las 10 especies de mayor IVI en La Pampa, aparte de las mencionadas, están *Vernonanthura patens* (22,97%), *Cecropia sciadophylla* (14,89%), *Vismia baccifera* (14,61%), *Alchornea triplinervia* (11,52%), *Ficus máxima* (10,45%) y *Solanum goodspeedii* (10,16%) (Figura 14 y Tabla 6). En Sarayacu, otras especies fueron las destacadas, tales como *Senna reticulata* (8,45%), *Macrosamanea pedicellaris* (8,32%), *Urera baccifera* (5,69%), *Piper sp.* (5,02%), *Erythrina poeppigiana* (4,96%), *Guarea macrophylla* (4,34%) y *Tessaria integrifolia* (4,20%) (Figura 15 y Tabla 7). Finalmente, en Huepetuhe, cierran la lista, *Solanum goodspeedii* (12,74%), *Piper sp.* (12,09%), *Cecropia engleriana* (11,34%), *Tibouchina longifolia* (10,47%), *Jacaranda copaia* (6,09%), *Vismia baccifera* (6,06%) y *Albizia saman* (6,03%) (Figura 16 y Tabla 8).

Tabla 6: Parámetros fitosociológicos de las especies en las áreas degradadas por minería aurífera de La Pampa: Abundancia absoluta " A_i " (ind. ha⁻¹), dominancia absoluta " D_i " (m² ha⁻¹), Frecuencia absoluta " F_i " (proporción del número total de parcelas), abundancia relativa " AR_i " (%), dominancia relativa " DR_i " (%), frecuencia relativa " FR_i " (%), e índice de valor de importancia " IVI " (%).

Especie	A_i	D_i	F_i	AR_i	DR_i	FR_i	IVI
Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb.	366,67	4,41	0,33	4,15	39,11	5,71	48,98
Maquira coriacea (H. Karst.) C.C. Berg	2 603,33	1,13	0,17	29,46	10,00	2,86	42,32
Cecropia engleriana Snethl.	1 173,33	0,47	0,50	13,28	4,14	8,57	25,99
Cecropia polystachya Trécul	660,00	0,86	0,58	7,47	7,68	10,00	25,15
Vernonanthura patens (Kunth) H. Rob.	660,00	0,78	0,50	7,47	6,93	8,57	22,97
Cecropia sciadophylla Mart.	330,00	0,77	0,25	3,73	6,87	4,29	14,89
Vismia baccifera (L.) Triana & Planch.	476,67	0,23	0,42	5,39	2,07	7,14	14,61
Alchornea triplinervia (Spreng.) Müll. Arg.	220,00	0,53	0,25	2,49	4,75	4,29	11,52
Ficus maxima Mill.	293,33	0,16	0,33	3,32	1,42	5,71	10,45
Solanum goodspeedii K.E. Roe	293,33	0,13	0,33	3,32	1,13	5,71	10,16
Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don	366,67	0,19	0,25	4,15	1,72	4,29	10,16
Mauritia flexuosa L. f.	220,00	0,28	0,17	2,49	2,51	2,86	7,86
Richeria grandis Vahl	110,00	0,38	0,17	1,24	3,41	2,86	7,51
Tachigali tinctoria (Benth.) Zarucchi & Herend	36,67	0,36	0,08	0,41	3,21	1,43	5,05
Miconia Calvescens DC.	110,00	0,03	0,17	1,24	0,23	2,86	4,33
Bactris major Jacq.	220,00	0,04	0,08	2,49	0,36	1,43	4,27
Miconia tomentosa (Rich.) D. Don ex DC.	73,33	0,01	0,17	0,83	0,12	2,86	3,80
Miconia sp.	110,00	0,07	0,08	1,24	0,65	1,43	3,32
Ferdinandusa guainiae Spruce ex Schumann	110,00	0,06	0,08	1,24	0,54	1,43	3,22
Abarema jupunba (Willd.) Britton & Killip	36,67	0,10	0,08	0,41	0,86	1,43	2,70
Maprounea guianensis Aubl.	36,67	0,07	0,08	0,41	0,67	1,43	2,51
Cananga odorata (Lam.) Hook. f. & Thomson	36,67	0,05	0,08	0,41	0,45	1,43	2,29
Machaerium sp.	36,67	0,04	0,08	0,41	0,31	1,43	2,16
Inga thibaudiana DC.	36,67	0,03	0,08	0,41	0,26	1,43	2,11
Macrosamanea pedicellaris (DC.) Kleinhoonte	36,67	0,02	0,08	0,41	0,17	1,43	2,02
Petrea maynensis Huber	36,67	0,02	0,08	0,41	0,17	1,43	2,02
Inga ruiziana G. Don	36,67	0,01	0,08	0,41	0,10	1,43	1,95
Terminalia oblonga (Ruiz & Pav.) Steud.	36,67	0,01	0,08	0,41	0,07	1,43	1,92
Parkia panurensis Benth. ex H.C. Hopkins	36,67	0,01	0,08	0,41	0,05	1,43	1,89
Clidemia capitellata (Bonpl.) D. Don	36,67	0,00	0,08	0,41	0,03	1,43	1,87

Tabla 7: Parámetros fitosociológicos de las especies en las áreas degradadas por minería aurífera de Sarayacu: Abundancia absoluta " A_i " (ind. ha⁻¹), dominancia absoluta " D_i " (m² ha⁻¹), Frecuencia absoluta " F_i " (proporción del número total de parcelas), abundancia relativa " AR_i " (%), dominancia relativa " DR_i " (%), frecuencia relativa " FR_i " (%), e índice de valor de importancia " IVI " (%).

