



Artículo original / Original article

Índice de valor de importancia y diversidad arbórea en concesión minera Washington, Inambari, Madre de Dios, Perú

Importance Value Index and Tree Diversity in the Washington Mining Concession, Inambari, Madre de Dios, Peru

Rosario Bernaola-Paucar^{1*}; Luis Nieto-Ramos²; Carlos Nieto-Ramos³

¹Universidad Nacional Autónoma Altoandina
de Tarma. Tarma, Junín, Perú.

²Universidad Nacional Amazónica de Madre de
Dios. Puerto Maldonado, Madre de Dios, Perú

³Universidad Andina del Cusco - Filial Puerto
Maldonado, Madre de Dios, Perú.

Recibido: 30/09/2025

Aceptado: 19/01/2026

Publicado: 25/01/2026

*Autor de correspondencia: rbernaola@unaat.edu.pe

Resumen: La minería aurífera en Madre de Dios ha fragmentado el bosque y degradados suelos, generando incertidumbre sobre qué especies sostienen la estructura del arbolado en concesiones mineras. El objetivo fue estimar el Índice de Valor de Importancia (IVI) y describir la diversidad del componente arbóreo en la concesión minera Washington, cuenca del río Inambari. Se instaló una parcela de 100 × 10 m y se censaron individuos con DAP ≥ 10 cm, registrando especie, diámetro y altura. Con abundancias, frecuencias y dominancias relativas se calculó el IVI por especie; también se estimaron índices de diversidad y se clasificaron las especies por valor comercial (B-E). Se registraron 562 individuos y 154 especies. Las mayores importancias estructurales correspondieron a *Euterpe precatoria*, *Iriartea deltoidea* y *Tetragastris altissima*, evidenciando que la dominancia surge por combinaciones de abundancia y área basal. Los índices de diversidad reflejaron alta heterogeneidad y dominancia moderada. En el componente económico predominó la categoría E (bajo valor), mientras que las categorías de alto y mediano valor representaron fracciones menores. En conjunto, el bosque evaluado mantiene elevada diversidad, pero su estructura depende de pocas especies clave; el IVI es útil para priorizar especies en manejo y restauración en paisajes influenciados por minería.

Palabras clave: Índice de valor de importancia; diversidad arbórea; bosque amazónico; concesión minera; restauración ecológica.

Abstract: Gold mining in Madre de Dios has fragmented forests and degraded soils, creating uncertainty about which species maintain stand structure in mining concessions. This study aimed to estimate the Importance Value Index (IVI) and characterize tree diversity in the Washington mining concession in the Inambari River basin. A 100 × 10 m plot was established, and all individuals with DBH ≥ 10 cm were inventoried, recording species identity, diameter, and total height. Species-level IVI was calculated from relative abundance, frequency, and dominance; diversity indices were also estimated, and species were classified by commercial value (B-E). In total, 562 individuals representing 154 species were recorded. The highest structural importance was found for *Euterpe precatoria*, *Iriartea deltoidea*, and *Tetragastris altissima*, indicating that dominance arises from combined effects of abundance and basal area. Diversity metrics showed high heterogeneity and moderate dominance. From an economic perspective, category E (low value) predominated, whereas high- and medium-value categories accounted for smaller shares. Overall, the assessed forest retains high diversity, but its structure is driven by a few key species; IVI is a useful tool for prioritizing species in forest management and restoration in mining-impacted landscapes.

Keywords: Importance Value Index; tree diversity; Amazon rainforest; mining concession; ecological restoration.

1. Introducción

La Amazonía peruana concentra ecosistemas de alta diversidad y funciones ecológicas esenciales; sin embargo, en las últimas décadas ha enfrentado una transformación acelerada por actividades extractivas. En Madre de Dios, la minería aurífera artesanal y de pequeña escala se caracteriza por remover rápidamente la cobertura forestal, modificar la microtopografía y dejar superficies con suelos empobrecidos, acumulación de sedimentos y riesgos de contaminación asociados al uso de mercurio (Caballero Espejo et al., 2018; Diringer et al., 2020). A escala regional, la evidencia documenta la magnitud del proceso: se ha estimado que la conversión de tierras vinculada a la minería aurífera en el sureste peruano se aproxima a 100 000 ha en el periodo 1984–2017, y que, desde 2010, la minería llegó a superar a otros impulsores de deforestación combinados durante varios años (Caballero Espejo et al., 2018). Este patrón no responde a una sola causa; se asocia a factores socioeconómicos y territoriales que incrementan la presión sobre el bosque y facilitan la expansión de frentes mineros, incluyendo el aumento de accesibilidad a áreas previamente remotas (Caballero Espejo et al., 2018).

La cuenca del río Inambari se inserta en este contexto de presión minera y transformación territorial. La dinámica fluvial y los ambientes aluviales favorecen la concentración de depósitos auríferos, lo que incentiva la intervención de riberas y terrazas y la consolidación de actividades asociadas a la extracción. En este escenario se ubica la concesión minera Washington (Inambari, Madre de Dios, Perú), donde comprender la condición del arbolado remanente y los patrones de dominancia resulta clave para orientar decisiones de manejo y restauración. En paisajes post-mineros, la recuperación ecológica no puede reducirse a “revegetar”: el disturbio suele comprometer simultáneamente la estructura del suelo, la disponibilidad de micrositios y la conectividad con fuentes de semillas, elementos que condicionan la sucesión y la restauración.

