

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Evaluación de la restauración ecológica en el DdV del
gasoducto PERU LNG desde el enfoque de Soluciones
basadas en la Naturaleza, KP 178+719 al KP 190+524. 2025**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Daniel QUICHCA PARIONA

ASESOR:

Dr. Eleazar CHUCHÓN ANGULO

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios, fuente infinita de sabiduría y fuerza. Sin su guía y amor constante, este logro no habría sido posible.

A mi familia, por su apoyo incondicional, que me motivaron a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Sin su confianza, este sueño no habría sido alcanzado.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por brindarme la oportunidad de formarme y crecer tanto académica como profesionalmente. Esta institución ha sido el espacio donde pude forjar mis conocimientos y desarrollar mis capacidades.

Mi sincero agradecimiento al Dr. Eleazar Chuchón Angulo, mi asesor, por su valiosa guía, apoyo constante y dedicación a lo largo de todo este proceso. Su experiencia y sus consejos fueron cruciales para llevar a cabo este trabajo de manera exitosa.

Finalmente, agradezco a mis amistades por su apoyo incondicional, comprensión y ánimo durante esta etapa tan importante de mi vida. Gracias por estar a mi lado, por darme fuerza y por acompañarme con su compañía, incluso en los momentos más difíciles.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXO.....	viii
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	x
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I	5
MARCO TEÓRICO	5
1.1 Antecedentes.....	5
1.1.1 Internacional.....	5
1.1.2 Nacional.....	6
1.1.3 Regional.....	7
1.2 Bases teóricas.....	8
1.2.1 Restauración ecológica.....	8
1.2.2 Soluciones basadas en la naturaleza (SbN)	11
1.2.3 Bofedales.....	19
1.2.4 Instalación de ductos en zona de bofedales de PERU LNG.....	21
CAPITULO II	24
METODOLOGÍA.....	24
2.1 Ubicación.....	24
2.1.1 Ubicación Geográfica.....	24
2.1.2 Ubicación de Zona estudio	25

2.2 Método procedimental	26
2.2.1 Tipo de investigación	26
2.2.2 Diseño de la investigación.....	26
2.2.3 Población.....	26
2.2.4 Muestra.....	26
2.2.5 Diseño de muestreo	26
2.3 Metodología y recolección de datos	28
2.3.1 Ubicación de los puntos de evaluación	28
2.3.2 Evaluación de campo.....	29
2.3.3 Identificación especies vegetales.....	29
2.3.4 Determinación de la cobertura vegetal.....	31
2.3.5 Verificación los criterios de Soluciones basadas en la naturaleza (SbN).....	31
2.4 Análisis de los datos	33
CAPITULO III.....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.1 Comparación de cobertura vegetal en zonas restauradas y no intervenidas	35
3.2 Identificación de especies vegetales indicadoras de éxitos o fracasos en la restauración.....	40
3.3 Verificación los criterios de Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) aplicables al contexto de restauración implementadas por PERU LNG.	43
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS	50
ANEXO	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Indicadores y su medición en el monitoreo de áreas en proceso de restauración.</i>	9
Tabla 2 <i>Ubicación de zona de estudio.</i>	25
Tabla 3 <i>Ubicación de los bofedales evaluados del DdV de PERU LNG.</i>	28
Tabla 4 <i>Resultado de autoevaluación para cada uno de los criterios.</i>	32
Tabla 5 <i>Distribución de los bofedales evaluados entre las progresivas 178+719 al 190+524 del DdV de PERU LNG.</i>	34
Tabla 6 <i>Prueba de normalidad del test de Shapiro-Wilk para los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.</i>	35
Tabla 7 <i>Prueba de Kruskal-Wallis para los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.</i>	35
Tabla 8 <i>Prueba de normalidad del test de Shapiro-Wilk en zona restaurada y no intervenida del bofedal del DdV de PERU LNG.</i>	37
Tabla 9 <i>Prueba de Mann-Whitney entre zona restaurada y no intervenida del DdV de PERU LNG.</i>	38
Tabla 10 <i>Registro de especies presentes y ausentes del bofedal B1.</i>	40
Tabla 11 <i>Registro de especies presentes y ausentes del bofedal B2.</i>	41
Tabla 12 <i>Registro de especies presentes y ausentes del bofedal B3.</i>	41
Tabla 13 <i>Resultado de autoevaluación de las SbN aplicables al contexto de restauración implementadas por PERU LNG.</i>	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Las Soluciones basadas en Naturaleza (SbN): acciones, enfoques y desafíos.</i>	12
Figura 2 <i>Cómo utilizar el estándar y cómo se vincula con la autoevaluación.</i>	19
Figura 3 <i>Bofedales alfombradas.</i>	20
Figura 4 <i>Cruze de bofedales: la separación de las capas de suelos para la instalación de ducto.</i>	21
Figura 5 <i>Instalación del ducto en zona de bofedales.</i>	22
Figura 6 <i>Medidas de mitigación implementadas durante la fase constructiva del gasoducto.</i>	23
Figura 7 <i>Mapa de ubicación: DdV del gasoducto PERU LNG, Kp 178+719 al Kp 190+524.</i>	24
Figura 8 <i>Zona de estudio: DdV del gasoducto PERU LNG, KP 178+719 al KP 190+524</i>	25
Figura 9 <i>Diagrama del diseño muestreo de recolección y análisis de datos de campo.</i>	27
Figura 10 <i>Ubicación de los bofedales evaluados en el DdV del gasoducto PERU LNG.</i>	28
Figura 11 <i>Ubicación de los tres puntos de muestreos de bofedales.</i>	29
Figura 12 <i>Tipos de cobertura del suelo de los bofedales B1, B2 y B3 del DdV.</i>	36
Figura 13 <i>Tipos de cobertura del suelo (promedio) entre la zona restaurada y no intervenida del DdV.</i>	38
Figura 14 <i>Reducción del ancho del DdV del gasoducto a su paso por un bofedal (B3 Kp 185+425).</i>	44
Figura 15 <i>Recomposición con colchones de vegetación en el bofedal (B2 Kp 179+840).</i>	45
Figura 16 <i>Cumplimiento porcentual por criterio del Estándar Global de SbN en el proyecto PERU LNG.</i>	47

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1: Ficha de evaluación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).....	54
Anexo 2: Especies de la flora registrados en el bofedal DdV de PERU LNG entre las progresivas 178+719 al 190+524.....	56
Anexo 3: Cobertura porcentual de las especies registradas en los bofedales del DdV de PERU LNG del KP 178+719 al KP 190+524.....	58
Anexo 4: Cobertura porcentual de las especies registradas del bofedal (B1) Kp 178+950 comprende dentro y fuera del DdV.....	60
Anexo 5: Cobertura porcentual de las especies registradas del bofedal (B2) Kp 179+840 comprende dentro y fuera del DdV.....	61
Anexo 6: Cobertura porcentual de las especies registradas del bofedal (B3) Kp 185+425 comprende dentro y fuera del DdV.....	62
Anexo 7: Seariation y Análisis de Similitud de Morisita-Horn para los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.....	63
Anexo 8: Índice de valor de importancia de los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.....	64
Anexo 9: Índice de valor de importancia de especies del bofedal (B1) Kp 178+950 comprende dentro y fuera del DdV.....	66
Anexo 10: Índice de valor de importancia de especies del bofedal (B2) Kp 179+840 comprende dentro y fuera del DdV.....	67
Anexo 11: Índice de valor de importancia de especies del bofedal (B3) Kp 185+425 comprende dentro y fuera del DdV.....	68
Anexo 12: Puntuación de la ficha de evaluación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).....	69
Anexo 13: Vista panorámica de los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG... ..	77
Anexo 14: Instalación de las sub parcelas de 0.25 m x 0.25 m, en el B1 Kp 178+950 del DdV de PERU LNG.....	78
Anexo 15: Instalación de un marco cuadrículado con 25 puntos, en el B3 Kp 185+425 del DdV de PERU LNG.....	79

Anexo 16: Evaluación y registro de especies en el bofedal B1 Kp 178+950 del DdV. .	79
Anexo 17: Registro fotográfico de las especies registradas en el bofedal altoandino del DdV de PERU LNG.	80

LISTA DE ACRÓNIMOS

DdV	: Derecho de vía
Kp	: Kilómetro progresivo
SbN	: Soluciones Basadas en la Naturaleza
UICN	: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
SERFOR	: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
MINAM	: Ministerio del Ambiente
m.s.n.m.	: metros sobre el nivel mar
BMAP	: Programa de Monitoreo y Evaluación de la Biodiversidad

RESUMEN

La restauración ecológica en bofedales representa un gran desafío crítico frente a las alteraciones por las construcciones de infraestructuras lineales. El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar el cumplimiento de los criterios de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en la restauración ecológica del derecho de vía del gasoducto PERU LNG, en ese sentido se evaluaron tres bofedales en el tramo comprendido entre la progresiva 178+719 al 190+524 durante la época seca del año 2025. Se hizo el monitoreo de 25 parcelas de un metro cuadrado “m²” en cada punto de muestreo se registró especies, se empleó la cobertura repetida. Se llevaron a cabo análisis estadísticos que no evidenciaron diferencias significativas en la cobertura vegetal entre la zona restaurada y la de referencia no intervenida del DdV ($p = 0.3865$; $p < 0.05$). La cobertura vegetal fue menor en la zona restaurada (78,21%) respecto a la no intervenida (94,86%) que evidenciaron una tendencia positiva en el proceso de restauración ecológica en los bofedales. Asimismo, la identificación de especies vegetales indicadoras mediante IVI evidenció la recuperación de *Plantago tubulosa*, *Werneria pygmaea* y *Lachemilla diplophylla* en los bofedales B1 y B2 lo que refleja una restauración ecológica positiva; mientras que, en el B3, el IVI de 0 % para *Plantago tubulosa* y *Werneria pygmaea* indicó una restauración aún en sucesión ecológica. La intervención de restauración en bofedales implementada por PERU LNG se adhiere a los Estándares Globales para Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) cumplimiento global del 79.1 % sólido, lo que garantiza un enfoque integral orientado a la sostenibilidad, la resiliencia ecosistémica y la reducción de impactos ambientales en bofedales altoandinos.

Palabras claves: Soluciones basadas en la naturaleza, restauración ecológica y bofedales.

ABSTRACT

Ecological restoration in peatlands presents a critical challenge in the face of disturbances caused by linear infrastructure construction. This study aims to evaluate compliance with Nature-based Solutions (NbS) criteria in the ecological restoration of the PERU LNG pipeline right-of-way. To this end, three peatlands were assessed along the section between chainages 178+719 and 190+524 during the dry season of 2025. Twenty-five one-square-meter “m²” plots were monitored, and species were recorded at each sampling point using repeated cover sampling. Statistical analyses revealed no significant differences in vegetation cover between the restored area and the undisturbed reference area of the DdV ($p = 0.3865$; $p < 0.05$). Vegetation cover was lower in the restored area (78.21%) compared to the unrestored area (94.86%), demonstrating a positive trend in the ecological restoration process of the peatlands. Furthermore, the identification of indicator plant species using the IVI (Index of Vegetation Value) revealed the recovery of *Plantago tubulosa*, *Werneria pygmaea*, and *Lachemilla diplophylla* in peatlands B1 and B2, reflecting positive ecological restoration. In contrast, in peatland B3, the IVI of 0% for *Plantago tubulosa* and *Werneria pygmaea* indicated that the restoration was still in the ecological succession phase. The peatland restoration intervention implemented by PERU LNG adheres to the Global Standards for Nature-based Solutions (NbS), achieving a 79.1% overall compliance rate. This ensures a comprehensive approach focused on sustainability, ecosystem resilience, and the reduction of environmental impacts in high-Andean peatlands.

Keywords: Nature-based solutions, ecological restoration and peatlands.

INTRODUCCIÓN

La alteración de los ecosistemas naturales causados por actividades humana, como la construcción de infraestructura lineal, ha surgido como una gran preocupación al daño ocasionado sobre la biodiversidad (Menéndez et al., 2025). Como respuesta a esta problemática, la construcción del gasoducto por PERU LNG, implemento un plan de biorrestauración orientado a la restauración y revegetación de las zonas intervenidas a lo largo del derecho de vía (DdV) (Linares et al., 2013). No obstante, para respaldar decisiones fundamentadas, resulta imperativo desarrollar nuevas herramientas basadas en el conocimiento científico producido en los campos de la ecología y la restauración ecológica. El seguimiento del proceso de regeneración de la cobertura vegetal constituye un componente clave para valorar la eficacia de las acciones de restauración, así como para respaldar la toma de decisiones relacionadas con la evaluación del impacto ambiental.

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) se presentan como un enfoque integrador que permite evaluar la eficacia de las intervenciones restaurativas (Anderson et al., 2022), proporcionando un enfoque adaptable que permite la conservación de los ecosistemas con las demandas del desarrollo social.

Existe una estrecha sinergia entre las SbN y la restauración ecológica, dado que ambas persiguen el objetivo común de restablecer la funcionalidad de los ecosistemas, asegurando la provisión continua de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano. En términos específicos, la restauración de ecosistemas se orienta principalmente a promover la recuperación funcional y estructural de sistemas ecológicos alterados o degradados, con el objetivo de aproximarse a un estado de referencia.

En el capítulo I, se presenta el marco teórico, el cual incluye los antecedentes y las bases teóricas que sustentan el desarrollo de la tesis. Este apartado permitió contextualizar el problema de investigación y establecer los fundamentos científicos sobre los cuales se apoyó el análisis realizado.

En el capítulo II, Se presenta la metodología empleada en el estudio, en la cual se identifica la ubicación geográfica del área de intervención, se describe el procedimiento metodológico aplicado y se detallan las técnicas de recolección de datos utilizadas. Posteriormente, se realiza el análisis correspondiente, considerando las características de la población y del área de estudio.

En el capítulo III, Se presentan los resultados y la discusión de la evaluación del proceso de restauración en bofedales ubicados en el DdV intervenido por PERU LNG. Asimismo, se incluyen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos, los cuales permitieron enriquecer y sustentar el desarrollo del trabajo de investigación.

Objetivo General

Evaluar el cumplimiento de los criterios de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en la restauración ecológica del derecho de vía del gasoducto PERU LNG.

Objetivos Específicos

- Comparar la cobertura vegetal en zonas restauradas y no intervenidas.
- Identificar especies vegetales indicadores de éxito o fracaso en la restauración.
- Verificar los criterios de Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) aplicables al contexto de restauración implementadas por PERU LNG.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

1.1.1 Internacional

Menéndez et al. (2025) en su investigación titulado “A comprehensive analysis of forest restoration practices across Europe: Ecological, economic, social and policy dimensions” en su estudio fue identificar los principales desafíos en la restauración de ecosistemas europeos y evaluar el papel del conocimiento científico y práctico en su implementación. La metodología consistió en una encuesta en línea con 398 respuestas de profesionales en 31 países. Los resultados muestran que más del 40% de los proyectos priorizaron el aumento de poblaciones de especies vegetales y su regeneración, destacando la relevancia de la cobertura vegetal como indicador. Se concluye que cada tipo de intervención debe integrar dimensiones ecológicas, sociales, económicas y políticas, apoyado en marcos de monitoreo holísticos para garantizar efectividad y replicabilidad.

Aguilar et al. (2025) en su investigación titulado “Challenges for policy and practice in meeting ambitious ecological restoration targets by 2030: A perspective from Colombia” analiza el avance y limitaciones de la restauración ecológica en Colombia, donde pese a contar con marcos legales y numerosas iniciativas desde 1963, persisten retos en el monitoreo y efectividad. A partir de una revisión sistemática y encuestas, se identificaron 675 proyectos, destacando que solo el 24 % incorporó monitoreo y apenas el 2 % fue eficaz. Se concluye que la falta de seguimiento y coordinación institucional limita el cumplimiento de los objetivos restauración ecológicos, señalando la necesidad de mejorar mecanismos de evaluación y financiamiento sostenido.

Anderson et al. (2022) en su investigación “Green, hybrid, or grey disaster risk reduction measures: What shapes public preferences for nature-based solutions?” en su estudio aborda la incertidumbre sobre las preferencias sociales respecto a las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) frente a infraestructuras grises o híbridas en la reducción de riesgos. Su objetivo fue comprender cómo influyen las percepciones públicas en la aceptación de SbN. Se aplicaron encuestas y grupos focales en tres sitios europeos (Catterline, Escocia), evaluando beneficios percibidos, eficacia y riesgos. Los resultados revelaron que, aunque se valoran los cobeneficios ecológicos, prevalece la preocupación por la reducción del riesgo, favoreciendo soluciones híbridas. Se concluye que mejorar la

comunicación, el aprendizaje experiencial y la participación ciudadana es clave para aumentar la confianza y adopción de SbN.

1.1.2 Nacional

Gonzales & Moscoso (2023) en su tesis titulado “Diseño de tareas y acciones para el proceso de conservación y planificación de la restauración ecológica de los bofedales del centro poblado rural Chalhuanca - Yanque, Arequipa 2021 - 2022” en su estudio evaluó el estado ecológico del bofedal de Chalhuanca, en Caylloma, identificando su deterioro por sobrepastoreo, falta de descanso y presión climática. El objetivo fue proponer estrategias para aprovechar sosteniblemente los servicios ecosistémicos y conservar el ecosistema. Utilizando una guía de evaluación de bofedales, se determinó que cuatro de cinco transectos presentan condición regular. Se concluyó que es necesario implementar tres líneas estratégicas: manejo del forraje, conservación del agua y fortalecimiento del vínculo entre la población y el ecosistema.

Álvarez & Colonio (2023) en su tesis “Estado actual de los bosques andinos como estrategia de restauración de áreas degradadas en la microcuenca del Río Chia-Ingenio, 2021-2023” nos menciona en su investigación en la microcuenca del río Chía evaluó el estado de los bosques andinos con el objetivo de proponer estrategias de restauración en zonas degradadas. Mediante inventarios florísticos y análisis de imágenes satelitales (1984–2020), se identificó una cobertura vegetal relativamente estable, con *Alnus acuminata* y *Polylepis racemosa* como especies dominantes. Se detectó una pérdida de 440.08 ha por expansión urbana. Se concluyó que la reforestación y la sensibilización comunitaria son esenciales para restaurar la cobertura y mitigar la degradación ecológica.

García, M. (2021) en su tesis “Evaluación del estado de restauración en áreas degradadas por minería aurífera de seis años, distrito de Huepetuhe, Madre de Dios-Perú” nos menciona en su estudio se desarrolló en áreas degradadas por minería aurífera en Caychihue, Huepetuhe (Madre de Dios), con el objetivo de evaluar el estado de regeneración natural tras seis años de abandono. Se analizaron la composición florística, recuperación edáfica y carbono almacenado, mediante muestreo en 30 parcelas (0,75 ha). Se identificaron 2305 individuos/ha, 77 especies y 29 familias, destacando Fabaceae y Asteraceae. Los suelos presentaron bajos niveles de nutrientes, pH ácido y cadmio por encima del límite permitido. Se estimaron 91,6 tC almacenadas en 16 ha. Se concluye que, pese al impacto minero, existe potencial para la restauración ecológica natural.

1.1.3 Regional

Sahley et al. (2017) en su investigación titulado “Quantifying impact reduction due to avoidance, minimization and restoration for a natural gas pipeline in the Peruvian Andes” evaluó la efectividad de la jerarquía de mitigación en un gasoducto de 408 km en los Andes peruanos, enfocándose en evitar, minimizar, restaurar y reducir impactos sobre la biodiversidad. A través de monitoreo multiescalar y análisis en 14 unidades de paisaje ecológico, se cuantificaron reducciones significativas del impacto en hectáreas de calidad, destacando la restauración como el principal factor de mitigación. Se concluye que integrar monitoreo científico y planificación adaptativa mejora la gestión ambiental y fortalece la conservación de la biodiversidad en proyectos de infraestructura.

Maldonado et al. (2024) en su investigación titulado “Plant communities of high-Andean bofedal wetlands across a trans-Andean transect in southern Peru” en su estudio abordó la diversidad y caracterización de comunidades vegetales en bofedales altoandinos de Ayacucho y Huancavelica, áreas influenciadas por un gasoducto. Se evaluaron 127 parcelas entre 2017 y 2019, aplicando análisis de diversidad y métodos estadísticos multivariados. Se identificaron 13 comunidades, siete de ellas estadísticamente definidas, destacando la dominancia de *Distichia muscoides*. Los resultados revelan una alta heterogeneidad florística y estructural, lo que subraya la necesidad de incorporar esta variabilidad en estrategias de manejo, restauración y conservación de bofedales en los Andes peruanos.

Palomino et al. (2025) en su investigación titulado “Unveiling vegetation recovery dynamics in Andean grasslands along a trans-Andean natural gas pipeline” en estudio nos menciona el desarrolló un nuevo índice para evaluar la recuperación de la vegetación en pastizales andinos, integrando abundancia de especies, variabilidad de datos y una media de control dinámica. Se aplicó en un gasoducto de 276 km entre Ayacucho y Huancavelica, usando datos de monitoreo recolectados entre 2010 y 2019. A través de transectos emparejados y análisis estadísticos, se identificaron trayectorias positivas de restauración en la mayoría de las unidades ecológicas. El índice demostró ser una herramienta eficaz para monitorear procesos de restauración, pese a requerir datos a largo plazo.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Restauración ecológica

La restauración ecológica se entiende como el conjunto de acciones destinadas a favorecer la recuperación de ecosistemas que han sufrido perturbación humana, daño o destrucción. Su objetivo principal es restablecer una comunidad de especies característica del ecosistema de referencia, de manera que se recupere una estructura comunitaria adecuada. En este marco, la meta es encaminar al ecosistema hacia una trayectoria de recuperación que restituya su composición, estructura y procesos ecológicos dentro de un rango históricamente natural de variabilidad. No obstante, se reconoce que incluso los ecosistemas con alteraciones mínimas presentan variaciones espaciales y temporales, por lo que no existe un único criterio absoluto para evaluar su estado (Holl, 2023).

La restauración de ecosistemas altoandinos es el proceso ecológico, planificado y adaptativo orientado a recuperar la estructura, composición, funcionalidad y resiliencia de los ecosistemas ubicados por encima de los 3 000 m.s.n.m., como pajonales, bofedales, matorrales y bosques montanos (Mosquera et al., 2022).

1.2.1.1 Tipos de restauración

- **Restauración pasiva:** Este enfoque de restauración se fundamenta en la regeneración natural de la biota, sin necesidad de la reintroducción directa de especies y sin la actividad humana (Holl, 2023).
- **Restauración activa:** Este enfoque de restauración caracterizado por una intervención humana intensiva orientada a acelerar la tasa de recuperación, en el cual la llegada y establecimiento de la biota dependen en gran medida, o incluso de manera total, de las acciones antrópicas (Holl, 2023).
- **Revegetación:** Este enfoque se refiere a la implantación de vegetación en un área determinada mediante distintos métodos, que pueden involucrar especies nativas o locales, aunque no necesariamente (Holl, 2023).
- **Mitigación:** Una serie de acciones orientadas a minimizar el daño ambiental derivado de un proyecto de desarrollo o de una amenaza sobre una especie de interés. Estas medidas incluyen la evitación de alternativas particularmente dañinas, la modificación del diseño del proyecto para reducir al máximo los impactos negativos y, finalmente, la compensación de aquellos impactos inevitables mediante mecanismos de mitigación compensatoria (Holl, 2023).

1.2.1.2 Evaluación de un proceso de restauración

Una iniciativa de restauración ecológica correctamente diseñada debe orientarse hacia metas claras que representen los atributos clave del ecosistema de referencia. No obstante, en cada etapa del proceso de restauración es necesario considerar distintos indicadores y variables de medición que permitan evaluar si las acciones emprendidas están favoreciendo efectivamente la recuperación y garantizando su permanencia en el tiempo. En este sentido, la elección de los indicadores debe priorizarse en función de la naturaleza del ecosistema y de los objetivos específicos que guían la intervención (SERFOR, 2018). Los indicadores recomendados para el monitoreo de restauración se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Indicadores y su medición en el monitoreo de áreas en proceso de restauración.

Atributo/Indicador	Frecuencia de medición	
	Fase de Restauración (+ 4 años)	Ecosistema de Referencia
Vegetación		
Foto aérea/imagen satelital/drones	Cada 5 años	Al inicio y cada 3 años
Cobertura de bosque/ herbáceas/gramíneas	Cada 5 años	Al inicio y cada 3 años
Sobrevivencia, diámetro y altura de los ejemplares	Cada 5 años	Al inicio y cada 5 años
Densidad y diversidad de la regeneración natural	Cada 5 años	Al inicio y cada 5 años
Carbono encima del suelo (CES)	Cada 5 años	Al inicio y cada 3 años
Conectividad a escala de paisaje	Cada 5 años	..

Fuente: Modificado de tabla de los indicadores recomendados para las iniciativas de restauración (SERFOR, 2018).

Los indicadores de evaluación y monitoreo de procesos de restauración.

a) Fase de restauración (4-5 años a más): En esta etapa es fundamental priorizar indicadores que permitan evaluar de manera precisa el grado de éxito alcanzado en la restauración de un área específica. Estos resultados sirven como base para sustentar decisiones respecto a la eventual finalización del monitoreo de la iniciativa. Sin embargo, la finalización del seguimiento no implica prescindir de acciones de mantenimiento y protección, necesarias para resguardar las zonas restauradas frente a posibles perturbaciones de origen antrópico. En cuanto a la evaluación de los parámetros definidos para esta fase, su periodicidad puede establecerse de forma interanual o cada tres años, en función de las necesidades y recursos disponibles (SERFOR, 2018).

Los indicadores para esta fase se presentan a continuación:

- **Características fisonómicas de la vegetación en áreas restauradas:** inventario florístico que considere tanto las especies introducidas como las regeneradas de forma natural, junto con otras formas de vida vegetal presentes (SERFOR, 2018).
- **Dimensión socioeconómica:** grado de apropiación comunitaria de la iniciativa y formas de uso dadas a las áreas restauradas. (ej. forrajes de alimentación tanto de la fauna silvestre y domésticos) (SERFOR, 2018).

