



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

PERÚ
NATURAL

Guía de evaluación
del estado del

Ecosistema de bofedal



The background image shows a vast landscape. In the foreground, there are green, mossy wetlands with small pools of water. A large, dark brown, semi-transparent rectangular overlay covers the center of the image. Behind this overlay, the landscape continues with more greenery and a fence line. In the far background, there are rugged, brown mountains under a cloudy sky.

Guía de evaluación del estado del Ecosistema de bofedal

AGRADECIMIENTOS

A las instituciones que contribuyeron en la elaboración y validación de la Guía de evaluación del estado del Ecosistema de bofedal: INAIGEM e Instituto de Montaña.

Finalmente a todos aquellos que contribuyeron en todas las etapas de elaboración y validación, así como con fotografías, cuyos créditos han sido considerados en el presente documento.

GUÍA DE EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL ECOSISTEMA DE BOFEDAL:

Autor:

Ministerio del Ambiente

Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los
Recursos Naturales

Dirección General de Ordenamiento Territorial
Ambiental

Dirección de Monitoreo y Evaluación de los
Recursos Naturales del Territorio

Editado por:

© Ministerio del Ambiente

Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los
Recursos Naturales

Dirección General de Ordenamiento Territorial
Ambiental

Dirección de Monitoreo y Evaluación de los
Recursos Naturales del Territorio

Av. Antonio Miroquesada n.º 425, Magdalena del
Mar

Lima, Perú

Imágenes: © Ministerio del Ambiente, Instituto
Nacional de Investigación en Glaciares y
Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), Programa
de Desarrollo Económico Sostenible y Gestión
Estratégica de los Recursos Naturales -
PRODERN, Comisión de Promoción del Perú
para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ

Primera edición, noviembre de 2019

ÍNDICE

08

1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETIVO

09

3. ALCANCE

4. BASE LEGAL

10

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1 Ecosistema bofedal

12

5.2 Procesos ecológicos en los bofedales

5.3 Servicios ecosistémicos que proveen los bofedales

14

5.4 Principales amenazas en los bofedales del Perú

15

5.5 Degradación

5.6 Integridad del Ecosistema

16

5.7 Condición Ecológica

5.8 Índice de Integridad Biológica – IBI (por sus siglas en inglés)

5.9 Valor o estado de referencia

18

5.10 Métodos de evaluación rápida

5.11 Resiliencia y resistencia

5.12 Atributos del ecosistema

19

5.13 Indicadores del estado del ecosistema

22

6. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL ECOSISTEMA BOFEDAL

6.1 Consideraciones metodológicas generales

6.1.1 Personal de campo, materiales e instrumentos

23

6.1.2 Atributos e indicadores a considerar

24

6.1.3 Valores relativos de atributos e indicadores a considerar

25

6.1.4 Puntaje de indicadores en función al rango de los valores de referencia

28

6.2 Proceso metodológico

29

6.2.1 PASO 1: Identificación y delimitación de la zona de interés a evaluar

30

6.2.2 PASO 2: Cálculo
y distribución del
número de las
unidades muestrales

31

6.2.3 PASO 3:
Medición de
indicadores en
campo

41

6.2.4 PASO 4:
Comparación de
valores de referencia
y la unidad muestral
evaluada (UM) para
la determinación de
puntajes

43

6.2.5 PASO 5: Cálculo
del valor ecológico

46

7. REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

50

8. GLOSARIO

51

9. ANEXOS



1. INTRODUCCIÓN

El Ministerio del Ambiente, a través de la Dirección General del Ordenamiento Territorial Ambiental (DGOTA), ha elaborado la presente *Guía de evaluación del estado de los ecosistemas de Bofedal*, en concordancia con la metodología establecida en la *Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos*, aprobada con Resolución Ministerial 183-2016-MINAM, que establece la metodología de cálculo del valor ecológico de un determinado sitio, aplicable a ecosistemas altoandinos (pajonal, tolar y césped de puna).

