

Indicadores Bióticos Revelan Éxito en la Remediación del Pasivo Ambiental Excélsior

Pasivos ambientales y Cierre de Minas, ESG (Environmental, Social, Governance)

Jazmin Yoselin Jara Carhuaricra¹,

¹ Autor: Sembrando Vida Verde; Barrio Acobamba N° 532; Huariaca, Pasco, Perú, correo: jjarac@undac.edu.pe; Cel. 916841798.

RESUMEN

Este estudio presenta una evaluación integral del proceso de remediación del Pasivo Ambiental Minero (PAM) Excélsior, empleando la biodiversidad como indicador funcional de la recuperación ecológica en un ecosistema altoandino degradado. Entre 2018 y 2022, se implementaron protocolos estandarizados de monitoreo biológico y análisis multitemporal, orientados a la caracterización taxonómica de comunidades florísticas y faunísticas, con énfasis en taxa endémicos, especies en categoría de amenaza y bioindicadores ecológicos.

Se aplicaron herramientas avanzadas de análisis espacial, estadística ecológica y métricas de diversidad (Shannon-Wiener, Simpson, Margalef y equidad de Pielou), así como coeficientes de similitud (Jaccard), lo que permitió establecer una correlación robusta entre el avance físico de la remediación y la reconfiguración estructural y funcional de las comunidades bióticas, especialmente en mastofauna, ornitofauna y herpetofauna.

Los resultados respaldan que los indicadores bióticos son instrumentos técnicos eficaces para evaluar y ajustar las intervenciones en el cierre y postcierre de pasivos ambientales mineros.

1. Introducción

La recuperación funcional de ecosistemas altoandinos impactados por pasivos ambientales mineros (PAM) representa un desafío complejo que involucra dimensiones técnicas, ecológicas, institucionales y socioterritoriales. En estos entornos, caracterizados por su alta fragilidad ecológica y singularidad biogeográfica, la evaluación del éxito de una intervención no puede limitarse a criterios de estabilidad física o control geoquímico, dado que la biodiversidad constituye un componente estructural y funcional clave para la resiliencia ecosistémica.

El caso del PAM Excélsior, localizado en la cabecera de la cuenca del río Mantaro, en el distrito

de Simón Bolívar (Pasco), ejemplifica esta problemática. Se trata de uno de los depósitos de desmonte metálico más extensos y abandonados históricamente en el país. Tras décadas de inacción por parte de los titulares, el Estado, a través de Activos Mineros S.A.C. (AMSAC), asumió su remediación a partir del año 2017, implementando un proceso de cierre basado en criterios de estabilidad física, control hidrológico y aislamiento geoquímico.

No obstante, la ausencia de indicadores ecológicos validados que permitan cuantificar con rigor científico el grado de recuperación ambiental limita la capacidad de evaluar la efectividad real de estas intervenciones. Frente a esta brecha, el presente estudio incorpora un enfoque basado en la caracterización y monitoreo de la biodiversidad, especialmente de ensamblajes de flora y fauna, con énfasis en especies endémicas, sensibles o bioindicadoras como métrica funcional de restauración ecológica.

En un contexto global marcado por una acelerada pérdida de biodiversidad, este enfoque permite no solo medir los avances en términos ecológicos, sino también guiar decisiones sobre el uso futuro del territorio intervenido. Así, la biodiversidad se plantea no solo como un receptor pasivo del impacto minero, sino como un insumo técnico para el diseño, ajuste y validación de estrategias de restauración ambiental sostenibles y adaptadas al paisaje altoandino.

Este estudio propone una línea base metodológica replicable que articula principios de sostenibilidad, funcionalidad ecosistémica y gobernanza territorial, orientada al diseño, implementación y evaluación de procesos de restauración en ecosistemas degradados por actividades extractivas.

2. Objetivos

- Evaluar la efectividad de la remediación del PAM Excélsior mediante indicadores ecológicos.
- Caracterizar la biodiversidad de flora y fauna en el área restaurada.

- Sustentar la reclasificación de la cobertura vegetal de “Centro Minero” a “Pajonal Andino” según criterios ecológicos.

3. Compilación de datos y desarrollo del trabajo

3.1. Recolección de datos

La obtención de información se llevó a cabo mediante un enfoque metodológico mixto, que integró análisis documental y muestreo biológico en campo, con el propósito de establecer un umbral ecológico de referencia que permita evaluar la efectividad del proceso de remediación ambiental mediante indicadores de biodiversidad. Para ello, se recurrió a fuentes secundarias especializadas, incluyendo normativas técnicas, informes científicos y bases de datos oficiales de instituciones como el Ministerio del Ambiente (MINAM), el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Activos Mineros S.A.C. (AMSAC), el Consorcio San Camilo y diversas consultoras ambientales.

La caracterización biológica se realizó conforme a los lineamientos técnicos establecidos en la RM N.º 059-2015-MINAM (para flora y vegetación) y la RM N.º 057-2015-MINAM (para fauna silvestre), que permiten evaluar atributos estructurales y funcionales de la diversidad ecológica (ver Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros para evaluación de flora, ornitofauna, mastofauna y herpetofauna.

Datos	Parámetros	Análisis
Ecosistema	Cobertura vegetal y Zonas de vida	Generación de mapas temáticos con Sistemas de Información Geográfica.
Composición	Composición taxonómica	Nombres científicos y comunes, niveles jerárquicos taxonómicos.
Estructura	Riqueza y abundancia	Número de especies e individuos por taxa.
Diversidad	Índices ecológicos	Índices de Shannon, Simpson, Margalef, Pielou, Jaccard
Valor ecológico	Sensibilidad y endemismo	D.S. N° 004-2014-MINAGRI; D.S. N° 043-2006 AG; Listas CITES 2023; Lista Roja IUCN 2023, Especies Endémicas y mapas temáticos.

Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Muestreo biológico en campo

En la fase de campo se empleó técnicas diferenciadas por grupo taxonómico, conforme a guías nacionales y literatura científica, y adaptados a las condiciones ecológicas del pajonal andino. Se establecieron dos Puntos de Monitoreo Biológico (PMB), seleccionados en función del único componente del pasivo (Depósito de Desmontes Excelsior) y la cobertura vegetal homogénea.

Figura 1. Ubicación georreferenciada de los Puntos de Monitoreo Biológico. (Elaboración propia, 2023).



El PMB-01 se ubicó contiguo a la antigua zona de operación minera, mientras que el PMB-02 se situó en las inmediaciones del sector poblado de Champamarca, permitiendo evaluar variaciones en la biota asociadas a diferentes niveles de perturbación antrópica. El objetivo del muestreo fue generar un inventario biológico representativo, caracterizando la estructura y composición de la biodiversidad en el área de influencia. A continuación, se describen las metodologías aplicadas para cada taxón.

3.1.1.1. Flora

Se aplicó el método de transectos rectangulares (Gentry, 1982), estableciendo transectos de 50 x 2 m por punto de muestreo. Se realizó el censo fitosociológico, con identificación taxonómica in situ y validación mediante registros fotográficos.

Código de PMB	Número de Transectos de 50x2m	Tiempo de evaluación	Total, esfuerzo de muestreo
PMB-01	1	2 horas	02 transectos de 50x2m, 200 m ²
PMB-02	1	2 horas	4 horas cualitativas

Tabla 2. Esfuerzo de muestreo para flora

3.1.1.2. Ornitofauna

Se aplicó el método de conteo por puntos, con 20 puntos de conteo de 15 minutos cada uno, distanciados 100 metros entre sí para evitar duplicaciones. Se complementó con observaciones cualitativas.

Código de PMB	Número de puntos de conteo	Tiempo de evaluación	Total, esfuerzo de muestreo
PMB-01	10	15 min	300 minutos, 20 Puntos de conteo,
PMB-02	10	15 min	4 horas cualitativas

Tabla 3. Esfuerzo de muestreo para ornitofauna

3.1.1.3. Herpetofauna

Se utilizó la técnica de Relevamiento por Encuentro Visual (VES), con tres recorridos activos de 30 minutos por sitio, buscando especímenes en microhábitats clave (rocas, cuerpos de agua, hojarasca y vegetación).

Código de PMB	Número de VES	Tiempo de evaluación	Total, esfuerzo de muestreo
PMB-01	03	30 min	180 minutos, 06 VES,
PMB-02	03	30 min	4 horas cualitativas

Tabla 4. Esfuerzo de muestreo para Herpetofauna

3.1.1.4. Mastofauna

Para mamíferos menores, se instalaron 30 trampas Sherman en línea por punto, espaciadas cada 10 metros, activas por 48 horas, usando mantequilla de maní como atrayente. Para mamíferos mayores se implementaron transectos lineales de 1 km para la detección de rastros y señales indirectas.

Código de PMB	Trampas Sherman por transecto	Tiempo de exposición	Total, esfuerzo de muestreo
PMB-01	30	48 horas	60 trampas / noche
PMB-02	30	48 horas	

Tabla 5. Esfuerzo de muestreo para mastofauna.

Como complemento a la caracterización técnica descrita, la Figura 2 presenta el registro visual de la implementación in situ de las metodologías de campo aplicadas para cada grupo taxonómico.



Figura 2. Registro fotográfico de las técnicas de muestreo: A) Flora; B) Avifauna; C) Herpetofauna; D) Mastofauna. (Fuente: Elaboración propia, 2023).

Finalmente, se llevaron a cabo entrevistas no estructuradas a pobladores locales vinculados al proceso de remediación. Esta técnica cualitativa

permitió recoger percepciones sobre los cambios observados en el ecosistema durante la intervención, incorporando una perspectiva etnoecológica que complementa y enriquece el análisis técnico del monitoreo biológico.

3.2. Procesamiento y análisis de datos

Los datos biológicos (2018–2022) fueron analizados mediante PAST (*Paleontological Statistics*), versión 4.03 (Hammer et al., 2001), y geoespacialmente procesados en ArcGIS 10.8.

3.2.1. Cartografía ecosistémica

La delimitación de unidades ecosistémicas se realizó mediante análisis geoespacial de coberturas de vegetación y zonas de vida, utilizando archivos shapefile del Geoservidor (MINAM, 2015) y capas WMS del (SENAMHI, 2024). Esta integración permitió una caracterización bioclimática, acorde a los gradientes altitudinales y condiciones edáficas del ámbito de estudio.

3.2.2. Identificación taxonómica

La determinación taxonómica de los organismos registrados se realizó conforme a los principios establecidos por el Código Internacional de Nomenclatura para Algas, Hongos y Plantas (ICN) y el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (ICZN), garantizando consistencia sistemática y validez científica.

En el caso de la flora, se emplearon referencias botánicas especializadas como el Catálogo de Plantas con Flores y Gimnospermas del Perú (Brako & Zarucchi, 1993), la base de datos del *Missouri Botanical Garden* y la ICN.

La identificación ornitológica se basó en caracteres morfológicos, vocalizaciones y distribución, utilizando como referencias las guías de Schulenberg et al. (2007), Clements & Shany (2001), y la lista oficial de aves del Perú (Plenge, 2018), bajo los criterios taxonómicos del ICZN.

Para la herpetofauna (anfibios y reptiles), se consideraron características morfoanatómicas y criterios ecológicos, respaldados por literatura actualizada bajo el ICZN.

En cuanto a la mastofauna, se emplearon claves taxonómicas especializadas (Eisenberg & Redford, 1999; Emmons & Feer, 1999; Gardner, 2007), integrando evidencia directa (observaciones visuales) e indirecta (huellas, excretas, rastros), siguiendo los lineamientos del ICZN para nomenclatura zoológica.

3.2.3. Estructura y diversidad ecológica

La caracterización de la estructura ecológica se basó en los parámetros de riqueza específica, abundancia absoluta y abundancia relativa (P_i), esta última definida como la proporción de individuos de una especie respecto al total registrado. La categorización de abundancia se realizó según rangos propuestos por la Universidad de Los Andes (ULA, 2017).

Tabla 6. Categorías de abundancia de especies

Rango	Diversidad
< 5	Muy raro
Entre 5 - 15	Raro
Entre 15 - 30	Escaso
Entre 30 - 100	Abundante
> 100	Muy Abundante

Fuente: (ULA, 2017)

La diversidad biológica fue analizada mediante el cálculo de índices ecológicos utilizando el software PAST. Se aplicaron los siguientes indicadores:

- **Índice de Shannon-Wiener (H'):** Mide la incertidumbre asociada a la identidad de una especie seleccionada aleatoriamente dentro de una comunidad (Guzman & León, 2018). Se calcula con la fórmula: $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$, donde H' representa el índice de diversidad y S es el número de especies. Los valores se interpretan según la Tabla 7, donde valores mayores a 2.5 reflejan una alta diversidad ecológica (CESEL, 2021).
- **Índice de Simpson ($1-\lambda$):** Estima la probabilidad de que dos individuos seleccionados aleatoriamente pertenezcan a especies diferentes (Campo & Duval, 2014). Al ser la inversa de la dominancia (λ), se calcula como $1 - \lambda$, donde $\lambda = \sum(p_i)^2$. Valores cercanos a 1 indican alta diversidad y baja dominancia específica. Su interpretación se muestra en la Tabla 8 (Menhinick E. , 1964).
- **Índice de Margalef (D_{mg}):** Cuantifica la riqueza específica, en función del número de especies en relación con el total de individuos registrados en una muestra (Magurrán, 2004). Se basa en la fórmula $D_{mg} = (S - 1) / \ln N$. Donde S es el número total de especies presentes, y N es el número total de individuos. Este índice se interpreta según la Tabla 9, diferenciando entre baja, media y alta diversidad (CESEL, 2021).
- **Índice de equidad de Pielou (J'):** Evalúa la uniformidad en la distribución de abundancia entre especies (Magurrán, Ecological diversity and its measurement., 1988). Se calcula mediante la relación $J' = H' / H'_{max}$. Donde $H'_{max} = \ln(S)$ y H' es el índice de Shannon y S

es el número total de especies presentes. $J' = H' / \ln(S)$. Valores cercanos a 1 indican una distribución equitativa de la abundancia; valores cercanos a 0 reflejan dominancia de pocas especies o cuando existe una sola especie.

- **Índice de semejanza de Jaccard (I_j):** Estima el grado de similitud florística y faunística entre comunidades biológicas (Reyes & Torres, 2009), útil en análisis comparativos multitemporales (Sandro F. , 2014). Sus valores se interpretan conforme a la Tabla 10.

Tabla 7. Niveles de diversidad según Shannon-Wiener

Rango	Diversidad
Entre 0 - 1	Baja diversidad
Entre 1 - 2.5	Mediana diversidad
Mayor que 2.5	Alta diversidad

Fuente: (CESEL, 2021).

Tabla 8. Niveles de diversidad según $1-\lambda$ (Simpson)

Rango	Diversidad
Entre 0 - 0.4	Diversidad baja
Entre 0.4 - 0.8	Diversidad media
0.8 - 1	Diversidad alta

Fuente: (Menhinick, 1964).

Tabla 9. Riqueza específica según D_{mg} (Margalef)

Rango	Diversidad
Menor que 2	Baja diversidad
Entre 2 - 5	Mediana diversidad
Mayor que 5	Alta diversidad

Fuente: (CESEL, 2021).

Tabla 10. Índice de semejanza de Jaccard (I_j)

Rango	Características
Entre 0 - 0.2	Muy baja semejanza
Entre 0.2 - 0.4	Baja semejanza
Entre 0.4 - 0.6	Semejanza media
Entre 0.6 - 0.8	Alta semejanza
Entre 0.8 - 1	Muy alta semejanza

Fuente: (Sandro, 2014).

3.2.4. Sensibilidad y endemismo

La evaluación del grado de amenaza y endemismo de las especies registradas se realizó conforme a normativa nacional e instrumentos internacionales de conservación.

Para la flora, se identificaron especies amenazadas según el D.S. N.º 043-2006-AG, complementado con la Lista Roja de la UICN y los Apéndices de CITES. El endemismo se determinó con base en el Libro Rojo de las Plantas Endémicas del Perú (León, Pitman, & Roque, 2006).

En la ornitofauna, la categorización siguió el D.S. N.º 004-2014-MINAGRI, el Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú (SERFOR, 2018), y los listados de la UICN y CITES. La determinación de endemismo se sustentó en la guía de Schulenberg et al. (2007).

Para la mastofauna, se aplicaron los mismos criterios normativos y fuentes: D.S. N.º 004-2014-MINAGRI, SERFOR (2018), UICN, CITES y la base de datos de mamíferos endémicos del Perú (Pacheco et al., 2009).