Espece	A_i	D_i	F_i	AR_i	DR_i	FR_i	IVI
Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb.	20 753,33	64,13	0,75	74,28	92,03	20,93	187,24
Cecropia engleriana Snethl.	2 860,00	1,27	0,33	10,24	1,82	9,30	21,36
Trema orientalis (L.) Blume	953,33	2,00	0,42	3,41	2,86	11,63	17,90
Senna reticulata (Willd.) H.S. Irwin & Barneby	220,00	0,48	0,25	0,79	0,68	6,98	8,45
Macrosamanea pedicellaris (DC.) Kleinhoonte	293,33	0,20	0,25	1,05	0,29	6,98	8,32
Urera baccifera (L.) Gaudich.	256,67	0,08	0,17	0,92	0,12	4,65	5,69
Piper sp.	623,33	0,32	0,08	2,23	0,46	2,33	5,02
Erythrina poeppigiana (Walp.) O.F. Cook	73,33	0,03	0,17	0,26	0,04	4,65	4,95
Guarea macrophylla Vahl	476,67	0,21	0,08	1,71	0,30	2,33	4,34
Tessaria integrifolia L.	476,67	0,12	0,08	1,71	0,17	2,33	4,20
Inga thibaudiana DC.	256,67	0,10	0,08	0,92	0,14	2,33	3,38
Trema micrantha (L.) Blume	36,67	0,35	0,08	0,13	0,50	2,33	2,96
Guatteria sp.	110,00	0,05	0,08	0,39	0,07	2,33	2,79
Margaritaria nobilis L. f.	110,00	0,05	0,08	0,39	0,07	2,33	2,79
Psidium guajava L.	110,00	0,02	0,08	0,39	0,03	2,33	2,75
Vernonanthura patens (Kunth) H. Rob.	36,67	0,13	0,08	0,13	0,19	2,33	2,65
Crotalaria sp.	36,67	0,07	0,08	0,13	0,11	2,33	2,56
Nectandra pulverulenta Nees	36,67	0,03	0,08	0,13	0,04	2,33	2,50
Miconia tomentosa (Rich.) D. Don ex DC.	36,67	0,02	0,08	0,13	0,02	2,33	2,48
Solanum sessile Ruiz & Pav.	36,67	0,01	0,08	0,13	0,01	2,33	2,47
Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don	36,67	0,00	0,08	0,13	0,01	2,33	2,46
Ficus maxima Mill.	36,67	0,00	0,08	0,13	0,01	2,33	2,46
Crotalaria retusa L.	73,33	0,01	0,00	0,26	0,02	0,00	0,28

Tabla 8: Parámetros fitosociológicos de las especies en las áreas degradadas por minería aurífera de Huepetuhe: Abundancia absoluta " A_i " (ind. ha⁻¹), dominancia absoluta " D_i " (m² ha⁻¹), Frecuencia absoluta " F_i " (proporción del número total de parcelas), abundancia relativa " AR_i " (%), dominancia relativa " DR_i " (%), frecuencia relativa " FR_i " (%), e índice de valor de importancia " IVI " (%).

Especie	A_i	D_i	F_i	AR_i	DR_i	FR_i	IVI
Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb.	760,00	13,04	0,63	28,32	85,22	20,00	133,54
Chromolaena laevigata (Lam.) R.M. King & H. Rob.	530,00	0,84	0,75	40,71	5,48	24,00	70,18
Vernonanthura patens (Kunth) H. Rob.	385,00	0,75	0,13	6,19	4,90	4,00	15,10
Solanum goodspeedii K.E. Roe	220,00	0,18	0,25	3,54	1,21	8,00	12,75
Piper sp.	220,00	0,08	0,25	3,54	0,55	8,00	12,09
Cecropia engleriana Snethl.	165,00	0,10	0,25	2,65	0,68	8,00	11,34
Tibouchina longifolia (M.Vahl) Baillon	385,00	0,04	0,13	6,19	0,27	4,00	10,47
Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don	110,00	0,05	0,13	1,77	0,32	4,00	6,09
Vismia baccifera (L.) Triana & Planch.	110,00	0,05	0,13	1,77	0,29	4,00	6,06
Albizia saman (Jacq.) F. Mueller	110,00	0,04	0,13	1,77	0,26	4,00	6,03
NN	110,00	0,03	0,13	1,77	0,20	4,00	5,97
Tibouchina ochypetala (Ruiz & Pav.) Baill.	55,00	0,06	0,13	0,88	0,41	4,00	5,29
Alchornea triplinervia (Spreng.) Müll. Arg.	55,00	0,03	0,13	0,88	0,21	4,00	5,09

La abundancia relativa, dominancia relativa y frecuencia relativa influenciaron de manera diferente el IVI de las especies más importantes. Por ejemplo, *Ochroma pyramidale* alcanzó alto IVI en los tres sitios, debido a su alta dominancia, a pesar de tener baja abundancia y frecuencia en algunos sitios como La Pampa y Huepetuhe (Figura 14, Figura 15 y Figura 16). A diferencia, *Maquira coriacea* en La Pampa, debe su alto IVI a su alta abundancia, siendo que posee baja dominancia y frecuencia, similar caso es el de *Cecropia engleriana* (Figura 14). En Huepetuhe, la alta abundancia de *Chromolaena laevigata*, también influyó fuertemente en su IVI (Figura 16).