La estimación del valor ecológico del bofedal toma como base el concepto de Índice de Integridad Biológica (IBI, por sus siglas en inglés), refiriéndose a un valor que resume e indica la condición en que se encuentra el sitio evaluado, en relación a un sistema de referencia, que se considera “conservado”. Este valor se calcula a través de un sistema de calificación basado en cuatro (4) atributos fundamentales: a) Condición hidrológica, b) condición del suelo, c) condición de la biota y d) alteraciones en el paisaje, los que están compuestos por indicadores que pueden relacionarse con la respuesta que da el ecosistema ante un factor de degradación o ser un indicador de la presencia del factor de degradación en sí mismo.

La selección de los atributos e indicadores incluyó una amplia revisión de literatura sobre las principales relaciones encontradas en el funcionamiento de los bofedales, organizando todos los atributos e indicadores que se evalúan en las diversas investigaciones revisadas. Posteriormente, se establecieron criterios de selección, escogiendo los indicadores que mejor cumplen con estos criterios.

Cabe señalar que los bofedales son ecosistemas altoandinos de gran importancia ambiental, social y económica, que proveen bienes y servicios para satisfacer las necesidades de la población asentada en sus cercanías; además, son considerados como ecosistemas frágiles por la alta y constante presión a la que están expuestos.

En consecuencia, la presente guía constituye una herramienta técnica, que contribuye a la generación de información para las iniciativas de recuperación y/o conservación, a partir de la evaluación de las condiciones del ecosistema de bofedal, en términos ecológicos.

2. OBJETIVO

Describir y orientar el proceso de evaluación y estimación del estado de los ecosistemas de bofedal, a partir de la medición de un conjunto de indicadores evaluados en campo.

3. ALCANCE

La presente guía es una herramienta orientada a los gobiernos regionales, gobiernos locales y demás entidades públicas y privadas que promueven y desarrollan acciones de conservación y/o recuperación (remediación, rehabilitación o restauración) de ecosistemas y servicios ecosistémicos de bofedal.

4. BASE LEGAL

- Constitución Política del Perú.
- Ley n.º 26821 – Ley de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales del Territorio.
- Ley n.º 28611 – Ley General del Ambiente.
- Decreto Legislativo n.º 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.
- Decreto Supremo n.º 012-2009-MINAM, que aprueba la Política Nacional del Ambiente.
- Decreto Supremo n.º 002-2017-MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.
- Ley n.º 28245 – Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Ley n.º 29763 – Ley Forestal y de Fauna Silvestre.
- Ley n.º 27446 – Ley del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Decreto Supremo n.º 018-2015-MINAGRI, que aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal.
- Decreto Supremo n.º 021-2015-MINAGRI, que aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal y de Fauna Silvestre en Comunidades Nativas y Campesinas.
- Ley n.º 27972 – Ley Orgánica de Municipalidades.
- Decreto Supremo n.º 019-2009-MINAM, que aprueba el Reglamento de la Ley n.º 27446.
- Decreto Legislativo n.º 1252 que crea el Sistema Nacional de programación multianual y gestión de inversiones y deroga la ley n.º 27293, Ley del Sistema Nacional de Inversión Pública.
- Decreto Supremo n.º 027-2017-EF Reglamento del INVIERTE.PE
- Decreto Legislativo n.º 1432 que modifica el D. L. n.º 1252 INVIERTE.PE

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1 Ecosistema bofedal

El bofedal es un ecosistema andino hidromórfico con vegetación herbácea de tipo hidrófila, que se presenta en los Andes sobre suelos planos, en depresiones o ligeramente inclinados, permanentemente inundados o saturados de agua corriente; los suelos orgánicos pueden ser profundos (turba). Su vegetación es densa y compacta siempre verde, de porte almohadillado o en cojín; la fisonomía de la vegetación corresponde a herbazales de 0.1 a 0.5 metros. Este tipo de ecosistema es considerado un humedal andino (MINAM, 2018). Otras definiciones reconocen como bofedales también a zonas inundadas estacionalmente, y a áreas en las que no hay dominancia de vegetación de cojín (Maldonado, 2015; Fuentealba y Mejía, 2016). En muchas partes del país estos ecosistemas son conocidos como “oconales”, que en quechua significa “zona húmeda” (Maldonado, 2015).