1.2.1.3 Monitoreo del proceso de restauración

La verificación de la efectividad de una estrategia de restauración y del restablecimiento de los procesos ecológicos, la funcionalidad y los servicios ecosistémicos en áreas, ecosistemas intervenidos solo puede lograrse mediante un monitoreo continuo en el tiempo. Para ello, resulta esencial diseñar un procedimiento de muestreo acorde con el tamaño y los objetivos de la iniciativa. En una primera fase, este seguimiento permite evaluar la supervivencia y el desarrollo de las especies introducidas; sin embargo, el verdadero indicador de éxito es la capacidad de las áreas restauradas para recuperar progresivamente la estructura, la composición de flora y fauna silvestres, y la funcionalidad propia del ecosistema de referencia. Cabe resaltar que el ritmo de esta recuperación varía en función de las particularidades ecológicas de cada ecosistema (Ej. pajonales, bofedales altoandinos, entre otros) (SERFOR, 2018).

- **Uso de imágenes satelitales o fotografías:** Una de las formas más sencillas y efectivas de evaluar el avance de las áreas en proceso de restauración consiste en el análisis comparativo de imágenes satelitales o fotografías tomadas antes y

después de la intervención, aplicadas en intervalos regulares (ya sea de manera estacional o anual) y complementadas con un seguimiento posterior que permita verificar la evolución del ecosistema (SERFOR, 2018).

- **Ubicación de parcelas de evaluación:** La ubicación de las parcelas de evaluación debe realizarse en áreas de restauración que presenten la mayor homogeneidad posible en cuanto a la edad, el método de restauración aplicado, el tipo de vegetación, la proximidad a remanentes de bosque u otros ecosistemas vegetales y las propiedades del suelo. Una vez establecidas, estas parcelas deben distribuirse de manera sistemática para cubrir de forma representativa toda el área en proceso de restauración. Asimismo, es indispensable registrar sus coordenadas mediante un GPS, a fin de asegurar su ubicación precisa tanto en el campo (SERFOR, 2018).

1.2.2 Soluciones basadas en la naturaleza (SbN)

El término de “Soluciones basadas en la naturaleza fue promovido por primera vez por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) en 2009” (UICN, 2020, p.3). La UICN (2020) define SbN como “Acciones dirigidas a proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible ecosistemas naturales o modificados, que hacen frente a retos de la sociedad de forma efectiva y adaptable, proporcionando simultáneamente bienestar humano y beneficios de la biodiversidad” (p. 1)

1.2.2.1 Enfoques de SbN

Las SbN son un concepto paraguas (Suárez & Podvin, 2022) que puede integrarse dentro del enfoque de la jerarquía de mitigación, entendido como un marco de toma de decisiones que establece una secuencia de acciones que inicia con la evitación de impactos, continúa con la minimización y mitigación de impactos inevitables, incorpora la restauración in situ y, finalmente, cuando es necesario y viable, contempla medidas de compensación de la biodiversidad. Una aplicación adecuada de esta jerarquía permite reducir significativamente los efectos adversos de los proyectos de desarrollo sobre la diversidad biológica, al mismo tiempo que genera beneficios adicionales para su conservación (UICN, 2020). La UICN nos menciona “Una aplicación inadecuada, especialmente si se efectúa a partir de lagunas de conocimiento fundamentales, pero no resueltas, y de una política corporativa, financiera y regulatoria deficiente, puede socavar

los enfoques establecidos para la gestión del riesgo de la diversidad biológica” (UICN, 2020, p.7).

Figura 1

Las Soluciones basadas en Naturaleza (SbN): acciones, enfoques y desafíos.



Fuente: (Cohen-Shacham, 2019 en Suárez & Podvin, 2022)

1.2.2.2 Estándar Global de la UICN para SbN

El Estándar Global de soluciones basadas en la naturaleza de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) tiene el objetivo de garantizar la credibilidad de la aplicación de este enfoque, así como el seguimiento y la evaluación (UICN, 2020). El Estándar Global de la UICN para Soluciones basadas en la Naturaleza propone ocho criterios y veintiocho indicadores fundamentales que orientan la evaluación de intervenciones que busquen generar beneficios sociales, económicos y ambientales de forma integrada (UICN, 2020):

Criterio 1. Abordar retos sociales claramente definidos.

La solución debe responder a uno o más desafíos sociales prioritarios pérdida de biodiversidad, describiendo claramente cómo la intervención contribuye a resolverlos (UICN, 2020).

- **C-1.1 Identifica y prioriza claramente los desafíos sociales:** Las Soluciones basadas en la Naturaleza deben responder a desafíos sociales claramente definidos, con impactos significativos y verificables en la sociedad. La priorización de estos retos requiere procesos de consulta inclusivos y transparentes, capaces de integrar perspectivas diversas entre actores externos y comunidades locales, asegurando legitimidad y eficacia (UICN, 2020).
- **C-1.2 Documenta y contextualiza adecuadamente dichos desafíos:** La claridad en la identificación y justificación de los desafíos abordados por una SbN, junto con su documentación, resulta esencial para la rendición de cuentas y la optimización estratégica. Además, deben registrarse los beneficios sociales adicionales y los retos que responden (UICN, 2020).
- **C-1.3 Evalúa los beneficios esperados en bienestar humano por la restauración:** Las Soluciones basadas en la Naturaleza deben generar beneficios tangibles y relevantes para el bienestar humano. Es esencial definir objetivos específicos, medibles, alcanzables, realistas y temporales que fortalezcan la rendición de cuentas y aporten insumos estratégicos para una gestión adaptativa eficaz (UICN, 2020).

Criterio 2. Diseñarse a escala de sistemas.

La intervención debe planificarse considerando el ecosistema en su conjunto, teniendo en cuenta procesos ecológicos, límites geográficos, dinámicas sociales y económicas, para asegurar que la solución sea integral y no aislada (UICN, 2020).

- **C-2.1 Reconoce interacciones entre sociedad, economía y ecosistemas:** El éxito de una Solución basada en la Naturaleza depende no solo de la calidad técnica, sino de su capacidad para integrar las interacciones entre sociedad, economía y ecosistema, mediante un enfoque sistémico que las incorpore en el diseño y la toma de decisiones (UICN, 2020).
- **C-2.2 Integra con otras intervenciones con monitoreo ambiental:** Las Soluciones basadas en la Naturaleza buscan integrarse y complementarse con

otras intervenciones como ingeniería, tecnologías de información, instrumentos financieros, etc. Su eficacia depende de identificar sinergias intersectoriales, adaptadas a las particularidades y al contexto específico, garantizando coherencia, sostenibilidad y resultados integrales en cada situación (UICN, 2020).

- **C-2.3 Evalúa riesgos ecológicos y sociales más allá del sitio directo de intervención:** Las Soluciones basadas en la Naturaleza pueden generar impactos positivos o negativos y verse influenciadas por actores e intereses externos. Para asegurar sostenibilidad, es esencial comprender estas interacciones, incorporarlas en la toma de decisiones y diseñar mecanismos adecuados de gestión de riesgos (UICN, 2020).

Criterio 3. Generar beneficios netos para la biodiversidad y el bienestar humano.

Se debe evidenciar que la acción implementada produce mejoras medibles en la biodiversidad, al mismo tiempo que aporta beneficios directos o indirectos a las comunidades humanas (UICN, 2020).

- **C-3.1 Basada en diagnóstico ecológico y causas de degradación:** El diseño de una Solución basada en la Naturaleza requiere una evaluación integral del estado actual de los ecosistemas, identificando condiciones ecológicas, factores de degradación y oportunidades de mejora, integrando tanto saberes locales como evidencia científica para garantizar pertinencia y sostenibilidad (UICN, 2020).
- **C3.2 Establece resultados medibles en biodiversidad:** Para orientar el diseño, monitoreo y evaluación de una SbN, deben definirse objetivos de mejora en parámetros clave de biodiversidad, como superficie restaurada o recuperación de especies indicadoras (UICN, 2020).
- **C-3.3 Evalúa posibles impactos adversos no deseados sobre el ecosistema:** Los ecosistemas presentan alta complejidad e interdependencia, generando incertidumbre frente a intervenciones o cambios externos. Por ello, las Soluciones basadas en la Naturaleza deben diseñarse con vigilancia continua, permitiendo anticipar y mitigar riesgos inesperados que comprometan la estabilidad y sostenibilidad ecológica (UICN, 2020).
- **C3.4 Fomenta la conectividad ecológica en el derecho de vía:** Las Soluciones basadas en la Naturaleza ofrecen oportunidades únicas para fortalecer la conservación y gestión ecosistémica, complementando otras intervenciones. Su

diseño debe favorecer la conectividad ecológica y, cuando corresponda, reintroducir componentes perdidos mediante la selección estratégica de especies nativas en procesos de restauración (UICN, 2020).

Criterio 4. Ser económicamente viable.

La solución debe demostrar sostenibilidad financiera, contemplando costos y beneficios a corto, mediano y largo plazo, así como mecanismos para garantizar su continuidad en el tiempo (UICN, 2020).

- **C-4.1 Identifica beneficios y costos de restauración, incluyendo actores responsables:** La identificación y registro de beneficios directos e indirectos, financieros y no financieros de las SbN resulta esencial para evaluar su viabilidad económica, diferenciando beneficiarios y responsables de los costos asociados (UICN, 2020).
- **C-4.2 Incluye análisis costo-efectividad frente a otras alternativas:** Una inversión inicial sin considerar la sostenibilidad económica puede comprometer la viabilidad de una SbN. El análisis de costo-efectividad permite evaluar costos y beneficios a largo plazo, explicitando y verificando hipótesis fundamentales para la intervención (UICN, 2020).
- **C-4.3 Considera externalidades ambientales o sociales relevantes:** Un atributo esencial de las SbN es su capacidad para abordar al menos un desafío social de manera eficiente y económicamente viable. Su costo-efectividad debe compararse con alternativas viables, sean otras SbN, combinaciones híbridas o enfoques convencionales como infraestructuras construidas (UICN, 2020).
- **C-4.4 Evalúa y plantea fuentes de financiamiento viables o sostenibles:** Las SbN, al generar beneficios múltiples para diversos actores, pueden enfrentar limitaciones de financiamiento que comprometen su sostenibilidad. Para garantizar viabilidad, se requiere un paquete financiero mixto (público, privado y filantrópico) que distribuya equitativamente riesgos y beneficios en el tiempo (UICN, 2020).

Criterio 5. Gobernanza inclusiva, justa y transparente.

Es necesario que los procesos de planificación, implementación y monitoreo involucren activamente a las partes interesadas, asegurando procesos participativos, equitativos y con acceso a la información (UICN, 2020).

- **C-5.1 Se establecen mecanismos de retroalimentación y resolución de conflictos:** Los mecanismos de retroalimentación y resolución de reclamaciones, sean formales o informales, deben regirse por normas claras, garantizar legitimidad, transparencia y accesibilidad, y sustentarse en enfoques de derechos, participación y diálogo para asegurar equidad y previsibilidad (UICN, 2020).
- **C-5.2 Respeta principios de igualdad de género y CLPI (consentimiento libre, previo e informado):** La eficacia de la gobernanza en SbN exige que los actores dispongan de información oportuna y que sus aportes sean considerados rigurosamente. Es indispensable incluir a grupos tradicionalmente excluidos, respetando su dignidad y fomentando su participación. En territorios indígenas, debe garantizarse el consentimiento informado previo mediante protocolos establecidos (UICN, 2020).
- **C-5.3 Involucra a actores clave (comunidades, autoridades locales, técnicos):** La identificación y análisis de actores permite reconocer a quienes resultan impactados por una SbN, positiva o negativamente. La intervención debe ofrecer oportunidades de participación en diseño y ejecución, promover derechos e intereses y prevenir procesos de marginación adicional (UICN, 2020).
- **C-5.4 Toma de decisiones inclusiva y documentada:** La documentación transparente y accesible de los procesos decisorios en SbN fortalece la rendición de cuentas y previene controversias. Es crucial registrar actores y roles, especialmente en contextos de desigualdad, promoviendo participación significativa y adaptada a garantizar legitimidad y equidad (UICN, 2020).
- **C-5.5 Considera jurisdicciones múltiples si aplica:** Los ecosistemas trascienden límites políticos y administrativos, por lo que la cooperación transfronteriza entre autoridades resulta esencial para planificar y aplicar SbN coherentes, fortaleciendo la solidez del enfoque y sus resultados sostenibles (UICN, 2020).

Criterio 6. Equilibrar objetivos principales con múltiples beneficios.

La solución debe priorizar un objetivo central sin descuidar otros beneficios colaterales, y evitando impactos negativos sobre el entorno o la sociedad (UICN, 2020).

- **C-6.1 Identifica y gestiona compensaciones entre beneficios sociales y ecológicos:** Las compensaciones en SbN implican costos y beneficios que varían en el tiempo. Las salvaguardias deben garantizar que no afecten a los más

vulnerables ni limiten su acceso. Es esencial difundir, comprender y revisar periódicamente estos arreglos entre los actores involucrados para asegurar equidad y sostenibilidad (UICN, 2020).

- **C-6.2 Reconoce derechos sobre la tierra y acceso a recursos de las partes interesadas:** El respeto y defensa de derechos legales y costumbres de acceso y gestión de recursos es esencial en SbN. Deben evaluarse responsabilidades y usos de actores, garantizando consentimiento informado previo en comunidades indígenas mediante herramientas y análisis adecuados (UICN, 2020).
- **C-6.3 Revisa periódicamente salvaguardas implementadas:** Cuando el riesgo es inevitable, las SbN deben incorporar salvaguardias revisadas periódicamente para prevenir impactos negativos y desigualdades en compensaciones. Es fundamental definir responsables de costos y beneficios, estableciendo medidas específicas para biodiversidad y población, como áreas protegidas, restricciones temporales, mecanismos de reclamación, consultas obligatorias y disposiciones legales (UICN, 2020).

Criterio 7. Gestionarse adaptativamente, basada en evidencia.

La intervención debe ser flexible, contar con un sistema de monitoreo y evaluación que permita aprender de la práctica y ajustar estrategias conforme se obtengan nuevos resultados o condiciones cambiantes (UICN, 2020).

- **C-7.1 Cuenta con una estrategia clara de restauración y seguimiento:** Una estrategia básica de SbN requiere justificar su aplicación, definir resultados esperados y medidas, considerando condiciones económicas, sociales y ecológicas, explicitando hipótesis sobre posibles cambios y su orientación futura (UICN, 2020).
- **C-7.2 Desarrolla e implementa un plan de monitoreo en el tiempo:** El monitoreo y evaluación continua son esenciales para verificar si una SbN cumple objetivos sociales y anticipa riesgos. El plan debe integrar sinergias con otras intervenciones, y las desviaciones sostenidas activar mecanismos de gestión adaptativa para ajustar la estrategia (UICN, 2020).
- **C-7.3 Aplica aprendizajes al diseño y mejora continua de la intervención:** La gestión de SbN debe fundamentarse en evidencia y aprendizaje iterativo, generando retroalimentación continua mediante indicadores. Este proceso permite

ajustar intervenciones y, de institucionalizarse, asegura que el aprendizaje y adaptación persistan incluso tras concluir la implementación de la SbN (UICN, 2020).

Criterio 8. Contexto institucional y normativo apropiado.

La solución debe implementarse alineada con marcos legales, políticas públicas y planes de desarrollo vigentes, garantizando su legitimidad y sostenibilidad en el tiempo (UICN, 2020).

- **C-8.1 Comparte resultados y aprendizajes con actores relevantes:** El cambio transformador de las SbN puede expresarse mediante integración en políticas, expansión territorial o replicación. Por ello, el diseño debe documentar aprendizajes y compartirlos con decisores, inversores y actores públicos y privados interesados en replicar procesos exitosos (UICN, 2020).
- **C-8.2 Contribuye al fortalecimiento de políticas locales, regionales o nacionales:** La implementación de SbN enfrenta marcos normativos y regulatorios que pueden ser incoherentes, afectando su eficacia e incluso funciones ecosistémicas. Ante ello, resulta esencial reconocer dichas limitaciones y colaborar con autoridades y actores clave para visibilizar obstáculos, proponiendo soluciones viables que fortalezcan la intervención (UICN, 2020).
- **C-8.3 Aporta al cumplimiento de metas globales (cumplimientos con las partes interesadas en el área de influencia):** Las SbN fortalecen objetivos nacionales económicos, sociales y de conservación, además de apoyar compromisos internacionales en cambio climático, derechos humanos y biodiversidad. Documentar y difundir estos vínculos refuerza su perfil, fomenta respaldo político y social, y asegura sostenibilidad prolongada de las intervenciones (UICN, 2020).

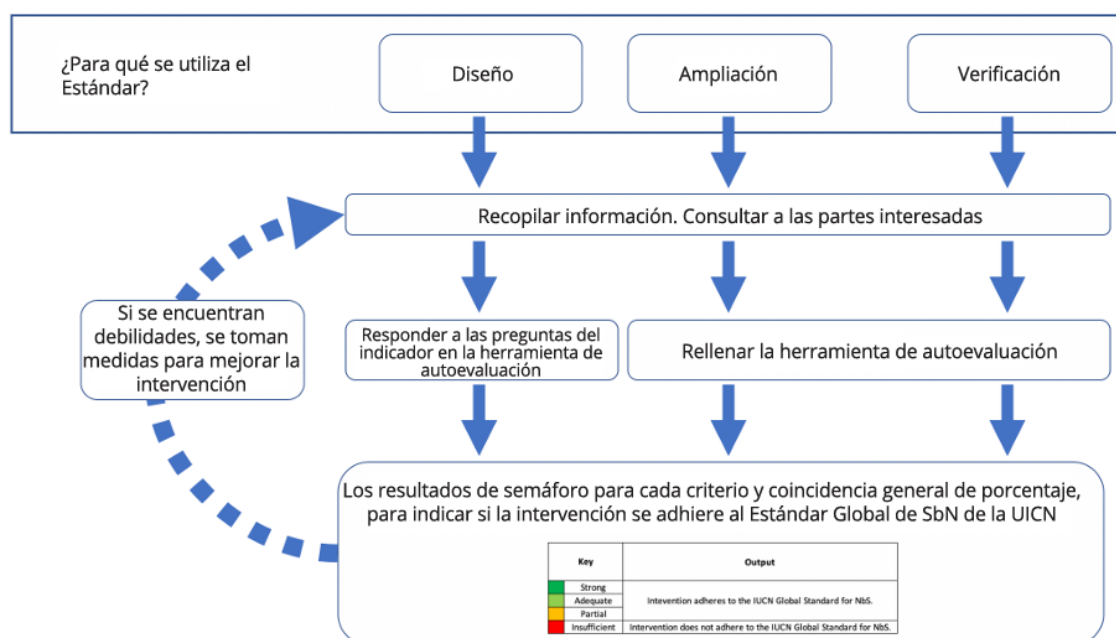
1.2.2.3 Cómo utilizar el estándar

Para la fase inicial de despliegue del Estándar para SbN, se ha desarrollado una herramienta de autoevaluación para permitir a los usuarios del Estándar calcular el porcentaje de su intervención con respecto a los ocho criterios y determinar si su intervención se adhiere al Estándar Global para SbN de la UICN (UICN, 2020).

Si bien el Estándar evalúa si el diseño de una intervención cumple los requisitos de calificación de una SbN, su ejecución requerirá otros estándares, herramientas y enfoques operativos.

Figura 2

Cómo utilizar el estándar y cómo se vincula con la autoevaluación.



Fuente: (UICN, 2020).

1.2.3 Bofedales

El término bofedal se emplea en el Perú para denominar un tipo específico de humedal característico de las zonas altoandinas (INAIGEM, 2023), ubicados generalmente por encima de 3500 m.s.n.m., estas zonas se distinguen por presentar amplias superficies húmedas, parcial o totalmente inundadas, debido a la acumulación de materia orgánica en el suelo que limita su drenaje y permite la retención de humedad de manera constante (Ministerio del Ambiente, 2015).

1.2.3.1 Importancia de los bofedales

Los bofedales son ecosistemas de gran importancia que requieren ser gestionados bajo un enfoque de uso sostenible, dado que constituyen pasturas fundamentales para el ganado, particularmente durante la estación seca (Ministerio del Ambiente, 2015), siendo particularmente para los camélidos sudamericanos (Mendoza et al., 2024).

1.2.3.2 Características de los bofedales

El hidroperiodo corresponde al intervalo durante el cual el suelo del bofedal permanece saturado de agua, es una de las principales características de los bofedales permanente dependen del aporte constante de aguas subterráneas que les permite mantener la saturación del suelo durante todo el año, mientras que los bofedales estacionales se sostienen exclusivamente por el régimen de precipitaciones, mostrando variaciones en su humedad a lo largo del ciclo anual (INAIGEM, 2023).

Una de las características bofedales es que son suelos orgánicos profundos, frecuentemente conformados por depósitos de turba, los cuales contribuyen a su alta capacidad de retención hídrica y a su relevancia ecológica en la regulación del ciclo del agua (MINAN, 2019).

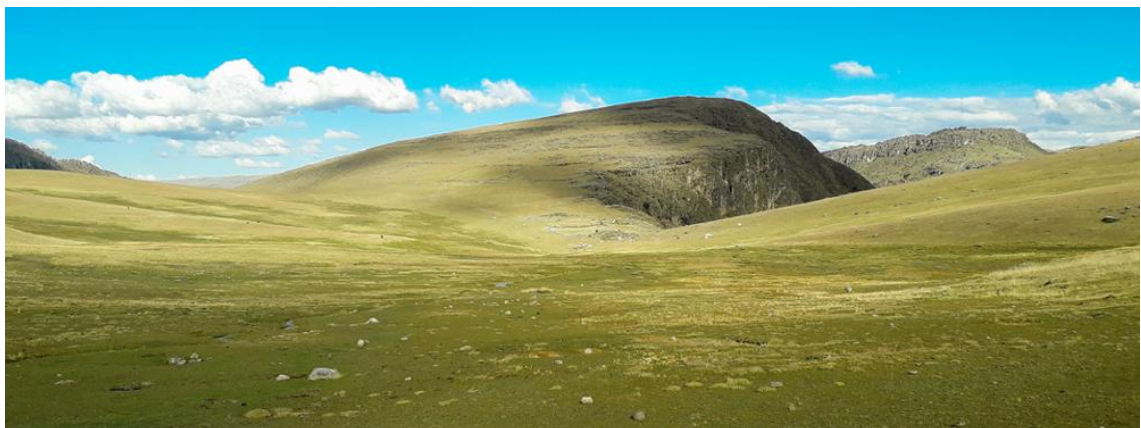
La vegetación de los bofedales se caracteriza por ser densa y compacta siempre verde, adoptando generalmente una forma almohadillada o en cojín. Su fisonomía corresponde a herbazales, con un rango entre 0.1 a 0.5 metros (Ministerio del Ambiente, 2015).

A. Bofedales alfombrados:

Son aquellos en los que dominan especies vegetales que forman alfombras duras y siempre verdes, generalmente dominados por *Plantago tubulosa* y acompañados por *Werneria pygmaea* (Salvador et al., 2014; Maldonado, F., 2014 en INAIGEM, 2023).

Figura 3

Bofedales alfombrados.



Fuente: (INAIGEM, 2023)

1.2.4 Instalación de ductos en zona de bofedales de PERU LNG

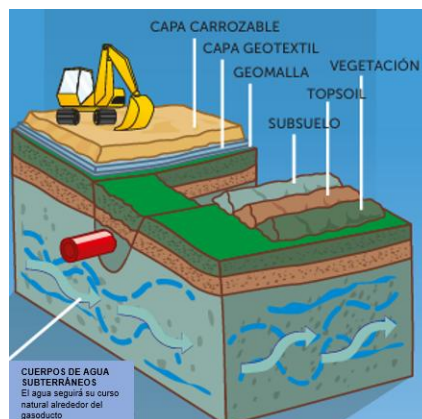
1.2.4.1 Medidas de mitigación ambiental en suelo y subsuelo

Se llevó a cabo la cuantificación de la reducción sistemática del impacto ambiental durante las fases de construcción y operación de un gasoducto de 408 km de longitud y 34" de diámetro del ducto (Sahley et al., 2017).

- Durante la fase constructiva se procurará minimizar la alteración del suelo. Para ello, se utilizará el uso de áreas previamente intervenidas dentro del derecho de vía (DdV) (Walsh Perú, 2005).
- Se reducirá al mínimo la alteración de los suelos fuera del derecho de vía (DdV). La capa orgánica será acumulada y posteriormente reutilizada en las actividades de restauración y revegetación (Walsh Perú, 2005).
- Se procurará evitar la compactación excesiva del suelo orgánico y su combinación con materiales del subsuelo. Asimismo, se implementará un control riguroso sobre el tránsito de maquinaria pesada con el fin de reducir al mínimo la compactación (Walsh Perú, 2005).
- Las áreas destinadas a la remoción de suelo orgánico serán previamente identificadas. Dicho suelo será almacenado en montículos separados a lo largo de la zanja del gasoducto y protegido, según corresponda, mediante bermas, sistemas de drenaje y cortinas de retención de sedimentos. Posteriormente, este material podrá ser reincorporado, sembrado y estabilizado tan pronto como las condiciones lo permitan tras la culminación de la construcción (Walsh Perú, 2005).

Figura 4

Cruce de bofedales: la separación de las capas de suelos para la instalación de ducto.



Fuente: (PERU LNG, 2025)

1.2.4.2 Cruce del gasoducto en bofedales

El gasoducto atravesará áreas de bofedales, ecosistemas que permanecen húmedos durante gran parte del año y que poseen una alta sensibilidad ecológica y social. Sus suelos, de carácter blando, presentan vulnerabilidad frente a procesos de compactación, erosión y sedimentación. En ciertos sectores, estos bofedales se ubican en zonas con pendiente, lo que incrementa su susceptibilidad a deslizamientos. Para mitigar dichos impactos, se implementará un sistema o un mecanismo equivalente orientado a reducir la erosión, la sedimentación y la compactación del suelo (Walsh Perú, 2005).

- Se establecerá una franja de amortiguamiento con vegetación intacta entre las zonas secas y los bofedales (Walsh Perú, 2005).
- El trazado del DdV en los bofedales será reducido al mínimo posible. Se colocarán sacos de arena u otros materiales equivalentes a lo largo del DdV en los bofedales. Sobre el suelo del DdV se dispondrá un geotextil, extendido también sobre los sacos de arena (Walsh Perú, 2005).
- Encima del geotextil se instalará una capa de agregados, con el ancho suficiente para evitar la compactación del terreno (Walsh Perú, 2005).

Figura 5

Instalación del ducto en zona de bofedales.