En la herpetofauna, la evaluación se basó en el D.S. N.º 004-2014-MINAGRI, SERFOR (2018), UICN, CITES, y literatura sobre especies andinas fuera de ANPs (Aguilar et al., 2010) y en concesiones mineras (Aguilar et al., 2012), permitiendo definir su relevancia conservacionista regional y global.

4. Presentación y discusión de resultados

4.1. Zonas de vida

El área correspondiente al Pasivo Ambiental Minero (PAM) Excélsior se localiza dentro de la zona de vida Páramo Húmedo, conforme a la clasificación ecológica del Atlas de Zonas de Vida del Perú (SENAMHI, 2017). Este ecosistema altoandino se caracteriza por una temperatura media anual de ~4 °C, con extremos térmicos que varían desde valores negativos hasta 13 °C. El régimen climático presenta estacionalidad marcada, con una estación seca entre mayo y noviembre, y una húmeda de diciembre a abril.

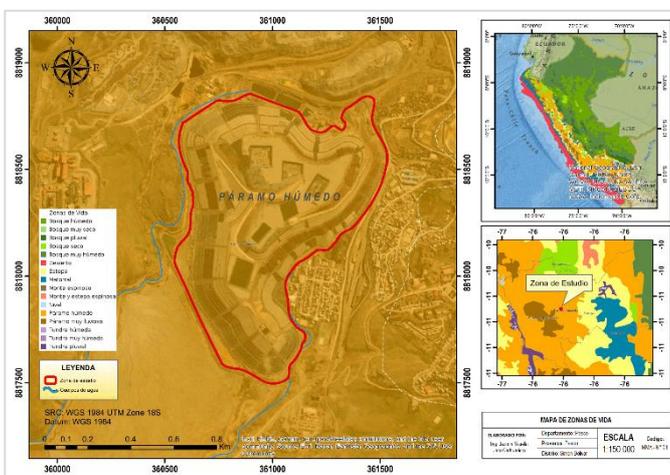


Figura 3. Mapa de Zonas de Vida del área de remediación ambiental del PAM Excélsior.

Las precipitaciones anuales oscilan entre 700 y 900 mm, predominando condiciones frías y húmedas, con ocurrencia de eventos extremos como heladas, granizadas, nevadas y sequías. Según la clasificación climática de Thornthwaite, corresponde al tipo B(o,i)C', definido como clima frío y lluvioso con estación seca en otoño e invierno. Anteriormente, el Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976; INRENA, 1994) clasificaba esta unidad como Páramo Pluvial – Subalpino Tropical (pp-SaT). Sin embargo, la actualización metodológica del SENAMHI (2017) permitió una

delimitación más precisa, ajustada a las condiciones bioclimáticas actuales.

4.2. Composición florística

En 2018 se identificaron 18 especies de plantas vasculares, todas angiospermas (Magnoliophyta), distribuidas en 7 familias, 15 géneros y 5 órdenes. El 55.56 % correspondió a dicotiledóneas (Magnoliopsida) y el 44.44 % a monocotiledóneas (Liliopsida). Poaceae fue la familia dominante (60.61 %), seguida por Asteraceae (14.14 %) y Cyperaceae (9.60 %). Se registraron 198 individuos, destacando *Calamagrostis vicunarium* (25.3 %) y *C. rigescens* (21.7 %) como especies predominantes. La mayor densidad florística se reportó en el punto PMB-02, con 123 individuos.

Nº	Reino	División	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Apiales	Apiaceae	Azorella	<i>Azorella crenata</i>
2	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Belloa	<i>Belloa</i> sp.
3	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Hypochaeris	<i>Hypochaeris eremophila</i>
4	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Misbrookea	<i>Misbrookea strigosissima</i>
5	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Oritrophium	<i>Oritrophium limnophilum</i>
6	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Paranephelium	<i>Paranephelium ovatum</i>
7	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Werneria	<i>Werneria caespitosa</i>
8	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Plantaginaceae	Plantago	<i>Plantago lamprophylla</i>
9	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Plantaginaceae	Plantago	<i>Plantago rigida</i>
10	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Rosaceae	Lachemilla	<i>Lachemilla pinnata</i>
11	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Cyperaceae	Trichophorum	<i>Trichophorum rigidum</i>
12	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Juncaceae	Distichia	<i>Distichia acicularis</i>
13	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis rigescens</i>
14	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis vicunarium</i>
15	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Muhlenbergia	<i>Muhlenbergia peruviana</i>
16	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Paspalum	<i>Paspalum pygmaeum</i>
17	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Paspalum	<i>Paspalum</i> sp.
18	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Stipa	<i>Stipa ichu</i>

Tabla 11. Clasificación taxonómica de las especies de flora vascular registradas en el área de estudio (2018)

Nº	Especie	Nombre Científico	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Azorella crenata</i>	<i>Azorella crenata</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	0	2	2	1.0
2	<i>Belloa</i> sp.	<i>Belloa</i> sp.	6	0	6	3.0
3	<i>Hypochaeris eremophila</i>	<i>Hypochaeris eremophila</i> Cabrera	0	2	2	1.0
4	<i>Misbrookea strigosissima</i>	<i>Misbrookea strigosissima</i> (A. Gray) V.A. Funk	5	1	6	3.0
5	<i>Oritrophium limnophilum</i>	<i>Oritrophium limnophilum</i> (Sch.Bip.) Cuatrec.	1	0	1	0.5
6	<i>Paranephelium ovatum</i>	<i>Paranephelium ovatum</i> Wedd.	0	11	11	5.6
7	<i>Werneria caespitosa</i>	<i>Werneria caespitosa</i> Wedd.	2	0	2	1.0
8	<i>Plantago lamprophylla</i>	<i>Plantago lamprophylla</i> Pilg.	0	8	8	4.0
9	<i>Plantago rigida</i>	<i>Plantago rigida</i> Kunth	1	5	6	3.0
10	<i>Lachemilla pinnata</i>	<i>Lachemilla pinnata</i> Ruiz & Pav.	1	13	14	7.1
11	<i>Trichophorum rigidum</i>	<i>Trichophorum rigidum</i> (Steud.) Goethg., Muasya & D.A. Simpson	19	0	19	9.6
12	<i>Distichia acicularis</i>	<i>Distichia acicularis</i> Balslev & Laegaard	0	1	1	0.5
13	<i>Calamagrostis rigescens</i>	<i>Calamagrostis rigescens</i> (L. Presl) Scribn.	10	33	43	21.7
14	<i>Calamagrostis vicunarium</i>	<i>Calamagrostis vicunarium</i> (W. Ledeb.) Pilg.	20	30	50	25.3
15	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	<i>Muhlenbergia peruviana</i> (P. Beauv.) Steud.	5	8	13	6.6
16	<i>Paspalum pygmaeum</i>	<i>Paspalum pygmaeum</i> Hack.	0	1	1	0.5
17	<i>Paspalum</i> sp.	<i>Paspalum</i> sp.	4	8	12	6.1
18	<i>Stipa ichu</i>	<i>Stipa ichu</i> Ruiz & Pav.	1	0	1	0.5
Total			75	123	198	100

Tabla 12. Riqueza y abundancia de especies de flora en 2018

En 2019, se documentaron 19 especies, también angiospermas, agrupadas en 6 órdenes, 8 familias y 16 géneros.

Nº	Reino	División	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Apiales	Apiaceae	Azorella	<i>Azorella crenata</i>
2	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Paranephelium	<i>Paranephelium ovatum</i>
3	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Baccharis	<i>Baccharis tricuneata</i>
4	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Belloa	<i>Belloa</i> sp.
5	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Misbrookea	<i>Misbrookea strigosissima</i>
6	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Oritrophium	<i>Oritrophium limnophilum</i>
7	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Werneria	<i>Werneria caespitosa</i>
8	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Rosaceae	Lachemilla	<i>Lachemilla orbiculata</i>
9	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Rosaceae	Lachemilla	<i>Lachemilla pinnata</i>
10	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Fabaceae	Astrágalo	<i>Astragalus garbancillo</i>
11	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Plantaginaceae	Plantago	<i>Plantago rigida</i>
12	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Plantaginaceae	Plantago	<i>Plantago lamprophylla</i>
13	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Juncaceae	Distichia	<i>Distichia acicularis</i>
14	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis rigescens</i>
15	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis vicunarium</i>
16	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Muhlenbergia	<i>Muhlenbergia peruviana</i>
17	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Paspalum	<i>Paspalum</i> sp.
18	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Stipa	<i>Stipa ichu</i>
19	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Cyperaceae	Trichophorum	<i>Trichophorum rigidum</i>

Tabla 13. Clasificación taxonómica de las especies de flora vascular registradas en el área de estudio (2019)

En este periodo, la proporción de dicotiledóneas aumentó al 63.16 %, mientras que las monocotiledóneas representaron el 36.84 %.

Nuevamente, Poaceae fue la familia dominante (78.57 %), seguida por Rosaceae (8.65 %) y Plantaginaceae (4.51 %). Se contabilizaron 266 individuos, con mayor concentración en PMB-02. Las especies más representativas fueron *Calamagrostis vicunarum* (30.08 %) y *C. rigescens* (28.57 %), ratificando el dominio de gramíneas altoandinas propias de pajonales andinos en la zona remediada.

Nº	Especie	Nombre Científico	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Azorella crenata</i>	<i>Azorella crenata</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	0	2	2	0.75
2	<i>Paranephelus ovatus</i>	<i>Paranephelus ovatus</i> Wedd.	0	2	2	0.75
3	<i>Baccharis trilineata</i>	<i>Baccharis trilineata</i> Wedd.	3	0	3	1.13
4	<i>Belloa</i> sp.	<i>Belloa</i> sp.	3	0	3	1.13
5	<i>Misbrookea strigosissima</i>	<i>Misbrookea strigosissima</i> (A. Gray) V.A. Funk	1	0	1	0.38
6	<i>Oritrophium limophilum</i>	<i>Oritrophium limophilum</i> (Sch.Bip.) Cuatrec.	1	0	1	0.38
7	<i>Werneria caespitosa</i>	<i>Werneria caespitosa</i> Wedd.	1	0	1	0.38
8	<i>Lachemilla orbiculata</i>	<i>Lachemilla orbiculata</i> (Ruiz & Pav.) Rydb.	1	0	1	0.38
9	<i>Lachemilla pinnata</i>	<i>Lachemilla pinnata</i> Ruiz & Pav.	7	15	22	8.27
10	<i>Astragalus garbanillo</i>	<i>Astragalus garbanillo</i> Cav.	0	5	5	1.88
11	<i>Plantago rigida</i>	<i>Plantago rigida</i> Kunth	4	5	9	3.38
12	<i>Plantago lamprophylla</i>	<i>Plantago lamprophylla</i> Pilg.	0	3	3	1.13
13	<i>Distichia acicularis</i>	<i>Distichia acicularis</i> Balste & Laegard	0	1	1	0.38
14	<i>Calamagrostis rigescens</i>	<i>Calamagrostis rigescens</i> (J. Presl) Scribn.	14	62	76	28.57
15	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	<i>Calamagrostis vicunarum</i> (Wedd.) Pilg.	34	46	80	30.08
16	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	<i>Muhlenbergia peruviana</i> (P. Beauv.) Steud.	1	4	5	1.88
17	<i>Paspalum</i> sp.	<i>Paspalum</i> sp.	2	25	27	10.15
18	<i>Stipa ichu</i>	<i>Stipa ichu</i> Ruiz & Pav.	21	0	21	7.89
19	<i>Trichoporum rigidum</i>	<i>Trichoporum rigidum</i> (Steud.) Goetgh. Muasya & D.A. Simpson	3	0	3	1.13
Total			96	170	266	100

Tabla 14. Riqueza y abundancia de especies de flora en 2019

En 2020, se identificaron 22 especies de plantas vasculares, todas angiospermas (Magnoliophyta), distribuidas en 9 órdenes, 10 familias y 18 géneros. De estas, el 68.18 % correspondió a dicotiledóneas (Magnoliopsida) y el 31.82 % a monocotiledóneas (Liliopsida). La familia Poaceae mantuvo su predominancia, con una participación del 63.80 % en la abundancia relativa, seguida por Asteraceae (13.57 %) y Rosaceae (9.95 %). Las restantes familias agruparon el 12.67 % de los registros.

Nº	Reino	División	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Baccharis	<i>Baccharis trilineata</i>
2	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Belloa	<i>Belloa</i> sp.
3	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Chersodoma	<i>Chersodoma antenaria</i>
4	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Paranephelus	<i>Paranephelus ovatus</i>
5	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Senecio	<i>Senecio collinus</i>
6	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Senecio	<i>Senecio condimentarius</i>
7	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Werneria	<i>Werneria caespitosa</i>
8	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Brassicales	Brassicaceae	Weberbaueria	<i>Weberbaueria peruviana</i>
9	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Fabaceae	Trifolium	<i>Trifolium repens</i>
10	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Gentianales	Rubiaceae	Galium	<i>Galium</i> sp.
11	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Geraniales	Geraniaceae	Geranium	<i>Geranium ruizii</i>
12	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Plantaginaceae	Plantago	<i>Plantago lamprophylla</i>
13	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Oxalidales	Oxalidaceae	Oxalis	<i>Oxalis</i> sp.
14	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Rosaceae	Lachemilla	<i>Lachemilla pinnata</i>
15	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Rosaceae	Lachemilla	<i>Lachemilla ranunculoides</i>
16	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Juncaceae	Distichia	<i>Distichia acicularis</i>
17	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis vicunarum</i>
18	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis rigescens</i>
19	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Muhlenbergia	<i>Muhlenbergia peruviana</i>
20	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Paspalum	<i>Paspalum pygmaeum</i>
21	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Paspalum	<i>Paspalum</i> sp.
22	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Stipa	<i>Stipa ichu</i>

Tabla 15. Clasificación taxonómica de las especies de flora vascular registradas en el área de estudio (2020)

Nº	Especie	Nombre Científico	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Baccharis trilineata</i>	<i>Baccharis trilineata</i> Wedd.	1	0	1	0.45
2	<i>Belloa</i> sp.	<i>Belloa</i> sp.	1	4	5	2.26
3	<i>Chersodoma antenaria</i>	<i>Chersodoma antenaria</i> (Mie.) Cabrera	0	3	3	1.36
4	<i>Paranephelus ovatus</i>	<i>Paranephelus ovatus</i> Wedd.	0	1	1	0.45
5	<i>Senecio collinus</i>	<i>Senecio collinus</i> DC.	4	0	4	1.81
6	<i>Senecio condimentarius</i>	<i>Senecio condimentarius</i> Cabrera	0	5	5	2.26
7	<i>Werneria caespitosa</i>	<i>Werneria caespitosa</i> Wedd.	0	11	11	4.98
8	<i>Weberbaueria peruviana</i>	<i>Weberbaueria peruviana</i> (DC.) Al-Shehbaz	2	0	2	0.90
9	<i>Trifolium repens</i>	<i>Trifolium repens</i> L.	0	1	1	0.45
10	<i>Galium</i> sp.	<i>Galium</i> sp.	0	1	1	0.45
11	<i>Geranium ruizii</i>	<i>Geranium ruizii</i> Hieron.	0	5	5	2.26
12	<i>Plantago lamprophylla</i>	<i>Plantago lamprophylla</i> Pilg.	0	13	13	5.88
13	<i>Oxalis</i> sp.	<i>Oxalis</i> sp.	0	1	1	0.45
14	<i>Lachemilla pinnata</i>	<i>Lachemilla pinnata</i> Ruiz & Pav.	1	20	21	9.50
15	<i>Lachemilla ranunculoides</i>	<i>Lachemilla ranunculoides</i> (L.M. Perry) Rothm.	1	0	1	0.45
16	<i>Distichia acicularis</i>	<i>Distichia acicularis</i> Balste & Laegard	0	5	5	2.26
17	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	<i>Calamagrostis vicunarum</i> (Wedd.) Pilg.	1	61	62	28.05
18	<i>Calamagrostis rigescens</i>	<i>Calamagrostis rigescens</i> (J. Presl) Scribn.	4	16	20	9.05
19	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	<i>Muhlenbergia peruviana</i> (P. Beauv.) Steud.	0	3	3	1.36
20	<i>Paspalum pygmaeum</i>	<i>Paspalum pygmaeum</i> Hack.	0	8	8	3.62
21	<i>Paspalum</i> sp.	<i>Paspalum</i> sp.	0	7	7	3.17
22	<i>Stipa ichu</i>	<i>Stipa ichu</i> Ruiz & Pav.	27	14	41	18.55
Total			42	179	221	100

Tabla 16. Riqueza y abundancia de especies de flora en 2020

Respecto a la distribución espacial, el transecto PMB-02 concentró la mayor cantidad de individuos (179), en contraste con PMB-01, que reportó 42, sumando un total de 221 individuos durante el monitoreo (ver tabla 16). A nivel específico, *Calamagrostis vicunarum* continuó como especie dominante (28.05 %), seguida por *Stipa ichu* (18.55 %), *Lachemilla pinnata* (9.50 %) y *Calamagrostis rigescens* (9.05 %).