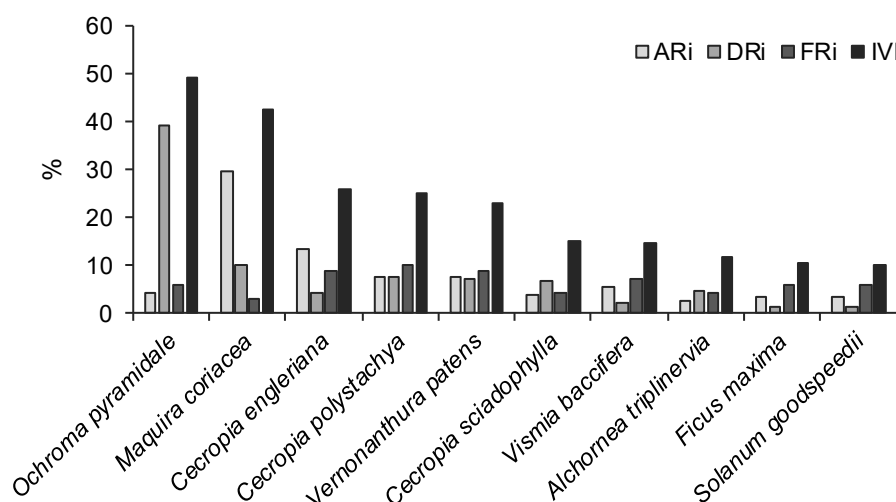


Figura 14: Parámetros fitosociológicos de las 10 especies con mayor índice de valor de importancia "IVI" (%), en áreas degradadas por minería aurífera de La Pampa.

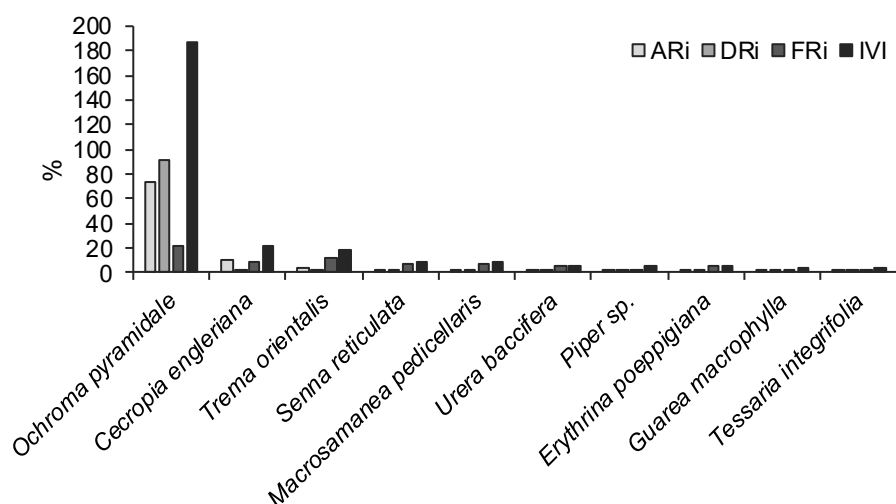


Figura 15: Parámetros fitosociológicos de las 10 especies con mayor índice de valor de importancia "IVI" (%), en áreas degradadas por minería aurífera de Sarayacu.

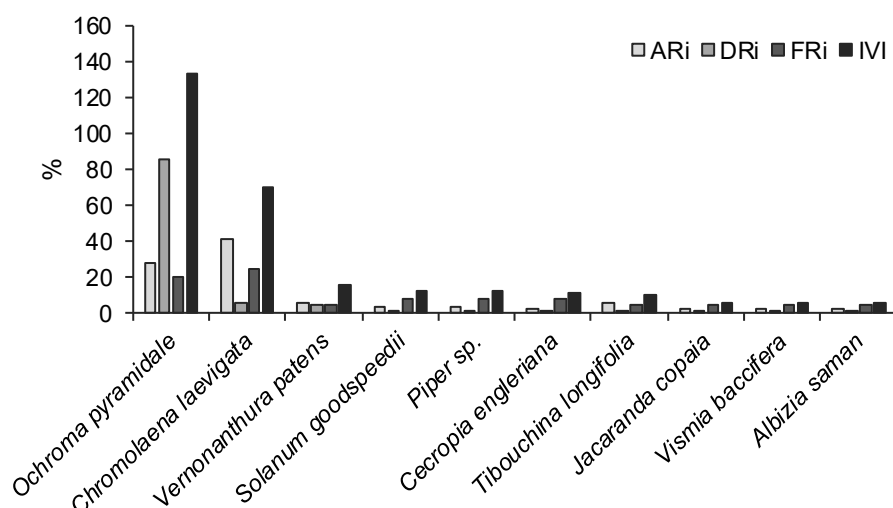


Figura 16: Parámetros fitosociológicos de las 10 especies con mayor índice de valor de importancia "IVI" (%), en áreas degradadas por minería aurífera, de Huepetuhe.

Relación entre las características fisicoquímicas del suelo y la composición florística de las áreas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu:

Los resultados de análisis de suelos revelaron que los sitios presentan diferentes características del suelo entre sí. Las áreas de La Pampa y Huepetuhe fueron más arenosas y menos limosas que las áreas de Sarayacu. Los suelos de La Pampa tuvieron mayor grado de alteración siendo convertidos en suelos de arena franca. El contenido de materia orgánica fue muy bajo en los tres sitios. Sin embargo, Sarayacu mostró mayor contenido de nutrientes como fósforo, potasio, cationes cambiabiles y capacidad de intercambio catiónico (Tabla 9).

Tabla 9: Valores de los parámetros físico-mecánicos y químicos del suelo de áreas degradadas por minería aurífera, en cada sitio.