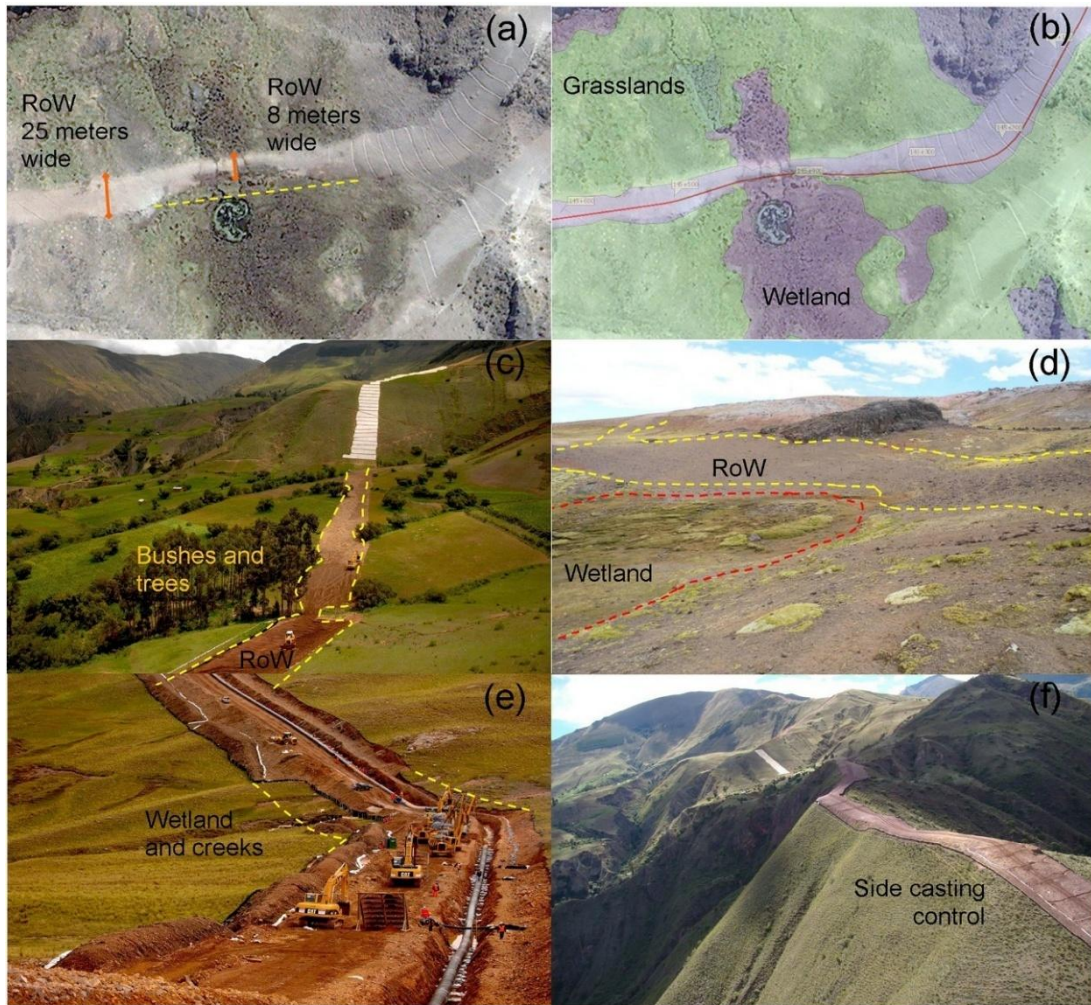
Nota: (a) Almacenamiento de turba en pilas, protegido con geotextil; en (b) y (c) nos muestran la instalación del ducto en bofedal. La imagen extraída de (PERU LNG, 2025).

A. Reduccion del ancho del DdV

La reduccion del ancho del derecho de vía (DdV) permitió reducir los impactos en todos los bofedales. En consecuencia, la aplicación conjunta de medidas de evasión y de reducción del ancho generó una menor afectación en aquellos hábitats cuya restauración demanda mayor tiempo y esfuerzo (Sahley et al., 2017).

Figura 6

Medidas de mitigación implementadas durante la fase constructiva del gasoducto.



Fuente: (Sahley et al., 2017).

En la figura 6 nos muestra: (a) y (b) Imágenes con polígonos de interpretación del hábitat superpuestos, que evidencian la reducción del ancho del DdV en su cruce por un bofedales, en (b) la línea roja representa el ducto. (c), (d) y (e) ilustran el disminución del ancho del DdV en su paso por hábitats adicionales. (f) Vertido lateral reduce impacto, erosión y facilita restauración (Sahley et al., 2017).

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Ubicación

2.1.1 Ubicación Geográfica

Departamento : Huancavelica

Provincia : Huaytará

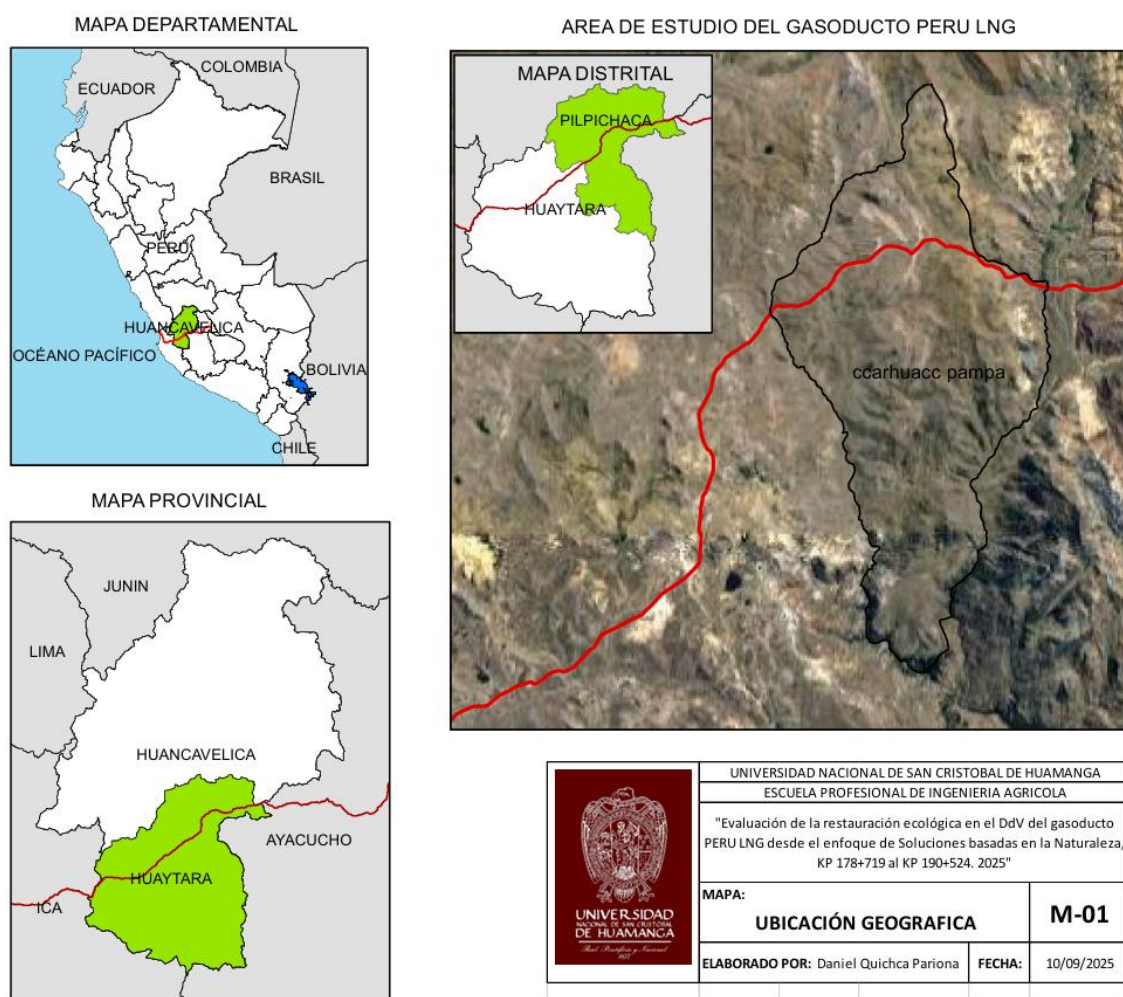
Distrito : Pilpichaca

Comunidad : Ccarhuaccpampa

El estudio se desarrolló en el derecho de vía del gasoducto PERU LNG, específicamente en el tramo que atraviesa la comunidad de Ccarhuaccpampa.

Figura 7

Mapa de ubicación: DdV del gasoducto PERU LNG, Kp 178+719 al Kp 190+524



2.1.2 Ubicación de Zona estudio

El estudio se realizó en el área de influencia del derecho de vía del gasoducto PERU LNG, entre las progresivas 178+719 al 190+524 que consta de 25 metros de franja, con coordenadas UTM como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Ubicación de zona de estudio.

Área De Estudio				
Punto	Kp	Coordenadas UTM (WGS84, 18L)		
		Este	Norte	Altitud
Inicio	178+719	513753.01	8526170.04	4104.67
Final	190+524	504017.94	8525286.95	4135.54

Figura 8

Zona de estudio: DdV del gasoducto PERU LNG, KP 178+719 al KP 190+524



2.2 Método procedimental

2.2.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva, ya que busca generar conocimiento útil para evaluar y describe la implementación de estrategias de restauración ecológica en el derecho de vía del gasoducto PERU LNG.

2.2.2 Diseño de la investigación

Esta investigación fue de carácter no experimental transversal, dado que se trabajó con datos observacionales. Se realizó la evaluación de la restauración ecológica con referencia a la zona no intervenida en el derecho de vía del gasoducto PERU LNG.

2.2.3 Población

La población de estudio está constituida por las áreas ecológicas restauradas y no intervenidas localizadas en el derecho de vía del gasoducto PERU LNG, específicamente en ecosistemas altoandinos como bofedales.

2.2.4 Muestra

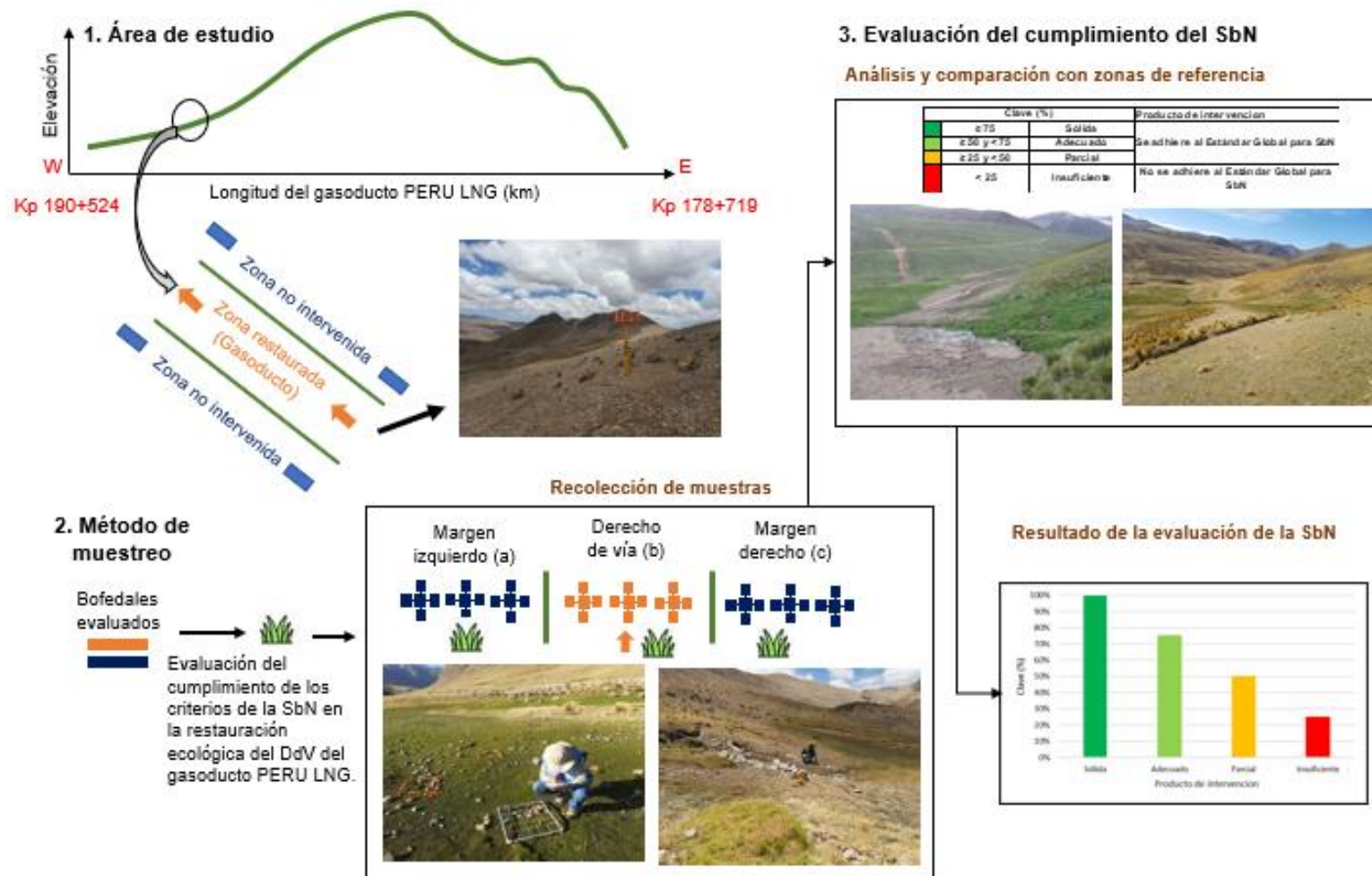
Las muestras registradas en las 25 unidades de muestreo de 1m², donde se determinó la cobertura y número de especies vegetales.

2.2.5 Diseño de muestreo

Los puntos de muestreo fueron ubicados en zonas de restauración de bofedales y con sus respectivas coordenadas haciendo uso del software ArcGIS 10.3. Los criterios de evaluación para ubicación de los puntos de muestreos en campo fueron en tres bofedales con recomposición de champas que presentaron características similares para su estudio y bofedales perennes. En cada bofedal se instalaron 9 parcelas de forma sistemática, cada una de 1 m². De estas, tres parcelas están ubicado dentro del DdV, el cual tiene un ancho de 25 metros, manteniendo una separación de 4 metros entre parcelas. Otras tres parcelas se instalaron en el margen derecho, con un ancho de 12 metros tomando como referencia el borde derecho del DdV, y con una separación de 1 metros entre parcelas. De manera similar, se ubicaron tres parcelas en el margen izquierdo. Este procedimiento se aplicó de forma idéntica en las dos áreas de estudio seleccionados y con excepción en un bofedal que se instaló 7 parcelas por presentar una reducción de ancho de vía.

Figura 9

Diagrama del diseño muestral de recolección y análisis de datos de campo



2.3 Metodología y recolección de datos

2.3.1 Ubicación de los puntos de evaluación

Se analizaron los datos de tres bofedales (tabla 3, figura 10), perteneciente al derecho de vía de PERU LNG entre las progresivas 178+719 al 190+524, cada punto muestreo fue georreferenciado con un GPS Garmin para tener las coordenadas y altitud de cada muestreo.

Tabla 3

Ubicación de los bofedales evaluados del DdV de PERU LNG.

N°	Sitios Kp	Coordenadas UTM (WGS84, 18L)		Altitud (m.s.n.m.)	Números de Parcelas
		E	N		
1	B1 178+950	513569.91	8526241.19	4139.91	9
2	B2 179+840	512995.72	8526473.16	4266.88	9
3	B3 185+425	508020.80	8527639.27	4560.67	7

Nota: En el DdV se tomó 3 bofedales (numerados del 1 al 3). Estos fueron nombrados en función a cada sitio, los márgenes se toman en dirección de kilometro progresiva (Kp) ascendente: margen izquierdo del DdV: a; dentro del DdV: b; y margen derecho del DdV: c. Por ejemplo, el bofedal 1 Kp 178+950 dentro del DdV fue nombrado: B1_b.

Figura 10

Ubicación de los bofedales evaluados en el DdV del gasoducto PERU LNG.



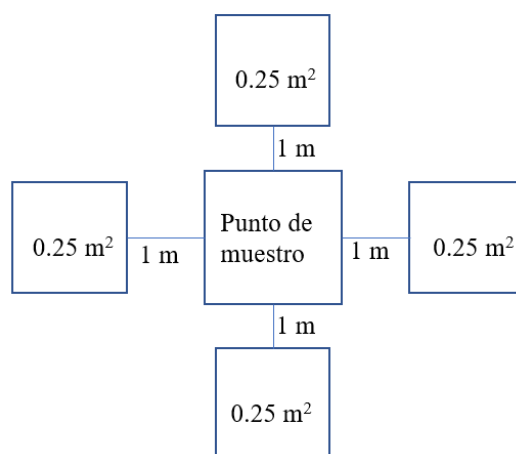
2.3.2 Evaluación de campo

La identificación de especies vegetal se realizó en cada punto de muestreo, donde se estableció la unidad muestral de 1 m^2 , el tamaño recomendado para comunidades vegetales de pastizales (Matteucci & Colma, 1982), Sobre la base del punto de muestreo de un metro cuadrado con la finalidad de garantizar una mayor composición de la flora del bofedal, la unidad muestral fue dividida en sub parcelas de 0.25 metros cuadrados ($0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$) los que se ubicaron en forma de cruz en referencia al punto de muestreo a una distancia de 1 m lineal (Portal, 2019) como se muestra en la Figura 11.

La identificación de la vegetación se realizó en la estación seco de los meses de agosto a octubre del año 2025.

Figura 11

Ubicación de los tres puntos de muestreos de bofedales.



Fuente: (Portal, 2019)

Se preste en especial atención a las especies vegetales, es decir, aquellas adaptadas a suelos saturados o encharcados, siguiendo criterios previamente establecidos en estudios de bofedales altoandinos (Maldonado et al., 2024).

2.3.3 Identificación especies vegetales

La parte de las especies vegetales fueron identificadas en campo con ayudas de guías y claves como: Guía de las plantas de los bofedales del Perú (Mendoza et al., 2024).

2.3.3.1 Determinación de los índices de diversidad alfa y beta del bofedal

La determinación para los índices fue tomada de lo recomendado por la Guía de inventario de la flora y vegetación (MINAM, 2015), La diversidad alfa se determinó a partir del índice de riqueza específica (S), que expresa el número total de especies

registradas en cada sitio. Para evaluar la equidad en la distribución de las especies se aplicó el índice de Shannon-Wiener, mientras que el índice de Simpson se empleó para estimar la dominancia dentro de las comunidades. Por su parte, la diversidad beta se analizó mediante el índice de Morisita-Horn, con el fin de comparar la similitud en la composición de especies entre las diferentes áreas evaluadas, los índices fueron calculados con el programa PAST versión 4.17 (Hammer et al., 2001).

Índice de Shannon-Wiener (Hammer et al., 2001).

$$H = - \sum \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n}$$

n_i = número de individuos por especies

n = número total de individuos de especies

Índice de dominancia de Simpson (Hammer et al., 2001).

$$D = \sum \left(\frac{n_i}{n} \right)^2$$

n_i = número de individuos por especies

n = número total de individuos de especies

Índice de Morisita-Horn (Hammer et al., 2001).

$$I_{M-H} = \frac{2 \sum (a_{ni} \times b_{nj})}{(da + db) aN \times bN}$$

Donde:

a_{ni} = número de individuos de la i-ésima especie en el sitio A

b_{nj} = número de individuos de la j-ésima especie en el sitio B

Na = número de individuos en el sitio A

Nb = número de individuos en el sitio B

$da = \sum a_{ni}^2 / Na^2$ para el sitio A

$db = \sum b_{nj}^2 / Nb^2$ para el sitio B

El índice presenta valores de 0 (no hay similitud) a 1 (hay similitud); este parámetro este parámetro resulta útil para contrastar y analizar los niveles de diversidad entre diferentes sitios o comunidades (MINAM, 2015).

2.3.4 Determinación de la cobertura vegetal

La cobertura vegetal (por especie) y la cobertura del suelo se realizó con el método de intersección de puntos utilizando un marco cuadrulado (Bonham, 2013), considerando 25 puntos (puntos de cruce del hilo desde el cuadrante) por subparcelas, multiplicando por cuatro para que nos de los 100 puntos por parcelas. El porcentaje de cobertura de cada especie será igual al número de puntos en los que se registró.

Con la metodología obtenida se puede obtener la cobertura repetida, la cobertura porcentual y el porcentaje de contribución de cada especie. Para el presente estudio se usó la cobertura porcentual por especie, calculada de la siguiente manera (Matteucci & Colma, 1982):

La cobertura porcentual ($X_i\%$) se calculó considerando el número de puntos en los que la especie está presente (T_i) como proporción del número total de todas las especies ($\sum T_i$):

$$\%X_i = \left(\frac{T_i}{\sum T_i} \right) * 100$$

Adicionalmente registramos de cobertura de varios tipos de cobertura del suelo: cobertura vegetal (total), suelo desnudo, vegetación, excremento de fauna, rocas y agua.

Índice de Valor de Importancia (IVI)

El Índice de Valor de Importancia (IVI) constituye una medida que refleja el peso ecológico relativo de cada especie dentro de una comunidad vegetal, permitiendo reconocer cuáles son las especies con mayor relevancia en un determinado ecosistema. En este sentido, las especies con los mayores valores de IVI pueden servir como referencia, pudiéndose emplear una nomenclatura basada en los géneros de las tres o cuatro especies más representativas (MINAM, 2015), se utilizó la siguiente formula.

$$IVI = Abundancia \% + Dominancia \% + Frecuencia \%$$

2.3.5 Verificación los criterios de Soluciones basadas en la naturaleza (SbN)

La ficha de autoevaluación (ver Anexo 1) fue elaborada tomando como referencia el manual metodológico de la UICN (2020), el cual proporcionó lineamientos detallados para su diseño y aplicación.

La herramienta se basó en una revisión sistemática de información de acceso público vinculada al proyecto de intervención, específicamente en lo relativo a la instalación del ducto en los bofedales durante las fases de construcción y post-construcción del

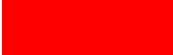
gasoducto. Este proceso permitió determinar el grado de alineación de la intervención con los indicadores individuales.

Para cada indicador se registró una puntuación en una escala de cuatro niveles, que refleja si la intervención lo aborda de manera sólida, adecuada, parcial o insuficiente. Los resultados obtenidos permitieron calcular el nivel de cumplimiento de cada criterio específico, clasificándose como sólido cuando supera el 75 %, adecuado entre el 50 % y el 75 %, parcial entre el 25 % y el 50 %, e insuficiente cuando se sitúa por debajo del 25 % (UICN, 2020).

Las puntuaciones de los indicadores se utilizan para calcular el nivel de cumplimiento de cada uno de los criterios, cuyo resultado consiste en un porcentaje de coincidencia del proyecto con el criterio, una calificación y un color de semáforo, como se indica en la Tabla 4 (UICN, 2020).

Tabla 4

Resultado de autoevaluación para cada uno de los criterios.

Color del semáforo	Porcentaje de coincidencia (%)	Clasificación	Puntaje	Producto de intervención
	≥ 75	Sólida	4	Se adhiere al Estándar Global para SbN
	≥ 50 y < 75	Adecuado	3	
	≥ 25 y < 50	Parcial	2	
	< 25	Insuficiente	1	No se adhiere al Estándar Global para SbN

Fuente: Modificado de tabla de autoevaluación de estándares de la SbN (UICN, 2020).

Dentro de la herramienta de autoevaluación, las puntuaciones obtenidas de los indicadores fueron normalizadas con el propósito de otorgar a cada criterio el mismo peso dentro de la evaluación. Una vez realizada la normalización, las puntuaciones de los criterios se integraron para calcular el porcentaje general de correspondencia. Si una intervención obtiene la calificación de “insuficiente” en cualquiera de los criterios, se considera que la intervención no se adhiere al Estándar Global de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) de la UICN. El porcentaje de correspondencia, por su parte, puede emplearse para describir el nivel de adhesión al estándar, clasificándolo como sólido, adecuado o parcial (UICN, 2020).

2.4 Análisis de los datos

A partir de los datos obtenidos de porcentaje de cobertura vegetal, se utilizó el programa PAST versión 4.17 para el análisis de datos. Se aplicó la prueba de normalidad mediante el test de Shapiro-Wilk (para muestras menores de 50 datos), con un nivel de significancia de ($\alpha=5\%$) se evidenciaron que los datos no están normalmente distribuidos y son no paramétricas; por ello, se emplearon las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney para comparar los tratamientos: zona no intervenida (control) y zona restaurada del DdV. Se calcularon intervalos de confianza de 95 % y con un nivel de significancia ($\alpha=5\%$) de cobertura si son significativas, dentro y fuera del DdV. Para identificar las especies indicadores de éxito y fracaso se realizó con presencia/ausencia de especie registradas se hizo la evaluación del Índice de Valor de Importancia (IVI), lo permitió identificar las especies vegetales con mayor representatividad ecológica, así como realizar un análisis de similitud con el índice de Morisita-Horn en las zonas restauradas y no intervenidas con los datos de todos los bofedales. En base a este análisis se identificaron grupos de alta similitud. Se tomó en cuenta la especie de diversidad y dominantes como parte de la restauración de los bofedales. Se calcularon dos índices (Magurran 1991):

- Diversidad de Shannon (H')
- Dominancia de Simpson (D)

Los cálculos se hicieron con los programas Excel y PAST versión 4.17 (Hammer et al., 2001)

Para la verificación de los criterios de SbN, se realizó un análisis de los resultados obtenidos, los cuales fueron examinados para calcular el nivel de correspondencia por criterio y el porcentaje general de adhesión al estándar, utilizando el sistema de semáforos propuesto por la UICN (ver Tabla 4). Este procedimiento permitió determinar si las intervenciones de restauración evaluadas se ajustaban a los principios y lineamientos de las Soluciones Basadas en la Naturaleza. De este modo, se logró evaluar de manera objetiva las medidas de restauración del DdV.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Encontramos de la aplicación de la jerarquización de medidas de mitigación durante las fases de construcción y post-construcción permitió una reducción sustancial de los impactos sobre el DdV tras la instalación del ducto en los bofedales. Del mismo modo, se determinó que el diseño definitivo de los cruces de bofedales fue considerado dentro del planeamiento detallado del proyecto y se basó en las características ecológicas y funcionales específicas de cada bofedal intervenido. Asimismo, se destacó el enfoque equilibrado entre la conservación del ecosistema y los beneficios sociales derivados de la intervención, lo cual se alineó con los criterios de las soluciones basadas en la naturaleza, orientadas a maximizar los beneficios ambientales.