En el año 2021, el inventario florístico registró 37 especies vasculares, distribuidas en 31 géneros, 13 familias y 9 órdenes, lo que representó un incremento en la riqueza específica respecto al año anterior. La clase Magnoliopsida concentró el 67.57 % del total, mientras que Liliopsida aportó el 32.43 %.

Nº	Reino	División	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Achyrocline	<i>Achyrocline alata</i>
2	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Baccharis	<i>Baccharis caespitosa</i>
3	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Baccharis	<i>Baccharis trilineata</i>
4	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Baccharis	<i>Baccharis latifolia</i>
5	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Belloa	<i>Belloa</i> sp.
6	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Cotula	<i>Cotula australis</i>
7	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Gamochaeta	<i>Gamochaeta americana</i>
8	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Perezia	<i>Perezia multiflora</i>
9	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Senecio	<i>Senecio evaoides</i>
10	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Senecio	<i>Senecio vulgaris</i>
11	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Senecio	<i>Senecio collinus</i>
12	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Taraxacum	<i>Taraxacum officinale</i>
13	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Brassicales	Brassicaceae	Capsella	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
14	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Brassicales	Brassicaceae	Descurainia	<i>Descurainia myriophylla</i>
15	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Brassicales	Brassicaceae	Lepidium	<i>Lepidium bipinnatifidum</i>
16	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Fabaceae	Astragalus	<i>Astragalus garbanillo</i>
17	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Geraniales	Geraniaceae	Geranium	<i>Geranium sessiliflorum</i>
18	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Lamiaceae	Lamium	<i>Lamium implexicanale</i>
19	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Lamiaceae	Stachys	<i>Stachys pusilla</i>
20	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Plantaginaceae	Veronica	<i>Veronica peruviana</i>
21	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Scrophulariaceae	Buddleja	<i>Buddleja</i> sp.
22	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Myrtales	Onagraceae	Epilobium	<i>Epilobium denticulatum</i>
23	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Myrtales	Onagraceae	Oenothera	<i>Oenothera miculalis</i>
24	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Rosaceae	Lachemilla	<i>Lachemilla pinnata</i>
25	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Solanales	Solanaceae	Solanum	<i>Solanum acule</i>
26	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Agrostis	<i>Agrostis breviculmis</i>
27	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Bromus	<i>Bromus catharticus</i>
28	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis heterophylla</i>
29	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis rigescens</i>
30	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis vicunarum</i>
31	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Dissanthelium	<i>Dissanthelium calycinum</i>
32	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Jarava	<i>Jarava ichu</i>
33	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Stipa	<i>Stipa</i> sp.
34	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Nassella	<i>Nassella mucronata</i>
35	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Poa	<i>Poa</i> sp.
36	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Paspalum	<i>Paspalum pygmaeum</i>
37	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Juncaceae	Distichia	<i>Distichia acicularis</i>

Tabla 17. Clasificación taxonómica de las especies de flora vascular registradas en el área de estudio (2021)

Poaceae continuó siendo la familia dominante, con 318 individuos (72.77 % de la abundancia total), seguida de Rosaceae (9.84 %) y Asteraceae (5.95 %). Las demás familias, con menor representación, acumularon el 11.44 %.

En cuanto a la distribución espacial, PMB-02 presentó la mayor concentración de individuos (309 registros), en comparación con PMB-01 (128 registros), con un total de 437 organismos registrados. Esta variación está asociada al inicio de las actividades de revegetación en el Sector 1, donde se sitúa el transecto PMB-02.

A nivel de especies, se observó un mantenimiento en la dominancia de *Calamagrostis vicunarum* (24.26 %), acompañado por un incremento de *Agrostis breviculmis* (20.59 %), así como la persistencia de *Calamagrostis rigescens* (69 individuos) y *Lachemilla pinnata* (43 individuos).

Nº	Especie	Nombre Científico	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	Achyrocline alata	Achyrocline alata (Kunth) DC.	1	0	1	0.23
2	Baccharis caespitosa	Baccharis caespitosa (Ruiz & Pav.) Pers.	0	1	1	0.23
3	Baccharis tricusata	Baccharis tricusata Wedd.	0	1	1	0.23
4	Baccharis latifolia	Baccharis latifolia (Ruiz & Pav.) Pers.	1	0	1	0.23
5	Belloa sp.	Belloa sp.	1	8	9	2.06
6	Cotula australis	Cotula australis (Sieber ex Spreng.) Hook. f.	0	5	5	1.14
7	Gamochaeta americana	Gamochaeta americana (Mill.) Wedd.	1	0	1	0.23
8	Peruvia multiflora	Peruvia multiflora (Bonpl.) Less.	0	1	1	0.23
9	Senecio evaoides	Senecio evaoides Sch. Bip.	0	1	1	0.23
10	Senecio collinus	Senecio collinus DC.	1	0	1	0.23
11	Senecio collinus	Senecio collinus DC.	3	0	3	0.69
12	Taraxacum officinale	Taraxacum officinale F.H. Wigg.	1	0	1	0.23
13	Capsella bursa-pastoris	Capsella bursa-pastoris (L.) Medik.	0	1	1	0.23
14	Descurainia myriophylla	Descurainia myriophylla (Willd. ex DC.) R.E. Fr.	10	0	10	2.29
15	Lepidium bipinnatifidum	Lepidium bipinnatifidum Desv.	2	0	2	0.46
16	Astragalus garbancillo	Astragalus garbancillo Cav.	0	2	2	0.46
17	Geranium sessiliflorum	Geranium sessiliflorum Cav.	0	3	3	0.69
18	Lamium amplexicaule	Lamium amplexicaule L.	0	1	1	0.23
19	Stachys pusilla	Stachys pusilla (Wedd.) Briq.	0	4	4	0.92
20	Veronica perisica	Veronica perisica Poir.	1	0	1	0.23
21	Buddleja sp.	Buddleja sp.	0	1	1	0.23
22	Epilobium denticulatum	Epilobium denticulatum Ruiz & Pav.	8	0	8	1.83
23	Oenothera multicaulis	Oenothera multicaulis Ruiz & Pav.	0	5	5	1.14
24	Lachemilla pinnata	Lachemilla pinnata Ruiz & Pav.	18	25	43	9.84
25	Solanum acule	Solanum acule Bitter	0	1	1	0.23
26	Agrostis breviculmis	Agrostis breviculmis Hitchc.	0	90	90	20.59
27	Bromus catharticus	Bromus catharticus Vahl	1	0	1	0.23
28	Calamagrostis heterophylla	Calamagrostis heterophylla (Wedd.) Pilg.	2	4	6	1.37
29	Calamagrostis rigescens	Calamagrostis rigescens (J. Presl) Scribn.	65	4	69	15.79
30	Calamagrostis vicunarium	Calamagrostis vicunarium (Wedd.) Pilg.	0	106	106	24.26
31	Dissanthelium calycinum	Dissanthelium calycinum (J. Presl) Hitchc.	0	4	4	0.92
32	Jarava ichu	Jarava ichu Ruiz & Pav.	1	0	1	0.23
33	Stipa ichu	Stipa ichu Ruiz & Pav.	1	6	7	1.60
34	Nassella mucronata	Nassella mucronata (Kunth) R.W. Pohl	0	25	25	5.72
35	Poa sp.	Poa sp.	4	0	4	0.92
36	Paspalum pygmaeum	Paspalum pygmaeum Hack.	5	0	5	1.14
37	Distichia acicularis	Distichia acicularis Batslev & Laegaard	1	10	11	2.52
Total			128	309	437	100

Tabla 18. Riqueza y abundancia de especies de flora en 2021

Durante 2022, el inventario botánico permitió registrar 43 especies vasculares, correspondientes a 35 géneros, 14 familias y 11 órdenes, evidenciando el mayor nivel de diversidad observado en el periodo de monitoreo. La clasificación incluyó tres clases: Magnoliopsida (62.79%), Liliopsida (34.88%) y Gnetopsida (2.33%), esta última representada exclusivamente por *Ephedra rupestris*, especie típica de zonas semiáridas altoandinas.

Nº	Reino	División	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Achyrocline	<i>Achyrocline alata</i>
2	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Baccharis	<i>Baccharis caespitosa</i>
3	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Baccharis	<i>Baccharis tricusata</i>
4	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Baccharis	<i>Baccharis latifolia</i>
5	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Belloa	<i>Belloa sp.</i>
6	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Bidens	<i>Bidens andicola</i>
7	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Cotula	<i>Cotula australis</i>
8	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Gamochaeta	<i>Gamochaeta americana</i>
9	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Paranephelus	<i>Paranephelus ovatus</i>
10	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Paranephelus	<i>Paranephelus uniflorus</i>
11	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Senecio	<i>Senecio evaoides</i>
12	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Senecio	<i>Senecio collinus</i>
13	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Taraxacum	<i>Taraxacum officinale</i>
14	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Asterales	Asteraceae	Werneria	<i>Werneria caespitosa</i>
15	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Brassicales	Brassicaceae	Capsella	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
16	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Brassicales	Brassicaceae	Descurainia	<i>Descurainia myriophylla</i>
17	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Brassicales	Brassicaceae	Lepidium	<i>Lepidium bipinnatifidum</i>
18	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Caryophyllales	Caryophyllaceae	Silene	<i>Silene sp.</i>
19	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Caryophyllales	Polygonaceae	Muehlenbeckia	<i>Muehlenbeckia volcanica</i>
20	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Fabaceae	Astragalus	<i>Astragalus garbancillo</i>
21	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Fabales	Fabaceae	Trifolium	<i>Trifolium amabile</i>
22	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Genitiales	Rubiaceae	Galium	<i>Galium sp.</i>
23	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Lamiales	Scrophulariaceae	Buddleja	<i>Buddleja sp.</i>
24	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Myrtales	Onagraceae	Epilobium	<i>Epilobium denticulatum</i>
25	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Rosaceae	Lachemilla	<i>Lachemilla pinnata</i>
26	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Rosales	Urticaceae	Urtica	<i>Urtica echinata</i>
27	Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Solanales	Solanaceae	Solanum	<i>Solanum acule</i>
28	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Acisachne	<i>Acisachne acicularis</i>
29	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Agrostis	<i>Agrostis breviculmis</i>
30	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Bromus	<i>Bromus catharticus</i>
31	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis heterophylla</i>
32	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis brevifolia</i>
33	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis rigescens</i>
34	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Calamagrostis	<i>Calamagrostis vicunarium</i>
35	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Dissanthelium	<i>Dissanthelium calycinum</i>
36	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Festuca	<i>Festuca dolichophylla</i>
37	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Jarava	<i>Jarava ichu</i>
38	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Stipa	<i>Stipa ichu</i>
39	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Nassella	<i>Nassella mucronata</i>
40	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Poa	<i>Poa sp.</i>
41	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Poaceae	Paspalum	<i>Paspalum pygmaeum</i>
42	Plantae	Magnoliophyta	Liliopsida	Poales	Juncaceae	Distichia	<i>Distichia acicularis</i>
43	Plantae	Magnoliophyta	Gnetopsida	Ephedrales	Ephedraceae	Ephedra	<i>Ephedra rupestris</i>

Tabla 19. Clasificación taxonómica de las especies de flora vascular registradas en el área de estudio (2022)

A nivel cuantitativo, se registraron 831 individuos, con clara concentración en pocas familias. Poaceae aportó el mayor número de ejemplares (61.49%), seguida por Asteraceae (17.93%), Rosaceae (6.86%) y Juncaceae (6.14%). Las diez familias restantes representaron un porcentaje marginal de la cobertura vegetal.

Entre las especies más representativas destacaron *Calamagrostis vicunarium* (23.83%), *Gamochaeta americana* (7.22%), *Lachemilla pinnata* (6.86%), *Calamagrostis rigescens* (6.86%) y *Distichia acicularis* (6.14%), configurando un perfil florístico caracterizado por taxones resilientes, adaptados a condiciones edáficas intervenidas.

Nº	Especie	Nombre Científico	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	Achyrocline alata	<i>Achyrocline alata</i> (Kunth) DC.	1	0	1	0.12
2	Baccharis caespitosa	<i>Baccharis caespitosa</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	0	1	1	0.12
3	Baccharis tricusata	<i>Baccharis tricusata</i> Wedd.	1	0	1	0.12
4	Baccharis latifolia	<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers.	1	0	1	0.12
5	Belloa sp.	<i>Belloa sp.</i>	0	15	15	1.81
6	Bidens andicola	<i>Bidens andicola</i> Kunth	1	0	1	0.12
7	Cotula australis	<i>Cotula australis</i> (Sieber ex Spreng.) Hook. f.	0	6	6	0.72
8	Gamochaeta americana	<i>Gamochaeta americana</i> (Mill.) Wedd.	1	59	60	7.22
9	Paranephelus ovatus	<i>Paranephelus ovatus</i> A. Gray ex Wedd.	0	12	12	1.44
10	Paranephelus uniflorus	<i>Paranephelus uniflorus</i> Poepp.	0	7	7	0.84
11	Senecio evaoides	<i>Senecio evaoides</i> Sch. Bip.	0	1	1	0.12
12	Senecio collinus	<i>Senecio collinus</i> DC.	3	19	22	2.65
13	Taraxacum officinale	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	1	0	1	0.12
14	Werneria caespitosa	<i>Werneria caespitosa</i> Wedd.	2	18	20	2.41
15	Capsella bursa-pastoris	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	0	1	1	0.12
16	Descurainia myriophylla	<i>Descurainia myriophylla</i> (Willd. ex DC.) R.E. Fr.	10	1	11	1.32
17	Lepidium bipinnatifidum	<i>Lepidium bipinnatifidum</i> Desv.	1	2	3	0.36
18	Silene sp.	<i>Silene sp.</i>	0	1	1	0.12
19	Muehlenbeckia volcanica	<i>Muehlenbeckia volcanica</i> (Benth.) Endl.	1	0	1	0.12
20	Astragalus garbancillo	<i>Astragalus garbancillo</i> Cav.	0	2	2	0.24
21	Trifolium amabile	<i>Trifolium amabile</i> Kunth	0	8	8	0.96
22	Galium sp.	<i>Galium sp.</i>	0	3	3	0.36
23	Buddleja sp.	<i>Buddleja sp.</i>	0	1	1	0.12
24	Epilobium denticulatum	<i>Epilobium denticulatum</i> Ruiz & Pav.	12	0	12	1.44
25	Lachemilla pinnata	<i>Lachemilla pinnata</i> Ruiz & Pav.	28	29	57	6.86
26	Urtica echinata	<i>Urtica echinata</i> Benth.	0	1	1	0.12
27	Solanum acule	<i>Solanum acule</i> Bitter	0	18	18	2.17
28	Acisachne acicularis	<i>Acisachne acicularis</i> Laegaard	0	24	24	2.89
29	Agrostis breviculmis	<i>Agrostis breviculmis</i> Hitchc.	0	47	47	5.66
30	Bromus catharticus	<i>Bromus catharticus</i> Vahl	1	0	1	0.12
31	Calamagrostis heterophylla	<i>Calamagrostis heterophylla</i> (Wedd.) Pilg.	3	27	30	3.61
32	Calamagrostis brevifolia	<i>Calamagrostis brevifolia</i> (J. Presl) Steud.	0	7	7	0.84
33	Calamagrostis rigescens	<i>Calamagrostis rigescens</i> (J. Presl) Scribn.	51	2	53	6.38
34	Calamagrostis vicunarium	<i>Calamagrostis vicunarium</i> (Wedd.) Pilg.	0	198	198	23.83
35	Dissanthelium calycinum	<i>Dissanthelium calycinum</i> (J. Presl) Hitchc.	0	8	8	0.96
36	Festuca dolichophylla	<i>Festuca dolichophylla</i> J. Presl	5	30	35	4.21
37	Jarava ichu	<i>Jarava ichu</i> Ruiz & Pav.	4	10	14	1.68
38	Stipa ichu	<i>Stipa ichu</i> Ruiz & Pav.	2	23	25	3.01
39	Nassella mucronata	<i>Nassella mucronata</i> (Kunth) R.W. Pohl	0	28	28	3.37
40	Poa sp.	<i>Poa sp.</i>	20	0	20	2.41
41	Paspalum pygmaeum	<i>Paspalum pygmaeum</i> Hack.	1	20	21	2.53
42	Distichia acicularis	<i>Distichia acicularis</i> Batslev & Laegaard	42	9	51	6.14
43	Ephedra rupestris	<i>Ephedra rupestris</i> Benth.	0	1	1	0.12
Total			192	639	831	100

Tabla 20. Riqueza y abundancia de especies de flora en 2022

Síntesis de la riqueza florística y estructura de abundancia (2018–2022)

Durante el periodo evaluado, se registró una tendencia sostenida de incremento en la riqueza específica y en la densidad de individuos, reflejando un proceso de recuperación ecológica progresiva en el área evaluada. El número de especies vasculares aumentó de 18 en 2018 a 43 en 2022, mientras que la abundancia total se elevó de 198 a 831 individuos.