Los bofedales se pueden diferenciar a partir de los siguientes procesos ecológicos:

a) Hidroperiodo

Diferencia bofedales estacionales de permanentes. Se espera que los bofedales estacionales tengan menor profundidad de turba y que en la mayoría de casos no llegarían a ser turberas. Por ello, tendrían menor capacidad de almacén de agua y de carbono. Estos bofedales estacionales también pueden presentar dominancia de vegetación de cojín u otras comunidades vegetales típicas de bofedal (son llamados en inglés *wet meadow*). Los bofedales permanentes, en su mayoría, serían turberas.

b) Posición topográfica

Diferencia bofedales de ladera de aquellos que están en áreas planas, que son fondo de valle o planicies. Los bofedales de ladera tendrían mayor probabilidad de ser estacionales, y desarrollar turba superficial. Aunque en algunos casos, se pueden desarrollar turberas en laderas de pendiente ligera, por la presencia de una capa profunda impermeable en el suelo, pero en general son las áreas planas o de baja pendiente, receptoras del agua que escurre en las laderas cercanas, donde se desarrollan bofedales permanentes y profundos.

Mapa de ubicación de los bofedales.



Distrito Santa Ana, Provincia
Castrovirreyna, Departamento
de Huancavelica.

ECOSISTEMA	SUPERFICIE	
	ha	%
BOFEDAL	548,174.40	0.42

5.2 Procesos ecológicos en los bofedales

La vegetación es uno de los atributos más estudiados en bofedales, sin embargo, es la condición hidrológica (pH, nutrientes e hidroperiodo) la que determina, en gran medida, el funcionamiento y las características presentes en un bofedal y en cualquier humedal (Fennesy *et al.*, 2007). Las condiciones del suelo (densidad aparente y la profundidad de turba) son las que más se relacionan con la provisión de servicios ecosistémicos tan importantes como el almacenamiento de carbono y de agua. Mientras menor sea la densidad aparente y mayor la profundidad de la turba, mayor será la capacidad de almacén que tendrá el bofedal.

Algunos estudios muestran que el tipo de roca madre que rodea el área de bofedal, es la que influye en mayor medida en la calidad del agua (pH, conductividad eléctrica y nutrientes) [Cooper *et al.*, 2010]. Asimismo, se ha encontrado que la mayoría de bofedales son alimentados por alguna fuente subterránea de agua, además de la precipitación; y, dependiendo de su posición en la cuenca, recibirá un mayor aporte de agua, o será más estacional (Cooper *et al.*, 2010; Salvador *et al.*, 2015; Polk, 2016). La composición química y calidad del agua, así como el nivel de humedad del sistema (usando el hidroperiodo como indicador) estarían influyendo en la composición vegetal de un bofedal (Urbina y Benavides, 2014. Fuentealba en preparación).

El proceso de acumulación de turba ocurre cuando la velocidad con que se aporta material vegetal muerto al suelo, es mayor a la velocidad de descomposición y mineralización de este material vegetal. Si la napa freática está cerca de la superficie, saturando el suelo, se hace más lento el proceso de descomposición porque se reduce la disponibilidad de oxígeno en el suelo, y se favorece la descomposición anaeróbica (Biancalani y Avagyan, 2014. Urbina y Benavides, 2015). Además, las condiciones en las áreas altoandinas reducen la velocidad de cualquier reacción química, y reducen el oxígeno disponible en la atmósfera.