Para diferenciar las zonas de estudio de los bofedales de restauración con recomposición de champas se empleó un agrupamiento como se muestra en la (tabla 5).

Tabla 5

Distribución de los bofedales evaluados entre las progresivas 178+719 al 190+524 del DdV de PERU LNG.

Ubicación	Altitud (m.s.n.m.)	Codificación	Tipos de zona
Bofedal 1 Kp 178+950	4139.91	B1_a	zona no intervenida
		B1_b	zona restaurada
		B1_c	zona no intervenida
Bofedal 2 Kp 179+840	4266.88	B2_a	zona no intervenida
		B2_b	zona restaurada
		B2_c	zona no intervenida
Bofedal 3 Kp 185+425	4560.67	B3_a	zona no intervenida
		B3_b	zona restaurada
		B3_c	zona no intervenida

3.1 Comparación de cobertura vegetal en zonas restauradas y no intervenidas

Tabla 6

Prueba de normalidad del test de Shapiro-Wilk para los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.

		N	P(Normal)
Bofedal 1 Kp 178+950	B1_a	26	0.0006919
	B1_b	26	0.0002643
	B1_c	26	0.0007323
Bofedal 2 Kp 179+840	B2_a	29	7.08E-06
	B2_b	29	0.0005884
	B2_c	29	0.0002507
Bofedal 3 Kp 185+425	B3_a	24	0.0005935
	B3_b	24	7.98E-08
	B3_c	24	0.0003539

Nota: Los resultados de la prueba Shapiro-Wilk en bofedales B1, B2 y B3, mostrando $p < 0.05$ en todas las zonas, rechazando normalidad y aplicando prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para comparar restauradas y no intervenidas.

Tabla 7

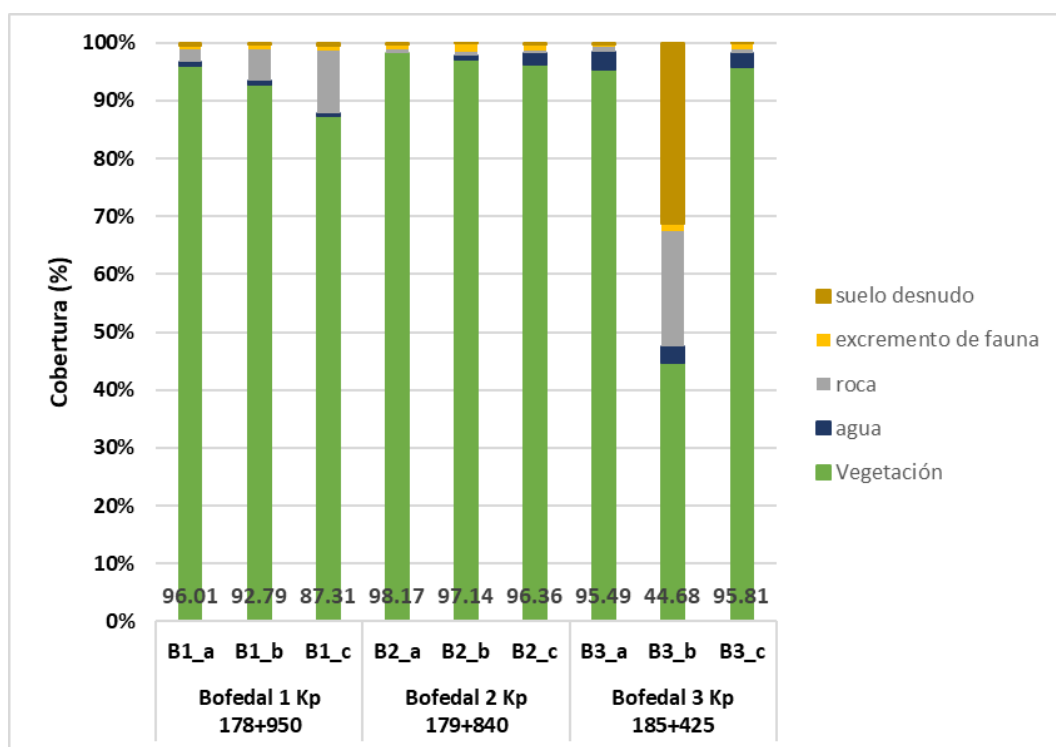
Prueba de Kruskal-Wallis para los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.

Cobertura vegetal		
Bofedal 1 Kp 178+950	H (chi ²)	0.1272
	Hc (tie corrected)	0.1275
	p (same)	0.9383
Bofedal 2 Kp 179+840	H (chi ²)	1.975
	Hc (tie corrected)	1.983
	p (same)	0.371
Bofedal 3 Kp 185+425	H (chi ²)	20.39
	Hc (tie corrected)	20.84
	p (same)	0.00002977

En la Tabla 7 se presentan los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis, para comparación de la cobertura vegetal entre tres tipos de zonas: restauradas y no intervenidas, considerando tanto el margen izquierdo como el derecho del DdV. En el bofedal 1, la cobertura vegetal no presentó variaciones significativas entre la zona restaurada y las zonas no intervenida del DdV del gasoducto ($p = 0.9383$; $p < 0.05$). De manera consistente, en el bofedal 2 tampoco se registraron que no mostraron diferencias significativas ($p = 0.371$; $p < 0.05$), lo que indica una alta similitud en la cobertura vegetal entre las áreas comparadas. Asimismo, en el bofedal 3, la cobertura vegetal presentó variaciones significativas entre la zona restaurada y las zonas no intervenidas ($p = 0.00002977$; $p < 0.05$), según el estudio analizado Sahley et al. (2017) nos menciona que la recuperación de la vegetación fue el factor que más aportó a la reducción de los impactos residuales en el derecho de vía. El índice de restauración, construido a partir de la comparación de la cobertura vegetal y la riqueza de especies dentro y fuera del DdV, mostró una correlación positiva y estadísticamente significativa en el periodo 2010–2014 ($p = 0.649$; $n = 209$; $P < 0.001$).

Figura 12

Tipos de cobertura del suelo de los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.



En la Figura 12 se presentan los porcentajes de cobertura vegetal total registrados en los bofedales evaluados a lo largo del gasoducto. En el bofedal 1, los valores corresponden a

96.01% en la zona no intervenida B1_a, 92.79% en la zona restaurada B1_b y 87.31% en la zona no intervenida B1_c, evidenciando una ligera disminución en la zona restaurada respecto al área de referencia, aunque manteniéndose dentro de rangos altos que sugieren una recuperación favorable. Una de las especies con mayor significancia de la cobertura es *Lachemilla diplophylla*, que presenta un 13.70 % en el área B1_b, ligeramente superior al 13.62 % en B1_a y 5.79 % en B1_c. Le sigue *Plantago tubulosa*, con porcentajes de cobertura que varían entre 13.26 % en B1_a, 13.47 % en B1_b y 13.67 % en B1_c.

En el bofedal 2, los porcentajes fueron 98.17% en B2_a, 97.14% en B2_b y 96.36% en B2_c, mostrando una alta similitud entre las zonas evaluadas y evidenciando que la restauración ha permitido alcanzar condiciones comparables a las áreas no intervenidas, se identificó que cinco especies presentan mayor dominancia en la zona de referencia. Entre las especies con mayor relevancia en la cobertura vegetal se identificó a *Plantago tubulosa*, la cual alcanzó un 10.08 % en el área restaurada B2_b, valor ligeramente superior al 0.58 % registrado en la zona de referencia B2_a y al 7.84 % en B2_c. En segundo lugar, destacó *Lachemilla pinnata*, cuyos porcentajes de cobertura oscilaron entre 11.56 % en B2_a, 9.88 % en B2_b y 8.23 % en B2_c.

En contraste, en el bofedal 3 se registraron valores de 95.49% en B3_a, 44.68% en B3_b y 95.81% en B3_c, donde la zona restaurada presenta una marcada reducción de la cobertura vegetal en comparación con las zonas no intervenidas, lo que indica limitaciones en el proceso de restauración. Dentro de las especies con mayor relevancia en la cobertura vegetal se identificó a *Lachemilla diplophylla*, que alcanzó un 14.89 % en el área restaurada B3_b, valor ligeramente superior al 10.70 % registrado en B3_a y al 11.17 % en B3_c. En segundo lugar, se destacó *Calamagrostis rigescens*, cuyos porcentajes de cobertura fueron de 12.77 % en B3_b, 0.77 % en B3_a y 0.52 % en B3_c.

Tabla 8

Prueba de normalidad del test de Shapiro-Wilk en zona restaurada y no intervenida del bofedal del DdV de PERU LNG.

	N	P(Normal)
Zona restaurada	31	0.3865
Zona no intervenida	31	0.00254

Nota: Los resultados de la prueba Shapiro-Wilk, mostrando $p < 0.05$ en todas las zonas, rechazando normalidad y aplicando prueba no paramétrica Mann-Whitney para comparar restauradas y no intervenidas.

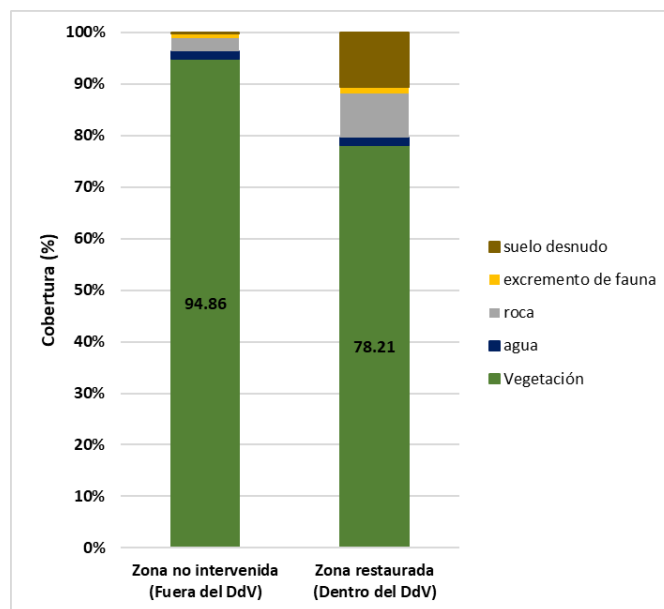
Tabla 9

Prueba de Mann-Whitney entre zona restaurada y no intervenida del DdV de PERU LNG.

	Zona restaurada	Zona no intervenida
Zona restaurada		0.3865
Zona no intervenida	0.3865	

Figura 13

Tipos de cobertura del suelo (promedio) entre la zona restaurada y no intervenida del DdV de PERU LNG.



En la Tabla 9 se presentan los resultados de la comparación mediante la prueba de Mann-Whitney, la cual no mostró diferencias significativas en la cobertura vegetal registrada entre la zona restaurada y la zona no intervenida del DdV ($p = 0.3865$; $p < 0.05$). Este resultado sugiere que la restauración ha alcanzado niveles de cobertura similares a los de la zona de referencia, lo que constituye un avance positivo en términos ecológicos. Por otro lado, la Figura 13 evidencia que el porcentaje promedio de cobertura vegetal total en la zona no intervenida fue de 94.86%, mientras que en la zona restaurada alcanzó el 78.21%, mostrando una recuperación considerable y cercana al estado referencia.

Estos resultados nos indican que las zonas restauradas han alcanzado niveles de cobertura vegetal comparables a los de las zonas no intervenidas dentro del derecho de vía del gasoducto PERU LNG, lo que nos muestra los trabajos realizados durante la fase de construcción en el cuidado de la capa superior de suelo (Topsoil) ayudaron mucho en la recuperación después del cierre de la instalación de tubería. Este comportamiento evidencia una recuperación efectiva de la cobertura vegetal, lo que constituye un indicador clave de funcionalidad ecológica en ecosistemas de bofedal. Desde el enfoque de las SbN, estos hallazgos reflejan la capacidad del ecosistema para restablecer su estructura vegetal mediante procesos naturales o asistidos, contribuyendo a la estabilidad del sistema y a la provisión de servicios ecosistémicos. Por tanto, la ausencia de diferencias significativas respalda la efectividad de las estrategias de restauración implementadas en el DdV, al menos en términos de cobertura vegetal, consolidando su aporte a la recuperación ecológica en ambientes altoandinos.

3.2 Identificación de especies vegetales indicadoras de éxitos o fracasos en la restauración.

En los bofedales alfombrados, las especies que suelen dominar son *Plantago tubulosa* y *Werneria pygmaea* (Salvador et al., 2014; Maldonado, F., 2014 en INAIGEM, 2023), este tipo de bofedal está presente en la zona restaurada del DdV del gasoducto.

Tabla 10

Registro de especies presentes y ausentes del bofedal B1.

	Familia	Especies	
		Presentes	Ausentes
B1_a	11	22	4
B1_b	10	22	4
B1_c	10	24	2

En la Tabla 10 se presenta el análisis de presencia/ausencia realizada mediante el software estadístico PAST v4.17 (ver Anexo 3), el cual evidenció que, de las 26 especies registradas en el área de referencia, 22 estuvieron presentes en la zona restaurada, mientras que 4 especies se encontraron ausentes en comparación con la zona de control, se presentaron los valores del Índice de Valor de Importancia (IVI) (ver Anexo 4) y se consideraron las especies características de este tipo de bofedal que estuvieron presentes o ausentes en la zona de restauración dentro del DdV. *Plantago tubulosa* registró un 33.87 % en la zona no intervenida (promedio de B1_a y B1_c), valor ligeramente superior al 33.86 % en la zona restaurada (B1_b), siendo la especie de mayor dominancia con respecto a las demás. Le siguió *Lachemilla diplophylla*, que alcanzó un 34.37 % en la zona restaurada y un 24.51 % en la zona no intervenida. Asimismo, *Werneria pygmaea*, presentó porcentaje de 13.62 % en la zona restaurada y 11.40 % en la zona no intervenida, mostrando también los valores dominantes en la zona restaurada. Para evaluar la similitud entre zonas se aplicó el índice de Morisita, utilizando datos de abundancia procesados en el software estadístico PAST v4.17 (ver Anexo 3). Los resultados evidencian que la mayor similitud se presenta entre B1_a y B1_b (índice de Morisita = 0.974), seguida por la comparación entre B1_b y B1_c (índice = 0.842).

Tabla 11*Registro de especies presentes y ausentes del bofedal B2.*

	Familia	Especies	
		Presentes	Ausentes
B2_a	8	18	11
B2_b	10	27	2
B2_c	10	28	1

En la Tabla 11 se presenta el análisis de presencia/ausencia realizada mediante el software estadístico PAST v4.17 (ver Anexo 3), el cual evidenció que, de las 29 especies registradas en el área de referencia, 27 estuvieron presentes en la zona restaurada, mientras que 2 especies se encontraron ausentes en comparación con la zona de referencia, se presentaron los valores del IVI (ver Anexo 4) y se consideraron las especies características de este tipo de bofedal que estuvieron presentes o ausentes en la zona de restauración dentro del DdV. *Plantago tubulosa* registró un 24.58 % en la zona restaurada (B2_b), valor ligeramente superior al 11.58 % en la zona no intervenida (promedio de B2_a y B2_c). De igual manera *Werneria pygmaea* presentó porcentajes de 8.93 % en la zona restaurada y 7.69 % en la zona no intervenida. Asimismo, *Lachemilla diplophylla* alcanzó un 24.44% en la zona restaurada y un 25.13 % en la zona no intervenida, mostrando también altos valores en las áreas restauradas. Para evaluar la similitud entre zonas se aplicó el índice de Morisita, utilizando datos de abundancia y el software estadístico PAST v4.17 (ver Anexo 4). Los resultados indican que la mayor similitud se presenta entre B2_a y B2_b (índice de Morisita = 0.644), seguida por la comparación entre B2_b y B2_c (índice = 0.821).

Tabla 12*Registro de especies presentes y ausentes del bofedal B3.*

	Familia	Especies	
		Presentes	Ausentes
B3_a	10	23	1
B3_b	5	5	19
B3_c	10	24	0

En la Tabla 12 se presenta el análisis de presencia/ausencia realizada mediante el software estadístico PAST v4.17 (ver Anexo 3), el cual evidenció que, de las 24 especies registradas en el área de referencia, únicamente 5 estuvieron presentes en la zona restaurada, mientras que 19 especies se encontraron ausentes en comparación con la zona de control, se presentaron los valores del IVI (ver Anexo 4) y se consideraron las especies características de este tipo de bofedal que estuvieron presentes o ausentes en la zona de restauración dentro del DdV. Entre ellas, *Lachemilla diplophylla* que alcanzó 86.67 % en la zona restaurada (B3_b) y 27.24 % en la zona no intervenida (promedio de B3_a y B3_c), mostrando la dominancia en la zona restaurada. Le siguió *Plantago tubulosa*, que registró un 23.93 % en la zona no intervenida, valor superior al 0 % observado en la zona restaurada (B3_b). Asimismo, *Werneria pygmaea*, presentó porcentajes de 0 % en la zona restaurada y 11.67 % en la zona no intervenida, mostrando también valores elevados en las zonas de referencia al DdV. Para evaluar la similitud entre zonas se aplicó el índice de Morisita, utilizando datos de abundancia y el software estadístico PAST v4.17 (ver Anexo 4). Los resultados indican que no hay mucha similitud se presenta entre B3_a y B3_b (índice de Morisita = 0.337), seguida por la comparación entre B3_b y B3_c (índice = 0.343).

Los resultados del IVI evidencian que la estrategia de restauración mediante recomposición de champas contribuyó al restablecimiento importante de especies nativas características de los bofedales intervenidos del DdV. Asimismo, la presencia de especies dominantes compartidas entre las zonas restauradas y no intervenidas constituye evidencia positiva de recuperación ecológica en los bofedales B1 y B2, donde *Plantago tubulosa*, *Werneria pygmaea* y *Lachemilla diplophylla* presentan valores de importancia ecológica similares a los registrados en las zonas no intervenidas. En contraste, en el bofedal B3 se observaron diferencias entre la zona restaurada y la zona de control de 23,93 % para *Plantago tubulosa* y de 11,67 % para *Werneria pygmaea*, lo que evidencia una menor representatividad de estas especies en la zona restaurada. Estos resultados indican que el proceso de restauración en el bofedal B3 aún se encuentra en una fase de sucesión ecológica, por lo que requiere mayor tiempo para alcanzar una composición florística similar a la del ecosistema de referencia.

3.3 Verificación los criterios de Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) aplicables al contexto de restauración implementadas por PERU LNG.

Tabla 13

Resultado de autoevaluación de las SbN aplicables al contexto de restauración implementadas por PERU LNG.

Criterios	Porcentaje de coincidencia de adherencia		
1. Responde a desafíos sociales relevantes	77.8	Sólida	
2. Diseño adaptado al contexto ecológico y social	88.9	Sólida	
3. Mejora biodiversidad e integridad ecológica	75.0	Sólida	
4. Viabilidad económica	66.7	adecuada	
5. Gobernanza inclusiva y transparente	80.0	Sólida	
6. Equilibrio entre objetivos y compensaciones	66.7	adecuada	
7. Gestión adaptativa	88.9	Sólida	
8. Integración en marcos institucionales y sostenibilidad a largo plazo	88.9	Sólida	
Porcentaje total de coincidencia	79.1	Sólida	

En la Tabla 13 se muestra que la restauración implementada por PERU LNG alcanza un 79.1% de coincidencia total con los criterios de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) establecidos por el Estándar de la UICN. Asimismo, el proyecto presenta un cumplimiento superior al 25% en cada uno de los indicadores evaluados de manera independiente, lo que evidencia que la intervención se adhiere de manera consistente a los lineamientos del Estándar Global de la UICN para la SbN.

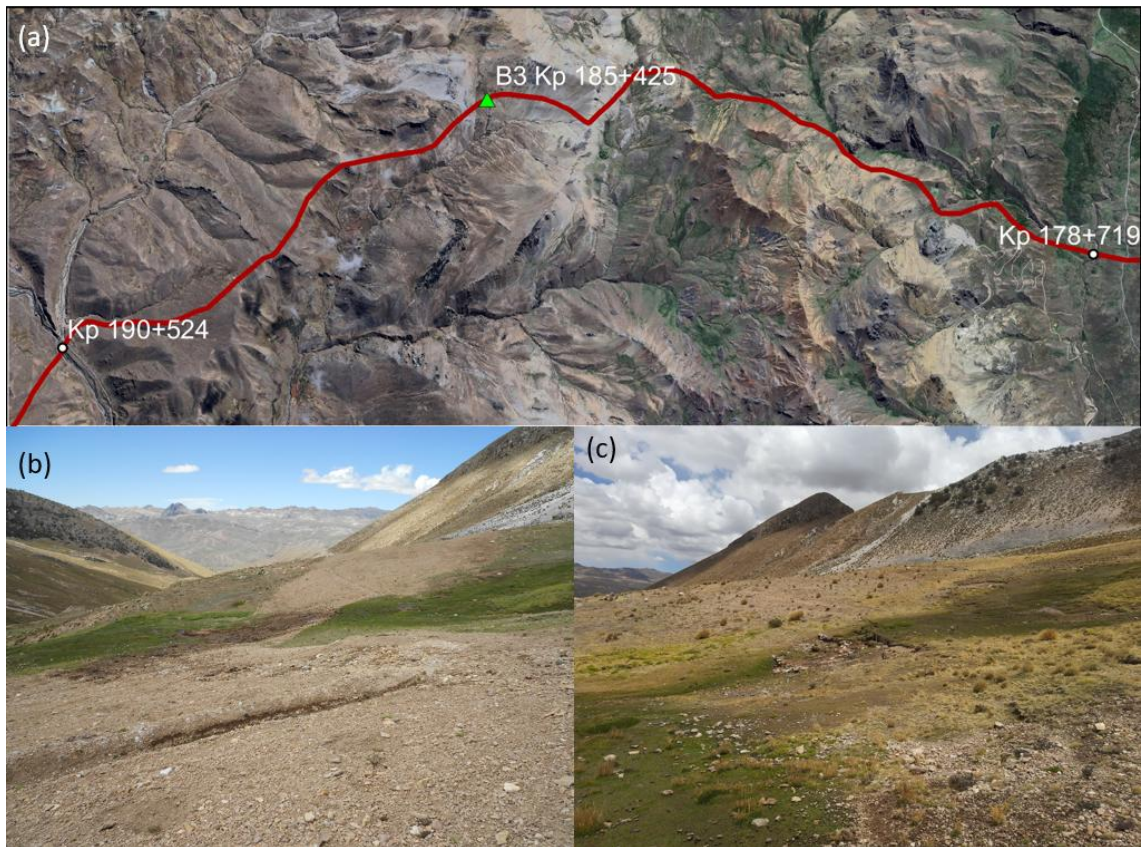
Criterio 1. Responde a desafíos sociales relevantes

Con un Cumplimiento de 77.8% (Sólido), las acciones de PERU LNG demuestran una respuesta efectiva a los desafíos sociales derivados de la perturbación del bofedal por la construcción del gasoducto. La restauración de suelos y la recuperación de cobertura vegetal superior al 92 % en los bofedales B1 y B2 generan beneficios tangibles para la ganadería local (camélidos). La reducción del derecho de vía a 5 m en B3 (ver la Figura

5 y 14) como le menciona Sahley et al. (2017) se empleó un modelo SIG para estimar tanto el hábitat afectado como el no impactado, considerando los efectos del microenrutamiento y la reducción del ancho de la ruta la minimización fue de 7.69% en habítad de turbera (bofedales) de la zona de cuenca de Pampas-Palmitos. La verificación de la SbN a la restauración implementa se considera adecuadamente efectiva en la respuesta a un desafío social directo (medidas de mitigación ambiental).

Figura 14

Reducción del ancho del DdV del gasoducto a su paso por un bofedal (B3 Kp 185+425)



Nota: (a) Ubicación del bofedal en el derecho de vía (DdV); (b) fase de restauración del bofedal correspondiente al año 2012, imagen proporcionada por PMSAP; (c) fase de restauración del bofedal correspondiente al año 2025.

Criterio 2. Diseño adaptado al contexto ecológico y social

Con un Cumplimiento de 88.9% (Sólido), la empresa integró de manera efectiva las dimensiones ecológicas, sociales y económicas, al reconocer la función ecosistémica de los bofedales como soporte productivo. La implementación de protocolos BMAP se evidencia un enfoque de paisaje con monitoreo continuo, aunque la evaluación de riesgos fuera del área directa de intervención aún es limitada. El diseño de restauración presenta

una coherencia ecológica robusta, adaptable al contexto andino, y constituye un caso sólido de integración ambiental y social dentro de los principios SbN.

Criterio 3. Mejora la biodiversidad e integridad ecológica

Con un Cumplimiento de 75% (Sólido), la instalación de estructuras de control (trinchos) y la recuperación de vegetación nativa muestran mejoras ecológicas verificables. Sin embargo, la falta de similitud total entre los bofedales (B3 aún restaurado), con respecto a los bofedales B1 y B2 mostraron una similitud tanto diversidad, cobertura y especie. La aplicación del monitoreo participativo (PMSAP) es un acierto social y de transparencia. La SbN evidencia el resultado ecológico comprobado, aunque la restauración funcional y la conectividad requieren consolidación para alcanzar un estándar global robusto.

Figura 15

Recomposición con colchones de vegetación en el bofedal (B2 Kp 179+840)



Nota: (a) Ubicación del bofedal en el derecho de vía (DdV); (b) fase de restauración del bofedal correspondiente al año 2010, imagen proporcionada por PMSAP; (c) fase de restauración del bofedal correspondiente al año 2025.

Criterio 4. Viabilidad económica

Con un Cumplimiento de 66.7% (Adecuado), el proyecto reconoce los beneficios ambientales y sociales, pero carece de una evaluación económica detallada que cuantifique retornos o costo-efectividad. La dependencia de financiamiento corporativo sin estrategias locales de sostenibilidad financiera reduce su resiliencia económica a largo plazo. El componente económico es moderadamente adecuado, evidenciando la necesidad de incorporar análisis financieros ambientales.

Criterio 5. Gobernanza inclusiva y transparente

Con un Cumplimiento de 80% (Sólido), PERU LNG promueve mecanismos de interacción comunitaria. Sin embargo, la participación activa y continua de comunidades locales aún es parcial. La documentación técnica es completa, pero la gobernanza colaborativa podría reforzarse mediante instancias formales de cogestión ambiental. El proyecto refleja gobernanza ambiental responsable, pero su potencial como plataforma participativa.