La evidencia empírica regional muestra avances, pero también límites en la recuperación. En áreas reforestadas hace dos décadas en Huetpetuhe se reportó un estrato arbóreo con fuerte participación de vegetación espontánea y una acumulación de biomasa entre 30% y 69% menor que la de bosques secundarios de edad comparable, lo que sugiere rezagos persistentes en estructura y funcionamiento (Garate-Quispe et al., 2021). Asimismo, se destaca que la regeneración natural tiende a volverse más lenta cuando aumenta la distancia al bosque fuente y cuando la fragmentación reduce los procesos de dispersión, afectando el reclutamiento y establecimiento de especies (Garate-Quispe et al., 2021). Esto refuerza la necesidad de contar con diagnósticos ecológicos cuantitativos que permitan comprender qué especies estructuran el bosque en contextos intervenidos y qué tan marcada es su dominancia. En Madre de Dios, la regeneración natural posterior a la minería presenta cambios sucesionales en estructura, composición y diversidad, por lo que el tiempo de abandono constituye un factor relevante para orientar las acciones de restauración (Chambi-Legoas et al., 2021).

Para describir la estructura y dominancia del arbolado, el Índice de Valor de Importancia (IVI) constituye una herramienta sintética ampliamente empleada en ecología y manejo forestal. El IVI integra, en términos relativos, la abundancia, la frecuencia y la dominancia (usualmente expresada mediante el área basal), y se interpreta como una aproximación al “peso ecológico” de cada especie dentro de la comunidad; su valor máximo relativo puede alcanzar 300% y su estimación depende del tamaño y diseño de la unidad de muestreo Lamprecht, (1990), citado en Pastrana, (2014). En aplicaciones recientes, el IVI se operacionaliza a partir de densidad, frecuencia y área basal, facilitando comparaciones estructurales entre sitios o condiciones de vegetación, y contribuyendo a identificar especies dominantes o estructurales en el ensamblaje (Silva-González et al., 2022). En paisajes mineros, este indicador es especialmente útil porque resume patrones de dominancia que pueden emerger tras disturbios intensos y ayuda a priorizar especies relevantes para restauración, manejo y monitoreo.

El análisis estructural, además, se conecta con la gestión sostenible y con la necesidad de información verificable para la toma de decisiones. En el Perú, el aprovechamiento de recursos forestales se vincula con criterios económicos, sociales y ambientales y con metodologías oficiales para la retribución por el uso de recursos naturales, lo que refuerza la importancia de contar con

líneas base ecológicas confiables (SERFOR, 2016). Sin embargo, en bosques amazónicos persisten retos técnicos para el levantamiento de datos, como la alta riqueza florística y la dificultad de identificación de especies cuando no se dispone de material fértil, lo que puede exigir validación en herbarios y apoyo especializado (Brako & Zarucchi, 1993). De igual modo, se ha señalado que la falta de información detallada sobre estructura y composición limita la planificación y el manejo en el ámbito amazónico (Recavarren Estares et al., 2011).

Con base en este contexto, el estudio se orienta a reducir la brecha de información existente sobre la flora y la estructura del bosque en Madre de Dios, la cual limita la planificación de la conservación y el manejo a largo plazo. En particular, se evalúa la relevancia ecológica y económica de las especies arbóreas en la concesión minera Washington (Inambari, Madre de Dios, Perú) mediante el Índice de Valor de Importancia (IVI), con el propósito de generar una base cuantitativa sobre la estructura y dominancia del arbolado en un paisaje influenciado por actividad minera. De manera complementaria, se estiman los componentes del IVI (abundancia, frecuencia y dominancia relativas) para interpretar la contribución de cada especie al ensamblaje y discutir su utilidad como referencia para el manejo forestal y la restauración. El alcance del trabajo se circunscribe al componente arbóreo y su caracterización estructural según el diseño de muestreo aplicado. Como limitaciones previsibles se consideran las condiciones de acceso y logística en el ámbito amazónico, así como las restricciones taxonómicas asociadas a la identificación botánica, aspectos que deben ser considerados al interpretar los resultados y formular recomendaciones de gestión sostenible.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

La investigación se realizó en concesión minera Washington, ubicada en las inmediaciones de la comunidad de Boca Inambari, en el distrito de Inambari (Madre de Dios, Perú), con referencia espacial cercana a las comunidades de Huacamayo Chico e Inambarillo. La zona se caracteriza por unidades geomorfológicas asociadas a terrazas aluviales, con relieve que varía de plano a suavemente ondulado, particularmente hacia el sector norte del río Madre de Dios. El clima corresponde a condiciones típicas de selva baja, con una temperatura media anual de 25,6 °C y precipitaciones anuales que pueden alcanzar aproximadamente 3000 mm. Los suelos presentan textura de media a pesada, con baja permeabilidad y aireación limitada, condiciones que influyen en el drenaje y en el establecimiento de la vegetación.