Diversidad	Rango de abundancia	Número de especies				
		2018	2019	2020	2021	2022
Muy raro	<5	7	11	10	23	17
Raro	5–15	8	3	8	9	9
Escaso	15–30	1	3	2	1	9
Abundante	30–100	2	2	2	3	7
Muy abundante	>100	0	0	0	1	1
Total		18	19	22	37	43

Tabla 21. Clasificación de especies por rango de abundancia anual (2018–2022).

La estructura de abundancia mostró una diversificación progresiva, con predominio inicial de especies muy raras (<5 individuos) y raras (5–15 individuos). A partir de 2021, se incrementaron las categorías escasas, abundante y se registraron especies muy abundantes (>100 individuos), evidenciando una sucesión ecológica avanzada y la recolonización por especies clave altoandinas. En total, durante el periodo 2018–2022 se registraron

3 clases, 14 órdenes, 20 familias, 52 géneros y 67 especies, reflejando un aumento sostenido en la riqueza y complejidad florística del área evaluada

4.3. Composición Ornitofauna

Durante el monitoreo de 2018, se identificaron 9 especies de aves, pertenecientes a 3 órdenes, 5 familias y 8 géneros, con un total de 56 individuos registrados en los dos puntos de muestreo establecidos (PMB-01 y PMB-02).

Las familias Thraupidae y Furnariidae fueron las más representativas, con 3 especies cada una, que en conjunto sumaron 44 individuos (25 y 19, respectivamente), lo que representa el 78,57 % de la abundancia total. Las familias Passerellidae, Picidae y Laridae aportaron una especie cada una, con 8, 3 y 1 individuos, respectivamente (21,43 %).

El análisis de abundancia relativa (Pi %) reveló una dominancia marcada de tres especies: *Geospizopsis plebejus* (17,86 %), *Cinclodes atacamensis* (16,07 %) y *Phrygilus punensis* (16,07 %). Les siguieron *Zonotrichia capensis* (14,29 %) y *Cinclodes albiventris* (12,50 %). Las demás especies presentaron una abundancia relativa inferior al 11 %, indicando una menor representatividad en la estructura comunitaria.

En cuanto a la distribución espacial, el punto PMB-02 concentró el 76,79 % de los registros (43 individuos), mientras que PMB-01 aportó el 23,21 % restante (13 individuos), lo que refleja una diferencia notable en la densidad y diversidad específica entre ambas unidades de muestreo.

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Passerellidae	Zonotrichia	<i>Zonotrichia capensis</i>
2	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Cinclodes	<i>Cinclodes atacamensis</i>
3	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Cinclodes	<i>Cinclodes albiventris</i>
4	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Upucerthia	<i>Upucerthia validirostris</i>
5	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Catamenia	<i>Catamenia inornata</i>
6	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Geospizopsis	<i>Geospizopsis plebejus</i>
7	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Phrygilus	<i>Phrygilus punensis</i>
8	Animalia	Chordata	Aves	Charadriiformes	Laridae	Chroicocephalus	<i>Chroicocephalus serranus</i>
9	Animalia	Chordata	Aves	Piciformes	Picidae	Colaptes	<i>Colaptes rupicola</i>

Tabla 22. Clasificación taxonómica de las especies de ornitofauna registradas en el área de estudio (2018)

N°	Especie	Nombre Científico	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Zonotrichia capensis</i>	Gorrion de Collar Rufo (Pichisanka)	3	5	8	14,29
2	<i>Cinclodes atacamensis</i>	Churrete de Ala Blanca	4	5	9	16,07
3	<i>Cinclodes albiventris</i>	Churrete de Ala Crema	2	5	7	12,50
4	<i>Upucerthia validirostris</i>	Trepador de pechos beige	0	3	3	5,36
5	<i>Catamenia inornata</i>	Semillero de color liso	2	4	6	10,71
6	<i>Geospizopsis plebejus</i>	Pinzón sierra de pecho fresco	0	10	10	17,86
7	<i>Phrygilus punensis</i>	Pinzón sierra peruano	0	9	9	16,07
8	<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	0	1	1	1,79
9	<i>Colaptes rupicola</i>	Carpintero Andino	2	1	3	5,36
	Total		13	43	56	100

Tabla 23. Riqueza y abundancia de especies de aves en 2018

En 2019, se registraron 9 especies de aves, correspondientes a 4 órdenes, 6 familias y 8 géneros, con un total de 82 individuos censados en los puntos PMB-01 y PMB-02.

Las familias Thraupidae (48,78 %) y Furnariidae (25,61 %) dominaron la composición faunística, acumulando conjuntamente más del 74 % de los

registros. Otras familias como Passerellidae, Laridae, Picidae y Threskiornithidae estuvieron representadas por una única especie cada una, con menor número de individuos.

A nivel específico, *Catamenia inornata* fue la más abundante (24,39 %), seguida de *Cinclodes albiventris* (19,51 %) y *Sicalis uropygialis* (17,07 %). El resto de especies presentó una representación relativa inferior al 11 %, evidenciando una comunidad de estructura moderadamente equilibrada.

En cuanto a la distribución espacial, los registros estuvieron repartidos de manera prácticamente homogénea entre las unidades de muestreo, con PMB-01 concentrando el 51,22 % de los individuos y PMB-02 el 48,78 % restante.

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Aves	Pelecaniformes	Threskiornithidae	Plegadis	<i>Plegadis ridgwayi</i>
2	Animalia	Chordata	Aves	Charadriiformes	Laridae	Chroicocephalus	<i>Chroicocephalus serranus</i>
3	Animalia	Chordata	Aves	Piciformes	Picidae	Colaptes	<i>Colaptes rupicola</i>
4	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Passerellidae	Zonotrichia	<i>Zonotrichia capensis</i>
5	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Cinclodes	<i>Cinclodes atacamensis</i>
6	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Cinclodes	<i>Cinclodes albiventris</i>
7	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Catamenia	<i>Catamenia inornata</i>
8	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Geospizopsis	<i>Geospizopsis plebejus</i>
9	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Sicalis	<i>Sicalis uropygialis</i>

Tabla 24. Clasificación taxonómica de las especies de ornitofauna registradas en el área de estudio (2019)

N°	Especie	Nombre Científico	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Plegadis ridgwayi</i>	Ibis de la puna (Yanavico)	0	2	2	2,44
2	<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	3	2	5	6,10
3	<i>Colaptes rupicola</i>	Carpintero Andino	3	2	5	6,10
4	<i>Zonotrichia capensis</i>	Gorrion de Collar Rufo (Pichisanka)	3	4	7	8,54
5	<i>Cinclodes atacamensis</i>	Churrete de Ala Blanca	2	3	5	6,10
6	<i>Cinclodes albiventris</i>	Churrete de Ala Crema	12	4	16	19,51
7	<i>Catamenia inornata</i>	Semillero de color liso	9	11	20	24,39
8	<i>Geospizopsis plebejus</i>	Pinzón sierra de pecho fresco	0	6	6	7,32
9	<i>Sicalis uropygialis</i>	Chirigüe de Lomo Brillante	8	6	14	17,07
	Total		42	40	82	100

Tabla 25. Riqueza y abundancia de especies de aves en 2019

En el año 2020 se identificaron 11 especies de aves en el área de estudio, distribuidas en 11 géneros, 9 familias y 5 órdenes taxonómicos, con un total de 109 individuos registrados. A diferencia del año anterior, se evidenció un incremento tanto en la riqueza como en la abundancia, acompañado de una mayor diversificación taxonómica.

La comunidad avifaunística estuvo claramente dominada por la especie *Zonotrichia capensis* (37 individuos, 33,94 %), cuya presencia superó ampliamente a la registrada en 2019. Le siguieron *Cinclodes fuscus* (24 individuos) y *Phrygilus punensis* (19 individuos), especies que no fueron reportadas en el año previo, indicando una renovación parcial en la composición específica.

En términos de representatividad familiar, Passerellidae lideró en abundancia, seguida de Furnariidae y Thraupidae, lo que marcó una ligera redistribución de dominancia con respecto al 2019. Además, se incorporaron nuevas familias como Turdidae y Icteridae, reforzando la variabilidad taxonómica observada. En cuanto a la distribución espacial, se registró un desplazamiento en la

concentración de individuos hacia PMB-02, que concentró el 69,72 % del total (76 individuos), a diferencia del patrón más homogéneo registrado en el año anterior.

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Aves	Anseriformes	Anatidae	Cloéfaga	<i>Chlophaga melanoptera</i>
2	Animalia	Chordata	Aves	Charadriiformes	Laridae	Chroicocephalus	<i>Chroicocephalus serranus</i>
3	Animalia	Chordata	Aves	Piciformes	Picidae	Colaptes	<i>Colaptes rupicola</i>
4	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Fringillidae	Spinus	<i>Spinus atratus</i>
5	Animalia	Chordata	Aves	Pelecaniiformes	Threskiornithidae	Plegadis	<i>Plegadis ridgwayi</i>
6	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Cinclodes	<i>Cinclodes fuscus</i>
7	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Geospizopsis	<i>Geospizopsis plebejus</i>
8	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Phrygilus	<i>Phrygilus punensis</i>
9	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Turdidae	Turdus	<i>Turdus chiguano</i>
10	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Upucerthia	<i>Upucerthia validirostris</i>
11	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Passerellidae	Zonotrichia	<i>Zonotrichia capensis</i>

Tabla 26. Clasificación taxonómica de las especies de ornitofauna registradas en el área de estudio (2020)

N°	Especie	Nombre Científico	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Chlophaga melanoptera</i>	Ganso Huallata	0	2	2	1.83
2	<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	5	3	8	7.34
3	<i>Colaptes rupicola</i>	Carpintero Andino	1	1	2	1.83
4	<i>Spinus atratus</i>	Jilguero Negro	6	2	8	7.34
5	<i>Plegadis ridgwayi</i>	Ibis de la puna (Yanavico)	0	1	1	0.92
6	<i>Cinclodes fuscus</i>	Churrete de ala barrada	6	18	24	22.02
7	<i>Geospizopsis plebejus</i>	Pinzón sierra de pecho fresco	0	6	6	5.50
8	<i>Phrygilus punensis</i>	Pinzón sierra peruano	7	12	19	17.43
9	<i>Turdus chiguano</i>	Zorzal Chiguano	0	1	1	0.92
10	<i>Upucerthia validirostris</i>	Trepador de pechos beige	0	1	1	0.92
11	<i>Zonotrichia capensis</i>	Gorrion de Collar Rufo (Pichisanka)	8	29	37	33.94
Total			33	76	109	100

Tabla 27. Riqueza y abundancia de especies de aves en 2020

En 2021 se registraron 12 especies de aves, correspondientes a 12 géneros, 9 familias y 5 órdenes, con un total de 297 individuos. La familia Thraupidae fue la más abundante (47,14 %), seguida por Passerellidae, Furnariidae y Threskiornithidae (45,12 % en conjunto).

Sicalis uropigyalis fue la especie dominante (41,08 % del total), seguida por *Zonotrichia capensis* (28,62 %) y *Cinclodes fuscus* (9,09 %). Otras especies relevantes incluyeron *Plegadis ridgwayi* y *Catamenia inornata*. Siete especies presentaron baja frecuencia (≤ 10 individuos).

En cuanto a la distribución espacial, PMB-01 concentró el 52,86 % de los registros, mientras que PMB-02 aportó el 47,14 %, evidenciando una distribución relativamente equilibrada de la avifauna.

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Aves	Charadriiformes	Laridae	Chroicocephalus	<i>Chroicocephalus serranus</i>
2	Animalia	Chordata	Aves	Falconiformes	Falconidae	Daptrius	<i>Daptrius megalopterus</i>
3	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Fringillidae	Spinus	<i>Spinus atratus</i>
4	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Cinclodes	<i>Cinclodes fuscus</i>
5	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Upucerthia	<i>Upucerthia validirostris</i>
6	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Passerellidae	Zonotrichia	<i>Zonotrichia capensis</i>
7	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Phrygilus	<i>Phrygilus punensis</i>
8	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Sicalis	<i>Sicalis uropigyalis</i>
9	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Catamenia	<i>Catamenia inornata</i>
10	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Turdidae	Turdus	<i>Turdus chiguano</i>
11	Animalia	Chordata	Aves	Pelecaniformes	Threskiornithidae	Plegadis	<i>Plegadis ridgwayi</i>
12	Animalia	Chordata	Aves	Piciformes	Picidae	Colaptes	<i>Colaptes rupicola</i>

Tabla 28. Clasificación taxonómica de las especies de ornitofauna registradas en el área de estudio (2021)

N°	Especie	Nombre Científico	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	3	7	10	3.37
2	<i>Daptrius megalopterus</i>	Matamico Andino	0	1	1	0.34
3	<i>Spinus atratus</i>	Jilguero Negro	2	4	6	2.02
4	<i>Cinclodes fuscus</i>	Churrete de ala barrada	10	17	27	9.09
5	<i>Upucerthia validirostris</i>	Trepador de pechos beige	0	2	2	0.67
6	<i>Zonotrichia capensis</i>	Gorrion de Collar Rufo (Pichisanka)	25	60	85	28.62
7	<i>Phrygilus punensis</i>	Pinzón sierra peruano	1	3	4	1.35
8	<i>Sicalis uropigyalis</i>	Chirigue de lomo brillante	91	31	122	41.08
9	<i>Catamenia inornata</i>	Semillero de color liso	14	0	14	4.71
10	<i>Turdus chiguano</i>	Zorzal Chiguano	0	1	1	0.34
11	<i>Plegadis ridgwayi</i>	Ibis de la puna (Yanavico)	9	11	20	6.73
12	<i>Colaptes rupicola</i>	Carpintero Andino	2	3	5	1.68
Total			157	140	297	100

Tabla 29. Riqueza y abundancia de especies de aves en 2021

Durante 2022 se identificaron 17 especies de aves, distribuidas en 15 géneros, 11 familias y 5 órdenes,

con un total de 723 individuos. La estructura comunitaria estuvo dominada por Passerellidae (46,33 %) y Thraupidae (27,11 %), seguidas por Laridae y Threskiornithidae (7,33 % cada una). Las familias restantes presentaron baja representación (<3,32 %).

A nivel específico, *Zonotrichia capensis* fue la especie predominante (46,34 %), seguida por *Sicalis uropigyalis* (25,04 %). *Chroicocephalus serranus* y *Plegadis ridgwayi* aportaron conjuntamente el 14,66 %, mientras que las demás especies presentaron frecuencias individuales por debajo del 2 %.

En términos espaciales, PMB-02 concentró el 75,52 % de los registros, en contraste con PMB-01 (24,48 %), reflejando un patrón de distribución marcadamente desigual de la avifauna monitoreada.