Los cambios en la composición vegetal, generalmente, están relacionados con cambios en las condiciones del suelo y del agua. Se han identificado algunas especies que no son comunes en bofedales conservados, pero pueden ser muy abundantes en bofedales degradados. Por ejemplo, *Aciachne pulvinata* es una especie que se usa como indicadora de sobrepastoreo en pastizales (Tapia y Flores, 1997) y generalmente crece en suelos húmedos, pero no saturados de agua.

5.3 Servicios ecosistémicos que proveen los bofedales

A continuación, se presenta un resumen usando como base los cuadros elaborados por Flores *et al.* (2014) y Page y Baird (2016) de los servicios que proveen los bofedales, y en especial las turberas altoandinas.

a) Servicios de provisión

- **Forraje para el ganado:** Tradicionalmente los bofedales han sido usados para alimentar a alpacas, pero desde la introducción del ganado vacuno, ovino y equino, diferentes zonas de los bofedales son aprovechados también por estos animales.
- **Turba:** Como abono para viveros de diferentes partes del país y como una medida de subsistencia, en áreas en que no hay otras fuentes de combustible para la población local.
- **Plantas medicinales:** Hay especies que crecen en los ambientes más húmedos, que son usados como medicina natural.
- **Agua:** En las partes bajas de la cuenca, es uno de los servicios más valorados pero menos investigados.

b) Servicios de regulación

- **Almacén de carbono:** La turba, o suelo orgánico presente en los bofedales, son la principal forma de almacenamiento y fijación de carbono.
- **Protección de procesos de erosión de la turba y el suelo:** El principal factor de erosión es el agua. Mantener una buena proporción de cubierta vegetal permite que por fricción la velocidad del agua vaya disminuyendo al moverse dentro del bofedal.
- **Purificación del agua:** Se ha visto que los bofedales pueden mejorar la calidad del agua, reduciendo el contenido de metales.
- **Almacén de agua:** La turba funciona como una esponja que permite retener con más fuerza el agua almacenada en su interior, lo que también permite reducir la velocidad en el movimiento del agua al interior del bofedal.
- **Regulación hídrica:** Si la turba actúa como una esponja entonces no se liberará agua en la época de estiaje, sino solo durante las lluvias (el excedente que no puede ser almacenado en el bofedal).
- **Regulación del clima local:** Se relaciona con la cantidad de agua que se almacena en un bofedal, y el alto calor específico que tiene el agua como compuesto químico. Esto permite que alrededor de un bofedal con mucha agua, como alrededor de una laguna, se amortigüen las temperaturas extremas.
- **Regulación climática global:** Naturalmente, existe un balance entre el carbono que las plantas capturan por fotosíntesis y que fijan como turba, con el carbono que es liberado como metano, que no conocemos. Se sabe que cuando los bofedales se degradan, liberan el carbono que estaba fijado en la turba, y esto siempre implica una contribución extra de gases de efecto invernadero, que aceleran el cambio climático.

c) Servicios de soporte

- **Refugio de fauna silvestre y de biodiversidad:** Los bofedales poseen condiciones únicas dentro del paisaje andino, que permite el mantenimiento de muchas especies vegetales adaptadas a estas condiciones.
- **Formación de turba:** Es uno de los procesos centrales de mantenimiento de un bofedal, y depende en gran medida del hidroperiodo.
- **Mantenimiento del ciclo de nutrientes:** El ciclo que mejor se conoce es el de carbono.

d) Servicios culturales

Cuando los bofedales están bien conservados son valorados por:

- **Tener belleza escénica y paisajística**
- **Ser áreas de recreación y turismo.**

5.4 Principales amenazas en los bofedales del Perú

Reconocer las principales amenazas que existen para los bofedales del Perú, nos ayuda a elegir indicadores que sean sensibles a los potenciales impactos que estas amenazas generan. Tomando en cuenta esto, se han elegido las amenazas que pueden degradar áreas de bofedal, no las que generan un cambio de uso de suelo.