2.2. Materiales y equipos

Considerando la elevada cobertura forestal del sector, se seleccionaron áreas con cobertura arbórea representativa dentro del ámbito de Boca Inambari. Para la planificación, ubicación y registro de la información se emplearon: Carta Nacional 23-Y, libreta de campo, GPS Garmin eTrex 30, cinta métrica, wincha y flexómetro de 50 m para el trazado de la parcela, brújula Suunto para orientación, equipo fotográfico para registro de evidencias, y equipo de cómputo para digitación y procesamiento. Complementariamente, se realizaron salidas de campo y entrevistas a residentes locales para precisar rutas de acceso y contexto de uso del territorio.

2.3. Diseño de muestreo y variables registradas

El muestreo del componente arbóreo se efectuó mediante una parcela rectangular de 100 m × 10 m (1 000 m²). Dentro de esta unidad se censaron todos los individuos arbóreos con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm. Para cada individuo se registró: especie (nombre científico), nombre común, DAP y altura total. La identificación taxonómica se realizó en campo con apoyo de un técnico forestal del Herbario Alwyn Gentry. Los datos fueron consignados en fichas de campo y posteriormente digitalizados en una base de datos en Microsoft Excel (2016). Para el análisis, las abundancias se consolidaron por especie, lo que permitió obtener los totales de individuos y riqueza específica reportados en los resultados.

Adicionalmente, cada especie se asignó a una categoría de valor comercial (B, C, D y E), utilizada para describir la composición del arbolado desde una perspectiva de potencial forestal: B = alto

valor comercial, C = mediano valor comercial, D = potencialmente comercial y E = bajo valor comercial.

2.4. Cálculo del Índice de Valor de Importancia (IVI)

La estructura de la comunidad arbórea se evaluó mediante el Índice de Valor de Importancia (IVI), calculado según el enfoque propuesto por Lamprecht (1990), citado por Cueva (2015). El IVI se estimó como la suma de los valores relativos de abundancia, frecuencia y dominancia:

$$IVI_i = Ar_i + Fr_i + Dr_i$$

donde:

Ar_i = abundancia relativa de la especie i

Fr_i = frecuencia relativa de la especie i

Dr_i = dominancia relativa de la especie i

2.5. Procesamiento y análisis de datos

Los datos de campo fueron depurados y organizados en Excel 2016. Para cada especie se calcularon sus indicadores. Finalmente, con Ar_i , Fr_i y Dr_i se calculó el IVI por especie, lo que permitió jerarquizar especies por importancia estructural. Además, con la abundancia consolidada por especie se calcularon índices de diversidad (p. ej., Shannon, Simpson, equidad, Fisher alpha y Chao-1) a partir de las abundancias absolutas, con apoyo de procesamiento computacional (hoja de cálculo y/o scripts de análisis), tal como se reporta en los resultados.

3. Resultados

El análisis estructural del componente arbóreo en la concesión minera Washington evidencia un ensamblaje con alta riqueza de especies y, simultáneamente, una importancia ecológica concentrada en un subconjunto reducido. El Cuadro 1 muestra que las especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) corresponden principalmente a palmeras y latifoliadas típicas de bosques amazónicos, destacando *Euterpe precatoria* (IVI = 16,22; 5,41%), *Iriartea deltoidea* (IVI = 14,05; 4,68%) y *Tetragastris altissima* (IVI = 11,28; 3,76%). Este patrón sugiere que la estructura del rodal se sostiene sobre especies que combinan presencia frecuente y aporte significativo a la dominancia, y que por tanto tienen un rol clave en la fisonomía del bosque evaluado.

En términos comparativos, la contribución conjunta de las nueve especies principales concentra 27,36% del IVI total, mientras que el conjunto de otras especies acumula el 72,64% restante (Cuadro 1). Esta distribución indica que, aunque existe un núcleo de especies con alta influencia estructural, la mayor proporción del IVI se dispersa en un número amplio de especies de menor peso individual, lo cual es consistente con sistemas megadiversos donde la dominancia relativa puede coexistir con una elevada diversidad funcional.

El análisis de los componentes del IVI permite identificar diferencias en el mecanismo por el cual cada especie alcanza relevancia estructural. *Euterpe precatoria* sobresale por su alta abundancia relativa (9,43%) y una frecuencia superior, lo que refleja presencia consistente en el muestreo y aporte estable a la composición (Cuadro 1). En contraste, *Tetragastris altissima* registra una abundancia relativa menor (3,56%), pero presenta la dominancia relativa más elevada entre las principales especies (5,48%), sugiriendo que su importancia deriva más del aporte al área basal que del número de individuos. A su vez, *Iryanthera juruensis* muestra un patrón inverso: pese a mantener valores de abundancia y frecuencia moderados, su dominancia relativa es baja (0,99%), lo que sugiere una contribución limitada al área basal respecto de otras especies con abundancias comparables (Cuadro 1). Esta heterogeneidad confirma que el IVI no responde únicamente al número de individuos, sino también a la distribución espacial y al tamaño relativo de los árboles.