Criterio 6. Equilibrio entre objetivos y compensaciones

Con un Cumplimiento de 66.7% (Adecuado), el diseño y ejecución del proyecto integran medidas de compensación ecológica y social, priorizando la prevención de impactos. No obstante, el seguimiento de salvaguardas y la cuantificación de compensaciones permanecen generales. Se evidencia coherencia estratégica en la jerarquía de mitigación, aunque el sistema de compensaciones requiere indicadores claros para consolidar su carácter transformador SbN.

Criterio 7. Gestión adaptativa

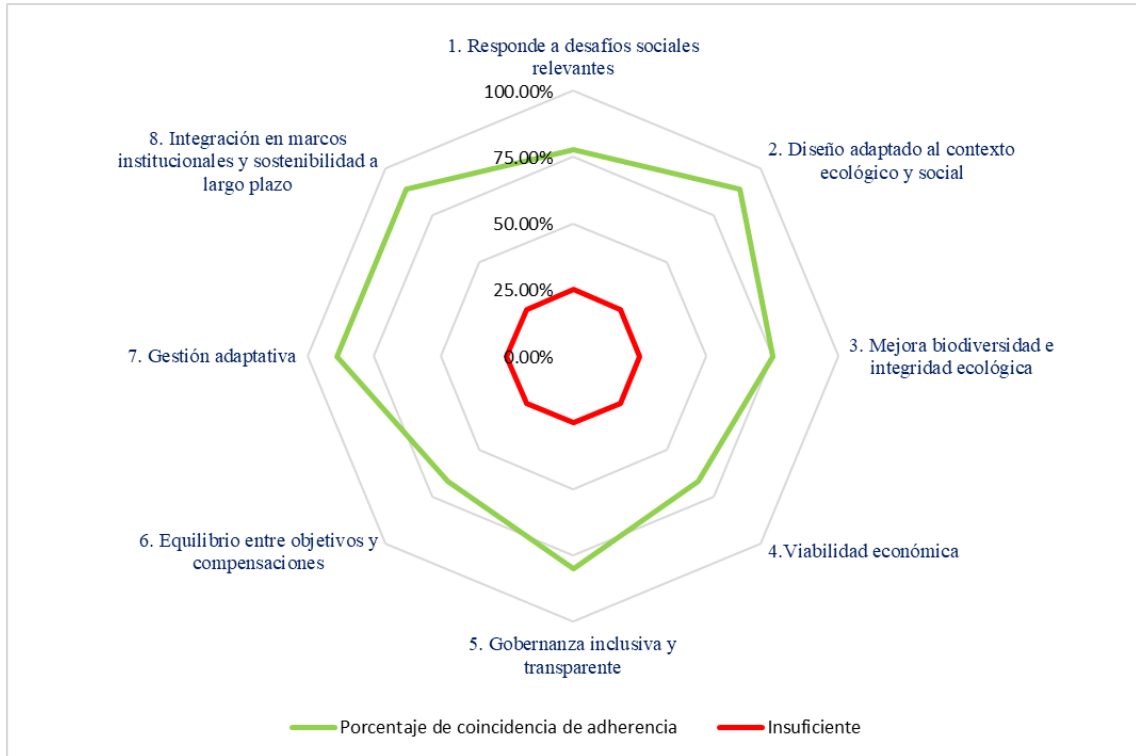
Con un Cumplimiento de 88.9% (Sólido), el enfoque adaptativo está claramente estructurado: estrategias, monitoreo (BMAP y PMSAP) y retroalimentación comunitaria están definidos. La aplicación de aprendizajes es progresiva, aunque aún no sistematizada como modelo replicable. Este criterio alcanza una valoración sólida, representando una de las fortalezas metodológicas del programa PERU LNG.

Criterio 8. Integración en marcos institucionales y sostenibilidad

Con un Cumplimiento de 88.9% (Sólido), los resultados se difunden a través de reportes técnicos y programas de monitoreo, con alineamiento a los ODS y convenios internacionales.

Figura 16

Cumplimiento porcentual por criterio del Estándar Global de SbN en el proyecto PERU LNG.



En la Figura 16 se presenta el gráfico de radar correspondiente a la restauración implementada por PERU LNG, el cual muestra el porcentaje de coincidencia con cada uno de los ocho criterios de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) definidos por el estándar de la UICN. Este diagrama permite identificar los puntos fuertes y débiles del proyecto, destacando que el criterio 3 (Diseño adaptado al contexto ecológico y social) alcanzó el mayor porcentaje de cumplimiento (88,9%), mientras que el criterio 6 (Equilibrio entre objetivos y compensaciones) obtuvo el menor valor (66,7%). Estos resultados evidencian que, si bien el proyecto presenta fortalezas en la adecuación al contexto, aún enfrenta desafíos en la gestión equilibrada de objetivos y compensaciones.

CONCLUSIONES

1. La comparación de la cobertura vegetal entre las zonas restauradas y las zonas no intervenidas en los bofedales del derecho de vía del gasoducto PERU LNG no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.3865$; $p < 0.05$). Este resultado indica que la cobertura vegetal en las áreas restauradas es similar a la registrada en las zonas de referencia, lo que evidencia un avance positivo en la restauración ecológica.
2. La identificación de especies vegetales indicadores de éxito o fracaso en la restauración, mediante los valores del IVI, evidenció una restauración positiva en los bofedales B1 y B2, donde *Plantago tubulosa* registró 33,86 % en B1 y 24,58 % en B2, *Werneria pygmaea* 13,62 % y 8,93 %, y *Lachemilla diplophylla* 34,37 % y 24,44 %, respectivamente. En contraste, en el bofedal B3 *Plantago tubulosa* y *Werneria pygmaea* presentaron un IVI de 0 %, indicando que el proceso de restauración aún permanece en una fase de sucesión ecológica.
3. La verificación de los criterios de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) aplicados a la restauración ecológica ejecutada por PERU LNG en los cruces del gasoducto sobre bofedales altoandinos evidenció un nivel de cumplimiento global del 79.1 %. Este resultado demuestra que la intervención se encuentra alineada con el Estándar Global para SbN, reflejando avances significativos en la intervención y en la implementación de medidas de restauración con enfoque integral.

RECOMENDACIONES

1. En conjunto, la experiencia demuestra que la ingeniería aplicada con criterios ecológicos puede convertirse en un facilitador de la restauración, garantizando la resiliencia y sostenibilidad de los bofedales altoandinos y ofreciendo un modelo replicable para futuros proyectos de infraestructura en ecosistemas frágiles.
2. Se recomienda implementar este tipo de intervenciones en futuras infraestructuras lineales, ya que contribuyen a minimizar los impactos sobre los bofedales. Es fundamental realizar estas acciones con especial cuidado, considerando que los bofedales constituyen una fuente principal de almacenamiento de agua y garantizan la disponibilidad hídrica para las zonas altoandinas.
3. Se recomienda que los proyectos de restauración ecológica en bofedales altoandinos, bajo el enfoque de SbN, incluyan controles de monitoreo permanentes que permitan distinguir los efectos de las variaciones naturales frente a los impactos antrópicos. Para lograr una evaluación más precisa del proceso de recuperación, es necesario incorporar indicadores más complejos como la composición florística, la estructura vegetal y la funcionalidad ecosistémica, que permitan diferenciar los estados sucesionales. Este enfoque integral fortalece la capacidad de las SbN para generar beneficios ecológicos sostenibles y adaptativos.
4. Llevar a cabo evaluaciones sobre la disponibilidad hídrica en cada bofedal resulta fundamental para el monitoreo de este recurso estratégico, tanto para el equilibrio ecosistémico como para la actividad ganadera. Asimismo, dichos estudios permiten profundizar en la comprensión de las dinámicas de la vegetación asociadas a las condiciones de humedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Garavito, M., Isaacs-Cubides, P., Peña-González, N., & Warren-Thomas, E. (2025). Challenges for policy and practice in meeting ambitious ecological restoration targets by 2030: A perspective from Colombia. *Biological Conservation*, 302, 110973. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2025.110973>
- Alonso, A., Dallmeier, F., & Servat, G. (2024). *Monitoring Biodiversity: Lessons from a Trans-Andean Megaproject*. National Zoo and Smithsonian Conservation Biology Institute. <https://doi.org/10.25573/DATA.27981089.V1>
- Álvarez Araujo, E. C. P., & Colonio Giraldo, I. A. (2023). *Estado actual de los bosques andinos como estrategia de restauración de áreas degradadas en la microcuenca del Río Chia-Ingenio, 2021-2023*. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_ec47c9c29100b6aa88827db82a98488f
- Anderson, C. C., Renaud, F. G., Hanscomb, S., & Gonzalez-Ollauri, A. (2022). Green, hybrid, or grey disaster risk reduction measures: What shapes public preferences for nature-based solutions? *Journal of Environmental Management*, 310, 114727. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.114727>
- Bonham, C. D. . (2013). *Measurements for terrestrial vegetation*. Wiley-Blackwell. <https://repository.poltekkesjkt2.ac.id/index.php?p=fstream-pdf&fid=5282&bid=5103>
- Eduardo, F., Chuquillanqui, H., & Linares, R. (2025). Unveiling vegetation recovery dynamics in Andean grasslands along a trans-Andean natural gas pipeline. *Ecological Indicators*, 170, 112884. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2024.112884>
- García Tueros, M. A. (2021). *Evaluación del estado de restauración en áreas degradadas por minería aurífera de seis años, distrito de Huepetuhe, Madre de Dios-Perú*. <http://hdl.handle.net/20.500.14070/682>
- Gonzales C, & Moscoso A. (2023). *Diseño de tareas y acciones para el proceso de conservación y planificación de la restauración ecológica de los bofedales del centro poblado rural Chalhuanca - Yanque, Arequipa 2021 - 2022*. <https://hdl.handle.net/20.500.12773/16277>

- Hammer, Ryan, P. D., Hammer, Ø., & Harper, D. A. T. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 178. http://palaeo-electronica.orghttp://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- Holl, K. D. (2023). *Introduccion a la restauracion ecologica*. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=0ke7EAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=restauracion+ecologico+libro&ots=czdufV9g_P&sig=Th9ZZ_w0s83246Oy_5sqkJiVHng#v=onepage&q=restauracion%20ecologico%20libro&f=false
- INAIGEM. (2023). *MEMORIA DESCRIPTIVA INVENTARIO NACIONAL DE BOFEDALES*. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/Inventario%20Nacional%20de%20Bofedales%20del%20Per%C3%BA.pdf>
- Linares, R., Alfonso, F. D., Godofredo Mamani, R. L., Veronica Saenz, E. D., Alina Pace, & Jessica Deichmann. (2013). *Vegetation Restoration in Andean Environments: Accomplishments and Challenges*. https://www.researchgate.net/profile/Reynaldo-Linares-Palomino/publication/297611084_Accomplishments_and_challenges_to_biorestation_in_high_altitude_Andean_environments/links/56e00eb608aec4b3333cfb9c/Accomplishments-and-challenges-to-biorestation-in-high-altitude-Andean-environments.pdf
- Maldonado-Fonkén, M., Chuquillanqui, H., Vildoso, B., & Linares-Palomino, R. (2024). Plant communities of high-Andean bofedal wetlands across a trans-Andean transect in southern Peru. *Vegetation Classification and Survey* 5: 203-218, 5, 203–218. <https://doi.org/10.3897/VCS.115726>
- Matteucci, S., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. https://aprobioma.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/03/metod_para_el_estudio_de_la_vegetacion_archivo1.pdf
- Mendoza, W., Cano, A., Roque, J., La Torre, M., Navarro, E., Gonzáles, P., Castillo, S., Trujillo, D., Delgado, A., Ramirez, D., Trinidad, H., & Valencia, N. (2024). *Guía de las plantas de los bofedales del Perú* (Primera edición). Universidad Católica Sedes Sapientiae. https://drive.google.com/file/d/1xeM0Z_K3cZdvaiO4oOu5I7cld26QN96A/view

- Menéndez, M., Rubio, A., Bauhus, J., Cañellas, I., Crowther, T., de-Miguel, S., Erdozain, M., Hoffmann, J., Kremer, K., Sotirov, M., Lapin, K., Lundhede, T., Jacobs, S., Schatzdorfer, E., Werden, L., & Alberdi, I. (2025). A comprehensive analysis of forest restoration practices across Europe: Ecological, economic, social and policy dimensions. *Ecological Indicators*, 173, 113348. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2025.113348>
- MINAM. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12082/07_guia-a-de-flora-y-vegetacion.pdf
- MINAM. (2019). *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/guia_bofedal.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Estrategias Nacionales de Humedales*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N%C2%B0-004-2015-MINAM2.pdf>
- Mosquera, G. M., Marín, F., Stern, M., Bonnesoeur, V., Ochoa-Tocachi, B. F., & Román-Dañobeytia, F. (2022). *Servicios ecosistémicos hídricos de los pajonales altoandinos: ¿Qué sabemos?*
- PERU LNG. (2024). *Publicaciones – PERU LNG*. 2024. <https://perulng.com/publicaciones/>
- PERU LNG. (2025). *PERU LNG*. <https://perulng.com/#>
- Portal, E. (2019). *Influencia de la Napa freática sobre la vegetación y capacidad de carga animal en bofedales altoandinos* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://core.ac.uk/download/pdf/323342089.pdf>
- Sahley, C. T., Vildoso, B., Casaretto, C., Taborga, P., Ledesma, K., Linares-Palomino, R., Mamani, G., Dallmeier, F., & Alonso, A. (2017). Quantifying impact reduction due to avoidance, minimization and restoration for a natural gas pipeline in the Peruvian Andes. *Environmental Impact Assessment Review*, 66, 53–65. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2017.06.003>
- SERFOR. (2018). *Lineamientos para la Restauración de Ecosistemas Forestales y otros Ecosistemas de Vegetación Silvestre* (primera).

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1269060/Lineamientos%20restauracion.pdf?v=1598652269>

Suárez, N., & Podvin, K. (2022). *Documento de Lectura Módulo 1: Introducción a las Soluciones basadas en la Naturaleza y Adaptación basada en Ecosistemas*. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/CV-SbN-PE-001-Es.pdf>

UICN. (2020). *Orientación para usar el Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza: Un marco fácil de usar para la verificación, diseño y ampliación de las soluciones basadas en la naturaleza* (Primera edición). <http://www.uicn.org/eshttps://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-021-Es.pdf>

Walsh Perú. (2005). *Estudio de Impacto Ambiental y Social del Proyecto de Transporte de Gas Natural por Ducto de Ayacucho a la Planta de Licuefacción*. <https://perulng.com/wp-content/uploads/2024/02/1.-EIAS-Proyecto-Sistema-de-Transporte-GNL.pdf>

ANEXO

Anexo 1: Ficha de evaluación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).

Clave (%)			Puntaje	Producto de intervención
	≥ 75	Sólida	4	Se adhiere al Estándar Global para SbN
	≥ 50 y < 75	Adecuado	3	
	≥ 25 y < 50	Parcial	2	
	< 25	Insuficiente	1	No se adhiere al Estándar Global para SbN

Nº	Criterio SbN	Indicador	Puntaje (1–4)	Intervención del proyecto PERU LNG
1	Responde a desafíos sociales relevantes	1.1 Identifica y prioriza claramente los desafíos sociales degradación en la zona del gasoducto.		
		1.2 Documenta y contextualiza adecuadamente dichos desafíos.		
		1.3 Evalúa los beneficios esperados en bienestar humano por la restauración.		
2	Diseño adaptado al contexto ecológico y social	2.1 Reconoce interacciones entre sociedad, economía y ecosistemas.		
		2.2 Integra con otras intervenciones con monitoreo ambiental		
		2.3 Evalúa riesgos ecológicos y sociales más allá del sitio directo de intervención.		
3	Mejora biodiversidad e integridad ecológica	3.1 Basada en diagnóstico ecológico y causas de degradación.		
		3.2 Establece resultados medibles en biodiversidad.		
		3.3 Evalúa posibles impactos adversos no deseados sobre el ecosistema.		
		3.4 Fomenta la conectividad ecológica en el derecho de vía.		
4	Viabilidad económica	4.1 Identifica beneficios y costos de restauración, incluyendo actores responsables.		
		4.2 Incluye análisis costo-efectividad frente a otras alternativas.		
		4.3 Considera externalidades ambientales o sociales relevantes.		
		4.4 Evalúa y plantea fuentes de financiamiento viables o sostenibles.		

5	Gobernanza inclusiva y transparente	5.1 Se establecen mecanismos de retroalimentación y resolución de conflictos.		
		5.2 Respetar principios de igualdad de género y CLPI (consentimiento libre previo informado).		
		5.3 Involucra a actores clave (comunidades, autoridades locales, técnicos).		
		5.4 Toma de decisiones inclusiva y documentada.		
		5.5 Considera jurisdicciones múltiples si aplica		
6	Equilibrio entre objetivos y compensaciones	6.1 Identifica y gestiona compensaciones entre beneficios sociales y ecológicos.		
		6.2 Reconoce derechos sobre la tierra y acceso a recursos de las partes interesadas.		
		6.3 Revisa periódicamente salvaguardas implementadas.		
7	Gestión adaptativa	7.1 Cuenta con una estrategia clara de restauración y seguimiento.		
		7.2 Desarrolla e implementa un plan de monitoreo en el tiempo.		
		7.3 Aplica aprendizajes al diseño y mejora continua de la intervención.		
8	Integración en marcos institucionales y sostenibilidad a largo plazo	8.1 Comparte resultados y aprendizajes con actores relevantes.		
		8.2 Contribuye al fortalecimiento de políticas locales, regionales o nacionales.		
		8.3 Aporta al cumplimiento de metas globales (cumplimientos con las partes interesadas en el área de influencia).		

Fuente: Modificado de tabla de autoevaluación de estándares de la SbN (UICN, 2020).

Anexo 2: Especies de la flora registrados en el bofedal DdV de PERU LNG entre las progresivas 178+719 al 190+524.

N°	Orden/familia	Especie	Nombre común
APIALES			
1	APIACEAE	Azorella diapiensoides A. Gray	Cuncuna
2	APIACEAE	Lilaeopsis macloviana A.W.Hill	Chinga
ASTERALES			
3	ASTERACEAE	Cotula mexicana (DC.) Cabrera	
4	ASTERACEAE	Cuatrecasasiella isernii (Cuatrec.) H.Rob.	Puto puto
5	ASTERACEAE	Hypochaeris taraxacoides (Meyen & Walp.)	Chicoria
6	ASTERACEAE	Oritrophium limnophilum (Sch.Bip.) Cuatrec.	
7	ASTERACEAE	Werneria pygmaea Gillies ex Hook. Y Arn.	Cuncuna2
8	CAMPANULACEAE	Lobelia oligophylla (Wedd.) Lammers	Clavelillo
9	CAMPANULACEAE	Lysipomia muscoides Hook.f.	Curancu
CARYOPHYLLALES			
10	CARYOPHYLLACEAE	Arenaria digyna Willd. ex Schltdl.	
GENTIANALES			
11	GENTIANACEAE	Gentiana sedifolia Kunth	Pinja jora
ISOETALES			
12	ISOETACEAE	Isoetes andicola (Amstutz) LD Gómez	
LAMIALES			
13	PLANTAGINACEAE	Plantago tubulosa Decne.	
MALPIGHIALES			
14	VIOLACEAE	Viola pygmaea Juss. ex Poir.	violeta andina
MALVALES			
15	MALVACEAE	Nototriche longirostris (Wedd.) A.W. Hill	turpa
POALES			
16	CYPERACEAE	Eleocharis albibracteata Nees & Meyen ex Kunth	
17	CYPERACEAE	Phylloscirpus acaulis (Phil.) Goetgh. & DASimpson	
18	JUNCACEAE	Distichia muscoides Nees & Meyen	Kunkuna
19	JUNCACEAE	Juncus ebracteatus E.Meyer	
20	JUNCACEAE	Juncus cf. stipulatus Nees & Meyen	
21	POACEAE	Aciachne pulvinata Benth.	Paco Paco
22	POACEAE	Agrostis breviculmis Hitchc.	
23	POACEAE	Calamagrostis rigescens (J.Presl) Scribn.	Tullu tullu
24	POACEAE	Calamagrostis vicunarum (Wedd.) Pilg.	Crespillo
25	POACEAE	Dissanthelium peruvianum (Nees y Meyen) Pilg.	
26	POACEAE	Festuca rigescens (J. Presl) Kunth	Chillihua
27	POACEAE	Muhlenbergia fastigiata (J.Presl) Henrard	

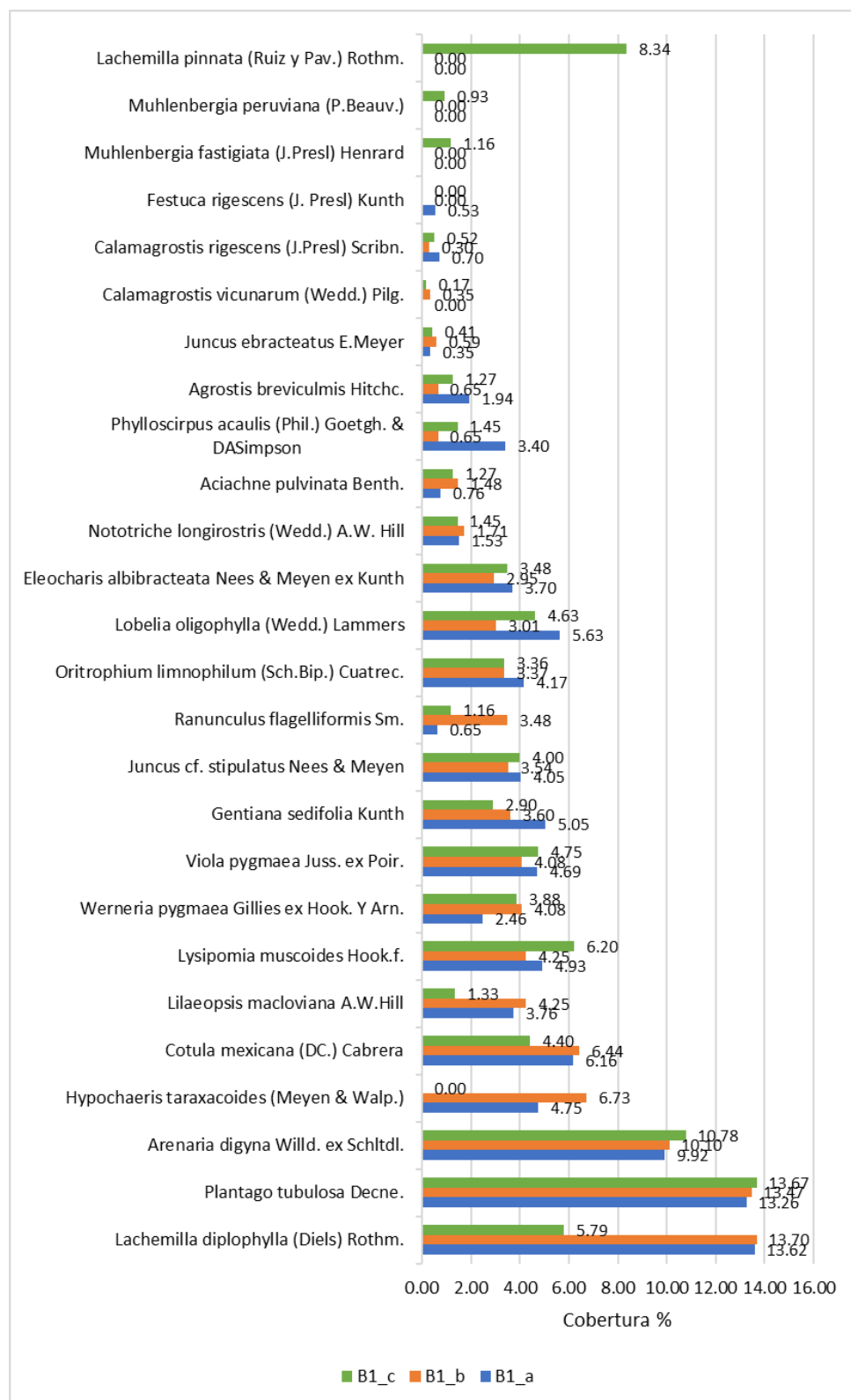
28	POACEAE	Muhlenbergia peruviana (P.Beauv.)	
RANUNCULALES			
29	RANUNCULACEAE	Ranunculus flagelliformis Sm.	
ROSALES			
30	ROSACEAE	Lachemilla diplophylla (Diels) Rothm.	Libro libro
31	ROSACEAE	Lachemilla pinnata (Ruiz y Pav.) Rothm.	Sillu sillu

Anexo 3: Cobertura porcentual de las especies registradas en los bofedales del DdV de PERU LNG del KP 178+719 al KP 190+524.