- **Ganadería:** Esta es la amenaza que con más frecuencia se identifica como factor de degradación en bofedales (Salvador, 2015; Maldonado, 2015; O'Donnell, 2016), aunque, tal vez, no la más perjudicial. Malas prácticas en el uso ganadero, como el sobrepastoreo, generan cambios en la composición de la vegetación, y favorecen la erosión de la turba.
- **Cambios en la provisión y cantidad de agua que alimenta el bofedal** (Salvador, 2015; Maldonado 2015; O'Donell, 2016). Estos cambios generalmente se dan en la parte alta de la cuenca, afectando la cantidad de agua que llega al bofedal. Por ejemplo, el retroceso glaciar, como consecuencia del cambio climático, genera cambios en el aporte de agua a los bofedales andinos: primero se incrementa la cantidad de agua en la época seca, debido al deshielo, y luego se reduce (Polk, 2016).
- **La cosecha de la turba es una gran amenaza para los bofedales** (Salvador, 2015 y Maldonado, 2015). Parece ser más frecuente en la Sierra Central del país, donde se extrae la turba para ser vendida a los viveros de Lima. Además, en el Centro y Sur del país, la población local extrae la turba, la seca y la usa como combustible para cocinar, a falta de otras fuentes mejores.

- Cambios en la calidad de agua que alimenta el bofedal (Maldonado, 2015, O'Donnell, 2016). Actividades extractivas, como la minería, pueden incrementar el contenido de metales en el agua que llega a los bofedales.
- Quemadas, que no han sido reportadas para bofedales peruanos, pero ha sido observado en campo, y se ha mencionado como un efecto indirecto del drenaje de turberas en otras regiones del mundo (Biancalani y Avagyan, 2014). Un bofedal en buena condición no debería quemarse, porque su suelo está húmedo.

5.5 Degradación

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) indica que, si bien no existe una definición única acordada a nivel internacional, hay esfuerzos importantes que contribuyen en la temática. Por ejemplo, esta organización define a las tierras degradadas como aquellas que han perdido —hasta cierto grado— su productividad natural debido a procesos inducidos por la actividad humana. Las definiciones más actuales engloban también cambios negativos en la capacidad de los ecosistemas de brindar una variedad de bienes y servicios sociales y ambientales.

En el contexto nacional, los ecosistemas degradados son *aquellos ecosistemas que han sufrido pérdida total o parcial de alguno de sus factores de producción (componentes esenciales) que alteran su estructura y funcionamiento, disminuyendo por tanto su capacidad de proveer bienes y servicios*¹, que pueden suscitarse en cualquiera de sus componentes bióticos o abióticos y en sus diversas relaciones debido, principalmente, a la sobreexplotación de sus recursos naturales. En consecuencia, se dan efectos directos y negativos sobre el bienestar social, de no tomar medidas que mejoren esta situación.

5.6 Integridad del Ecosistema

Se refiere a una propiedad sintética del ecosistema, como una totalidad, que incluye la presencia de todos los elementos y procesos ocurriendo de manera adecuada. Es un concepto que expresa el grado en el que los componentes físicos, químicos y biológicos y sus relaciones (incluyendo la composición, estructura y función del ecosistema) están presentes y son capaces de mantener la auto-renovación del sistema (Plenik, 2011). En la práctica, se asocia con el concepto de “*condición ecológica*”, ya que la máxima integridad del ecosistema es la referencia de la mejor condición ecológica (Fennesy et al., 2007).