Parámetro		Unidad	Sitio		
			La Pampa	Sarayacu	Huepetuhe
Análisis Mecánico	Arena	%	87,71	65,71	81,42
	Limo	%	5,47	28,47	5,93
	Arcilla	%	6,82	5,82	12,65
Clase Textural			Arena franca	Franco arenoso	Franco arenoso
Carbonato de calcio		%	<0,01	<0,01	<0,01
Conductividad Eléctrica (E.S) a 25 °C.		dS/m	0,10	0,11	0,17
pH (1/1) a T= 21.7°C			4,96	4,80	5,06
Fosforo Disponible (P)		ppm	8,32	45,50	19,73
Potasio Disponible (K)		ppm	17,40	35,40	18,60
Materia orgánica- M.O		%	0,10	0,31	0,28
Cationes Cambiables	Calcio (Ca)	mEq/100g	0,21	0,81	0,25
	Magnesio (Mg)	mEq/100g	0,09	0,21	0,14
	Sodio (Na)	mEq/100g	0,10	0,09	0,08
	Potasio (K)	mEq/100g	0,04	0,09	0,05
	Aluminio (Al) + Hidrógeno (H)	mEq/100g	0,69	0,92	1,05
P.A.I		%	61,36	43,39	67,05
C.I.C.E		mEq/100g	1,12	2,12	1,57

Relación entre la concentración de metales pesados del suelo y la composición florística de las áreas abandonadas en Huepetuhe, La Pampa y Sarayacu:

No obstante, Sarayacu tuvo mayor concentración de metales pesados que La Pampa y Huepetuhe (Tabla 10 y Figura 17). La concentración de cadmio y mercurio fue la más baja, en los tres sitios, comparada a la concentración de plomo, cromo y arsénico que alcanzaron concentraciones de entre 5,90-8,87 mg kg⁻¹, 3,45-16,20 mg kg⁻¹ y 0,95-5,89 mg kg⁻¹, respectivamente.

Tabla 10: Valores de concentración de metales pesados del suelo de áreas degradadas por minería aurífera, en cada sitio.

Parámetro	Unidad	La Pampa	Sarayacu	Huepetuhe
Plomo Total (Pb)	mg/Kg	5,90	8,87	5,98
Cadmio Total (Cd)	mg/Kg	0,27	0,42	0,05
Cromo Total (Cr)	mg/Kg	3,45	16,20	3,35
Arsénico Total (As)	mg/Kg	2,43	5,89	0,95
Mercurio Total (Hg)	mg/Kg	<0,03	<0,03	<0,03

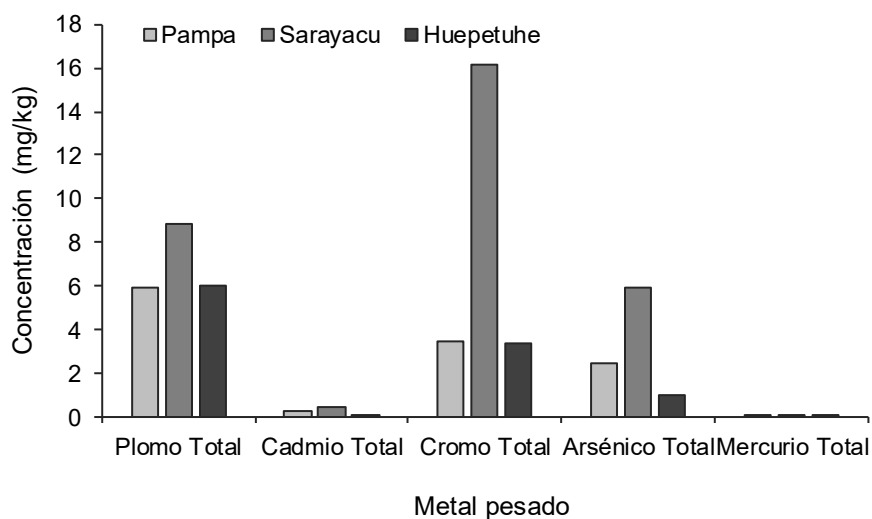


Figura 17: Concentración de metales pesados del suelo (mg kg^{-1}) de áreas degradadas por minería aurífera, en cada sitio.

Comprobamos que, en general, las características físicas y químicas del suelo, así como la concentración de metales pesados, tuvieron altos coeficientes de correlación con la abundancia de individuos, y bajos coeficientes con la riqueza y diversidad de la regeneración natural de las áreas degradadas por minería aurífera en La Pampa, Sarayacu y Huepetuhe. Sin embargo, los coeficientes de correlación en la mayoría de los casos fueron no significativos, debido a que sólo fueron analizadas tres muestras de suelos (Tabla 11).

Tabla 11: Coeficiente de correlación "r", y significancia "p" entre las características físicas, químicas y metales pesados del suelo vs. la abundancia, riqueza y diversidad de la composición florística, en áreas degradadas por minería aurífera.