N°	ORDEN/FAMILIA	ESPECIE	Bofedal 1 Kp 178+950			Bofedal 2 Kp 179+840			Bofedal 3 Kp 185+425		
			B1_a	B1_b	B1_c	B2_a	B2_b	B2_c	B3_a	B3_b	B3_c
	APIALES										
1	APIACEAE	Azorella diapiensioides A. Gray	0.00	0.00	0.00	4.24	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00
2	APIACEAE	Lilaeopsis macloviana A.W.Hill	3.76	4.25	1.33	0.00	0.20	0.56	3.67	3.19	2.14
	ASTERALES										
3	ASTERACEAE	Cotula mexicana (DC.) Cabrera	6.16	6.44	4.40	0.00	0.28	0.46	7.15	7.80	7.18
4	ASTERACEAE	Cuatrecasasiella isernii (Cuatrec.) H.Rob.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	0.00	0.00	0.00
5	ASTERACEAE	Hypochaeris taraxacoides (Meyen & Walp.)	4.75	6.73	0.00	1.21	5.47	3.82	0.12	0.00	0.36
6	ASTERACEAE	Oritrophium limnophilum (Sch.Bip.) Cuatrec.	4.17	3.37	3.36	6.61	7.14	5.99	7.27	0.00	6.77
7	ASTERACEAE	Werneria pygmaea Gillies ex Hook. Y Arn.	2.46	4.08	3.88	1.07	2.34	1.72	4.03	0.00	2.94
8	CAMPANULACEAE	Lobelia oligophylla (Wedd.) Lammers	5.63	3.01	4.63	0.00	0.95	2.17	3.23	0.00	2.86
9	CAMPANULACEAE	Lysipomia muscoides Hook.f.	4.93	4.25	6.20	0.00	2.30	14.53	6.39	0.00	7.14
	CARYOPHYLLALES										
10	CARYOPHYLLACEAE	Arenaria digyna Willd. ex Schltdl.	9.92	10.10	10.78	0.00	9.60	5.78	9.62	0.00	9.48
	GENTIANALES										
11	GENTIANACEAE	Gentiana sedifolia Kunth	5.05	3.60	2.90	3.13	3.21	2.49	0.36	6.03	0.28
	ISOETALES										
12	ISOETACEAE	Isoetes andicola (Amstutz) LD Gómez	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52	0.00	2.10
	LAMIALES										
13	PLANTAGINACEAE	Plantago tubulosa Decne.	13.26	13.47	13.67	0.58	10.08	7.84	9.54	0.00	9.15
	MALPIGHIALES										
14	VIOLACEAE	Viola pygmaea Juss. ex Poir.	4.69	4.08	4.75	0.00	1.90	2.38	9.26	0.00	8.99
	MALVALES										
15	MALVACEAE	Nototriche longirostris (Wedd.) A.W. Hill	1.53	1.71	1.45	0.00	2.58	2.52	0.72	0.00	0.81

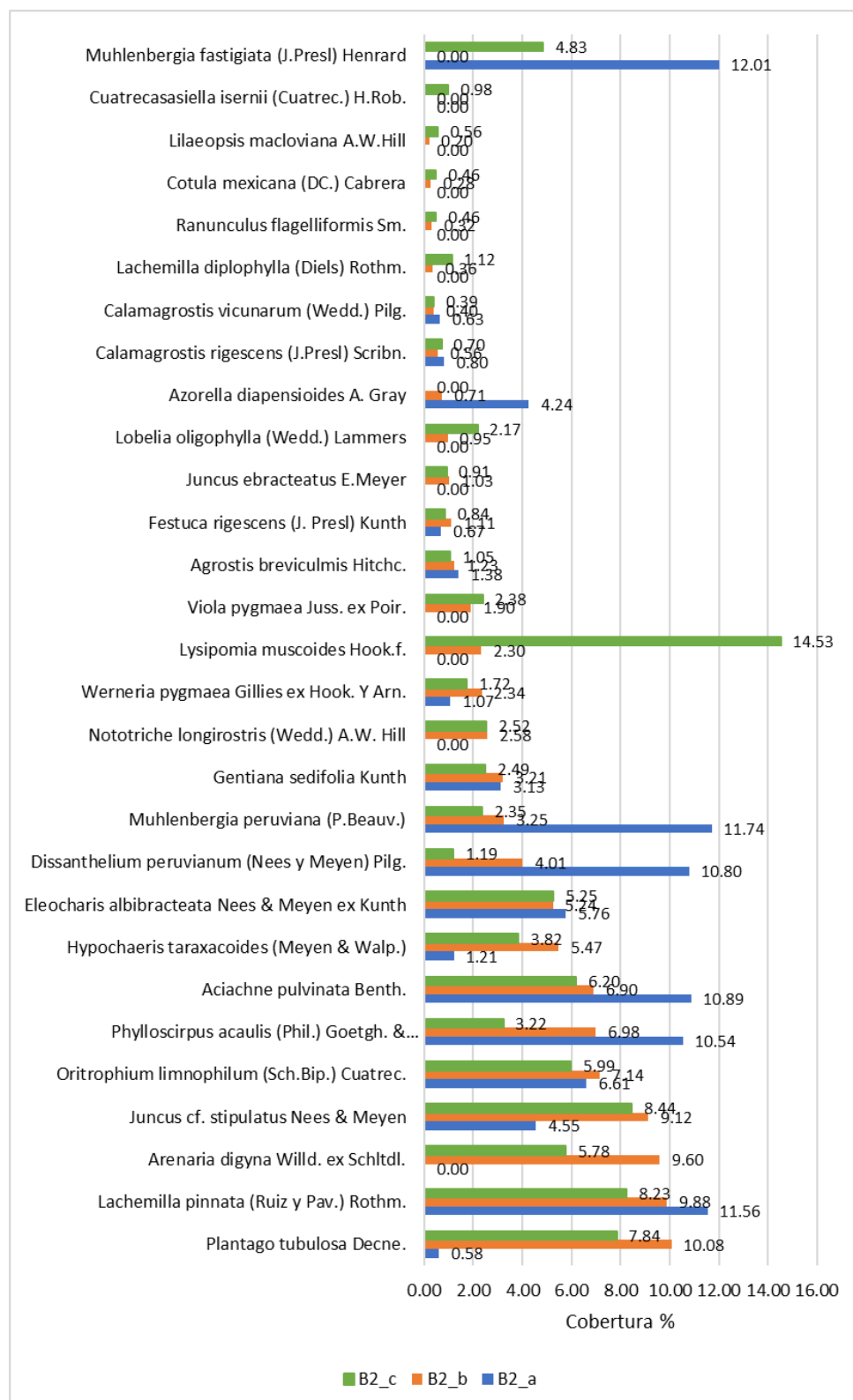
POALES											
16	CYPERACEAE	Eleocharis albibracteata Nees & Meyen ex Kunth	3.70	2.95	3.48	5.76	5.24	5.25	9.54	0.00	9.27
17	CYPERACEAE	Phylloscirpus acaulis (Phil.) Goetgh. & DASimpson	3.40	0.65	1.45	10.54	6.98	3.22	0.60	0.00	0.81
18	JUNCACEAE	Distichia muscoides Nees & Meyen	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93
19	JUNCACEAE	Juncus ebracteatus E.Meyer	0.35	0.59	0.41	0.00	1.03	0.91	0.28	0.00	0.36
20	JUNCACEAE	Juncus cf. stipulatus Nees & Meyen	4.05	3.54	4.00	4.55	9.12	8.44	8.70	0.00	9.96
21	POACEAE	Aciachne pulvinata Benth.	0.76	1.48	1.27	10.89	6.90	6.20	0.76	0.00	1.17
22	POACEAE	Agrostis breviculmis Hitchc.	1.94	0.65	1.27	1.38	1.23	1.05	0.28	0.00	0.32
23	POACEAE	Calamagrostis rigescens (J.Presl) Scribn.	0.70	0.30	0.52	0.80	0.56	0.70	0.52	12.77	0.77
24	POACEAE	Calamagrostis vicunarum (Wedd.) Pilg.	0.00	0.35	0.17	0.63	0.40	0.39	0.00	0.00	0.00
25	POACEAE	Dissanthelium peruvianum (Nees y Meyen) Pilg.	0.00	0.00	0.00	10.80	4.01	1.19	0.00	0.00	0.00
26	POACEAE	Festuca rigescens (J. Presl) Kunth	0.53	0.00	0.00	0.67	1.11	0.84	0.44	0.00	0.44
27	POACEAE	Muhlenbergia fastigiata (J.Presl) Henrard	0.00	0.00	1.16	12.01	0.00	4.83	0.00	0.00	0.00
28	POACEAE	Muhlenbergia peruviana (P.Beauv.)	0.00	0.00	0.93	11.74	3.25	2.35	0.00	0.00	0.00
RANUNCULALES											
29	RANUNCULACEAE	Ranunculus flagelliformis Sm.	0.65	3.48	1.16	0.00	0.32	0.46	0.80	0.00	0.40
ROSALES											
30	ROSACEAE	Lachemilla diplophylla (Diels) Rothm.	13.62	13.70	5.79	0.00	0.36	1.12	10.70	14.89	11.17
31	ROSACEAE	Lachemilla pinnata (Ruiz y Pav.) Rothm.	0.00	0.00	8.34	11.56	9.88	8.23	0.00	0.00	0.00

Anexo 4: Cobertura porcentual de las especies registradas del bofedal (B1) Kp 178+950 comprende dentro y fuera del DdV.



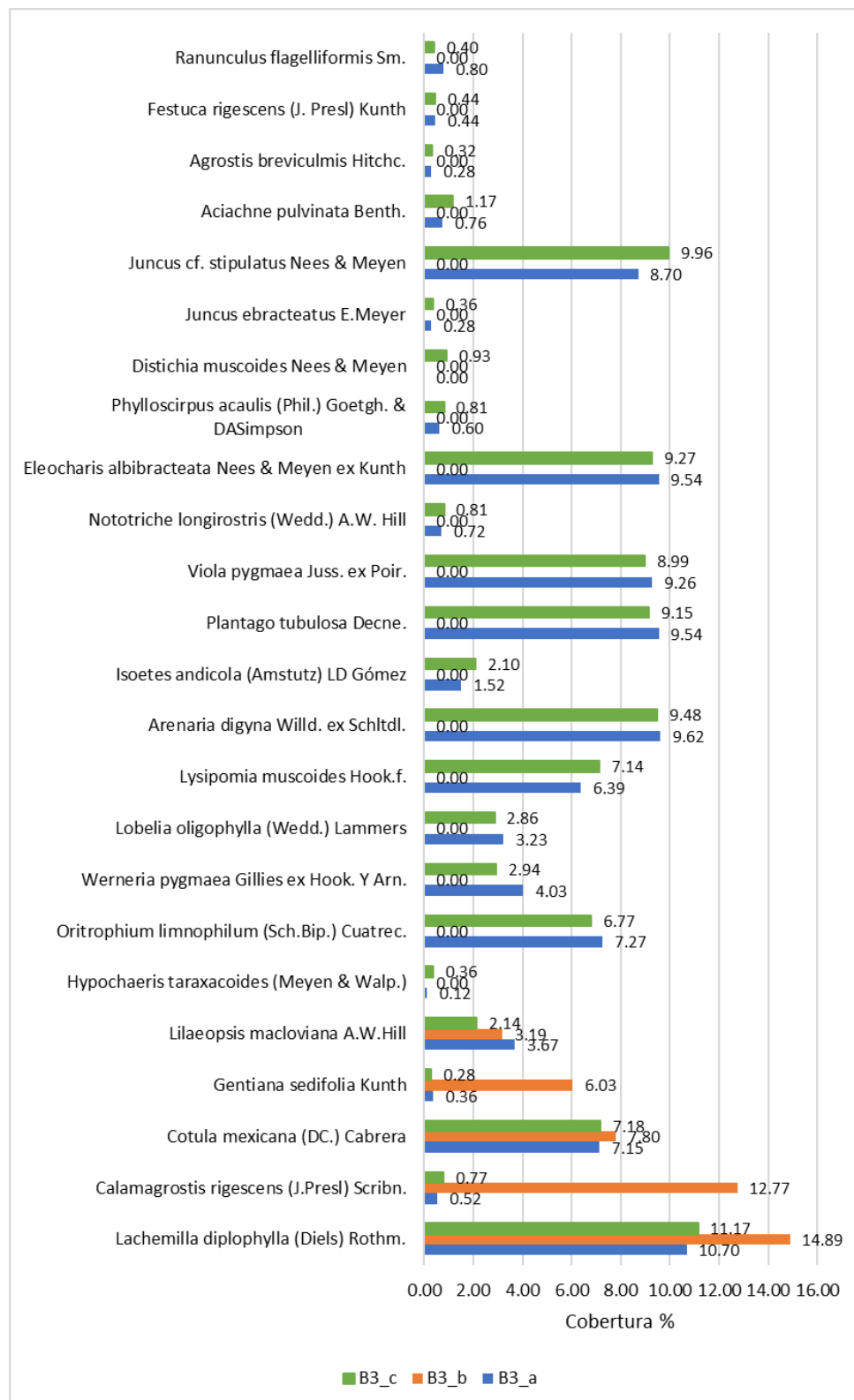
Nota: Fuera del DdV, B1_a (margen izquierdo) y B1_c (margen derecho); dentro del DdV, B1_b.

Anexo 5: Cobertura porcentual de las especies registradas del bofedal (B2) Kp 179+840 comprende dentro y fuera del DdV.



Nota: Fuera del DdV, B2_a (margen izquierdo) y B2_c (margen derecho); dentro del DdV, B2_b.

Anexo 6: Cobertura porcentual de las especies registradas del bofedal (B3) Kp 185+425 comprende dentro y fuera del DdV.

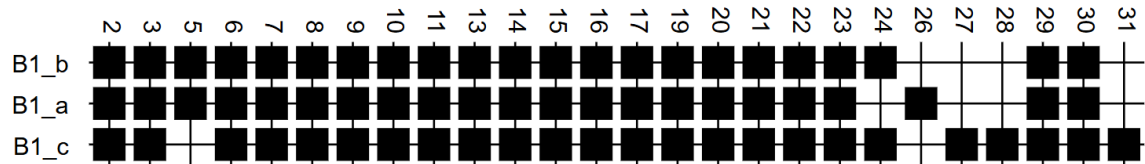


Nota: Fuera del DdV, B3_a (margen izquierdo) y B3_c (margen derecho); dentro del DdV, B3_b.

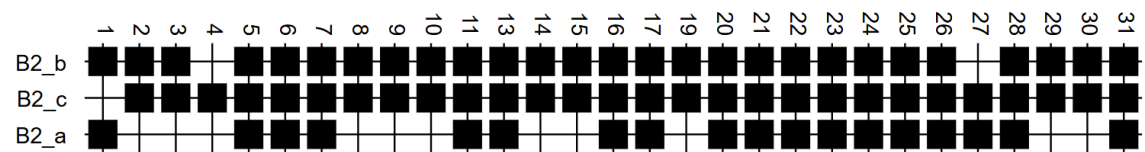
Anexo 7: Seariation y Análisis de Similitud de Morisita-Horn para los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.

Seariation

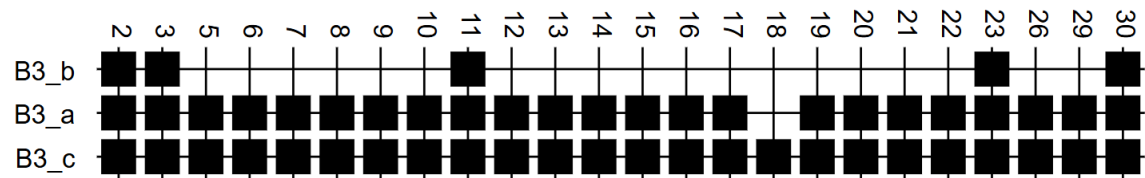
- Bofedal (B1) Kp 178+950 del DdV de PERU LNG.



- Bofedal (B2) Kp 179+840 del DdV de PERU LNG.



- Bofedal (B3) Kp 185+425 del DdV de PERU LNG.



Nota: Los números representan las especies registradas en los bofedales B1, B2 y B3. Sus nombres se encuentran en el Anexo 2. Fuera del DdV, se identificaron en el margen izquierdo (B1_a, B2_a y B3_a) y en el margen derecho (B1_c, B2_c y B3_c); dentro del DdV, se registraron como (B1_b, B2_b y B3_b).

Análisis de Similitud de Morisita-Horn de los bofedales B1, B2 y B3 del DdV.

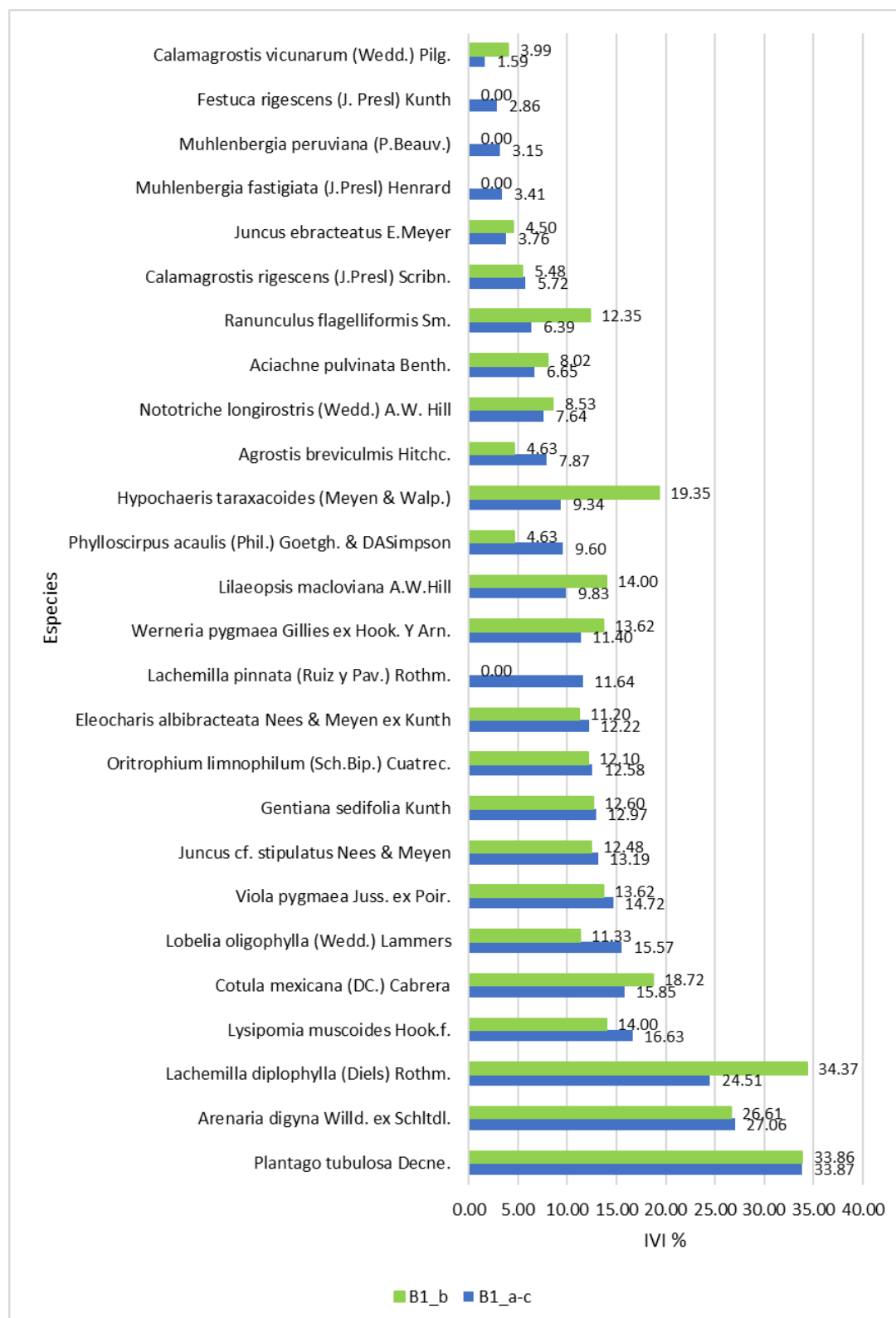
	B1_a	B1_b	B1_c	B2_a	B2_b	B2_c	B3_a	B3_b	B3_c
B1_a	1	0.974	0.865	0.183	0.639	0.614	0.878	0.435	0.871
B1_b	0.974	1	0.842	0.140	0.612	0.581	0.856	0.432	0.845
B1_c	0.865	0.842	1	0.323	0.782	0.773	0.828	0.236	0.818
B2_a	0.183	0.140	0.323	1	0.644	0.558	0.208	0.039	0.215
B2_b	0.639	0.612	0.782	0.644	1	0.821	0.629	0.051	0.635
B2_c	0.614	0.581	0.773	0.558	0.821	1	0.661	0.068	0.680
B3_a	0.878	0.856	0.828	0.208	0.629	0.661	1	0.337	0.994
B3_b	0.435	0.432	0.236	0.039	0.051	0.068	0.337	1	0.343
B3_c	0.871	0.845	0.818	0.215	0.635	0.680	0.994	0.343	1

Anexo 8: Índice de valor de importancia de los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.

N o	ESPECIE	Bofedal 1 Kp		Bofedal 2 Kp		Bofedal 3 Kp	
		178+950		179+840		185+425	
		B1_a-c	B1_b	B2_a-c	B2_b	B3_a-c	B3_b
1	Azorella diapsenioides A. Gray	0.00	0.00	7.26	2.84	0.00	0.00
2	Lilaeopsis macloviana A.W.Hill	9.83	14.00	2.46	1.78	10.46	34.29
3	Cotula mexicana (DC.) Cabrera	15.85	18.72	1.72	3.31	19.35	54.92
4	Cuatrecasasiella isernii (Cuatrec.) H.Rob.	0.00	0.00	2.27	0.00	0.00	0.00
5	Hypochaeris taraxacoides (Meyen & Walp.)	9.34	19.35	10.00	15.38	4.88	0.00
6	Oritrophium limnophilum (Sch.Bip.) Cuatrec.	12.58	12.10	17.76	18.81	19.06	0.00
7	Werneria pygmaea Gillies ex Hook. Y Arn.	11.40	13.62	7.69	8.93	11.67	0.00
8	Lobelia oligophylla (Wedd.) Lammers	15.57	11.33	4.13	3.33	10.75	0.00
9	Lysipomia muscoides Hook.f.	16.63	14.00	16.95	8.85	18.52	0.00
10	Arenaria digyna Willd. ex Schltdl.	27.06	26.61	7.87	23.87	24.35	0.00
11	Gentiana sedifolia Kunth	12.97	12.60	10.58	10.72	5.05	46.98
12	Isoetes andicola (Amstutz) LD Gómez	0.00	0.00	0.00	0.00	8.16	0.00
13	Plantago tubulosa Decne.	33.87	33.86	11.58	24.85	23.93	0.00
14	Viola pygmaea Juss. ex Poir.	14.72	13.62	4.35	8.03	23.46	0.00
15	Nototriche longirostris (Wedd.) A.W. Hill	7.64	8.53	4.49	9.42	5.97	0.00
16	Eleocharis albibracteata Nees & Meyen ex Kunth	12.22	11.20	16.13	14.89	24.05	0.00
17	Phylloscirpus acaulis (Phil.) Goetgh. & DASimpson	9.60	4.63	18.89	18.48	5.85	0.00
18	Distichia muscoides Nees & Meyen	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00
19	Juncus ebracteatus E.Meyer	3.76	4.50	2.82	6.23	4.32	0.00

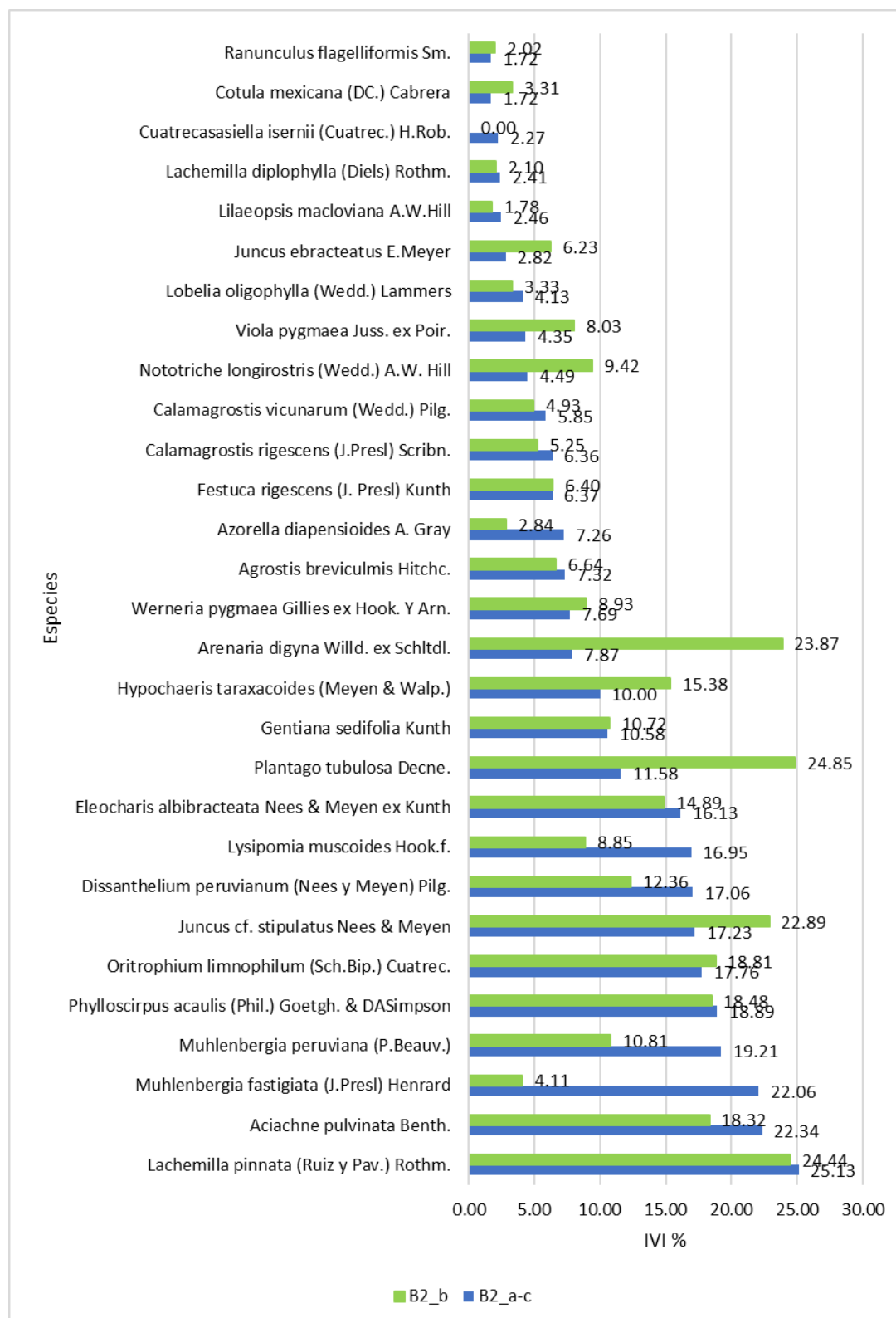
20	Juncus cf. stipulatus Nees & Meyen	13.19	12.48	17.23	22.89	23.89	0.00
21	Aciachne pulvinata Benth.	6.65	8.02	22.34	18.32	6.39	0.00
22	Agrostis breviculmis Hitchc.	7.87	4.63	7.32	6.64	4.27	0.00
23	Calamagrostis rigescens (J.Presl) Scribn.	5.72	5.48	6.36	5.25	5.72	77.14
24	Calamagrostis vicunarum (Wedd.) Pilg.	1.59	3.99	5.85	4.93	0.00	0.00
25	Dissanthelium peruvianum (Nees y Meyen) Pilg.	0.00	0.00	17.06	12.36	0.00	0.00
26	Festuca rigescens (J. Presl) Kunth	2.86	0.00	6.37	6.40	5.30	0.00
27	Muhlenbergia fastigiata (J.Presl) Henrard	3.41	0.00	22.06	4.11	0.00	0.00
28	Muhlenbergia peruviana (P.Beauv.)	3.15	0.00	19.21	10.81	0.00	0.00
29	Ranunculus flagelliformis Sm.	6.39	12.35	1.72	2.02	5.64	0.00
30	Lachemilla diplophylla (Diels) Rothm.	24.51	34.37	2.41	2.10	27.24	86.67
31	Lachemilla pinnata (Ruiz y Pav.) Rothm.	11.64	0.00	25.13	24.44	0.00	0.00

Anexo 9: Índice de valor de importancia de especies del bofedal (B1) Kp 178+950 comprende dentro y fuera del DdV.