Tabla 1. Índice de valor de importancia de las especies forestales en la Concesión minera WAHINGTON

Especies	Abundan cia relativa	Frecuenci a relativa	Dominan cia relativa	IVI	IVI %
<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	9.43	2.81	3.98	16.22	5.41
<i>Iriartea deltoidea</i> Ruiz & Pav.	6.23	2.53	5.30	14.05	4.68
<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	3.56	2.25	5.48	11.28	3.76
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Berg	1.96	1.69	3.87	7.51	2.50
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) J.F. Macbr.	2.67	1.97	2.85	7.49	2.50
<i>Pourouma minor</i> Benoist	1.96	1.97	3.32	7.25	2.42
<i>Pseudolmedia laevigata</i> Trécul	2.31	1.69	2.35	6.34	2.11
<i>Meliosma herbertii</i> Rolfe	2.14	1.69	2.21	6.03	2.01
<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	2.67	2.25	0.99	5.90	1.97
Subtotal	32.92	18.82	30.34	82.08	27.36
Otras especies	67.08	81.18	69.66	217.92	72.64
Total	100.00	100	100	300	100

La relación entre abundancia y dominancia relativas se aprecia con mayor claridad en la Figura 1, donde las especies más abundantes tienden a ubicarse hacia valores más altos de abundancia, pero no necesariamente coinciden con los máximos de dominancia. En particular, la separación visual entre especies con alta dominancia pero abundancia moderada (*Tetragastris altissima*) y aquellas con alta abundancia y dominancia intermedia (*Euterpe precatoria*) refuerza la idea de que el bosque combina especies “numerosas” con especies “estructurales” por tamaño, lo cual puede tener implicancias directas para el manejo: las primeras sostienen el recambio poblacional y la presencia constante, mientras que las segundas condicionan el volumen de biomasa y la arquitectura del dosel.

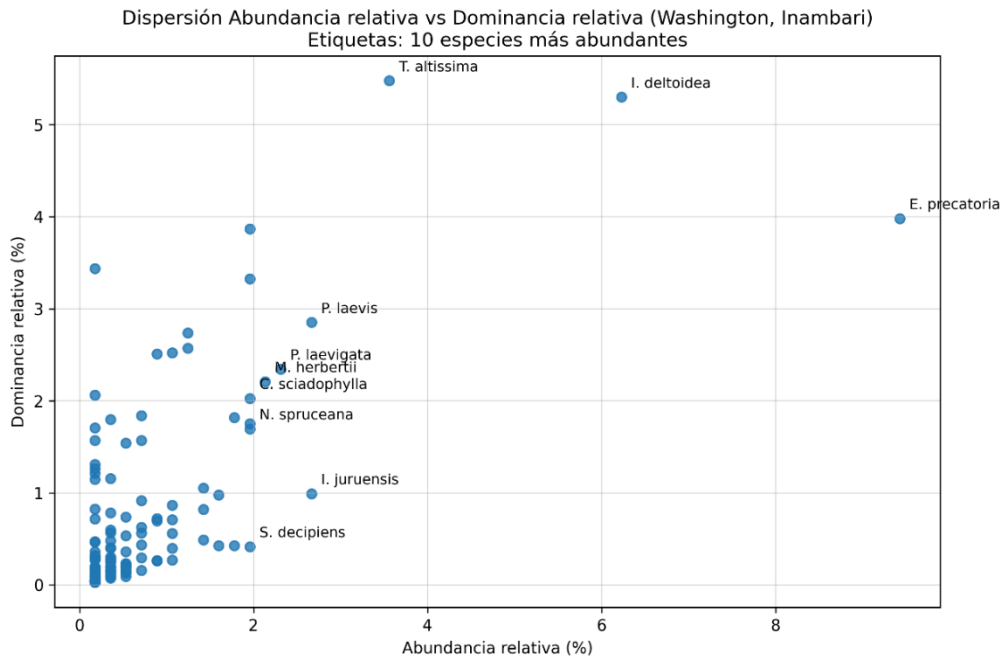


Figura 1. Índice de valor forestal potencial de las especies forestales en la Concesión minera WAHINGTON.

Desde la perspectiva de diversidad, el Cuadro 2 evidencia una comunidad con alta riqueza específica (Taxa_S = 154) y un total de 562 individuos analizados. Los índices de diversidad corroboran una estructura relativamente equitativa, con Shannon_H = 4,3977 y Simpson_1-D = 0,9768, valores compatibles con ensamblajes donde la probabilidad de que dos individuos elegidos al azar pertenezcan a especies distintas es alta. En concordancia, la equitatividad de Pielou (J = 0,8731) sugiere que la abundancia se distribuye de manera relativamente homogénea entre especies, aunque no perfectamente uniforme, lo que es coherente con la presencia de especies dominantes identificadas por IVI (Cuadro 1). A nivel de dominancia, Dominance_D = 0,0232 y Berger-Parker = 0,0943 señalan que ninguna especie monopoliza la comunidad, aun cuando algunas incrementan su relevancia estructural. En conjunto, estos resultados describen un bosque donde la dominancia es moderada y la diversidad se mantiene alta, pero con un conjunto de especies clave que concentran parte del control estructural del rodal.