		Propiedades físicas y químicas del suelo														Concentración de metales pesados en el suelo			
		Análisis Mecánico			pH	P	K	M.O	Cationes Cambiables					P.A.I	C.I.C	Pb Total	Cd Total	Cr Total	As Total
		Arena	Limo	Arcilla					Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺						
Abundancia	r	-0,92	0,99	-0,70	-0,96	0,92	0,99	0,52	0,99	0,86	0,96	0,11	0,05	-0,99	0,84	0,99	0,87	0,99	0,98
	p	0,25	0,08	0,51	0,18	0,26	0,11	0,65	0,11	0,34	0,19	0,93	0,97	0,08	0,37	0,09	0,33	0,07	0,12
Riqueza	r	0,18	0,08	-0,85	-0,47	-0,20	0,04	-0,73	0,04	-0,32	-0,09	0,99	-0,97	-0,33	-0,36	0,08	0,67	0,11	0,39
	p	0,89	0,95	0,36	0,69	0,87	0,97	0,48	0,97	0,79	0,94	0,06	0,17	0,79	0,77	0,95	0,53	0,93	0,75
Dominancia	r	-1,00	0,96	-0,36	-0,77	1,00	0,97	0,81	0,97	0,99	0,99	-0,29	0,44	-0,86	0,99	0,96	0,60	0,96	0,83
	p	0,01	0,18	0,77	0,44	0,01	0,15	0,40	0,15	0,09	0,07	0,81	0,71	0,34	0,11	0,17	0,59	0,19	0,38
Simpson	r	1,00	-0,96	0,36	0,77	-1,00	-0,97	-0,81	-0,97	-0,99	-0,99	0,29	-0,44	0,86	-0,99	-0,96	-0,60	-0,96	-0,83
	p	0,01	0,18	0,77	0,44	0,01	0,15	0,40	0,15	0,09	0,07	0,81	0,71	0,34	0,11	0,17	0,59	0,19	0,38
Shannon	r	0,95	-0,84	0,06	0,55	-0,96	-0,86	-0,95	-0,86	-0,99	-0,92	0,56	-0,69	0,68	-0,99	-0,84	-0,34	-0,82	-0,63
	p	0,20	0,37	0,96	0,63	0,19	0,34	0,20	0,34	0,11	0,26	0,62	0,52	0,53	0,08	0,36	0,78	0,38	0,57
Evenness	r	0,96	-1,00	0,63	0,93	-0,95	-1,00	-0,60	-1,00	-0,90	-0,98	-0,02	-0,14	0,98	-0,89	-1,00	-0,82	-1,00	-0,96
	p	0,19	0,02	0,57	0,24	0,20	0,05	0,59	0,05	0,28	0,13	0,99	0,91	0,14	0,31	0,03	0,39	0,01	0,18

La evaluación en los 3 sitios con áreas degradadas permitió mostrar que la composición florística es heterogénea entre sitios, con diferencias significativas de diversidad (Tabla 4).

Sin embargo, en los tres sitios, *Ochroma pyramidale* se consolidó como la especie de mayor índice de valor de importancia (Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7), debido principalmente a su alta dominancia, indicación de la existencia de gran número de individuos con mayor diámetro que otras especies, y por tanto un mayor desarrollo de la especie.

Por otro lado, *Cecropia engleriana* fue la segunda y tercera especie de mayor IVI en Sarayacu y La Pampa, respectivamente (Tablas 5 y 6), no obstante, en Huepetuhe *Cecropia engleriana* tuvo un bajo IVI (Tabla 7), siendo que los altos IVI de esta especie se debieron principalmente a su alta abundancia.

Ochroma pyramidale y *Cecropia engleriana* son especies pioneras, que caracterizan las áreas perturbadas de la Amazonía; algunos estudios evaluando la regeneración natural de áreas degradadas por minería en la región de Madre de Dios encontraron también, la mayor abundancia y dominancia de *Ochroma pyramidale* sobre las demás especies, así como la de más alto IVI, seguido de *Cecropia engleriana* (Pacheco 2014; Sajami 2017). Otros estudios reportan a *Cecropia engleriana* como la de mayor IVI (Cutire y Ramírez 2017).

Otras especies del género *Cecropia*, como *Cecropia polystachya* y *Cecropia sciadophylla*, fueron la cuarta y sexta especies de alto IVI en La Pampa, junto con *Cecropia engleriana*, el IVI de *Cecropia spp.* se eleva a 66% muy superior a 48% de *Ochroma pyramidale* (Tabla 5), por tanto, en general, el género *Cecropia* es el de mayor importancia de la regeneración natural de las áreas degradadas de La Pampa.

En Mato Grosso, Brasil, ninguna de estas especies es representativa de las áreas degradadas por minería aurífera, en su reemplazo, *Trema micrantha* es la especie de más alto IVI (Rodrigues, Martins y De Barros 2004). Similarmente, en Ucayali, Perú, *Trema micrantha* también se considera importante en la regeneración natural de áreas degradadas por agricultura migratoria (Fujisaka et al. 2000). En contraste, en nuestro estudio, *Trema*

micrantha apenas fue registrada en las áreas degradadas de Sarayacu, con un IVI bajo; en concordancia con nuestro estudio, en otras área degradadas por minería aurífera en Madre de Dios, *Trema micrantha* es reportada como especie de bajo- intermedio IVI (Cutire y Ramírez 2017; Sajami 2017), así como de muy baja abundancia (Pacheco 2014). Esto puede ser debido a que la abundancia de *Trema micrantha* en bosques primarios de Madre de Dios ha sido reportada como muy baja (Jose 2008; Rosales 2008) lo cual es reflejado en la regeneración natural.

Otras especies de alto IVI, como *Maquira coriácea* en La Pampa, *Trema orientales* en Sarayacu y *Chromolaena laevigata* en Huepetuhe, no han sido encontradas en otras áreas degradadas por minería aurífera como en Laberinto (Sajami 2017), Tres Islas (Cutire y Ramírez 2017) y Laberinto (Pacheco 2014), excepto *Chromolaena laevigata*, que fue encontrada en baja abundancia en Laberinto (Pacheco 2014). Tampoco se reportan en áreas con otros tipos de degradación en la Amazonía peruana (Fujisaka et al. 2000). Por tanto, este estudio constituye el primer reporte de estas especies como de alto IVI en la regeneración natural de áreas degradadas en la Amazonía peruana.

Los resultados de riqueza, abundancia y diversidad, muestran que La Pampa tuvo mayor riqueza y diversidad en su regeneración natural, mientras que en Sarayacu se registró menor riqueza y diversidad, sin embargo, existió 3 veces mayor abundancia de plantas en comparación con La Pampa, siendo las áreas pobladas densamente por *Ochroma pyramidale* (27 940 ind. ha⁻¹), representando el 74% de los individuos y el 92% de dominancia (Tabla 6). Por tanto, debido a la alta concentración de individuos en una sola especie, los índices de diversidad fueron muy bajos, y el índice de dominancia muy alto (Tabla 3). Las áreas de Huepetuhe, a pesar de su baja riqueza de especies y abundancia, tuvieron mayores índices de diversidad que Sarayacu, debido a su mayor homogeneidad del número de individuos por cada especie.