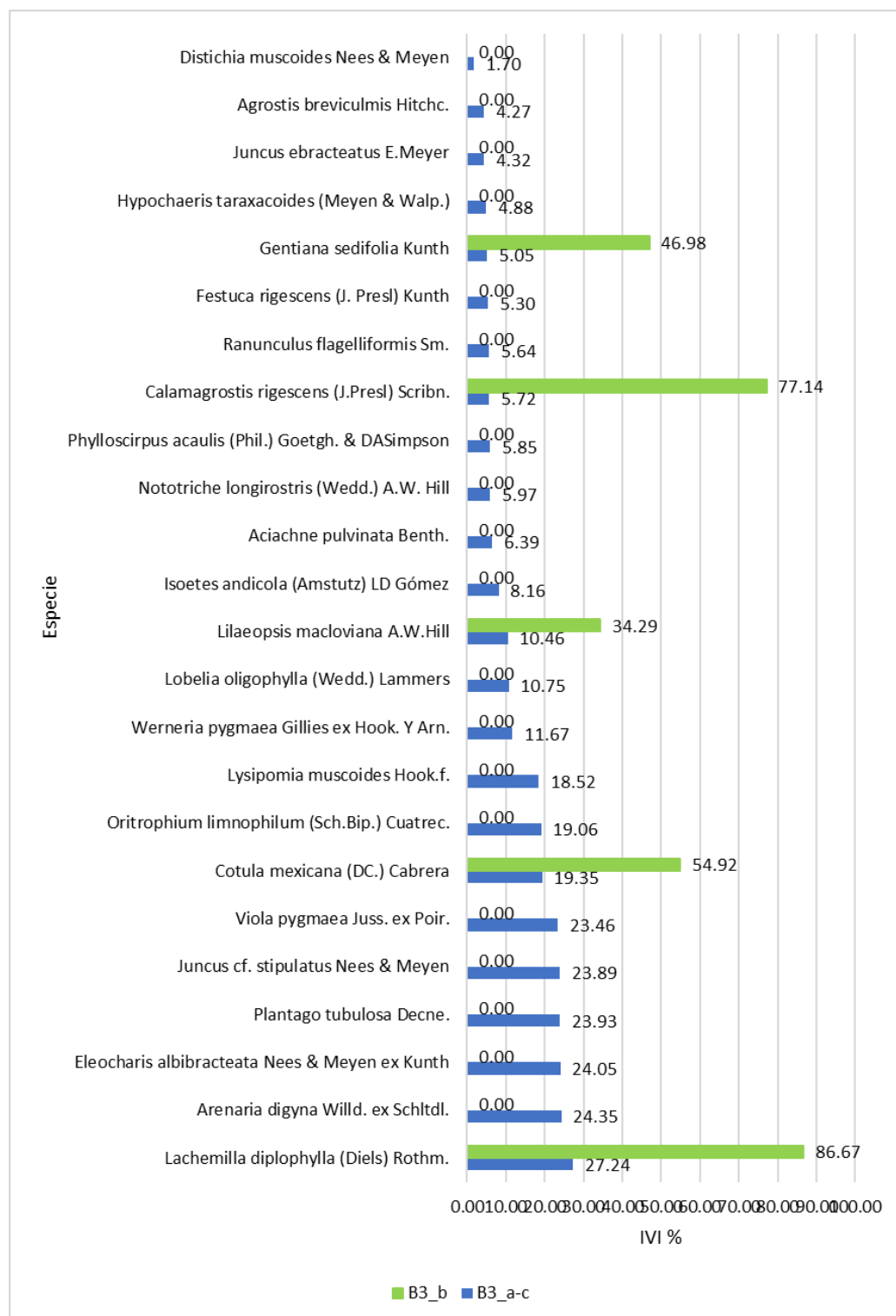
Nota: Fuera del DdV, B1_a-c (promedio de B1_a y B1_c); dentro del DdV, B1_b.

Anexo 10: Índice de valor de importancia de especies del bofedal (B2) Kp 179+840 comprende dentro y fuera del DdV.



Nota: Fuera del DdV, B2_a-c (promedio de B2_a y B2_c); dentro del DdV, B2_b.

Anexo 11: Índice de valor de importancia de especies del bofedal (B3) Kp 185+425 comprende dentro y fuera del DdV.



Nota: Fuera del DdV, B2_a-c (promedio de B2_a y B2_c); dentro del DdV, B2_b.

Anexo 12: Puntuación de la ficha de evaluación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)

FICHA DE EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE CRITERIOS E INDICADORES SbN

Se utilizó para la Tesis – Restauración ecológica en el gasoducto PERU LNG.

Nombre del tesista: Daniel Quichca Pariona

Fecha de evaluación: agosto – octubre 2025

Nº	Criterio SbN	Indicador	Puntaje (1–4)	Intervención del proyecto PERU LNG
1	Responde a desafíos sociales relevantes	1.1 Identifica y prioriza claramente los desafíos sociales degradación en la zona del gasoducto.	4	PERU LNG elaboró un plan de biorrestauración tiene como objetivo recuperar el estado original de los terrenos intervenidos para la instalación del gasoducto, empleando el mismo suelo orgánico previamente extraído. Esta estrategia debe implementarse en cada tramo afectado por el trazado del gasoducto, considerando variables como la altitud, la configuración del relieve y otros factores ambientales. La preservación y manejo adecuado de la capa superficial del suelo (top soil) constituye un elemento clave para garantizar el éxito del proceso de restauración ecológica (PERU LNG, 2024).
		1.2 Documenta y contextualiza adecuadamente dichos desafíos.	3	Uno de los mayores desafíos se registró que hubo reducción de ancho de DdV de 25 metros de ancho a 5 metros de ancho en el caso del

				bofedal B3 (Kp 185+425) esta reducción se hizo con el fin de reducir el impacto ambiental.
		1.3 Evalúa los beneficios esperados en bienestar humano por la restauración.	3	En los bofedales (B1 y B2) registran una cobertura vegetal de (92.79% y 97.17%) esto genera un beneficio directo a la ganadería de la zona como los camélidos.
2	Diseño adaptado al contexto ecológico y social	2.1 Reconoce interacciones entre sociedad, economía y ecosistemas.	4	PERU LNG reconoció esta relación al priorizar la restauración de los bofedales intervenidos (B1, B2 y B3), mantienen la humedad en los suelos y sostienen actividades económicas tradicionales, como el pastoreo de alpacas y llamas.
		2.2 Integra con otras intervenciones con monitoreo ambiental	4	PERU LNG realiza el Monitoreo y evaluación de la biodiversidad (BMAP). El BMAP se desarrolla mediante protocolos de monitoreo. Los protocolos se centran en especies y hábitats seleccionados de la zona de influencia de PERU LNG. Durante el 2023, fueron ejecutados en el Ducto los protocolos de monitoreo de biorrestauración de pastizales y vegetación de bofedales enfocados en la restauración de la cobertura vegetal y la composición de especies (PERU LNG, 2024).
		2.3 Evalúa riesgos ecológicos y sociales más allá del sitio directo de intervención.	3	Aun limitada la evaluación en el bofedal 3 (Kp 185+425) se muestra que hay pérdida de cobertura vegetal (55.32 por ciento) no presenta mucha diversidad en la zona restaurada.

3	Mejora biodiversidad e integridad ecológica	3.1 Basada en diagnóstico ecológico y causas de degradación.	4	Se registro en los bofedales la construcción de madera (trinchos) para evitar el deslizamiento de tierras y suelo inestables, los bofedales que se registraron fueron B2 y B3 que se encuentran en las zonas de laderas esto busca mitigar la erosión.
		3.2 Establece resultados medibles en biodiversidad.	3	Según los resultados obtenidos de la cobertura y las especies registradas en la zona de restauración frente a la zona no intervenidas que los bofedales B1 y B2 cumplen con una mayor similitud y no en B3 (ver Anexo 1).
		3.3 Evalúa posibles impactos adversos no deseados sobre el ecosistema.	3	El Programa de Monitoreo Socioambiental Participativo (PMSAP), un servicio de vigilancia ciudadana que garantiza el cuidado del entorno natural y del territorio donde se encuentran asentadas las comunidades en la zona de intervención (PERU LNG, 2024).
		3.4 Fomenta la conectividad ecológica en el derecho de vía.	3	PERU LNG tuvo mucho cuidado en la reintroducción de otras especies vegetales en la restauración de los bofedales por eso no se encontraron especies como (raigrás, trébol rojo y otras especies), esto alteraría la conectividad de su misma especie con la zona subyacente (PERU LNG, 2024).
4	Viabilidad económica	4.1 Identifica beneficios y costos de restauración, incluyendo actores responsables.	3	El proyecto identifica los beneficios ambientales, como la recuperación de los bofedales B1, B2 y B3, aumento de la cobertura vegetal (pastos forraje) en el área restaurada esto beneficia la comunidad local, pero

				carece de un análisis económico integral que cuantifique los retornos ecológicos frente a los costos operativos.
		4.2 Incluye análisis costo-efectividad frente a otras alternativas.	3	PERU LNG llevó a cabo trabajos de recomposición de los colchones de vegetación propios de los bofedales, lo cual contribuyó significativamente a la recuperación de estos ecosistemas. Esta estrategia favoreció la efectividad del proceso de restauración y ayudó a prevenir la erosión del suelo (PERU LNG, 2024).
		4.3 Considera externalidades ambientales o sociales relevantes.	3	PERU LNG, al aplicar este tipo de restauración mediante la recomposición de champas, generó una menor alteración del suelo y una menor pérdida de especies vegetales propias de la zona intervenida. Además, se registró una reducción en la DdV en el caso del sitio B3_b, lo que evidencia una mejora en la cobertura vegetal como resultado del proceso de restauración en los B1_b y B2_b.
		4.4 Evalúa y plantea fuentes de financiamiento viables o sostenibles.	3	Financiamiento corporativo disponible; falta definición de mecanismos de cofinanciamiento o sostenibilidad financiera local a largo plazo.
5	Gobernanza inclusiva y transparente	5.1 Se establecen mecanismos de retroalimentación y resolución de conflictos.	3	La comunidad puede notificar observaciones relacionadas con los trabajos de revegetación y las labores de mantenimiento realizadas en la DdV. PERU LNG, a través de su área de Relaciones Comunitarias, atiende las solicitudes y reclamos presentados por los pobladores, como parte de su compromiso (PERU LNG, 2024).

	5.2 Respeta principios de igualdad de género y CLPI (consentimiento libre previo informado).	4	PERU LNG está comprometido con el desarrollo sostenible en las comunidades en las zonas de influencia, la iniciativa de inversión social (PERU LNG, 2024).
	5.3 Involucra a actores clave (comunidades, autoridades locales, técnicos).	3	PERU LNG desarrolla sus actividades operativas en concordancia con los estándares de protección ambiental vigentes, los cuales abarcan las normativas establecidas por la Corporación Financiera Internacional (IFC) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Participación técnica y autoridades presentes; la inclusión activa y sostenida de comunidades locales (PERU LNG, 2024).
	5.4 Toma de decisiones inclusiva y documentada.	4	PERU LNG para la interacción con las comunidades se lleva a cabo en el marco del plan de relaciones comunitarias que el encargado de la gestión de consultas y reclamos, contribuyendo así a la prevención de conflicto sociales (PERU LNG, 2024).
	5.5 Considera jurisdicciones múltiples si aplica	3	PERU LNG con entidades de lo supervisan y colaboración son Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin), Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Minagri) y Autoridad Nacional del Agua (ANA) (PERU LNG, 2024).

6	Equilibrio entre objetivos y compensaciones	6.1 Identifica y gestiona compensaciones entre beneficios sociales y ecológicos.	3	PERU LNG tuvo como objetivo a largo plazo consistió en facilitar la restauración de la estructura y funcionalidad de la biodiversidad en las áreas intervenidas, mediante la reactivación de los procesos ecológicos naturales que prevalecían antes del inicio de las obras de construcción. El proceso de revegetación del Derecho de Vía (DdV) se ejecutó en tres campañas sucesivas, programadas estratégicamente antes del inicio de la temporada de lluvias, durante el periodo comprendido entre los años 2008 y 2010 en Apacheta (Alonso et al., 2024). El evitar los impactos fue la opción preferida, seguida por la reducción mínima del impacto, para después implementar las fases de restauración y compensación como se muestra en los bofedales B1, B2 y B3 que se encuentra en DdV del gasoducto.
		6.2 Reconoce derechos sobre la tierra y acceso a recursos de las partes interesadas.	3	Si lo reconoce por eso tuvo mayor cuidado en el área intervenida del DdV la parte interesa y la afectada por eso hubo un plan de manejo para la biorrestauración como uno de ellos se muestra el cuidado de la capa superior del suelo y restauración de la vegetación en zona sensibles tales como los bofedales B1, B2 y B3.
		6.3 Revisa periódicamente salvaguardas implementadas.	3	Se realizó una campaña de biorrestauración 2023-2024 se intervenció 15 kilómetros del derecho de vía (DdV) según el reporte anual 2024 PERU LNG. Sin embargo, no muestra los resultados de forma

				específicas en que kilometro progresivo o comunidades fue la intervenida del mantenimiento de la restauración (PERU LNG, 2024).
7	Gestión adaptativa	7.1 Cuenta con una estrategia clara de restauración y seguimiento.	4	Estrategia definida y aplicable; evidenciada en los bofedales B1, B2 y B3 por protocolos cuidados de la capa superior del suelo, recomposición con champas, reducción de vía y cronograma de seguimiento de Plan Operativo de Monitoreo (POM) (PERU LNG, 2024).
		7.2 Desarrolla e implementa un plan de monitoreo en el tiempo.	4	Monitoreo sistemático (BMAP) con datos de cobertura y especies; seguimiento anual y registros técnicos.
		7.3 Aplica aprendizajes al diseño y mejora continua de la intervención.	3	Se realiza el mantenimiento de las áreas restauradas teniendo en cuenta las evaluaciones del BMAP y del PMSAP que realizan el Plan Operativo de Monitoreo (esto lo realizar un representate de comunidad).
8	Integración en marcos institucionales y sostenibilidad a largo plazo	8.1 Comparte resultados y aprendizajes con actores relevantes.	4	Los resultados y avances de las acciones de restauración ecológica implementadas por PERU LNG se comparten activamente mediante reportes técnicos, publicaciones y memorias del Biodiversity Monitoring and Assessment Program (BMAP) (PERU LNG, 2024). Estas herramientas permiten la transferencia de conocimientos a instituciones académicas, organismos ambientales y comunidades locales, contribuyendo a la transparencia y la construcción de capacidades

		8.2 Contribuye al fortalecimiento de políticas locales, regionales o nacionales.	3	El proyecto PERU LNG ha generado evidencia técnica valiosa a través de sus programas de monitoreo ecológico (BMAP) y de restauración de bofedales, la cual ha servido como referencia para prácticas de restauración en ecosistemas altoandinos. Sin embargo, la articulación con políticas ambientales locales y regionales aún es incipiente y podría fortalecerse mediante convenios de cooperación institucional y la sistematización de aprendizajes en instrumentos normativos o guías técnicas oficiales (PERU LNG, 2024).
		8.3 Aporta al cumplimiento de metas globales (cumplimientos con las partes interesadas en el área de influencia).	4	Las acciones de restauración ecológica implementadas por PERU LNG están sólidamente alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y con los compromisos internacionales en materia ambiental (PERU LNG, 2024). Los programas de monitoreo y restauración del derecho de vía, particularmente en bofedales altoandinos.

Fuente: Modificado de tabla de autoevaluación de estándares de la SbN (UICN, 2020).

Anexo 13: Vista panorámica de los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.

Bofedal (B1) Kp 178+950 del DdV de PERU LNG.



Bofedal (B2) Kp 179+840 del DdV de PERU LNG.



Bofedal (B3) Kp 185+425 del DdV de PERU LNG.



Anexo 14: Instalación de las sub parcelas de 0.25 m x 0.25 m, en el B1 Kp 178+950 del DdV de PERU LNG.



Anexo 15: Instalación de un marco cuadriculado con 25 puntos, en el B3 Kp 185+425 del DdV de PERU LNG.



Anexo 16: Evaluación y registro de especies en el bofedal B1 Kp 178+950 del DdV.



Anexo 17: Registro fotográfico de las especies registradas en el bofedal altoandino del DdV de PERU LNG.



Lilaeopsis macloviana A.W.Hill

APIACEAE



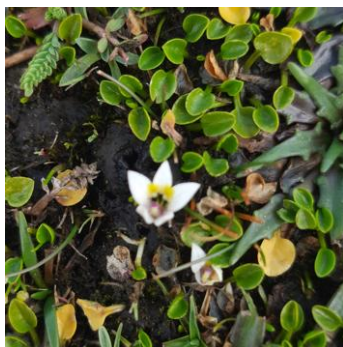
Cotula mexicana (DC.) Cabrera

ASTERACEAE



Hypochaeris taraxacoides
(Meyen & Walp.)

ASTERACEAE



Lobelia oligophylla (Wedd.)
Lammers

CAMPANULACEAE



Gentiana sedifolia Kunth

GENTIANACEAE



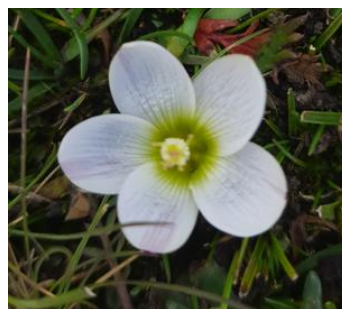
Isoetes andicola (Amstutz) LD
Gómez

ISOETACEAE



Plantago tubulosa Decne.

PLANTAGINACEAE



Nototriche longirostris (Wedd.)
A.W. Hill

MALVACEAE



Phylloscirpus acaulis (Phil.)
Goetgh. & DASimpson

CYPERACEAE



Distichia muscoides Nees & Meyen

JUNCACEAE



Juncus ebracteatus E.Meyer

JUNCACEAE



Juncus cf. *stipulatus* Nees & Meyen

JUNCACEAE



Aciachne pulvinata Benth.

POACEAE



Agrostis breviculmis Hitchc.

POACEAE



Calamagrostis rigescens (J.Presl) Scribn.

POACEAE



Festuca rigescens (J. Presl) Kunth

POACEAE



Muhlenbergia fastigiata (J.Presl) Henrard

POACEAE



Ranunculus flagelliformis Sm.

RANUNCULACEAE



Lachemilla diplophylla (Diels) Rothm.

ROSACEAE



Lachemilla pinnata (Ruiz y Pav.) Rothm.

ROSACEAE



Dissanthelium peruvianum (Nees y Meyen) Pilg.

POACEAE



Oritrophium limnophilum
(Sch.Bip.) Cuatrec.
ASTERACEAE



Cuatrecasasiella isernii
(Cuatrec.) H.Rob.
ASTERACEAE



Azorella diapensioides A.
Gray
APIACEAE

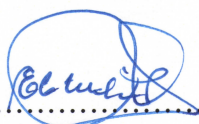
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. DANIEL QUICHCA PARIONA
R.D. N° 232-2026-UNSCH-FCA-D

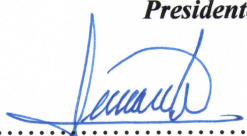
En la ciudad de Ayacucho, a los diecisiete días del mes de junio del año dos mil veintiséis, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Ing. Efraín Chuchón Prado, Dr. Eleazar Chuchón Angulo como asesor, Dr. Juan Charapaqui Anccasi y el Dr. Edwin Portal Quicaña; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Evaluación de la restauración ecológica en el DdV del gasoducto PERU LNG desde el enfoque de Soluciones basadas en la Naturaleza, KP 178+719 al KP 190+524. 2025**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bachiller **DANIEL QUICHCA PARIONA**.

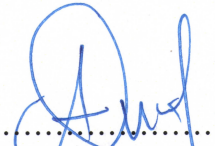
El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

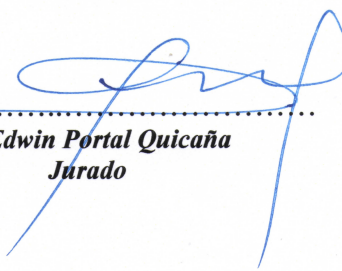
Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Ing. Efraín Chuchón Prado	16	16	16	16
Dr. Eleazar Chuchón Angulo	17	18	18	18
Dr. Juan Charapaqui Anccasi	16	15	15	15
Dr. Edwin Portal Quicaña	16	14	16	15
PROMEDIO GENERAL				16

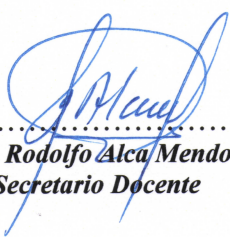
Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
Ing. Efraín Chuchón Prado
Presidente


.....
Dr. Juan Charapaqui Anccasi
Jurado


.....
Dr. Eleazar Chuchón Angulo
Asesor


.....
Dr. Edwin Portal Quicaña
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERIA AGRICOLA

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por **R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-CF**; hace constar que el trabajo titulado:

Evaluación de la restauración ecológica en el DdV del gasoducto PERU LNG desde el enfoque de Soluciones basadas en la Naturaleza, KP 178+719 al KP 190+524. 2025

Autor : Daniel Quichca Pariona
Asesor : Eleazar Chuchón Angulo

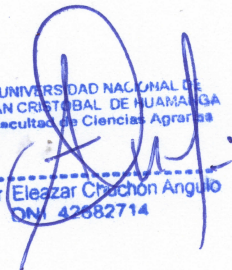
Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobado mediante RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **once (11%)** de índice de similitud, con exclusión de citas y bibliografía, y de coincidencias menores de 30 palabras.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 3000511630

Ayacucho, 21 de Julio de 2026

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Prof. Dr. Eleazar Chuchón Angulo
DNI 42682714

Evaluación de la restauración ecológica en el DdV del gasoducto PERU LNG desde el enfoque de Soluciones basadas en la Naturaleza, KP 178+719 al KP 190+524. 2025

por Daniel Quichca Pariona

Fecha de entrega: 19-jul-2026 10:33p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3000511630

Nombre del archivo: TESIS-DQP-revA.pdf (5.5M)

Total de palabras: 19485

Total de caracteres: 112235

Evaluación de la restauración ecológica en el DdV del gasoducto PERU LNG desde el enfoque de Soluciones basadas en la Naturaleza, KP 178+719 al KP 190+524. 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.lamolina.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	2%
	Trabajo del estudiante	
3	cdn.www.gob.pe	2%
	Fuente de Internet	
4	portals.iucn.org	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.unsch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	perulng.com	<1%
	Fuente de Internet	
7	www.serfor.gob.pe	<1%
	Fuente de Internet	
8	umpir.ump.edu.my	<1%
	Fuente de Internet	
9	ifcext.ifc.org	<1%
	Fuente de Internet	
10	www.iucn.org	<1%
	Fuente de Internet	
11	www.revistaambienta.es	<1%
	Fuente de Internet	
12	Carlos Danilo Congo Yépez, Francisco Javier Velástegui Lara, Carlos Estuardo Caicedo Vargas, Luis Fernando Rodríguez Iturralde et al. "Árboles dispersos y su efecto en la productividad de los potreros en la amazonia ecuatoriana", La Granja, 2017	<1%
	Publicación	
13	www.theibfr.com	<1%
	Fuente de Internet	
14	pronaturaleza.org	

15

www.pablosexto.gob.ec

Fuente de Internet

<1 %

16

POCH PERU S.A. "EIA-SD del Proyecto de Exploración Minera Inmaculada-IGA0005311", R.D. N° 189-2017-MEM/DGAAM, 2020

Publicación

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Evaluación de la restauración ecológica en el DdV del gasoducto PERU LNG desde el enfoque de Soluciones basadas en la Naturaleza, KP 178+719 al KP 190+524.

2025

Evaluation of ecological restoration in the PERU LNG pipeline section from the Nature-based Solutions approach, KP 178+719 to KP 190+524. 2025

Daniel Quichca Pariona¹

daniel.quichca.21@unsch.edu.pe

Dr. Eleazar Chuchón Angulo¹

eleazar.chuchon@unsch.edu.pe

RESUMEN

La restauración ecológica en bofedales altoandinos constituye un desafío crítico frente a las alteraciones generadas por infraestructuras lineales. Este estudio evaluó el cumplimiento de criterios de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en el derecho de vía del gasoducto PERU LNG, en ese sentido se evaluaron tres bofedales entre las progresivas 178+719 al 190+524 durante la estación seca de 2025. Se llevaron a cabo análisis estadísticos que no mostraron diferencias significativas en la cobertura vegetal entre la zona restaurada y la de referencia del DdV ($p = 0.3865$; $p < 0.05$), aunque la restaurada presentó menor cobertura (78,21%) frente a la no intervenida (94,86%), evidenciando una tendencia positiva en el proceso de recuperación. El Índice de Valor de Importancia (IVI) indicó la reaparición de *Plantago tubulosa*, *Werneria pygmaea* y *Lachemilla diplophylla* en B1 y B2, mientras que B3, el IVI de 0 % para *Plantago tubulosa* y *Werneria pygmaea* indicó una restauración aún en sucesión ecológica. Se adhiere a los Estándares Globales para SbN cumplimiento global del 79.1 % sólido, garantizando sostenibilidad y reducción de impactos ambientales en bofedales altoandinos.

Palabras claves: Soluciones basadas en la naturaleza, restauración ecológica y bofedales.