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Aves	Charadriiformes	Laridae	Chroicocephalus	<i>Chroicocephalus serranus</i>
2	Animalia	Chordata	Aves	Piciformes	Picidae	Colaptes	<i>Colaptes rupicola</i>
3	Animalia	Chordata	Aves	Falconiformes	Falconidae	Daptrius	<i>Daptrius megalopterus</i>
4	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Fringillidae	Spinus	<i>Spinus atratus</i>
5	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Upucerthia	<i>Upucerthia validirostris</i>
6	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Cinclodes	<i>Cinclodes albiventris</i>
7	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Furnariidae	Asthenes	<i>Asthenes modesta</i>
8	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Tyrannidae	Muscisaxicola	<i>Muscisaxicola griseus</i>
9	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Tyrannidae	Muscisaxicola	<i>Muscisaxicola juninensis</i>
10	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Tyrannidae	Muscisaxicola	<i>Muscisaxicola rufivertex</i>
11	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Troglodytidae	Troglodytes	<i>Troglodytes aedon</i>
12	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Turdidae	Turdus	<i>Turdus chiguano</i>
13	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Passerellidae	Zonotrichia	<i>Zonotrichia capensis</i>
14	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Phrygilus	<i>Phrygilus punensis</i>
15	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Geospizopsis	<i>Geospizopsis plebejus</i>
16	Animalia	Chordata	Aves	Passeriformes	Thraupidae	Sicalis	<i>Sicalis uropigyalis</i>

Tabla 30. Clasificación taxonómica de las especies de ornitofauna registradas en el área de estudio (2022)

N°	Especie	Nombre Científico	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota Andina	0	53	53	7.33
2	<i>Colaptes rupicola</i>	Carpintero Andino	4	8	12	1.66
3	<i>Daptrius megalopterus</i>	Matamico Andino	0	10	10	1.38
4	<i>Spinus atratus</i>	Jilguero Negro	2	8	10	1.38
5	<i>Upucerthia validirostris</i>	Trepador de pechos beige	1	2	3	0.41
6	<i>Cinclodes albiventris</i>	Churrete de Ala Crema	4	5	9	1.24
7	<i>Asthenes modesta</i>	Canastero Cordillerano	3	9	12	1.66
8	<i>Muscisaxicola griseus</i>	Dormilona de Taczanowski	1	3	4	0.55
9	<i>Muscisaxicola juninensis</i>	Dormilona de la Puna	2	11	13	1.80
10	<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	Dormilona de Nueva Rejiza	2	5	7	0.97
11	<i>Troglodytes aedon</i>	Reyezuelo doméstico	1	4	5	0.69
12	<i>Turdus chiguano</i>	Zorzal Chiguano	0	1	1	0.14
13	<i>Zonotrichia capensis</i>	Gorrion de Collar Rufo (Pichisanka)	85	250	335	46.33
14	<i>Phrygilus punensis</i>	Pinzón sierra peruano	1	5	6	0.83
15	<i>Geospizopsis plebejus</i>	Pinzón sierra de pecho fresco	2	7	9	1.24
16	<i>Sicalis uropigyalis</i>	Chirigue de lomo brillante	46	135	181	25.03
17	<i>Plegadis ridgwayi</i>	Ibis de la puna (Yanavico)	23	30	53	7.33
Total			177	546	723	100

Tabla 31. Riqueza y abundancia de especies de aves en 2022

Síntesis de la riqueza ornitofaunística y estructura de abundancia (2018–2022)

Diversidad	Rango de abundancia	Número de especies				
		2018	2019	2020	2021	2022
Muy raro	<5	3	1	5	4	3
Raro	5 - 15	6	6	3	4	10
Escaso	15 - 30	0	2	2	2	0
Abundante	30 - 100	0	0	1	1	2
Muy abundante	> 100	0	0	0	1	2
Total		9	9	11	12	17

Tabla 32. Clasificación de especies por rango de abundancia anual (2018–2022).

A lo largo del quinquenio analizado se evidenció un aumento sostenido en la diversidad y abundancia de aves, con un cambio gradual en la estructura poblacional. La cantidad de especies pasó de 9 a 17, con un incremento en las categorías de mayor

frecuencia relativa a partir de 2020. La aparición de especies “abundantes” y “muy abundantes” desde 2020 y 2021, respectivamente, evidencia una dinámica positiva de estabilización ecológica.

En total se registraron 1 clase, 6 órdenes, 12 familias, 17 géneros y 21 especies, lo cual refleja una mayor complejidad avifaunística en el ecosistema evaluado.

4.4. Composición Mastofauna

Durante el periodo evaluado (2018–2022), no se registró la presencia de mamíferos de gran tamaño en el área de estudio. Esta ausencia podría atribuirse a factores como la perturbación acústica y vibraciones derivadas de actividades mineras cercanas, así como a las características geológicas y de cobertura vegetal, que podrían inducir el desplazamiento de estas especies hacia zonas menos alteradas. Sin embargo, se evidenció una presencia progresiva de mamíferos menores, particularmente roedores del orden Rodentia, registrados mediante trampas Sherman y métodos indirectos (huellas, excretas, madrigueras y entrevistas locales).

En 2018, se registró un solo individuo de *cf. Akodon albiventer* (familia Cricetidae), capturado en la estación PMB-01.

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Akodon	<i>cf. Akodon albiventer</i>

Tabla 33. Clasificación taxonómica de las especies de mastofauna registradas en el área de estudio (2018)

N°	Especie	Nombre Común	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>cf. Akodon albiventer</i>	Ratón Campestre de Vientre Blanco	1	0	1	100.00
Total			1	0	1	100

Tabla 34. Riqueza y abundancia de especies de mamíferos en 2018

Para 2019, se detectó nuevamente un único individuo, esta vez de *cf. Phyllotis magister*, registrado en la estación PMB-02. Al igual que el año anterior, se evidenció una baja diversidad y densidad mastofaunística.

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Phyllotis	<i>cf. Phyllotis magister</i>

Tabla 35. Clasificación taxonómica de las especies de mastofauna registradas en el área de estudio (2019)

N°	Especie	Nombre Común	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>cf. Phyllotis magister</i>	Ratón orejón maestro	0	1	1	100.00
Total			0	1	1	100

Tabla 36. Riqueza y abundancia de especies de mamíferos en 2019

Durante 2020, se observó un leve incremento en la abundancia con el registro de cuatro individuos de *Auliscomys pictus*, capturados únicamente en PMB-02, marcando una tendencia positiva en la recolonización de pequeños mamíferos.

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Auliscomys	<i>Auliscomys pictus</i>

Tabla 37. Clasificación taxonómica de las especies de mastofauna registradas en el área de estudio (2020)

N°	Especie	Nombre Común	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Auliscomys pictus</i>	Ratón orejón pintado	0	4	4	100.00
Total			0	4	4	100

Tabla 38. Riqueza y abundancia de especies de mamíferos en 2020

En 2021, se identificaron tres especies: *Thomasomys incanus*, *Auliscomys pictus* y *Neotomys ebriosus*, con un total de cinco individuos.

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Thomasomys	<i>Thomasomys incanus</i>
2	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Auliscomys	<i>Auliscomys pictus</i>
3	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Neotomys	<i>Neotomys ebriosus</i>

Tabla 39. Clasificación taxonómica de las especies de mastofauna registradas en el área de estudio (2021)

N°	Especie	Nombre Común	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Thomasomys incanus</i>	Ratón montaraz incaico	2	0	2	40.00
2	<i>Auliscomys pictus</i>	Ratón orejón pintado	0	2	2	40.00
3	<i>Neotomys ebriosus</i>	Ratón de humedales andino	0	1	1	20.00
Total			2	3	5	100

Tabla 40. Riqueza y abundancia de especies de mamíferos en 2021

Finalmente, en 2022 se registró la mayor riqueza y abundancia del periodo, con cinco especies y un total de 18 individuos. Destacó *Auliscomys pictus* con el 55.56 % del total, seguida por *Abrothrix jelskii*, *Akodon juninensis*, *Neotomys ebriosus* y *Thomasomys incanus*.

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Auliscomys	<i>Auliscomys pictus</i>
2	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Akodon	<i>Akodon juninensis</i>
3	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Thomasomys	<i>Thomasomys incanus</i>
4	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Abrothrix	<i>Abrothrix jelskii</i>
5	Animalia	Chordata	Mammalia	Rodentia	Cricetidae	Neotomys	<i>Neotomys ebriosus</i>

Tabla 41. Clasificación taxonómica de las especies de mastofauna registradas en el área de estudio (2022)

N°	Especie	Nombre Común	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Auliscomys pictus</i>	Ratón Orejón Pintado	2	8	10	55.56
2	<i>Akodon juninensis</i>	Ratón de Pasto de Junin	1	1	2	11.11
3	<i>Thomasomys incanus</i>	Ratón montaraz incaico	0	1	1	5.56
4	<i>Abrothrix jelskii</i>	Ratón Tricolor	0	3	3	16.67
5	<i>Neotomys ebriosus</i>	Ratón de humedales andino	0	2	2	11.11
Total			3	15	18	100

Tabla 42. Riqueza y abundancia de especies de mamíferos en 2022

Síntesis de la riqueza mastofaunística y estructura de abundancia (2018–2022)

Diversidad	Rango de abundancia	Número de especies				
		2018	2019	2020	2021	2022
Muy raro	<5	1	1	1	3	4
Raro	5 - 15	0	0	0	0	1
Escaso	15 - 30	0	0	0	0	0
Abundante	30 - 100	0	0	0	0	0
Muy abundante	> 100	0	0	0	0	0
Total		1	1	1	3	5

Tabla 43. Clasificación de especies por rango de abundancia anual (2018–2022).

Durante el periodo evaluado se identificaron 7 especies de mamíferos menores, correspondientes a 1 clase (Mammalia), 1 orden (Rodentia), 1 familia (Cricetidae) y 6 géneros. La Tabla 43 muestra la distribución anual de especies según rangos de

abundancia. Entre 2018 y 2020 se registró una sola especie por año, todas clasificadas como "Muy raro" (<5 individuos). En 2021 se observó un ligero incremento a tres especies, y en 2022 se alcanzó la mayor diversidad con cinco especies, cuatro "Muy raro" y una "Rara" (5–15 individuos).

4.5. Composición herpetofauna

Durante la línea base temporal (2018–2020) no se registraron especies de herpetofauna en el área de estudio. En 2021, se detectó por primera vez la presencia de *Liolaemus walkeri* (familia Liolaemidae), con un único individuo capturado en la estación PMB-02 (Tablas 44 y 45).

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Reptilia	Squamata	Liolaemidae	Liolaemus	<i>Liolaemus walkeri</i>

Tabla 44. Clasificación taxonómica de las especies de herpetofauna registradas en el área de estudio (2021)

N°	Especie	Nombre Común	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Liolaemus walkeri</i>	lagartija	0	1	1	100.00
Total			0	1	1	100

Tabla 45. Riqueza y abundancia de especies de herpetofauna en 2021

En 2022, se evidenció un incremento en la riqueza y abundancia con el registro de dos especies: *L. walkeri* y el anfibio *Rhinella spinulosa* (familia Bufonidae), totalizando 14 individuos. *R. spinulosa* fue dominante (92.86% del total), registrada únicamente en PMB-02, mientras que *L. walkeri* mantuvo una ocurrencia puntual (7.14%) en PMB-01 (Tablas 46 y 47).

N°	Reino	Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
1	Animalia	Chordata	Reptilia	Squamata	Liolaemidae	Liolaemus	<i>Liolaemus walkeri</i>
2	Animalia	Chordata	Amphibia	Anura	Bufonidae	Rhinella	<i>Rhinella spinulosa</i>

Tabla 46. Clasificación taxonómica de las especies de herpetofauna registradas en el área de estudio (2022)

N°	Especie	Nombre Común	PMB-01	PMB-02	Total	Pi %
1	<i>Liolaemus walkeri</i>	lagartija	1	0	1	7.14
2	<i>Rhinella spinulosa</i>	Sapo espinoso	0	13	13	92.86
Total			0	1	4	100

Tabla 47. Riqueza y abundancia de especies de herpetofauna en 2022

El análisis de la estructura de abundancia mostró que *L. walkeri* fue clasificada como "Muy rara" (<5 individuos) en ambos años, mientras que *R. spinulosa* fue categorizada como "Rara" (5–15 individuos) en 2022 (Tabla 48).

Diversidad	Rango de abundancia	Número de especies				
		2018	2019	2020	2021	2022
Muy raro	<5	0	0	0	1	1
Raro	5 - 15	0	0	0	0	1
Escaso	15 - 30	0	0	0	0	0
Abundante	30 - 100	0	0	0	0	0
Muy abundante	> 100	0	0	0	0	0
Total		0	0	0	1	2

Tabla 48. Clasificación de especies por rango de abundancia anual (2018–2022).

4.6. Índices Ecológicos

4.6.1. Flora

Los índices ecológicos (Tabla 49) muestran un incremento sostenido en la riqueza, abundancia y diversidad florística entre 2018 y 2022, en concordancia con las medidas de remediación aplicadas en el Pasivo Ambiental Minero Excelsior.

El índice de Shannon se mantuvo en valores medios (~2.29) hasta 2020, con un aumento en 2021 (2.43) y un valor alto en 2022 (2.95), evidenciando mayor diversidad. El índice de Simpson fue consistentemente alto (>0.85), alcanzando su máximo en 2022 (0.912), lo que refleja una distribución más homogénea.

El índice de Margalef mostró una clara tendencia ascendente, pasando de valores medios (~3.2) a un valor elevado (6.25) en 2022, indicando mayor heterogeneidad específica. Por su parte, el índice de equitatividad de Pielou (J') varió entre 0.674 y 0.794, reflejando cambios en la distribución relativa de especies a lo largo del periodo.

En conjunto, los resultados evidencian una recuperación progresiva del ecosistema y un proceso favorable de sucesión ecológica.

Años	Riqueza	Abundancia	Shannon (Cesal, 2021)	Simpson (Menhinick, 1964)	Margalef (Cesal, 2021)	Pielou (J') (Magurran, 1988)
2018	18	198	Mediana diversidad	Diversidad alta	Mediana diversidad	0.794
2019	19	266	Mediana diversidad	Diversidad alta	Mediana diversidad	0.680
2020	22	221	Mediana diversidad	Diversidad alta	Mediana diversidad	0.769
2021	37	437	Mediana diversidad	Diversidad alta	Alta diversidad	0.674
2022	43	831	Alta diversidad	Diversidad alta	Alta diversidad	0.783

Tabla 49. Índices ecológicos de diversidad florística (2018–2022)

El análisis del índice de Jaccard (Tabla 50, Figura 4) identificó dos agrupamientos:

- Grupo I (2018–2020): similitud media (>0.40), con alta semejanza entre 2018 y 2019 (>0.75), reflejando estabilidad inicial.
- Grupo II (2021–2022): alta semejanza interna (>0.60), asociada al establecimiento de nuevas especies.

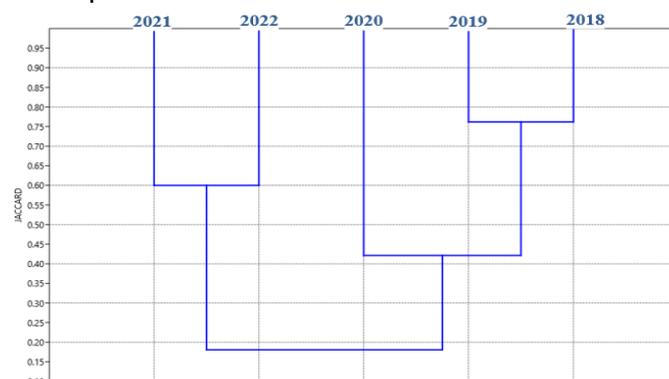


Figura 4. Dendrograma de similitud florística (2018–2022)

La baja similitud global (<0.15) indica una transformación significativa de la composición

florística, coherente con los efectos positivos de la restauración ambiental.

Años	Índice	Interpretación del índice de Jaccard (Sandro, 2014)
2018 - 2019	> 0.75	Alta semejanza
2021 - 2022	0.60	Alta semejanza
2018 - 2019 - 2020	> 0.40	Semejanza media
2021 - 2022 - 2020 - 2019 - 2018	> 0.15	Muy baja semejanza

Tabla 50. Índice de similitud florística de Jaccard

4.6.2. Ornitofauna

Durante el quinquenio evaluado, se evidenció un incremento progresivo en la riqueza y abundancia ornitofaunística. Sin embargo, los índices ecológicos reflejaron patrones estructurales diferenciados en la composición y distribución de la comunidad de aves (Tabla 51):

- Índice de Shannon: Se mantuvo en el rango de diversidad media durante todo el periodo, con una tendencia decreciente a partir de 2020, lo cual indica una distribución desigual de la abundancia entre especies.
- Índice de Simpson: Reflejó alta diversidad en los primeros dos años, pero descendió a niveles medios desde 2020 debido a la dominancia relativa de especies como *Zonotrichia capensis* y *Sicalis uropygialis*.
- Índice de Margalef: Mostró una transición de baja a mediana diversidad específica, con valores más altos hacia el final del periodo, lo que sugiere un incremento en la heterogeneidad taxonómica.
- Índice de Pielou: Exhibió una disminución progresiva, indicando una menor equidad en la distribución de individuos, asociada a la consolidación de especies dominantes.

Estos indicadores evidencian un proceso de recuperación ecológica con incremento en la riqueza y abundancia, aunque aún limitado por una distribución desigual de las especies.