Tabla 2. Índices de diversidad de la Concesión minera WAHINGTON

Índice	Valor
Taxa_S	154
Individuals	562
Dominance_D	0.023227
Simpson_1-D	0.976773
Shannon_H	4.397697
Evenness (e^H/S)	0.527685
Brillouin	4.035763
Menhinick	6.496098
Margalef	24.164883
Equitability_J	0.873087
Fisher_alpha	69.978959
Berger-Parker	0.094306
Chao-1	266.5

El componente comercial muestra un contraste relevante entre diversidad y valor de uso. La Figura 2 resume la distribución de especies según su categoría comercial y evidencia que la mayor proporción se agrupa en bajo valor comercial (Categoría E: 76%), mientras que alto valor comercial (B) representa una fracción menor (6%), seguido por mediano valor comercial (C: 11%) y potencialmente comerciales (D: 7%). Esta estructura sugiere que, en el conjunto evaluado, la diversidad está dominada por especies con menor valorización comercial, lo cual puede estar relacionado con dinámicas históricas de extracción selectiva, disponibilidad diferencial de especies valiosas o patrones de regeneración que favorecen especies más frecuentes en ambientes intervenidos. En el mismo gráfico se destacan las cinco especies más abundantes por categoría, lo que permite reconocer, dentro de cada grupo comercial, aquellas especies que aportan mayor presencia en el ensamblaje y que podrían orientar decisiones de manejo y restauración, ya sea por su potencial de aprovechamiento o por su rol ecológico.

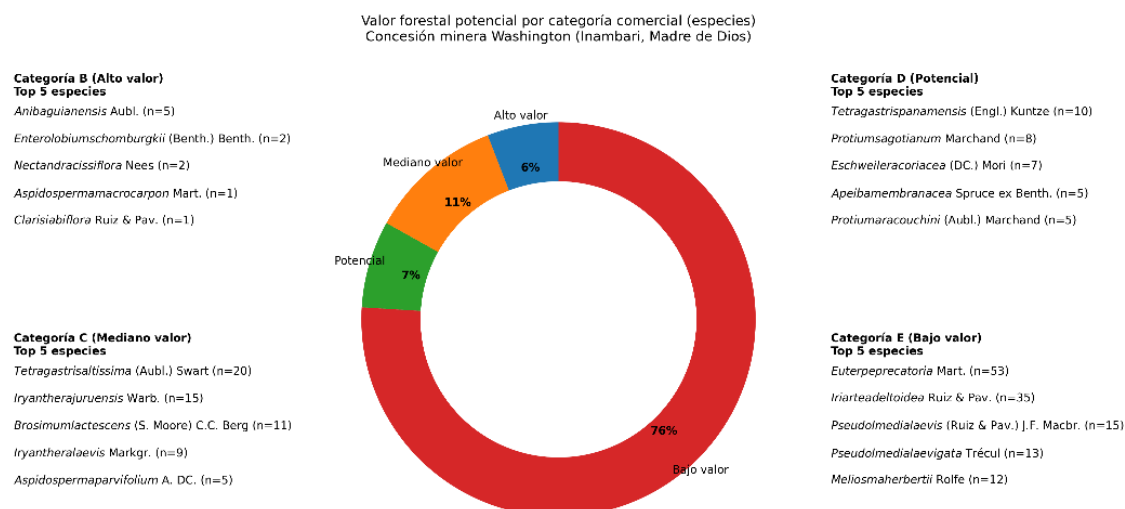


Figura 2. Análisis comercial de las especies forestales en la Concesión minera WAHINGTON.

En síntesis, los resultados integrados muestran (i) un bosque con alta riqueza y diversidad, (ii) una estructura donde el IVI identifica especies clave que sostienen la configuración del rodal, y (iii) una composición comercial fuertemente sesgada hacia especies de bajo valor, con grupos más reducidos de especies de alto o mediano valor (Cuadro 1; Cuadro 2; Figuras 1–2). Este conjunto de hallazgos proporciona una base sólida para priorizar especies en estrategias de manejo, monitoreo y restauración en un paisaje asociado a concesiones mineras, donde mantener la diversidad y recuperar funciones estructurales del bosque resulta esencial.

4. Discusión

Los patrones observados en la concesión minera Washington reflejan un bosque amazónico con alta diversidad y, al mismo tiempo, una estructura organizada alrededor de un conjunto recurrente de especies dominantes, lo que es esperable en paisajes sometidos a presiones antrópicas y dinámicas sucesionales. En Madre de Dios, la minería aurífera artesanal y de pequeña escala se distingue por su severidad: deja un mosaico de áreas con disturbio intenso y efectos persistentes sobre suelos y servicios ecosistémicos (pérdida de carbono residual, remoción de sedimentos finos, deterioro de calidad de agua y contaminación por mercurio), además de estar asociada a una expansión territorial compleja y heterogénea. (Caballero Espejo et al., 2018).

En esa línea, la interpretación de la estructura arbórea mediante IVI y la evaluación de diversidad constituyen una aproximación pertinente para comprender qué especies sostienen la fisonomía del rodal y qué tan marcada es la dominancia.