¹ Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

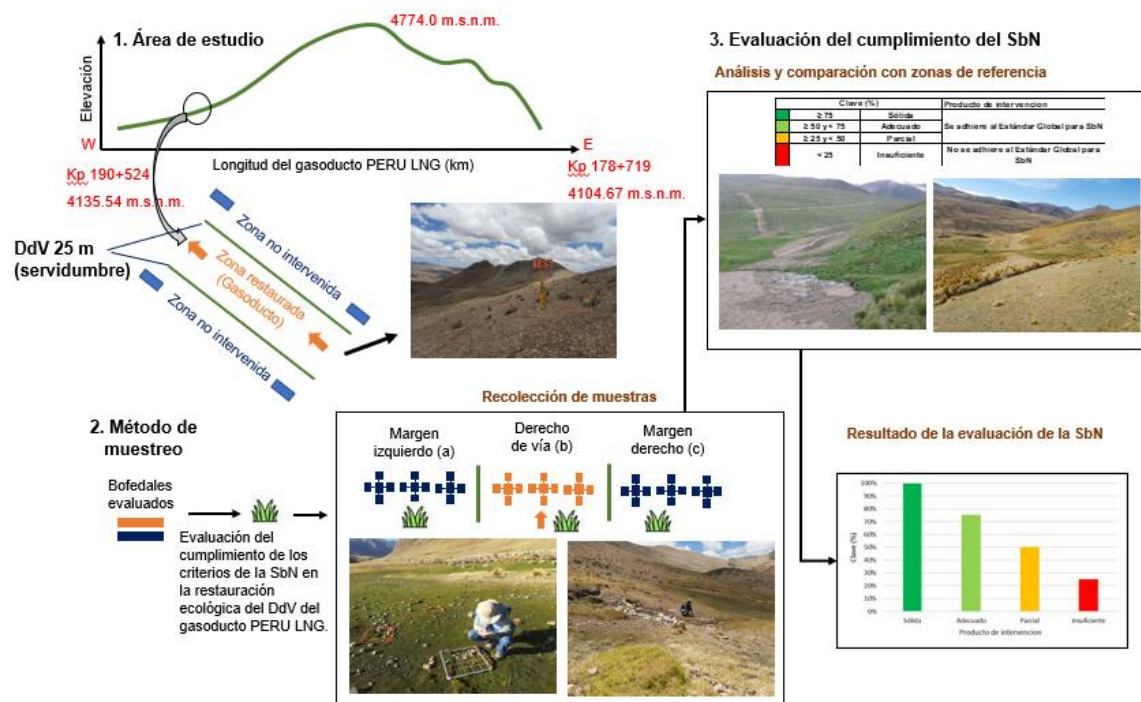
ABSTRACT

Ecological restoration in high-Andean peatlands presents a critical challenge in the face of disturbances caused by linear infrastructure. This study evaluated compliance with Nature-based Solutions (NbS) criteria within the right-of-way of the PERU LNG pipeline. Three peatlands were assessed between chainages 178+719 and 190+524 during the 2025 dry season. Statistical analyses were carried out that showed no significant differences in vegetation cover between the restored area and the DdV reference area ($p = 0.3865$; $p < 0.05$), although the restored area showed lower cover (78.21%) compared to the undisturbed area (94.86%), indicating a positive trend in the recovery process. The Importance Value Index (IVI) indicated the reappearance of *Plantago tubulosa*, *Werneria pygmaea*, and *Lachemilla diplophylla* in B1 and B2, while in B3, the IVI of 0% for *Plantago tubulosa* and *Werneria pygmaea* indicated a restoration still in ecological succession. It adheres to the Global Standards for Nature-based Solutions (NbS), achieving 79.1% overall compliance, thus ensuring sustainability and reducing environmental impacts in high-altitude Andean wetlands.

Keywords: Nature-based solutions, ecological restoration and peatlands.

Figura 1

Método procedimental (Flujograma)



1 INTRODUCCIÓN

La alteración de ecosistemas naturales causadas por la construcción de infraestructura lineal, ocasiona daño a la biodiversidad (Menéndez et al., 2025). Como respuesta a esta problemática, la construcción del gasoducto por PERU LNG, implemento un plan de biorrestauración orientado a la restauración y revegetación de las zonas intervenidas a lo largo del derecho de vía (DdV) (Linares et al., 2013). No obstante, para respaldar decisiones fundamentadas, resulta imperativo desarrollar nuevas herramientas basadas en el conocimiento científico producido en los campos de la ecología, Holl (2023) menciona que la restauración ecológica se entiende como el conjunto de acciones destinadas a favorecer la recuperación de ecosistemas, cuyo objetivo principal es restablecer una comunidad de especies característica del ecosistema de referencia. El seguimiento del proceso de regeneración de la cobertura vegetal constituye un componente clave para valorar la eficacia de las acciones de restauración, así como para respaldar la toma de decisiones relacionadas con la evaluación del impacto ambiental.

La UICN (2020) define a la SbN como “Acciones dirigidas a proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible ecosistemas naturales o modificados, que hacen frente a retos de la sociedad de forma efectiva y adaptable, proporcionando simultáneamente bienestar humano y beneficios de la biodiversidad” (p. 1). La SbN se presentan como un enfoque integrador que permite evaluar la eficacia de las intervenciones restaurativas (Anderson et al., 2022), proporcionando un enfoque adaptable que permite la restauración de bofedales.

El término bofedal se emplea en el Perú para denominar un tipo específico de humedal característico de las zonas altoandinas (INAIGEM, 2023), ubicados generalmente por encima de 3500 m.s.n.m. (Ministerio del Ambiente, 2015). EL hidropериodo corresponde al intervalo durante el cual el suelo del bofedal permanece saturado de agua, es una de las principales características de los bofedales permanente dependen del aporte constante de aguas subterráneas que les permite mantener la saturación del suelo durante todo el año, mientras que los bofedales estacionales se sostienen exclusivamente por el régimen de precipitaciones, mostrando variaciones en su humedad a lo largo del ciclo anual (INAIGEM, 2023).

La intervención en estos ambientes, como la instalación del gasoducto de PERU LNG, exige medidas rigurosas de mitigación para reducir impactos asociados a la compactación, erosión y sedimentación. Entre las estrategias implementadas destacan la reducción del ancho del derecho de vía, el almacenamiento y reutilización de la capa orgánica, y el uso de geotextiles y agregados para minimizar la alteración del suelo (Walsh Perú 2005; Sahley et al. 2017).

Así, el presente estudio se enmarca en la intersección entre restauración ecológica, SbN y gestión de infraestructura lineal en ecosistemas altoandinos, con énfasis en los bofedales atravesados por el gasoducto PERU LNG. Su propósito es analizar las medidas de mitigación aplicadas y evaluar su eficacia en la recuperación de estos ecosistemas, aportando evidencia científica que contribuya a la planificación de futuras intervenciones bajo criterios de sostenibilidad y resiliencia.

2 METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El estudio se desarrolló en Huancavelica, provincia Huaytará, distrito Pilpichaca, específicamente en la comunidad de Ccarhuaccpampa, dentro del derecho de vía del gasoducto PERU LNG, entre progresivas 178+719 al 190+524, con una franja de 25 metros de ancho. Se analizaron tres bofedales durante la estación de secano, entre los meses de agosto y octubre del año 2025.

Figura 2

Zona de estudio: DdV del gasoducto PERU LNG, KP 178+719 al KP 190+524



Tabla 1*Ubicación de los bofedales evaluados del DdV de PERU LNG.*

N°	Sitios Kp	Coordenadas UTM (WGS84, 18L)		Altitud (m.s.n.m.)	Números de Parcelas
		E	N		
1	B1 178+950	513569.91	8526241.19	4139.91	9
2	B2 179+840	512995.72	8526473.16	4266.88	9
3	B3 185+425	508020.80	8527639.27	4560.67	7

2.2 Metodología

Se establecieron parcelas de 1 m², recomendadas para comunidades de pastizales (Matteucci & Colma, 1982). Cada unidad fue subdividida en subparcelas de 0,25 m², dispuestas en cruz a 1 m lineal del centro, siguiendo Portal (2019). Se evaluaron tres bofedales perennes con recomposición de champas, instalando 9 parcelas cada uno: tres dentro del DdV (25 m de ancho, separación 4 m), tres en el margen derecho (12 m, separación 1 m) y tres en el izquierdo. En un bofedal se instalaron solo siete parcelas por reducción del ancho del DdV. La identificación de las especies vegetales se efectuó directamente en campo con ayudas de guías y claves como: Guía de las plantas de los bofedales del Perú (Mendoza et al., 2024).

La cobertura vegetal (por especie) y la cobertura del suelo se realizó con el método de intersección de puntos utilizando un marco cuadrulado (Bonham, 2013), considerando 25 puntos (puntos de cruce del hilo desde el cuadrante) por subparcelas, multiplicando por cuatro para que nos de los 100 puntos por parcelas. El porcentaje de cobertura de cada especie será igual al número de puntos en los que se registró, se utilizó la siguiente formula de (Matteucci & Colma, 1982):

$$\%Xi = \left(\frac{Ti}{\sum Ti} \right) * 100$$

Donde:

- Xi% = La cobertura porcentual por especie.
- Ti = número de puntos donde la especie está presente.
- $\sum Ti$ = número total de puntos de todas las especies.

Adicionalmente registramos de cobertura de varios tipos de cobertura del suelo: cobertura vegetal (total), suelo desnudo, vegetación, excremento de fauna, rocas y agua.

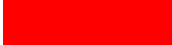
El Índice de Valor de Importancia (IVI) constituye una medida que refleja el peso ecológico relativo de cada especie dentro de una comunidad vegetal, permitiendo reconocer cuáles son las especies con mayor relevancia en un determinado ecosistema. En este sentido, las especies con los mayores valores de IVI pueden servir como referencia, pudiéndose emplear una nomenclatura basada en los géneros de las tres o cuatro especies más representativas (MINAM, 2015), se utilizó la siguiente formula.

$$IVI = Abundancia \% + Dominancia \% + Frecuencia \%$$

La verificación de criterios de SbN se realizó mediante una ficha de autoevaluación basada en el manual metodológico UICN (2020). La herramienta utilizó información pública del proyecto de instalación del gasoducto en bofedales, considerando fases de construcción y post-construcción. Cada indicador recibió una puntuación en escala de cuatro niveles (sólido, adecuado, parcial, insuficiente), normalizada para otorgar igual peso a los criterios. Los resultados se integraron en porcentajes de correspondencia, clasificándose como sólido cuando supera el 75 %, adecuado entre el 50 % y el 75 %, parcial entre el 25 % y el 50 %, e insuficiente cuando se sitúa por debajo del 25 %.

Tabla 2

Resultado de autoevaluación para cada uno de los criterios.

Color del semáforo	Porcentaje de coincidencia (%)	Clasificación	Puntaje	Producto de intervención
	≥ 75	Sólida	4	Se adhiere al Estándar Global para SbN
	≥ 50 y < 75	Adecuado	3	
	≥ 25 y < 50	Parcial	2	
	< 25	Insuficiente	1	No se adhiere al Estándar Global para SbN

Fuente: Modificado de tabla de autoevaluación de estándares de la SbN (UICN, 2020).

2.3 Análisis de los datos

El análisis de cobertura vegetal se realizó con el programa PAST v4.17, aplicando la prueba de normalidad Shapiro-Wilk ($\alpha=5\%$), que evidenció datos no paramétricos. Se emplearon las pruebas Kruskal-Wallis y Mann-Whitney para comparar zonas control y restauradas del DdV, con intervalos de confianza de 95%. Se identificaron especies indicadoras de éxito y fracaso mediante el IVI y análisis de presencia/ausencia. Además, se aplicó el índice de Morisita-Horn para comparar similitud entre zonas restauradas y no intervenidas. Para la verificación de los criterios de SbN, si una intervención obtiene la calificación de “insuficiente” en cualquiera de los criterios, se considera que la

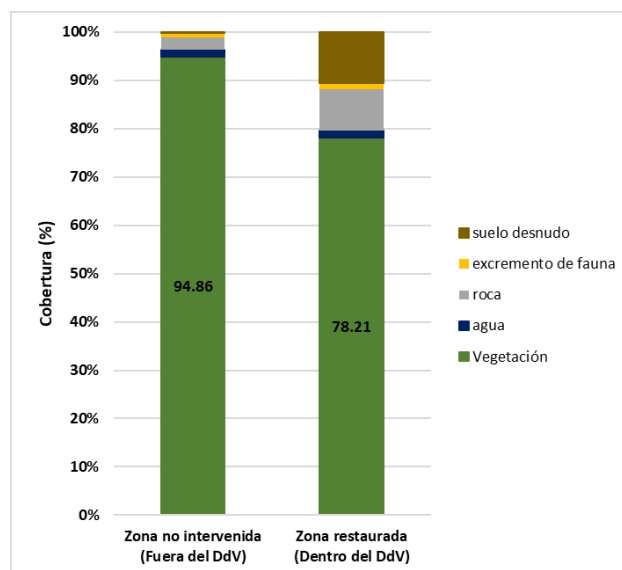
intervención no se adhiere al Estándar Global de la SbN de la UICN. El porcentaje de correspondencia, por su parte, puede emplearse para describir el nivel de adhesión al estándar, clasificándolo como sólido, adecuado o parcial (UICN, 2020).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis, para comparación de la cobertura vegetal entre las zonas restauradas y no intervenidas, considerando tanto el margen izquierdo como el derecho del DdV. En el bofedal 1, la cobertura vegetal no presentó variaciones significativas ($p = 0.9383$; $p < 0.05$). De manera consistente, en el bofedal 2 tampoco se registraron que no mostraron diferencias significativas ($p = 0.371$; $p < 0.05$), lo que indica una alta similitud en la cobertura vegetal entre las áreas comparadas. Asimismo, en el bofedal 3, la cobertura vegetal presentó variaciones significativas entre la zona restaurada y las zonas no intervenidas ($p = 0.00002977$; $p < 0.05$). Según el estudio analizado Sahley et al. (2017) nos menciona que el índice de restauración, construido a partir de la comparación de la cobertura vegetal y la riqueza de especies dentro y fuera del DdV, mostró una correlación positiva y estadísticamente significativa en el periodo 2010–2014 ($p = 0.649$; $n = 209$; $P < 0.001$).

Figura 3

Tipos de cobertura del suelo (promedio) entre la zona restaurada y no intervenida del DdV de PERU LNG.



Los resultados de la comparación mediante la prueba de Mann-Whitney, la cual no mostró diferencias significativas en la cobertura vegetal registrada entre la zona restaurada y la

zona no intervenida del DdV ($p = 0.3865$; $p < 0.05$). Por otro lado, la Figura 4 evidencia que el porcentaje promedio de cobertura vegetal total en la zona no intervenida fue de 94.86%, mientras que en la zona restaurada alcanzó el 78.21%, mostrando una recuperación considerable y cercana al estado referencia.

Tabla 3

Registro de especies presentes y ausentes de los bofedales B1, B2 y B3 del DdV de PERU LNG.

Ubicación	Zona	Familia	Especies	
			Presentes	Ausentes
Bofedal 1 Kp 178+950	B1_a	11	22	4
	B1_b	10	22	4
	B1_c	10	24	2
Bofedal 2 Kp 179+840	B2_a	8	18	11
	B2_b	10	27	2
	B2_c	10	28	1
Bofedal 3 Kp 185+425	B3_a	10	23	1
	B3_b	5	5	19
	B3_c	10	24	0

En los bofedales alfombrados, las especies que suelen dominar son *Plantago tubulosa* y *Werneria pygmaea* (Salvador et al., 2014; Maldonado, F., 2014 en INAIGEM, 2023), este tipo de bofedal está presente en la zona restaurada del DdV del gasoducto. En el bofedal 1, el análisis de presencia/ausencia con PAST v4.17 mostró que, de 26 especies registradas, 22 estuvieron presentes en la zona restaurada y 4 ausentes respecto al control. IVI destacó a *Plantago tubulosa* como dominante (33.87% control; 33.86% restaurada), seguida por *Lachemilla diplophylla* (34.37% restaurada; 24.51% control) y *Werneria pygmaea* (13.62% restaurada; 11.40% control). El índice de Morisita-Horn evidenció mayor similitud entre B1_a y B1_b (0.974), seguida de B1_b y B1_c (0.842). En el bofedal 2, el análisis de presencia/ausencia con PAST v4.17 mostró que, de 29 especies registradas, 27 estuvieron presentes en la zona restaurada y 2 ausentes respecto al área de referencia. El IVI destacó a *Plantago tubulosa* (24.58% restaurada; 11.58% control), *Werneria pygmaea* (8.93% restaurada; 7.69% control) y *Lachemilla diplophylla* (24.44% restaurada; 25.13% control). El índice de Morisita-Horn evidenció mayor similitud entre B2_a y B2_b (0.644), seguida de B2_b y B2_c (0.821). En el bofedal 3, el análisis de presencia/ausencia con PAST v4.17 mostró que, de 24 especies registradas, solo 5

estuvieron presentes en la zona restaurada y 19 ausentes respecto al control. El IVI destacó a *Lachemilla diplophylla* (86.67% restaurada; 27.24% control) como dominante. En contraste, *Plantago tubulosa* (23.93% control; 0% restaurada) y *Werneria pygmaea* (11.67% control; 0% restaurada) fueron relevantes en zonas no intervenidas. El índice de Morisita-Horn evidenció baja similitud entre B3_a y B3_b (0.337) y entre B3_b y B3_c (0.343).

Tabla 4

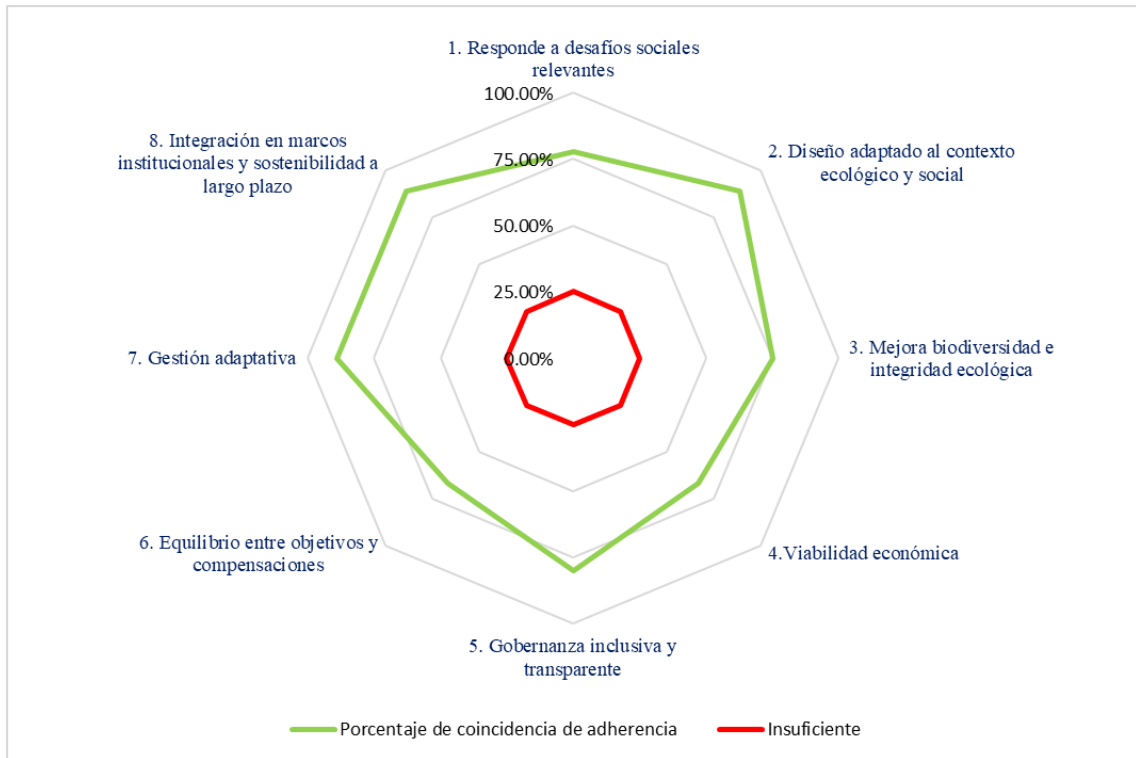
Resultado de autoevaluación de las SbN aplicables al contexto de restauración implementadas por PERU LNG.

Criterios	Porcentaje de coincidencia de adherencia		
1. Responde a desafíos sociales relevantes	77.8	Sólida	
2. Diseño adaptado al contexto ecológico y social	88.9	Sólida	
3. Mejora biodiversidad e integridad ecológica	75.0	Sólida	
4. Viabilidad económica	66.7	adecuada	
5. Gobernanza inclusiva y transparente	80.0	Sólida	
6. Equilibrio entre objetivos y compensaciones	66.7	adecuada	
7. Gestión adaptativa	88.9	Sólida	
8. Integración en marcos institucionales y sostenibilidad a largo plazo	88.9	Sólida	
Porcentaje total de coincidencia	79.1	Sólida	

En la Tabla 4 se muestra que la restauración implementada por PERU LNG alcanza un 79.1% de coincidencia total con los criterios de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) establecidos por el Estándar de la UICN. Asimismo, el proyecto presenta un cumplimiento superior al 25% en cada uno de los indicadores evaluados de manera independiente, lo que evidencia que la intervención se adhiere de manera consistente a los lineamientos del Estándar Global de la UICN para la SbN.

Figura 4

Cumplimiento porcentual por criterio del Estándar Global de SbN en el proyecto PERU LNG.



En la Figura 4 se presenta el gráfico de radar correspondiente a la restauración implementada por PERU LNG, el cual muestra el porcentaje de coincidencia con cada uno de los ocho criterios de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) definidos por el estándar de la UICN. Este diagrama permite identificar los puntos fuertes y débiles del proyecto, destacando que el criterio 3 (Diseño adaptado al contexto ecológico y social) alcanzó el mayor porcentaje de cumplimiento (88,9%), mientras que el criterio 6 (Equilibrio entre objetivos y compensaciones) obtuvo el menor valor (66,7%), finalmente, el criterio 8 (88,9%) mostró integración institucional y sostenibilidad, alineada a ODS. Estos resultados evidencian que, si bien el proyecto presenta fortalezas en la adecuación al contexto, aún enfrenta desafíos en la gestión equilibrada de objetivos y compensaciones.

4 CONCLUSIÓN

1. La comparación de la cobertura vegetal entre las zonas restauradas y las zonas no intervenidas en los bofedales del derecho de vía del gasoducto PERU LNG no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.3865$; $p < 0.05$).

2. La identificación de especies vegetales indicadores de éxito o fracaso en la restauración, mediante los valores del IVI, evidenció una restauración positiva en los bofedales B1 y B2, donde *Plantago tubulosa* registró 33,86 % en B1 y 24,58 % en B2, *Werneria pygmaea* 13,62 % y 8,93 %, y *Lachemilla diplophylla* 34,37 % y 24,44 %, respectivamente. En contraste, en el bofedal B3 *Plantago tubulosa* y *Werneria pygmaea* presentaron un IVI de 0 %, indicando que el proceso de restauración aún permanece en una fase de sucesión ecológica.
3. La verificación de los criterios de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) aplicados a la restauración ecológica ejecutada por PERU LNG en los cruces del gasoducto sobre bofedales altoandinos evidenció un nivel de cumplimiento global del 79.1 %.

5 REFERENCIA

- Anderson, C. C., Renaud, F. G., Hanscomb, S., & Gonzalez-Ollauri, A. (2022). Green, hybrid, or grey disaster risk reduction measures: What shapes public preferences for nature-based solutions? *Journal of Environmental Management*, 310, 114727. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.114727>
- Bonham, C. D. . (2013). *Measurements for terrestrial vegetation*. Wiley-Blackwell. <https://repository.poltekkesjkt2.ac.id/index.php?p=fstream-pdf&fid=5282&bid=5103>
- Holl, K. D. (2023). *Introduccion a la restauracion ecologica*. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=0ke7EAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=restauracion+ecologico+libro&ots=czdufV9g_P&sig=Th9ZZ_w0s83246Oy_5sqkJiVHng#v=onepage&q=restauracion%20ecologico%20libro&f=false
- INAIGEM. (2023). *MEMORIA DESCRIPTIVA INVENTARIO NACIONAL DE BOFEDALES*. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/Inventario%20Nacional%20de%20Bofedales%20del%20Per%C3%BA.pdf>
- Linares, R., Alfonso, F. D., Godofredo Mamani, R. L., Veronica Saenz, E. D., Alina Pace, & Jessica Deichmann. (2013). *Vegetation Restoration in Andean Environments: Accomplishments and Challenges*. https://www.researchgate.net/profile/Reynaldo-Linares-Palomino/publication/297611084_Accomplishments_and_challenges_to_biorestore_in_high_altitude_Andean_environments/links/56e00eb608aec4b3333cfb9c/Accomplishments-and-challenges-to-biorestore-in-high-altitude-Andean-environments.pdf
- Matteucci, S., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. https://aprobioma.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/03/metod_para_el_estudio_de_la_vegetacion_archivo1.pdf
- Mendoza, W., Cano, A., Roque, J., La Torre, M., Navarro, E., Gonzáles, P., Castillo, S., Trujillo, D., Delgado, A., Ramirez, D., Trinidad, H., & Valencia, N. (2024). *Guía de las plantas de los bofedales del Perú* (Primera edición). Universidad Católica Sedes Sapientiae. https://drive.google.com/file/d/1xeM0Z_K3cZdvaiO4oOu5I7cld26QN96A/view

- Menéndez, M., Rubio, A., Bauhus, J., Cañellas, I., Crowther, T., de-Miguel, S., Erdozain, M., Hoffmann, J., Kremer, K., Sotirov, M., Lapin, K., Lundhede, T., Jacobs, S., Schatzdorfer, E., Werden, L., & Alberdi, I. (2025). A comprehensive analysis of forest restoration practices across Europe: Ecological, economic, social and policy dimensions. *Ecological Indicators*, 173, 113348. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2025.113348>
- MINAM. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12082/07_guia-a-de-flora-y-vegetacion.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Estrategias Nacional de Humedales*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N%C2%B0-004-2015-MINAM2.pdf>
- Portal, E. (2019). *Influencia de la Napa freática sobre la vegetación y capacidad de carga animal en bofedales altoandinos* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://core.ac.uk/download/pdf/323342089.pdf>
- Sahley, C. T., Vildoso, B., Casaretto, C., Taborga, P., Ledesma, K., Linares-Palomino, R., Mamani, G., Dallmeier, F., & Alonso, A. (2017). Quantifying impact reduction due to avoidance, minimization and restoration for a natural gas pipeline in the Peruvian Andes. *Environmental Impact Assessment Review*, 66, 53–65. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2017.06.003>
- UICN. (2020). *Orientación para usar el Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza: Un marco fácil de usar para la verificación, diseño y ampliación de las soluciones basadas en la naturaleza* (Primera edición). <http://www.uicn.org/eshttps://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-021-Es.pdf>
- Walsh Perú. (2005). *Estudio de Impacto Ambiental y Social del Proyecto de Transporte de Gas Natural por Ducto de Ayacucho a la Planta de Licuefacción*. <https://perulng.com/wp-content/uploads/2024/02/1.-EIAS-Proyecto-Sistema-de-Transporte-GNL.pdf>