Años	Riqueza	Abundancia	Shannon (Cesal, 2021)	Simpson (Menhinick, 1964)	Margalef (Cesal, 2021)	Pielou (J [*]) (Magurran, 1988)
2018	9	56	Mediana diversidad	Diversidad alta	Baja diversidad	0.937
2019	9	82	Mediana diversidad	Diversidad alta	Baja diversidad	0.911
2020	11	109	Mediana diversidad	Diversidad media	Mediana diversidad	0.760
2021	12	297	Mediana diversidad	Diversidad media	Baja diversidad	0.668
2022	17	723	Mediana diversidad	Diversidad media	Mediana diversidad	0.601

Tabla 51. Índices ecológicos de diversidad ornitofaunística (2018–2022)

El análisis del índice de similitud de Jaccard (Tabla 52, Figura 5) evidenció patrones de continuidad en años consecutivos, con alta similitud entre 2018–2019 (>0.62) y 2020–2021 (>0.64), lo que evidencia estabilidad composicional en periodos contiguos. No obstante, al considerar el trienio 2020–2022, la similitud se redujo a un valor medio (~0.50), debido a la incorporación progresiva de nuevas especies. En el análisis global del periodo 2018–2022, el índice descendió por debajo de 0.40, reflejando una

baja similitud general asociada a variaciones en la estructura y composición de la comunidad ornitológica. Esta dinámica se atribuye a procesos de sucesión ecológica, modificaciones del hábitat o fluctuaciones ambientales, que promueven la renovación faunística a lo largo del tiempo.

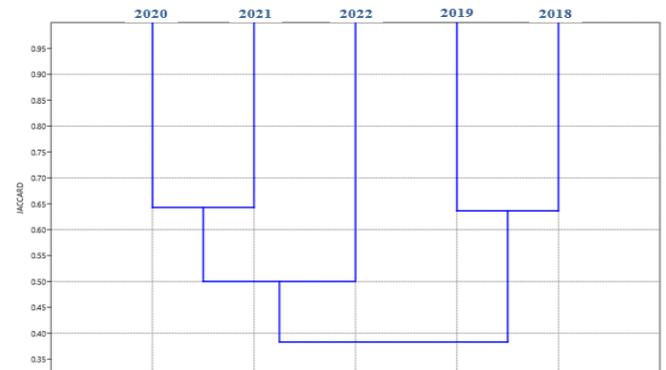


Figura 5. Dendrograma del índice de similitud de Jaccard (2018–2022)

Años	Índice	Interpretación del índice de Jaccard (Sandro, 2014)
2018 - 2019	> 0.62	Alta semejanza
2020 - 2021	> 0.64	Alta semejanza
2020 - 2021 - 2022	0.50	Semejanza media
2020 - 2021 - 2022 - 2019 - 2018	> 0.38	Baja semejanza

Tabla 52. Índice de similitud de Jaccard aplicado a ornitofauna

4.6.3. Mastofauna

Entre 2018 y 2020, la comunidad de mamíferos menores evidenció una diversidad nula, con dominancia absoluta de una única especie. A partir de 2021, los índices de Shannon (1.055 a 1.274), Simpson (0.640 a 0.636) y Margalef (1.243 a 1.384) revelan una incipiente complejidad estructural, aunque aún limitada. La equidad (Pielou) decrece (0.960 a 0.792) por la consolidación de *Auliscomys pictus* como especie dominante.

Años	Riqueza	Abundancia	Shannon (Cesal, 2021)	Simpson (Menhinick, 1964)	Margalef (Cesal, 2021)	Pielou (J [*]) (Magurran, 1988)
2018	1	1	Baja diversidad	Diversidad baja	Baja diversidad	0.000
2019	1	1	Baja diversidad	Diversidad baja	Baja diversidad	0.000
2020	1	4	Baja diversidad	Diversidad baja	Baja diversidad	0.000
2021	3	5	Mediana diversidad	Diversidad media	Baja diversidad	0.960
2022	5	18	Mediana diversidad	Diversidad media	Baja diversidad	0.792

Tabla 53. Diversidad Ecológica de mastofauna

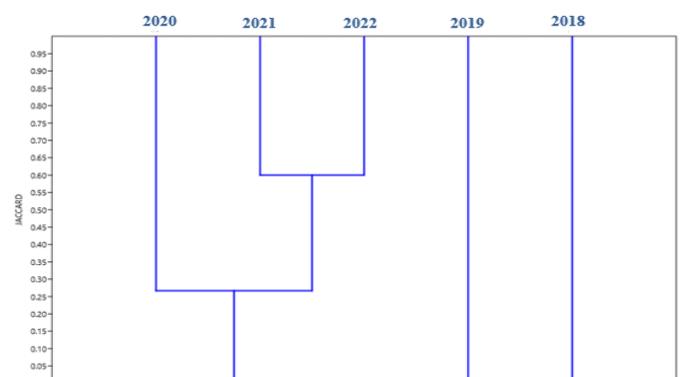


Figura 6. Dendrograma del índice de similitud de Jaccard (2018–2022)

El índice de Jaccard indica nula similitud en los primeros años, y alta semejanza en 2021–2022 (>0.60), reflejando una reconfiguración

taxocenótica asociada a procesos de restauración ecológica.

Años	Índice	Interpretación del índice de Jaccard (Sandro, 2014)
2018	0	Muy baja semejanza
2019	0	Muy baja semejanza
2021 - 2022	> 0.60	Alta semejanza
2020-2021-2022	> 0.25	Baja semejanza

Tabla 54. Índice de similitud de Jaccard aplicado a mastofauna

4.6.4. Herpetofauna

La comunidad herpetológica mostró una riqueza extremadamente baja, con solo dos especies registradas durante el quinquenio, lo que imposibilitó el cálculo de índices ecológicos. Se observa una tendencia emergente al incremento de la diversidad, asociada a mejoras en las condiciones ecológicas.

4.7. Sensibilidad

4.7.1. Flora

Se identificaron nueve especies de flora con categoría de conservación según la IUCN (2023), la mayoría con tendencias poblacionales estables o en aumento (Tabla 55). Ninguna figura en los apéndices de CITES (2023).

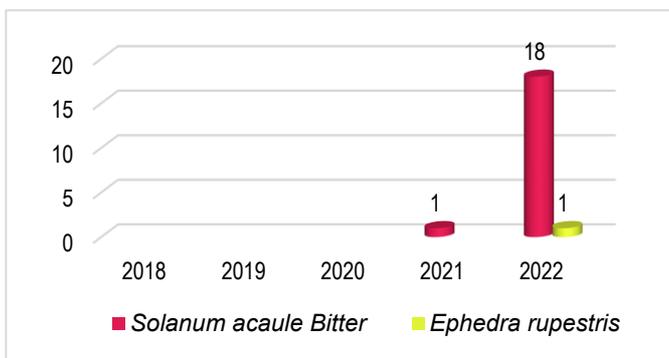
Tabla 55. Especies de flora categorizadas por su estado de conservación a nivel nacional e internacional

Especie	Población*	IUCN 2023	IUCN*	CITES (2023)	D.S N° 043-2006-AG	Referencia Bibliográfica
<i>Azorella crenata</i>	Estable	LC	2018	-	-	(Timayá de la Flor et al., 2019)
<i>Baccharis latifolia</i>	Desconocido	LC	2014	-	-	(Vacas et al., 2021)
<i>Distichia acicularis</i>	Decreciente	LC	2014	-	-	(De la Barra et al., 2022)
<i>Ephedra rupestris</i>	Estable	LC	2010	-	CR	(Bell & Bachman, 2011)
<i>Plantago rigida</i>	Estable	LC	2018	-	-	(Trinidad et al., 2019)
<i>Senecio condimentarius</i>	Desconocido	LC	2018	-	-	(Trinidad et al., 2019)
<i>Solanum acaule</i>	Estable	LC	2018	-	NT	(Cadima et al., 2020)
<i>Trifolium amabile</i>	Estable	LC	2010	-	-	(Lopez, 2012)
<i>Werneria caespitosa</i>	Estable	LC	2018	-	-	(Trinidad & Montesinos, 2019)

* Evaluada por última vez para la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN. *Tendencia de población, Preocupación Menor (LC), En Peligro Crítico (CR), Amenazado (NT).

Se registraron dos especies clasificadas como amenazadas según la normativa nacional vigente.

Figura 7. Especies Amenazadas según el D.S. N° 043-2006-AG.

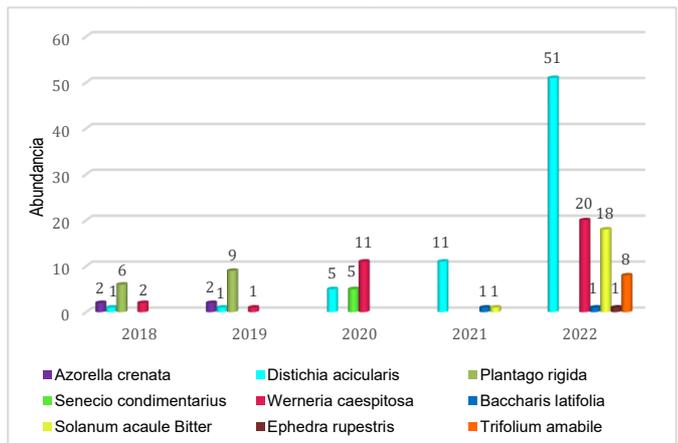


Solanum acaule (NT) presentó un aumento de 1 a 18 individuos entre 2021 y 2022, lo que evidencia mejora del hábitat o mayor éxito reproductivo. En 2022 se identificó por primera vez *Ephedra rupestris* (CR), especie con menos de 250 individuos maduros a nivel global. Ambas están

protegidas por el D.S. N° 043-2006-AG, que prohíbe su extracción y comercialización.

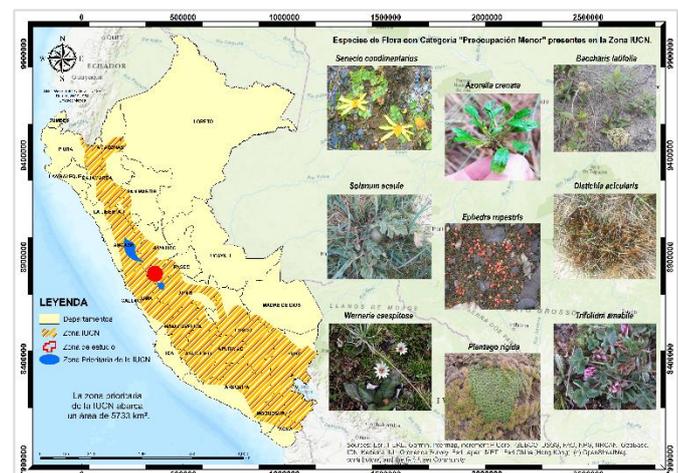
Especies como *Distichia acicularis*, *Plantago rigida* y *Werneria caespitosa*, categorizadas como de Preocupación Menor (LC) por la IUCN, muestran signos de recuperación poblacional, siendo notable el caso de *D. acicularis*, que pasó de 1 a 51 individuos entre 2018 y 2022. Paralelamente, los registros recientes de *Trifolium amabile*, *Senecio condimentarius* y *Baccharis latifolia* evidencian procesos de recolonización florística.

Figura 8. Especies de categoría Preocupación Menor según en la Lista Roja de la IUCN



La figura 9 muestra la distribución geoespacial de especies de flora categorizadas como Preocupación Menor (LC) según la IUCN. El área de estudio aparece en rojo, la distribución potencial de dichas especies en naranja traslúcido, y la zona prioritaria de conservación en azul. Esta última abarca aproximadamente 5,733 km² de ecosistemas altoandinos con condiciones edáficas, altitudinales y climáticas favorables para las nueve especies LC registradas.

Figura 9. Distribución geoespacial de especies de flora con categoría "Preocupación Menor" (LC) según la IUCN (2023) en el área de estudio.



La superposición del PAM Excelsior con la zona prioritaria indica que las acciones de remediación han contribuido a mejorar la calidad del hábitat, promoviendo la regeneración vegetal y el restablecimiento de especies nativas.

4.7.2. Ornitofauna

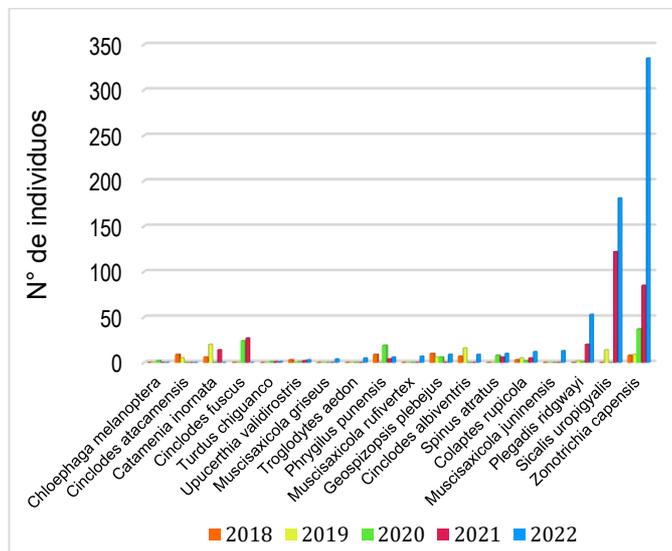
Todas las especies de aves registradas en el área de estudio están clasificadas como de Preocupación Menor (LC) según la IUCN (2023), y no se encuentran incluidas en los apéndices de CITES ni en el listado nacional de fauna amenazada (D.S. N° 004-2014-MINAGRI).

Tabla 56. Especies de Flora Categorizadas por su Estado de Conservación a Nivel Nacional e Internacional

Especie	Población*	IUCN (2023)	IUCN*	CITES (2023)	D.S N° 043-2006-AG	Referencia Bibliográfica
<i>Catantia inornata</i>	Creciente	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Chloephaga melanoptera</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Cinclodes albigularis</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., Cinclodes albigularis, 2017)
<i>Cinclodes atacamensis</i>	Decreciente	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Cinclodes fuscus</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2017)
<i>Colaptes rupicola</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2017)
<i>Muscisaxicola griseus</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Muscisaxicola juninensis</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Geospizopsis plebejus</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Phrygilus punensis</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Plegadis ridgwayi</i>	Decreciente	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Sicalis uropigialis</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Spinus atratus</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Troglodytes aedon</i>	Creciente	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2017)
<i>Turdus chiguanco</i>	Estable	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2016)
<i>Upucerthia validirostris</i>	Decreciente	LC	2016	-	-	(BirdLife I., 2017)
<i>Zonotrichia capensis</i>	Creciente	LC	2020	-	-	(BirdLife I., 2020)

* Evaluada por última vez para la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN; †Tendencia de población; Preocupación Menor (LC).

Figura 10. Especies de categoría Preocupación Menor según en la Lista Roja de la IUCN



Destacan aumentos poblacionales en *Zonotrichia capensis* y *Sicalis uropigialis*, especies generalistas asociadas a hábitats abiertos. En contraste, especies como *Plegadis ridgwayi* y *Phrygilus punensis* mostraron variaciones interanuales, reflejando mayor sensibilidad a disturbios ecológicos.

La Figura 11 presenta la distribución geoespacial de las especies de ornitofauna clasificadas como de

Preocupación Menor (LC) según la IUCN (2023), empleando la misma simbología utilizada para flora: área de estudio (rojo), distribución potencial (naranja traslúcido) y zonas prioritarias de conservación (azul).

La zona prioritaria IUCN, de aproximadamente 29,927 km², alberga la convergencia de las distribuciones de las 18 especies LC registradas. La superposición con el área evaluada resalta su valor ecológico como corredor biológico y refugio de comunidades aviares resilientes, constituyendo un insumo estratégico para la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) y otras iniciativas de conservación.

Este contexto respalda la eficacia de la remediación ecológica implementada en el PAM Excelsior. Un caso representativo es *Plegadis ridgwayi*, especie con tendencia poblacional decreciente a nivel global, cuya presencia aumentó de 0 individuos en 2018 a 53 en 2022, en paralelo de las acciones de restauración. Este cambio evidencia la mejora del hábitat y el retorno de especies sensibles a la alteración ambiental.

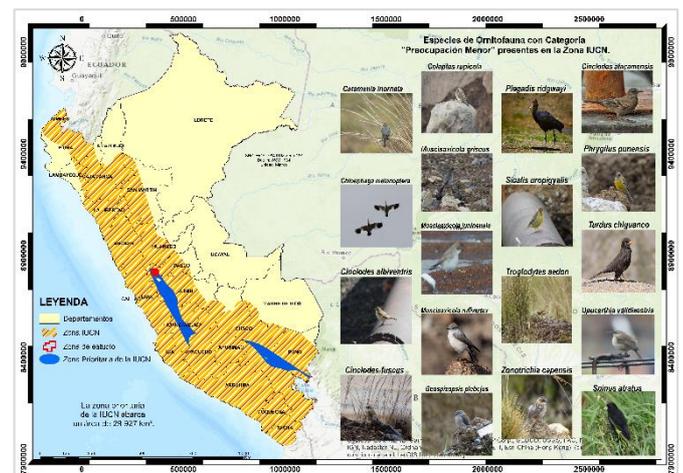


Figura 11. Distribución geoespacial de especies de ornitofauna con categoría "Preocupación Menor" (LC) según la IUCN (2023) en el área de estudio.