La riqueza de especies (S) de las áreas de La Pampa, Sarayacu y Huepetuhe (S=30, S=23 y S=13, respectivamente), así como los índices de diversidad de Shannon (H') (H'=2,59, H'=1,13 y H'=1,77, respectivamente) (Tabla 3) fueron menores a lo reportado en las áreas de Tres Islas (S=49, H'= 3,03) (Cutire y

Ramírez 2017), lo cual puede ser deberse al mayor tiempo de abandono de las áreas degradadas de Tres Islas, entre 5 a 20 años, comparado con 2 a 6 años de abandono de las áreas de La Pampa, 1 a 10 años de abandono de las áreas de Sarayacu, y 1 a 3 años de abandono de las áreas de Huepetuhe. En efecto, la revisión de resultados de resultados de otros estudios, sugieren que el mayor tiempo de abandono influencia en la riqueza y diversidad de la composición florística de un sitio determinado, pues en Mato Grosso, Brasil, áreas abandonadas 1,5 años, tuvieron muy bajos índice de diversidad de Shannon ($H' = 1,48$) (Rodrigues, Martins y De Barros 2004), así como en Minas Gerais, que en áreas con 20 años de abandono, se registró alto índice de diversidad de Shannon ($H' = 4,44$) (Araújo et al. 2005). Sin embargo, en un mismo sitio (localización geográfica) áreas con mayor tiempo de abandono no necesariamente tuvieron mayor riqueza y abundancia que áreas con menor tiempo de abandono, esto fue demostrado por los bajos y no significativos coeficientes de correlación, entre la riqueza y abundancia de las parcelas vs. el tiempo de abandono de las áreas donde las parcelas estaban ubicadas (Figura 11). No obstante, tomando en cuenta que la determinación del tiempo de abandono, proviene de fuentes orales de pobladores de la zona, es posible la existencia de mejores correlaciones.

El análisis de similaridad mostró que La Pampa y Huepetuhe son más similares entre sí; mientras que Sarayacu es menos similar con ambos (Figura 10). Este arreglo de la similaridad puede ser debido a la cercanía de la diversidad entre La Pampa y Sarayacu, así como al alto índice de dominancia en las áreas de Sarayacu.

Los análisis de suelos de los tres sitios permitieron identificar algunos factores del suelo que podrían estar influenciando la composición florística de la regeneración natural. Los suelos de La Pampa y Huepetuhe presentaron mayores alteraciones de las propiedades físicas de los suelos, con suelos arenosos en La Pampa, y suelos franco-arenosos en Huepetuhe y muy baja disponibilidad de nutrientes (K y P) y materia orgánica. En Sarayacu, los suelos tuvieron menor grado de alteración, con mayor disponibilidad de nutrientes y materia orgánica, sin embargo, aún así, estos valores se

consideran bajos. Los resultados sugieren que la mejor condición de los suelos de Sarayacu podría haber influenciado la mayor densidad de plantas en estas áreas (alta abundancia total), comparada con La Pampa y Huepetuhe que presentaron baja densidad de plantas. Los altos coeficientes de correlación positivos entre la abundancia y la disponibilidad de nutrientes y contenido de materia orgánica confirman estas hipótesis; sin embargo, debido al pequeño número de muestras (3 muestras analizadas), las pruebas estadísticas no encontraron coeficientes significativos (Tabla 10). Por otro lado, la riqueza de especies e índices de diversidad no tuvieron altas correlaciones con las características del suelo.

Sarayacu tuvo menor grado de alteración de los suelos, no obstante, tuvo mayor concentración de metales pesados (plomo, cadmio, cromo, arsénico) indicando mayor grado de contaminación de los suelos producto de la minería aurífera en este sitio; no obstante, la concentración de metales pesados en los tres sitios evaluados estuvo dentro del margen de los estándares de calidad ambiental para el suelo (Ministerio del Ambiente-Perú 2013).

En general, se deduce que las actividades de la minería aurífera tienen alto grado de afectación de las características físicas y químicas del suelo; sin embargo, las capas superficiales del suelo no presentan contaminación por metales pesados. En contraste, el mayor impacto ambiental por contaminación se genera en el recurso agua, en donde son vertidos los relaves mineros durante la amalgación, generando contaminación de las aguas por mercurio, otra parte es emitida a la atmósfera cuando es quemado el oro obtenido después del proceso de amalgación, para refinación (Brack et al. 2011). En efecto, la contaminación por mercurio es una de las mayores preocupaciones para la sociedad, debido a la capacidad de bioacumulación en seres vivos animales y vegetales (Brack et al. 2011); reportes del Gobierno Peruano y estudios científicos, confirmaron una alta concentración de mercurio en seres humanos de comunidades aledañas a los centros mineros (Presidencia del Consejo de Ministros-Perú 2016; Langeland, Hardin y Neitzel 2017).

Por otro lado, la baja concentración de metales pesados en el suelo, puede deberse a la pérdida por lixiviación, tomando en cuenta la alta porosidad de los suelos de las áreas degradadas por minería aurífera. La bioacumulación de metales pesados en las plantas puede ser otro factor a tener en cuenta. En este contexto, estudios de acumulación de metales pesados en la flora son necesarios para complementar los resultados del presente estudio.