Un hallazgo clave es que las especies con mayor importancia ecológica (IVI) corresponden a palmeras y latifoliadas ampliamente reportadas como representativas en bosques del sector de Boca Inambari. En la tesis de García Huamán (2023), desarrollada también en concesiones mineras metálicas del mismo ámbito (Boca Inambari), se identifica un patrón altamente comparable: en la parcela II, las especies más representativas por %IVI incluyen *Euterpe precatoria*, *Iriartea deltoidea* y *Tetragastris altissima*, seguidas por *Pourouma minor* y *Pseudolmedia laevis*. Este patrón también ha sido observado en bosques de Madre de Dios, donde *Tetragastris altissima*, *Iriartea deltoidea* y *Euterpe precatoria* figuran entre las especies de mayor importancia ecológica (Alvarez-Montalván et al., 2021).

Esta coincidencia sugiere que, más allá de variaciones locales, existe un “núcleo florístico-estructural” relativamente estable en el paisaje de Inambari, probablemente influido por condiciones ambientales compartidas (terrazas aluviales, dinámica fluvial, disponibilidad hídrica) y por filtros de disturbio asociados a la intervención humana.

Desde una perspectiva ecológica, la dominancia de estas especies puede interpretarse como resultado de estrategias funcionales complementarias. En bosques tropicales, especies que combinan alta presencia espacial con buen desempeño en condiciones de luz y suelo variables tienden a sostener la estructura horizontal del rodal, mientras que otras alcanzan relevancia por su aporte al área basal aun con menor densidad. Esta distinción es consistente con la lógica del IVI, que integra abundancia, frecuencia y dominancia (Cueva, 2015; Lamprecht, 1990), y permite interpretar el “peso ecológico” de cada especie.

En tu caso, la nube de puntos del diagrama abundancia–dominancia (Figura 1) evidencia justamente esa dualidad: algunas especies destacan por abundancia, otras por dominancia, y no siempre ambas dimensiones coinciden. Esta lectura aporta un matiz importante para restauración y manejo: las especies más abundantes no necesariamente son las que más estructuran el bosque, y viceversa; por tanto, una priorización basada solo en densidad podría sesgar decisiones silviculturales o de restauración hacia especies “frecuentes” pero menos determinantes en biomasa o estructura.

La diversidad registrada (Cuadro 2) es alta y, en términos comparativos, se alinea con antecedentes locales de concesiones mineras en el mismo distrito. García Huamán (2023) reporta valores elevados de Shannon y Simpson en parcelas de 1 ha, con métricas de equidad también altas, lo que indica comunidades ricas y con dominancia moderada.

En tu estudio, la interpretación coherente es que, aunque existe un conjunto de especies con mayor importancia estructural (Cuadro 1), la comunidad en conjunto mantiene heterogeneidad y distribución relativamente toggleada de abundancias, compatible con bosques de alta diversidad donde ninguna especie monopoliza el ensamblaje. Este patrón de “dominancia moderada” es relevante porque, en escenarios de minería, la degradación severa del suelo puede reducir la capacidad de establecimiento y simplificar la vegetación en áreas directamente intervenidas (Garate-Quispe et al., 2021). Estudios de cronosecuencia en Madre de Dios muestran, además, que los suelos post-minería presentan baja disponibilidad de nutrientes y materia orgánica, condiciones que contribuyen a una recuperación natural lenta (Alarcón-Aguirre et al., 2023).

En otras palabras, la persistencia de alta diversidad en el componente arbóreo sugiere que el muestreo captó un bosque con estructura relativamente compleja, o al menos un estado de recuperación donde la comunidad no está colapsada a pocas especies. Asimismo, en cronosecuencias posteriores a la minería se ha observado que la estructura forestal puede recuperarse más rápidamente que la composición florística, evidenciando que la recuperación ecológica comprende dimensiones con distintas velocidades de respuesta (Garate-Quispe et al., 2024).

Dicho esto, la validez ecológica de estos indicadores debe discutirse a la luz del diseño de muestreo y el alcance del trabajo. El IVI es sensible al tamaño y forma de la unidad muestral; se reconoce que su valor relativo máximo (300%) y su interpretación pueden estar influidos por la unidad de muestreo (Quispe Ore, 2019).

Por ello, aunque el IVI es robusto para jerarquizar especies dentro del área evaluada, la comparación directa de magnitudes entre estudios requiere cautela cuando las parcelas difieren (p. ej., 0,1 ha versus 1 ha). En investigaciones regionales se emplean parcelas de 1 ha para capturar mejor la heterogeneidad espacial (García Huamán, 2023).

Además, para diversidad se recomienda complementar con curvas de rarefacción/extrapolación y análisis que controlen el tamaño muestral; enfoques recientes en estudios florísticos aplican rarefacción basada en individuos y paquetes como iNEXT para estimar riqueza y diversidad de manera comparable entre sitios (Chao et al., 2014; Gotelli & Colwell, 2001; Ramírez Guaman & Lozano, 2024).

Estas consideraciones no invalidan los hallazgos, pero sí delimitan su inferencia: tus resultados recuerdan “qué domina” y “cuán diverso es” el rodal muestreado, más que atribuir causalidad directa a la minería sin un diseño comparativo (referencia vs intervenido).