4.7.3. Mastofauna

Se identificaron cinco especies de roedores andinos: *Auliscomys pictus*, *Thomasomys incanus*, *Neotomys ebriosus*, *Akodon juninensis* y *Abrothrix jelskii*. Cuatro de ellas están clasificadas como de Preocupación Menor (LC) según la Lista Roja de la IUCN (2023). Solo *Thomasomys incanus* figura como Vulnerable (VU) a nivel nacional (D.S. N° 004-2014-MINAGRI), debido a su distribución limitada, población decreciente y baja abundancia estimada, lo que restringe legalmente su manejo. Ninguna de las especies registradas se encuentra listada en los apéndices de la CITES (2023).

Tabla 57. Especies de aves Categorizadas por su Estado de Conservación a Nivel Nacional e Internacional

Especie	Población+	IUCN (2023)	IUCN*	CITES (2023)	D.S N° 043-2006-AG	Referencia Bibliográfica
<i>Auliscomys pictus</i>	Estable	LC	2016	-	-	(Dunnum et al., 2016)
<i>Thomasomys incanus</i>	Decreciente	LC	2016	-	VU	(Barriga & Pacheco, 2017)
<i>Neotomys ebriosus</i>	Estable	LC	2016	-	-	(Vargas et al., 2016)
<i>Akodon juninensis</i>	Estable	LC	2016	-	-	(Pacheco et al., 2016)
<i>Abrothrix jelskii</i>	Estable	LC	2016	-	-	(Jayat, 2016)

* Evaluada por última vez para la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN; †Tendencia de población; Preocupación Menor (LC), Vulnerable (VU)

La Figura 12 muestra la variación temporal en abundancia, mientras que la Figura 13 presenta la distribución espacial de las especies registradas, siguiendo la simbología estándar: área de estudio (rojo), distribución potencial (naranja traslúcido) y zonas prioritarias de conservación identificadas por la IUCN (azul), con una extensión aproximada de 7,623 km². En esta área coinciden las distribuciones de las cinco especies, lo que resalta su valor como hábitat representativo de mastofauna altoandina.

Figura 12. Especies de categoría Preocupación Menor según en la Lista Roja de la IUCN

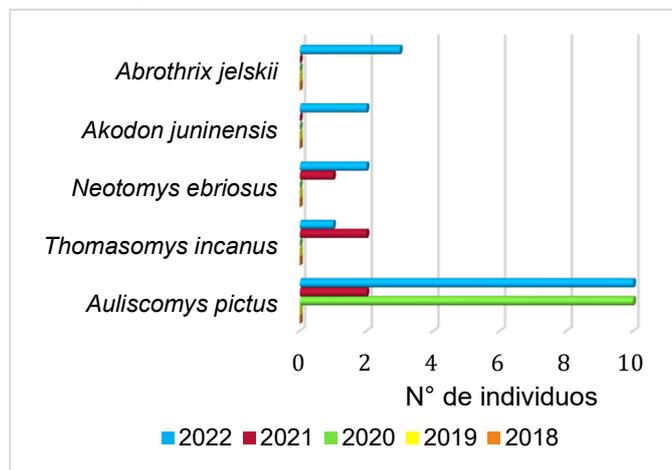


Figura 13. Distribución geoespacial de especies de mastofauna con categoría "Preocupación Menor" (LC) según la IUCN (2023) en el área de estudio.



La superposición del área evaluada con zonas prioritarias de conservación muestra una funcionalidad ecológica significativa, tanto como

hábitat permanente como corredor de conectividad biológica. La detección continua de *Thomasomys incanus*, a pesar de su categoría de Vulnerable, representa un indicador clave para la evaluación de sensibilidad ecológica.

4.7.4. Herpetofauna

Según la Lista Roja de la IUCN (2023), *Liolaemus walkeri* está clasificada como Casi Amenazada (NT), mientras que *Rhinella spinulosa* figura como de Preocupación Menor (LC). Ambas presentan tendencias poblacionales desconocidas y no se encuentran incluidas en los apéndices de CITES ni en el Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAGRI. Esta ausencia en normativas nacionales e internacionales enfatiza la necesidad de estudios más detallados sobre su distribución, ecología y estado de conservación.

Tabla 58. Especies de herpetofauna Categorizadas por su Estado de Conservación a Nivel Nacional e Internacional

Especie	Población*	IUCN (2023)	IUCN*	CITES (2023)	D.S N° 043-2006-AG	Referencia Bibliográfica
<i>Liolaemus walkeri</i>	Desconocido	NT	2014	-	-	(Aguilar et al., 2017)
<i>Rhinella spinulosa</i>	Desconocido	LC	2017	-	-	(IUCN SSC, 2020)

* Evaluada por última vez para la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN; †Tendencia de población; Preocupación Menor (LC), Amenazado (NT).

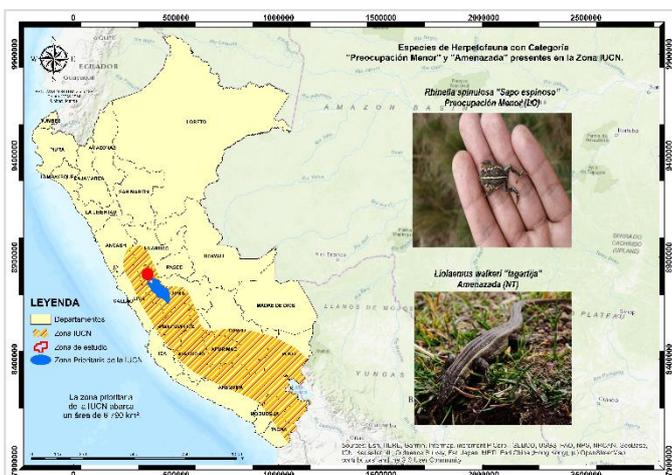
Liolaemus walkeri, por su categoría NT, representa una especie que podría alcanzar niveles de amenaza si las presiones antrópicas actuales como la fragmentación del hábitat o los cambios en el microclima altoandino persisten o se intensifican. Su presencia reiterada en monitoreos recientes (2021 y 2022) evidencia una permanencia en el ecosistema evaluado, aunque con una aparente baja densidad. Por otro lado, *R. spinulosa*, fue registrada en 2022, indicando condiciones ecológicas compatibles con su mantenimiento poblacional.

Desde una perspectiva ecológica, ambas especies tienen valor como bioindicadores por su sensibilidad a cambios microambientales, especialmente en ecosistemas de altura. Su detección en un entorno previamente perturbado por actividades mineras evidencia un proceso de recuperación funcional en los hábitats evaluados, particularmente en los microhábitats con retención hídrica temporal o cobertura vegetal asociada.

La Figura 14 representa la distribución geoespacial de estas especies utilizando la simbología estándar: área de estudio (rojo), zona de distribución potencial IUCN (naranja traslúcido) y zonas prioritarias de conservación (azul). Mientras *R. spinulosa* exhibe una distribución amplia en la región, *L. walkeri* se restringe a la zona prioritaria, que abarca aproximadamente 6,790 km², incluyendo el área evaluada. Esta superposición

evidencia el rol estratégico del área remediada como hábitat de especies sensibles.

Figura 14. Distribución geoespacial de especies de herpetofauna con categoría "Preocupación Menor" (LC) según la IUCN (2023) en el área de estudio.



4.8. Endemismo

4.8.1. Flora

Se identificó una única especie de flora endémica del Perú: *Senecio collinus* DC. (Asteraceae), herbácea altoandina con distribución restringida entre los 3,500 y 4,500 m s.n.m., desde Cajamarca hasta el centro del país. Reconocida como taxón prioritario por el SINANPE y registrada en el Parque Nacional Huascarán, su presencia resalta la importancia biogeográfica del área. Entre 2018 y 2022 se evidenció una recuperación poblacional progresiva, con ausencia inicial de registros y un aumento significativo hasta 22 individuos en 2022, lo que refuerza el valor del sitio como refugio para la conservación de flora endémica.

4.8.2. Ornitofauna

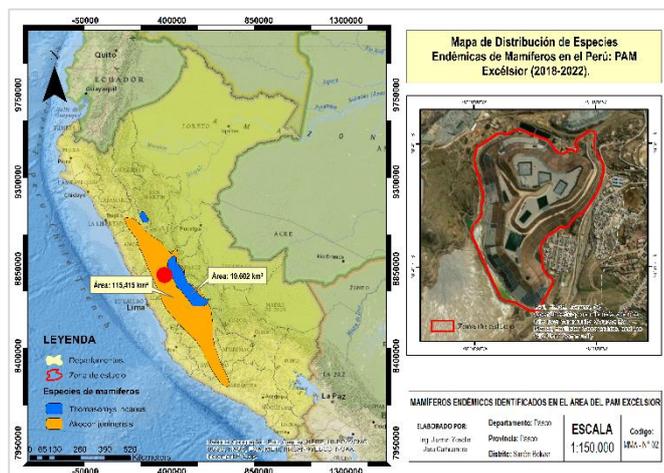
Durante la evaluación ornitológica no se registraron especies endémicas del Perú. Las aves observadas presentan distribuciones amplias a nivel regional o continental, lo que implica una menor susceptibilidad a perturbaciones locales. Sin embargo, su monitoreo continuo es relevante como indicador de la calidad del hábitat y la integridad ecológica del ecosistema, especialmente en áreas sujetas a procesos de intervención o restauración ambiental.

4.8.3. Mastofauna

se identificaron dos especies de roedores endémicos del Perú: *Akodon juninensis* y *Thomasomys incanus*, ambos restringidos a ecosistemas altoandinos. *A. juninensis*, registrada por primera vez en 2022, se asocia a pastizales de Puna por encima de los 2,700 m s.n.m., con un

rango de distribución estimado de 115,415 km². En contraste, *T. incanus*, observada en 2021 y 2022 con escasa abundancia, presenta una distribución más limitada ($\approx 19,600$ km²) en las ecorregiones de Yunga y Puna, y enfrenta amenazas como la fragmentación del hábitat.

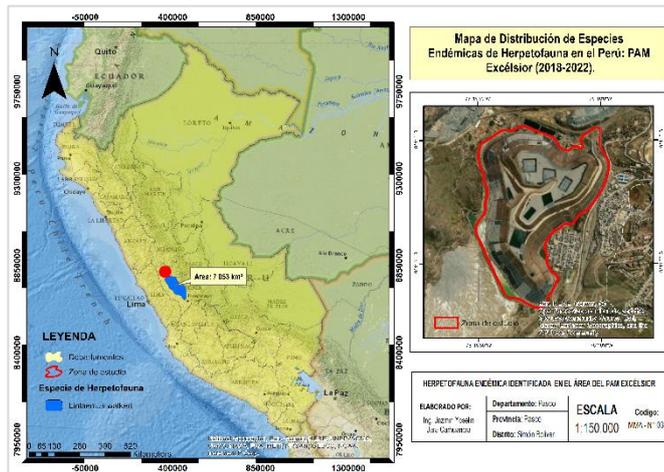
Figura 15. Mapa de distribución de Especies Endémicas de Mamíferos en el Perú.



4.8.4. Herpetofauna

Se registró la presencia de *Liolaemus walkeri*, lagartija endémica de los Andes centrales del Perú, con distribución restringida a las regiones de Junín y Pasco, entre los 3,963 y 4,311 m s.n.m. Habita ambientes de Puna, refugiándose en estructuras rocosas, y presenta un rango de distribución estimado de 6,790 km².

Figura 16. Mapa de distribución *Liolaemus walkeri*



Es una especie vivípara, adaptada a climas fríos y altamente sensible a variaciones térmicas. Entre sus principales amenazas destacan el cambio climático por su efecto sobre la termorregulación y desarrollo embrionario, así como la fragmentación del hábitat por actividades antrópicas (expansión urbana, minería y recolección con fines tradicionales). Actualmente carece de medidas de

conservación específicas. Su protección requiere estudios ecológicos y evolutivos, monitoreo poblacional y acciones de sensibilización que reduzcan su extracción y contribuyan a preservar su hábitat. Dada su distribución limitada y sensibilidad ecológica, *L. walkeri* representa una prioridad para estrategias de conservación en zonas altoandinas.

4.9. Incremento de la Biodiversidad Biológica Post - Remediación

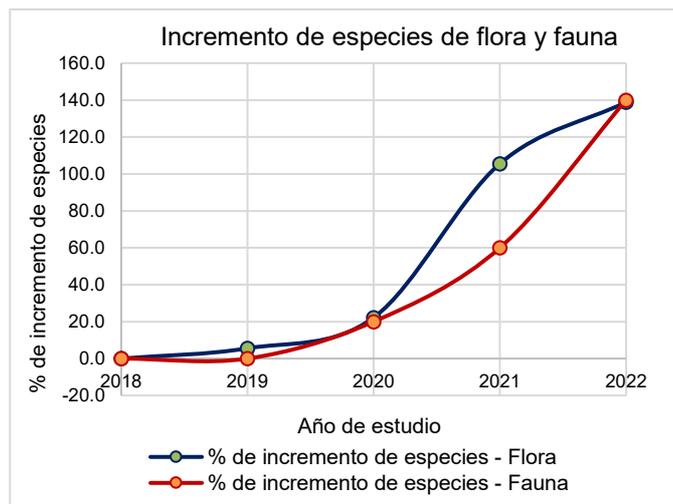
El análisis comparativo del período 2018–2022 evidencia un incremento sostenido en la riqueza de especies de flora y fauna en el área intervenida del PAM Excélsior, en estrecha relación con las acciones de remediación ambiental. En el año base (2018) se registraron 18 especies de flora y 10 de fauna. A partir de 2020, tras la culminación del 85.5% de la impermeabilización del depósito de desmontes, se registró un aumento significativo en la diversidad biológica.

Tabla 59. Abundancia de Especies IUCN Vs Especies de Flora y Fauna

Año	Flora			Fauna		
	Remediación del PAM Excélsior (abundancia de especies - IUCN)	N° especies	% de incremento de especies - Flora	Remediación del PAM Excélsior (abundancia de especies - IUCN)	N° especies	% de incremento de especies - Fauna
2018*	11	18	0.0	55	10	0.00
2019	13	19	5.6	77	10	0.00
2020	21	22	22.2	107	12	20.00
2021	13	37	105.6	292	16	60.00
2022	99	43	138.9	680	24	140.00

* El 2018 es considerado como año base

Figura 17. Comparación de especies de flora y fauna entre los años 2018 y 2022



En 2022 se registraron 43 especies de flora (incremento del 138.9%) y 24 de fauna (incremento del 140.0%), lo que evidencia una recuperación ecológica sostenida tras las acciones de remediación. Este incremento se vincula directamente con la mejora en la cobertura vegetal, que ha permitido una reconfiguración funcional del

hábitat, favoreciendo la disponibilidad de recursos tróficos y nichos ecológicos para la fauna local.

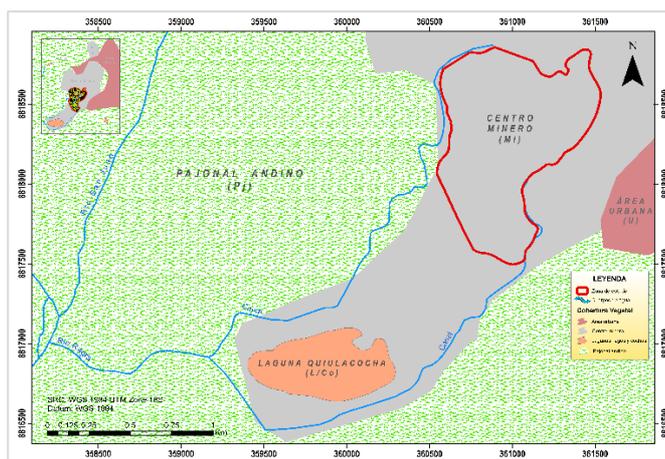
Se identificó una correlación temporal entre el aumento de especies vegetales y la subsecuente aparición de especies faunísticas, lo que confirma el rol clave de la vegetación en la recuperación estructural y funcional del ecosistema. Esta respuesta biológica valida la efectividad de las medidas de restauración aplicadas, posicionándolas como herramientas clave para fomentar la resiliencia ecológica.