CONCLUSIONES

Las áreas degradadas de La Pampa, Sarayacu y Huepetuhe registraron 30, 23 y 16 especies respectivamente. Sin embargo, Sarayacu tuvo alta abundancia de individuos, seguida de La Pampa y Huepetuhe. Las familias con mayor abundancia de individuos fueron Moraceae y Cecropiaceae en La Pampa, Malvaceae y Cecropiaceae en Sarayacu, y Asteraceae y Malvaceae en Huepetuhe. La vegetación de La Pampa, Sarayacu y Huepetuhe, se encuentra en etapa inicial de regeneración, pues en las tres áreas, la vegetación estuvo conformada casi exclusivamente por individuos en la etapa de latizal; no se encontraron individuos en la etapa de fustal.

La diversidad de la regeneración natural fue mayor en La Pampa ($H=2,59$; $e^H/S=0,5$). Huepetuhe, a pesar de la menor riqueza de especies, presentó mayor diversidad ($H=1,77$; $e^H/S=0,45$) que Sarayacu ($H=1,13$; $e^H/S=0,13$). Inversamente a los índices de Shannon y Evenness, el índice de dominancia fue mayor en Sarayacu ($D=0,56$) en comparación con Huepetuhe ($D=0,26$) y La Pampa ($0,13$). Existió mayor similaridad de la vegetación entre La Pampa y Huepetuhe que entre La Pampa y Sarayacu o Huepetuhe y Sarayacu.

El tiempo de abandono de las áreas degradadas, en los tres sitios, no influyó significativamente en la riqueza y abundancia de la regeneración natural.

Ochroma pyramidale se consolidó como la especie de más alto IVI en los tres sitios, en el orden: Sarayacu>Huepetuhe>La Pampa. *Maquira coriacea*, *Cecropia engleriana*, *Cecropia polystachya* y *Vernonanthura patens* ocuparon también un alto IVI en La Pampa. En Huepetuhe, *Chromolaena laevigata* también fue una especie de alta importancia ecológica. A diferencia de La Pampa y Huepetuhe, en Sarayacu no hubo otras especies con alta importancia ecológica, debido a la abundancia y dominancia de *Ochroma pyramidale*.

Los suelos en los tres sitios, tuvieron alto grado de alteración en sus características físicas y químicas. No obstante, los suelos de Sarayacu presentaron mejores características físicas y químicas en comparación con La

Pampa y Huepetuhe. Existieron altas correlaciones entre las características químicas del suelo y la abundancia total de individuos; siendo que, a mayores valores de potasio, fósforo, capacidad de intercambio catiónico y cationes cambiables, la abundancia total de individuos se incrementa. Asimismo, a menor contenido de arena y mayor contenido de limo de los suelos, la abundancia de individuos se incrementa; sin embargo, debido al reducido número de muestras analizadas, no se encontraron coeficientes de correlación significativos. Se deduce que la mayor abundancia de individuos registrados en Sarayacu fue debida a las mejores condiciones de los suelos. La riqueza y diversidad de la composición florística tuvieron muy baja correlación con las características del suelo.

La concentración de metales pesados en los suelos fue baja en los tres sitios, no superando los valores máximos permisibles de los estándares de calidad ambiental. De entre los tres sitios, Sarayacu presentó mayor concentración de plomo, cadmio, cromo y arsénico. La concentración de mercurio fue por debajo de 0,03 mg/kg, en los tres sitios evaluados. La variación de la concentración de metales pesados no influenció la abundancia, riqueza y diversidad de la regeneración natural de las áreas degradadas.

SUGERENCIAS

En futuros estudios de regeneración natural, se recomienda realizar mayor muestreo de suelos, con el fin de determinar con precisión la relación entre las características de los suelos de áreas degradadas y la regeneración natural; así como determinar el grado de recuperación de los suelos, en función del tiempo y la composición florística.

Se sugiere la realización de estudios sobre la bioacumulación de metales pesados y otros contaminantes en las especies de mayor abundancia, con el fin de comprender mejor el ciclo de los contaminantes producto de la actividad minera.

Con fines de aclarar el efecto del tiempo de abandono en el desarrollo de la regeneración natural, se recomienda el muestreo de áreas con mayor diferencia de tiempo de abandono, entre 10 y 30 años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ-BERRÍOS, N.L. y MITCHELL AIDE, T., 2015. Global demand for gold is another threat for tropical forests. *Environmental Research Letters*, vol. 10, no. 1, pp. 14006. ISSN 1748-9326. DOI 10.1088/1748-9326/10/1/014006.
- ARAÚJO, F.S. de, MARTINS, S.V., MEIRA NETO, J.A.A., LANI, J.L. y PIRES, I.E., 2005. Florística da vegetação arbustivo - arbórea colonizadora de uma área degradada por mineração de caulim, em Brás Pires, MG. *Revista Árvore*, vol. 29, no. 6, pp. 983-992. ISSN 0100-6762. DOI 10.1590/S0100-67622005000600018.
- 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. ISSN 0027-8424. DOI 10.1073/pnas.1318271110.
- BRACK, A., IPENZA, C., ÁLVAREZ, J. y SOTERO, V., 2011. *Minería Aurífera En Madre De Dios Y Contaminación Con Mercurio: Una Bomba De Tiempo*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente. ISBN 9786124581878.
- CUTIRE, L.T. y RAMÍREZ, L.M.C., 2017. *Regeneración natural de la cobertura forestal en áreas degradadas por minería aurífera en la comunidad de Tres Islas, región de Madre de Dios, Perú*. S.l.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- DAMONTE, R., BUENO, M. de M., PACHAS, V.H., CHÁVEZ QUIJADA, M., FLORES, A. y DE ECHAVE, J.C., 2013. Small-scale gold mining and social and environmental conflict en the Peruvian Amazon. En: L. CREMERS, J. KOLEN y M. THEIJE (eds.), *Small-Scale Gold Mining in the Amazon. The cases of Bolivia, Brazil, Colombia, Peru and Suriname*. Amsterdam, Netherlands: Centre for Latin American Studies and Documentation, pp. 68-84. ISBN 78-90-70280-18-5.
- DÍAZ, W.P. y ELCORO, S., 2009. Plantas colonizadoras en áreas perturbadas por la minería en el Estado Bolívar, Venezuela. *Acta*