En relación con el componente económico, el análisis por categorías comerciales (Figura 2) muestra un predominio de especies de bajo valor comercial frente a grupos más pequeños de alto, mediano o potencialmente comerciales. Este patrón es consistente con evaluaciones previas en Madre de Dios que reportan alta proporción de especies con valor comercial muy bajo en ciertos tipos de bosque, con menores proporciones de categorías medianas y bajas, en función de umbrales de diámetro y enfoque maderable (Rosales-Solórzano, n.d.).

En términos interpretativos, este predominio puede deberse a (i) la alta diversidad inherente de la Amazonía, donde muchas especies cumplen funciones ecológicas clave sin ser necesariamente maderables, y/o (ii) señales de extracción selectiva histórica, que suele reducir la presencia relativa de especies valiosas en paisajes accesibles y productivos. Esta lectura se alinea con el argumento de manejo sostenible que enfatiza no limitar la evaluación del bosque a su función económica, sino considerar sus múltiples funciones y servicios (enfoque de sostenibilidad forestal).

La comparación con sistemas forestales altamente simplificados refuerza la interpretación anterior. En un caso de concesión minera con plantaciones introducidas (Imbabura, Ecuador), se reporta un IVI extremadamente alto para una sola especie dominante (eucalipto), reflejando una estructura muy concentrada y de baja heterogeneidad.

Frente a ese contraste, el hecho de que en Washington la importancia estructural se distribuya entre varias especies y que “otras especies” representen una fracción amplia del IVI (Cuadro 1) sugiere un sistema más heterogéneo y cercano a un bosque natural/mixto que a una plantación monodominante; esto es importante porque la restauración ecológica en paisajes mineros no busca únicamente cobertura, sino recuperar estructura y procesos.

Finalmente, los resultados adquieren significado aplicado al considerar trayectorias de recuperación en ambientes mineros de Madre de Dios. Gárate-Quispe et al. (2021) muestran que, aun después de 20 años de reforestación en áreas degradadas por minería, el estrato arbóreo puede quedar dominado por vegetación espontánea y presentar biomasa menor que bosques secundarios de edad comparable, recomendando integrar especies nativas relevantes para la restauración.

En este marco, el conjunto de especies con mayor IVI en Washington puede interpretarse como un pool de especies estructurales y frecuentes que potencialmente contribuirían a estrategias de recuperación (enriquecimiento, regeneración asistida, manejo de semilleros), siempre que se evalúen también restricciones del sitio (suelo degradado, accesibilidad de semillas, fragmentación). Además, dada la evidencia de que no todas las modalidades de minería generan el mismo nivel de disturbio y que se requieren regímenes de gestión diferenciados, la extrapolación de estrategias debe ser prudente y adaptativa (Caballero Espejo et al., 2018). En este sentido, ensayos realizados en suelos severamente degradados por minería en la Amazonía peruana muestran que el uso de enmiendas puede favorecer el establecimiento inicial de especies con potencial para reforestación y restauración (Herrera-Machaca et al., 2024).

5. Conclusiones

El análisis integrado del componente arbóreo en la concesión minera Washington evidencia una comunidad de alta riqueza y heterogeneidad, cuya estructura no se concentra en una única especie, sino que se organiza alrededor de un conjunto reducido de especies con mayor importancia ecológica identificado mediante el IVI. Esta configuración refleja que el funcionamiento estructural del rodal depende de combinaciones complementarias de abundancia, frecuencia y dominancia, donde algunas especies sostienen la presencia espacial del bosque por su alta ocurrencia y otras aportan de manera desproporcionada a la arquitectura y biomasa por su mayor área basal relativa. Asimismo, la composición comercial muestra un predominio de especies de bajo valor, lo que limita el potencial maderable inmediato y refuerza la necesidad de enfoques de manejo y restauración que prioricen la funcionalidad ecológica, el

mantenimiento de la diversidad y la recuperación progresiva de componentes estructurales clave en un paisaje influenciado por actividad minera.

Se recomienda, implementar un muestreo ampliado y estratificado por gradiente de disturbio, incorporando variables de suelo y regeneración natural, para robustecer la inferencia ecológica y optimizar la selección de especies y acciones en programas de restauración y manejo forestal.

Agradecimiento

Al personal técnico forestal del Herbario Alwyn Gentry.

Financiamiento

El proyecto fue financiado por los fondos concursables del VRI - UNAMAD.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autoría

Escritura y preparación del primer borrador: Bernaola-Paucar, R.M.

Conceptualización: Nieto-Ramos, L.

Metodología y recolección de datos: Nieto-Ramos, C.