Los resultados aportan evidencia cuantitativa robusta sobre la relación positiva entre la remediación del PAM Excélsior y el restablecimiento de la biodiversidad local, respaldando la necesidad de consolidar estrategias de conservación adaptativa en áreas previamente degradadas.

4.10. Cobertura vegetal

Según el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal (MINAM, 2015), el área del Pasivo Ambiental Minero (PAM) Excélsior fue clasificada como Centro Minero (Mi) (Figura 18), unidad caracterizada por la ausencia de cobertura vegetal, suelos desnudos, alteración severa del paisaje y uso antrópico intensivo asociado a actividades mineras, activas o abandonadas. Esta condición conlleva la pérdida funcional del hábitat y, por ende, una biodiversidad extremadamente reducida.

Figura 18. Mapa de Cobertura Vegetal Pre Remediación del PAM Excélsior



Sin embargo, el análisis de la vegetación circundante indica que el ecosistema potencial corresponde al Pajonal Andino (Pj), específicamente al subtipo césped de puna, conformado por especies herbáceas de porte bajo (<15 cm), predominantemente gramíneas y graminoides adaptadas a condiciones edafoclimáticas altoandinas. Estas comunidades adoptan morfologías en cojín o almohadilla (planas

o convexas), que desempeñan un rol crucial en la regulación térmica y la retención hídrica en suelos de montaña (Flores, 2005; PRODERN, 2012a, 2012b).

Los resultados evidencian una dinámica de sucesión ecológica positiva, atribuible a las acciones de remediación ambiental implementadas, lo cual sustenta la propuesta de reclasificación de la unidad “Centro Minero” hacia Pajonal Andino (Figura 19). Esta actualización cartográfica permitiría reconocer formalmente el proceso de recuperación ecológica y fortalecer los mecanismos de protección ambiental del área.

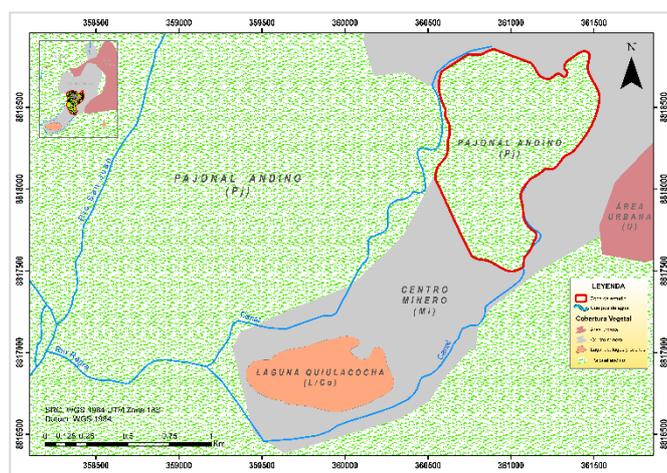


Figura 19. Mapa de Cobertura Vegetal Post Remediación del PAM Excelsior

Además, el inventario biológico desarrollado en la zona restaurada reportó un aumento en la diversidad florística y faunística, incluyendo especies categorizadas como amenazadas según el D.S. N° 004-2014-MINAGRI (fauna silvestre) y el D.S. N° 043-2006-AG (flora silvestre), así como especies listadas en CITES, la Lista Roja de la UICN y registros de endemismo nacional, consolidando la evidencia de éxito del proceso de restauración

En ese sentido, la actualización del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal por parte del Ministerio del Ambiente se torna necesaria para reflejar fielmente los cambios ecosistémicos ocurridos como resultado de las acciones de restauración implementadas, favoreciendo así una planificación territorial más precisa, resiliente y basada en evidencia.

4.11. Discusión de Resultados

Este estudio permitió evaluar la efectividad de la remediación del PAM Excelsior mediante indicadores ecológicos vinculados a la biodiversidad altoandina.

En el componente florístico, se registró el 0.33 % de la diversidad nacional (MINAM, 2019), incluyendo el 0.21 % de especies endémicas de la región Pasco (León et al., 2006), el 0.26 % en categoría de amenaza (D.S. N° 043-2006-AG) y el 0.006 % listadas en la Lista Roja de la UICN (IUCN, 2023).

En términos faunísticos, las aves representaron el 1.15 % del total nacional (CONCYTEC, 2016) y el 0.10 % de las especies globalmente evaluadas por la UICN. La mastofauna alcanzó el 1.22 % del inventario nacional (Pacheco et al., 2021), incluyendo el 0.19 % de especies amenazadas (D.S. N° 004-2014-MINAGRI), el 0.012 % del total global evaluado por la UICN (2023), y el 1.22 % de especies endémicas (Pacheco et al., 2021). Por su parte, la herpetofauna registró el 0.19 % de los anfibios (Aguilar et al., 2010) y el 0.21 % de los reptiles del país (CBIF, 2021), con una representatividad global inferior al 0.01 % de especies UICN, destacando la presencia de una especie de reptil endémica del centro del Perú.

El aumento sostenido de la riqueza específica entre 2021 y 2022 se vincula a la recuperación de hábitats dominados por *Festuca* y *Calamagrostis*, fundamentales para la recolonización de la fauna. Asimismo, la implementación de estructuras hidráulicas generó nuevos nichos ecológicos, favoreciendo principalmente a aves acuáticas. La persistencia de la herpetofauna y el incremento en los registros de mamíferos evidencian una progresiva estabilización de las funciones ecosistémicas.

El análisis estadístico mostró una correlación positiva entre el avance físico de la remediación y el incremento de riqueza faunística, reflejando una respuesta ecológica temprana. En contraste, la vegetación presentó una recuperación moderada, posiblemente limitada por impactos residuales asociados a la reconfiguración morfológica de las áreas intervenidas; sin embargo, se proyecta una respuesta florística más evidente en la etapa de postcierre.

Finalmente, la configuración ecológica actual, caracterizada por coberturas altoandinas nativas y comunidades faunísticas, sustenta técnicamente la reclasificación de la cobertura de uso de suelo de “Centro Minero (Mi)” a “Pajonal Andino (Pj)”. La presencia de especies endémicas, amenazadas y bioindicadoras confirma la efectividad de la restauración ecosistémica y posiciona al área como un refugio biológico estratégico en el paisaje altoandino. Este nuevo estado ecológico, con atributos que superan la línea base preintervención, demanda el establecimiento de normativas

restrictivas frente a cualquier reactivación extractiva futura, dada su relevancia para la conservación y estabilización de taxones vulnerables.

5. Conclusiones

El análisis realizado entre 2018 y 2022 confirma la efectividad de las acciones de remediación en el PAM Excélsior, evidenciado por el aumento sostenido en la diversidad y abundancia de especies. Estos resultados respaldan el uso de indicadores ecológicos como herramientas fiables para evaluar procesos de restauración en ecosistemas altoandinos.

La caracterización de la biodiversidad mostró una alta riqueza taxonómica y valores consistentes en los índices de Shannon, Simpson, Margalef, Jaccard y equidad. Se identificaron 67 especies vegetales (3 clases, 14 órdenes, 20 familias y 52 géneros), entre ellas 9 en categoría LC según la UICN, 2 especies amenazadas conforme al D.S. N.º 043-2006-AG y la endémica *Senecio collinus*. En avifauna se registraron 21 especies (6 órdenes, 12 familias, 17 géneros), sin especies endémicas, pero con diversidad medio-alta y estructura en transición. La mastofauna menor comprendió 7 especies (6 géneros, familia Cricetidae), con 5 listadas por la UICN, destacando la persistencia de *Thomasomys incanus* (Vulnerable, D.S. N.º 004-2014-MINAGRI). La herpetofauna presentó 2 especies: *Liolaemus walkeri* (endémica) y *Rhinella spinulosa*, ambas listadas por la UICN.

Estos resultados sustentan la reclasificación de la cobertura de “Centro Minero (Mi)” a “Pajonal Andino (Pj)”, lo que permitiría aplicar estrategias de conservación más adecuadas al nuevo estado ecológico del sitio.

La recurrencia de bioindicadores ecológicos como Poaceae y Asteraceae (flora), *Zonotrichia capensis* y *Sicalis uropigialis* (aves), *Liolaemus walkeri* y *Rhinella spinulosa* (herpetofauna), así como pequeños roedores andinos, refleja una mejora en la calidad del hábitat, progresiva estabilidad ecológica y remediación ecosistémica del área.

El enfoque metodológico, basado en la integración de revisión documental, monitoreo de campo y análisis geoespacial y estadístico, generó información técnica robusta y replicable, clave para diseñar estrategias eficaces de restauración ecológica en contextos de pasivos ambientales mineros y procesos de cierre de minas.

7. Referencias bibliográficas

- Aguilar, C., Gamarra, R., Ramirez, C., Suarez, J., Torres, C., & Siu Ting, K. (2012). *Anfibios andinos y estudios de impacto ambiental en concesiones mineras de Perú*.
- Aguilar, C., Ramírez, C., Rivera, D., Siu-Ting, K., Suarez, J., & Torres, C. (2010). *Anfibios andinos del Perú fuera de Áreas Naturales Protegidas: amenazas y estado de conservación*. Rev. peru. biol. 17(1): 005- 028.
- Bell, A., & Bachman, S. (2011). *Ephedra rupestris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2011:e.T201681A9163757. Obtenido de <https://www.iucnredlist.org/species/201681/9163757>
- Beraún, J., & Villanueva, H. (s.f.). *Clasificación de las regiones naturales del Perú*. Boletín 3, ISSN 2411-6890, Colegio de Geógrafos del Perú. Obtenido de <https://cgp.org.pe/publicaciones/boletin3/B3-09.pdf>
- Brack, A., & Mendiola, C. (2000). *Ecología en el Perú*. Editorial Bruño/PNUD, Lima, Perú.
- Brako, L., & Zarucchi, J. (1993). *Catálogo de plantas con Angiospermas y gimnospermas del Perú*. Monografías de botánica sistemática del Jardín Botánico de Missouri 45: 1-1286.
- Campo, A., & Duval, V. (2014). *Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural*. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina).
- CBIF. (2021). *Reptiles del Perú*. Obtenido de <https://www.gbif.org/es/dataset/04675231-2f76-48f8-bfed-78d71c1ec94c>
- CESEL. (2021). *Recuperación de los Servicios Ecosistémicos en la parte alta de la quebrada Ranra afectada por los pasivos ambientales mineros de la Ex Unidad Minera Azulmina 1 y 2 en el Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia de Daniel Alcides Carrión, Departamento de .* Volumen de Ingeniería, tomo VI.
- Clements, J., & Shany, N. (2001). *A field guide to the birds of Peru*. Ibis Publishing Company. Temecula, California.
- CONCYTEC. (2016). *Programa Nacional Transversal de Valorización de la Biodiversidad 2015 - 2021*. Programas de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Eisenberg, J., & Redford, K. (1999). *Mammals of the Neotropics: The central Neotropics: Ecuador, Bolivia, Brazil*. Chicago: University of Chicago Press. 609 p.
- Emmons, L., & Feer, F. (1997). *Neotropical rainforest mammals: a field guide*. Chicago: University of Chicago Press. 307 p.
- Flores, A. (2005). *Manual de pastos y forrajes altoandinos*. Lima, Perú: Unalm.
- Gardner, A., & Dagosto, M. (2007). *Tribe Metachirini; p. 35-39 In A.L. Gardner (ed.). Mammals of South America: marsupials, xenarthrans, shrews, and bats*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Gentry, A. (1982). *Patterns of neotropical plant diversity*. Evolutionary Biology 15: 1 -84 pp.

- Guzman, M., & León, M. (2018). *Evaluación del estado actual de Flora y Fauna en la Concesión Minera Conguime I Regentada por la Compañía Exploración S.A. Cantón Paquisha, Provincia de Zamora Chinchipe*. Cuenca, Ecuador.
- Hammer, O., Harper, D., & Ryan, P. (2001). *PAST - PAleontological STATistics*.
- INRENA. (1994). *Mapa Ecológico del Perú - Guía Explicativa*. Lima: Instituto Nacional de Recursos Naturales - Ministerio de Agricultura.
- León, B., Pitman, N., & Roque, G. (2006). *Introducción a las plantas endémicas del Perú*. Revista peruana de biología, ISSN 1727-9933, Vol. 13, N°. 2: 9-22.
- Lopez, L. (2012). *Trifolium amabile*. The IUCN Red List of Threatened Species 2012:e.T19892797A20154255. Obtenido de <https://www.iucnredlist.org/species/19892797/20154255>
- Magurrán, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press.
- Magurrán, A. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Menhinick, E. (1964). *A comparison of some species individuals diversity indices applied to samples of field insects*. Revista Ecología, 45 (4): 859 - 861.
- MINAM. (2015). *Memoria descriptiva del Mapa de Cobertura Vegetal del Perú*. Lima: Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- MINAM. (2019). *Sexto informe nacional sobre diversidad ecológica - La Diversidad en Cifras*. Biblioteca Nacional del Perú.
- ONERN. (1976). *Mapa ecológico del Perú*. Guía explicativa. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima 146 pp.
- Pacheco, V., Cadenillas, R., Salas, E., Tello, C., & Zeballos, H. (2009). *Diversidad y endemismo de los mamíferos del Perú*. Revista Peruana de Biología, 16(1), PP. 5- 32.
- Pacheco, V., Diaz, S., Graham, L., Flores, M., Calizaya, G., Ruelas, D., & Sanchez, P. (2021). *Lista actualizada de la diversidad de los mamíferos del Perú y una propuesta para su actualización*. Revista peruana de biología 28(4): e21019.
- Plenge, M. (2018). *List of the birds of Peru / Lista de las aves de Peru*. List of the birds of Peru / Lista de las aves de Peru.
- PRODERN, P. (2012 a). *Estudio Agostológico en el distrito de cabana (Lucanas, Ayacucho)*.
- PRODERN, P. (2012b). *Estudio agostológico en el Distrito Carmen Salcedo (Lucanas, Ayacucho)*.
- Reyes, P., & Torres, J. (2009). *Diversidad, distribución, riqueza y abundancia de condriofitos de aguas profundas a través de archipiélagos patagónico austral, cabo de hornos, Islas Diego Ramírez y el sector norte del Paso Drake*. Biología Marina y Oceanográfica.
- Sandro, F. (2014). *Evaluación de estructura horizontal y la diversidad florística en un bosque lluvioso del medio Magdalena, Hacienda San Juan del Carare, Cimitarra – Santander*. Ibagué, Tolima..
- Schulenberg, T., Stotz, D., Lane, D., Neill, J., & Parker III, T. (2007). *Birds of Peru*. Princeton Univ. Press. Princeton, New Jersey.
- SENAMHI. (2017). *Mapa de Zonas de Vida del Perú*. Lima, Perú.: Dirección de Hidrología.
- SENAMHI. (2024). *Zonas de Vida*. Obtenido de https://idesep.senamhi.gob.pe:443/geoserver/g_05_06/wms?
- SERFOR. (2018). *Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú*. Primera edición. Serfor (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre), Lima, Perú.
- Trinidad, H., & Montesinos, D. (2019). *Werneria caespitosa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T133255373A133256070. Obtenido de <https://www.iucnredlist.org/species/133255373/133256070>
- ULA. (2017). *Ecología de comunidades*. Universidad de los Andes. Mérida. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Obtenido de http://www.ula.ve/ciencias-forestales-ambientales/wp-content/uploads/sites/9/2016/11/Ecolog%C3%A9Da_Comunidades_2.pdf

9. Videos

AMSAC (2022), Proyectos AMSAC, <https://youtu.be/eWTBNuqkLCE?si=0tT1QxtLozOnIR-K>

AMSAC (2022), AMSAC al Día https://youtu.be/TlhpnK_Yunc?si=x-SOQELfTe0SGD-v

Referencias de Autor

Nombre del autor: Jazmin Yoselin Jara Carhuaricra
 Reseña profesional: Ingeniera Ambiental y especialista en Sistemas de Información Geográfica, con formación de posgrado en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente en Minería. Cuento con más de 3 años de experiencia en cierre de pasivos ambientales mineros liderados por AMSAC. Actualmente me desempeño como especialista SSOMA en la remediación de Pasivos Ambientales Mineros de Azulmina 1 y 2 (Pasco). Soy coordinadora general de Sembrando Vida Verde, organización internacional enfocada en educación ambiental; embajadora regional de Proyéctate en Pasco; y voluntaria en la Alianza del Pacífico – Jóvenes Tejiendo Agroecologías para la Paz (Colombia).
 Correo: jjarac@undac.edu.pe
 Telf: +51 916841798