- Botánica Venezolana*, vol. 32, no. 2, pp. 453-466. ISSN 0084-5906.
- FAO, 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Términos y Definiciones. . Roma: Programa de Evaluación de los Recursos Forestales, 144/S.
- FUJISAKA, S., FUJISAKA, S., ESCOBAR, G., ESCOBAR, G., VENEKLAAS, E.J. y VENEKLAAS, E.J., 2000. Weedy elds and forests: interactions between land use and the composition of plant communities in the Peruvian Amazon. *Environment*, vol. 78, pp. 175-186.
- GONÇALVES, J.L. de M. y BENEDETTI, V., 2000. *Nutrição e fertilização florestal*. S.I.: IPEF. ISBN 8590135810.
- GOREMAD, 2010. Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia Tahuamanu-Volumen I. . Puerto Maldonado:
- HARTE, J., HOLDREN, C., SCHNEIDER, R. y SHIRLEY, C., 1991. *Toxics A to Z: A Guide to Everyday Pollution Hazards*. S.I.: University of California Press. ISBN 9780520910775.
- JOSE, M.A.F., 2008. *Caracterización ecológica de la vegetación forestal de la carretera interoceánica tramo tres- Madre de Dios*. S.I.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- JOSHI, N., MITCHARD, E.T., WOO, N., TORRES, J., MOLL-ROCEK, J., EHAMMER, A., COLLINS, M., JEPSEN, M.R. y FENSHOLT, R., 2015. Mapping dynamics of deforestation and forest degradation in tropical forests using radar satellite data. *Environmental Research Letters*, vol. 10, no. 3, pp. 34014. ISSN 1748-9326. DOI 10.1088/1748-9326/10/3/034014.
- LAMB, D., ERSKINE, P.D. y PARROTTA, J.A., 2005. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes. *Science*, vol. 310, no. 5754, pp. 1628 LP-1632.
- LANGELAND, A.L., HARDIN, R.D. y NEITZEL, R.L., 2017. Mercury levels in human hair and farmed fish near artisanal and small-scale gold mining

- communities in the madre de dios River Basin, Peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, no. 3. ISSN 16604601. DOI 10.3390/ijerph14030302.
- MAGURRAN, A.E., 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Dordrecht: Springer Netherlands. ISBN 978-94-015-7360-3.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA-COLOMBIA, 2003. *Glosario Técnico Minero*. Bogotá:
- MINISTERIO DEL AMBIENTE-PERÚ, 2013. *Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM: «Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo»*. 2013. Perú: s.n.
- MONGABAY, 2017. Regeneración natural. *Mongabay.com* [en línea]. [Consulta: 16 enero 2018]. Disponible en: <https://global.mongabay.com/es/rainforests/carbono-lexico/Regeneracion-natural.html>.
- MOSCHELLA, P.M., 2011. *Impactos ambientales de la minería aurífera y percepción local en la microcuenca Huacamayo, Madre de dios*. S.I.: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- MOSQUERA, C., CHÁVEZ, M.C., PACHAS, V.H. y MOSCHELLA, P., 2009. *Estudio Diagnóstico de la Actividad Minera Artesanal en Madre de Dios*. Lima, Perú: Tarea Gráfica Educativa. ISBN 9789972865077.
- PACHECO, D.E.V., 2014. *Composición florística de la regeneración natural colonizadora de un área degradada por minería aurífera en el Sector Teniente Acevedo- Tambopata- Madre de Dios*. S.I.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- PEET, R.K., 1975. Relative Diversity Indices. *Ecology*, vol. 56, no. 2, pp. 496-498. ISSN 00129658. DOI 10.2307/1934984.
- PHILLIPS, O.L., NÚÑEZ VARGAS, P., MONTEAGUDO, A.L., CRUZ, A.P., ZANS, M.E.C., SÁNCHEZ, W.G., YLI-HALLA, M. y ROSE, S., 2003. Habitat association among Amazonian tree species: A landscape-scale approach. *Journal of Ecology*, vol. 91, no. 5, pp. 757-775. ISSN

00220477. DOI 10.1046/j.1365-2745.2003.00815.x.

- PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS-PERÚ, 2016. *Decreto Supremo N° 034-2016-PCM: "Declaran el Estado de Emergencia en once distritos de las provincias de Tambopata, Manu y Tahuamanu del departamento de Madre de Dios, por contaminación por mercurio en el marco de la Ley 29664 sobre Gestión de Riesgo de."* 2016. Perú: s.n.
- 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., HUAYLLANI, M., MICHÍ, 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.
- ROSALES, R.E.S., 2008. *Potencial forestal y deforestación en márgenes de la carretera El Castañal-Santa Rosa de Tambopata*. S.l.: Universidad de Piura.
- SAJAMI, E.Q., 2017. *Evaluación de la regeneración natural en áreas degradadas por la minería aurífera en el Distrito de Laberinto, Tambopata-Madre de Dios*. S.l.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- 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. 4. ISSN 19326203. DOI 10.1371/journal.pone.0018875.
- VIDALÓN, J., 2002. *Minería Aluvial en Madre de Dios - Proyectos Ambientales*. 2002. S.l.: s.n.