Referencias bibliográficas

- (SERFOR), S. N. F. y de F. S. (2016). *Metodología para la determinación del valor al estado natural de la madera para el pago de derecho del aprovechamiento y los Valores al estado natural de la madera. Resolución de Dirección Ejecutiva N° 241-2016-SERFOR-DE*. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per160867.pdf>
- Alarcón-Aguirre, G., Sajami Quispe, E., Vásquez Zavaleta, T., Ponce Tejada, L. V., Ramos Enciso, D., Rodríguez Achata, L., & Garate-Quispe, J. (2023). Vegetation dynamics in lands degraded by gold mining in the southeastern Peruvian Amazon. *Trees, Forests and People*, 11, 100369. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100369>
- Alvarez-Montalván, C. E., Manrique-León, S., Vela-Da Fonseca, M., Cardozo-Soarez, J., Callo-Ccorcca, J., Bravo-Camara, P., Castañeda-Tinco, I., & Alvarez-Orellana, J. (2021). Floristic composition, structure and tree diversity of an amazon forest in Peru. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 73–82. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.009>
- Brako, L., & Zarucchi, J. L. (1993). *Catalogue of the Flowering Plants and Gymnosperms of Peru = Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú* (Vol. 45). Missouri Botanical Garden.
- Caballero Espejo, J., Messinger, M., Román-Dañobeytia, F., Ascorra, C., Fernandez, L. E., & Silman, M. (2018). Deforestation and Forest Degradation Due to Gold Mining in the Peruvian Amazon: A 34-Year Perspective. *Remote Sensing*, 10(12), 1903. <https://doi.org/10.3390/rs10121903>
- Chambi-Legoas, R., Ortega Rodriguez, D. R., de Marques de Figueiredo, F., Peña Valdeiglesias, J., Zevallos Pollito, P. A., Marcelo-Peña, J. L., & Rother, D. C. (2021). Natural Regeneration After Gold Mining in the Peruvian Amazon: Implications for Restoration of Tropical Forests. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 594627. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.594627>
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45–67. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>

- Cueva, K. (2015). *Metodología de procesamiento y análisis de datos del Inventario Forestal Nacional (IFN)*. Programa Nacional Conjunto ONU-REDD Paraguay / Instituto Forestal Nacional.
- Diringer, S. E., Berky, A. J., Marani, M., Ortiz, E. J., Karatum, O., Plata, D. L., Pan, W. K., & Hsu-Kim, H. (2020). Deforestation Due to Artisanal and Small-Scale Gold Mining Exacerbates Soil and Mercury Mobilization in Madre de Dios, Peru. *Environmental Science & Technology*, 54(1), 286–296. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06620>
- Garate-Quispe, J., Canahuire-Robles, R., Alarcón-Aguirre, G., Dueñas-Linares, H., & Roman-Dañobeytia, F. (2024). Changes in floristic and vegetation structure in a chronosequence of abandoned gold-mining lands in a tropical Amazon forest. *Heliyon*, 10(9), e29908. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29908>
- Garate-Quispe, J. S., Canahuire-Robles, R., Surco-Huacachi, O., & Alarcón-Aguirre, G. (2021). Desarrollo estructural y composición florística arbórea en áreas afectadas por minería aurífera en la Amazonía peruana: a 20 años de su reforestación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, e923437. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3437>
- García Huamán, N. S. (2023). *Diversidad, composición arbórea y valoración económica de un bosque intervenido por la actividad minera metálica en el sector de Boca Inambari, Tambopata - Madre de Dios* [Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <http://hdl.handle.net/20.500.14070/958>
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4(4), 379–391. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x>
- Herrera-Machaca, M., Ancco-Mamani, C., Alarcon Aguirre, G., Gonzales-Alvarado, A. C., & Garate-Quispe, J. (2024). Soil amendments influence early plant survival and growth in reclamation of severely degraded lands by gold mining in the Peruvian Amazon. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(4), 6277–6284. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.114.6277>
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Pastrana Sandoval, D. K. (2014). *Composición florística y valoración económica de las especies maderables comerciales en un bosque natural de colina baja distrito del Napo río Tacshacuraray, Loreto-Perú* [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/3573>
- Quispe Ore, S. (2019). *Estructura horizontal de especies forestales comerciales en la Concesión Forestal Shayjame S.A.C. - Tahuamanu - Madre de Dios* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5486>
- Ramírez Guaman, T. G., & Lozano, D. (2024). Diversidad florística y estructura de la regeneración natural del bosque piemontano con intervención de manejo forestal en el sur de Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 14(1), 105–122. <https://doi.org/10.54753/blc.v14i1.2034>
- Recavarren Estares, P., Delgado Obando, M., Angulo Lovatón, M. A., León Taquia, A. A., & Castro Revilla, A. (2011). *Proyecto REDD en Áreas Naturales Protegidas de Madre de Dios: insumos para la elaboración de la línea base de carbono*. Asociación para la Investigación y el Desarrollo Integral (AIDER). <https://aider.com.pe/publicaciones/REDD-en-Areas-Naturales-Protegidas-Madre-de-Dios.pdf>
- Rosales-Solórzano, E. R. (n.d.). Categorización de especies forestales en grupos comerciales por tipos de bosque del eje carretero Interoceánico Sur en Tambopata, Madre de Dios. *Biodiversidad Amazónica*.
- Silva-González, E., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., González-Tagle, M. A., Treviño-Garza, E. J., & Corral-Rivas, J. J. (2022). Evaluación del aprovechamiento forestal en la diversidad y estructura de un bosque templado en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(71). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1017>