¹Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión pública en diversidad biológica y servicios ecosistémicos

5.7 Condición Ecológica

Busca cuantificar qué tanto un sitio dado se ha distanciado de la integridad ecológica ideal. Se puede definir como la capacidad de un ecosistema de mantener su complejidad y capacidad de auto-organización ante presiones externas (cambios antrópicos). Se mide en base a la composición de especies, características físico-químicas y funciones ecológicas en el sitio dado, y comparando los valores de un ecosistema similar, pero sin alteraciones humanas (referencia). La condición ecológica resulta de la integración de los procesos químicos, físicos y biológicos que mantiene el ecosistema en el tiempo (Fennesy *et al.*, 2007).

5.8 Índice de Integridad Biológica – IBI (por sus siglas en inglés)

Esta es una propuesta para evaluar la condición ecológica. Es un índice compuesto por diferentes medidas biológicas, que son sensibles al estrés ambiental. Estas medidas son estandarizadas y ponderadas para poder ser integradas en un solo valor que indica la condición ecológica de un sitio (Stein *et al.*, 2009). Este valor se ubica dentro de un gradiente, que permite la comparación con otros sitios evaluados, con diferentes niveles de degradación.

5.9 Valor o estado de referencia

Para evaluar la condición ecológica es necesario establecer un estado de referencia — una Línea de Base o «estado ideal»— con la cual se compara una situación que ha sido objeto de cambios. En la práctica, no resulta sencillo establecer un estado de referencia. Teóricamente, los bosques primarios podrían servir de línea de base, pero este método puede ser problemático a causa de las modificaciones que el ecosistema ha podido experimentar en el pasado. Los bosques que han sido ordenados con arreglo a criterios sostenibles con fines de producción podrían también servir de estado de referencia, aunque estos bosques puedan carecer de algunas de las especies, procesos, funciones y estructuras de los primarios. Además, todos los ecosistemas forestales están sujetos a cambios inherentes y a variaciones naturales, que les son característicos.



5.10 Métodos de evaluación rápida

Se refiere a una metodología propuesta para evaluar, de forma rápida, ecosistemas en campo. Este método debe estar basado en el entendimiento de los factores que crean, mantienen y degradan el ecosistema a evaluarse (Fennesy *et al.*, 2007).

5.11 Resiliencia y resistencia

Una característica importante de los bosques es la resiliencia, o capacidad del bosque de recuperarse tras fenómenos de perturbación importantes (Gunderson, 2000). Bajo la mayor parte de los regímenes de perturbación natural, los bosques consiguen mantener su resiliencia en el tiempo. La resiliencia forestal es una propiedad ecosistémica emergente que deriva de la biodiversidad en múltiples escalas, y comprende desde la diversidad genética hasta la diversidad paisajística (Thomson *et al.*, 2009).

Relacionado con el concepto de resiliencia está el de resistencia, que es la capacidad del bosque de resistir a alteraciones de menor envergadura a lo largo del tiempo, tales como la muerte de algunos árboles o a nivel crónico de herbívora provocada por insectos. Los cambios de leve importancia son alteraciones susceptibles de mitigación, como los vacíos en el dosel, los cuales terminan colmándose rápidamente por el crecimiento de nuevos individuos jóvenes.

5.12 Atributos del ecosistema

Se entiende como atributo al componente de un ecosistema considerado de mayor relevancia para que funcione y persista en el espacio y el tiempo (Pardo *et al.*, 2007), que no puede ser medido directamente, sino ser estimado a través de un grupo de indicadores (Pyke *et al.*, 2002). Los atributos considerados para la evaluación del estado del ecosistema bofedal son:

- a) **Condición del agua:** Se refiere a la cantidad y calidad de agua que se mantiene en el bofedal. Si la condición es adecuada permitiría asegurar el funcionamiento apropiado del ecosistema.
- b) **Condición del suelo:** Se refiere principalmente a la condición e integridad de la turba o suelo orgánico que se acumula en el bofedal, lo que influye en la capacidad de almacenamiento de carbono y agua. Asimismo, da soporte e influye en la comunidad vegetal que se desarrolla en el ecosistema.
- c) **Condición de la biota:** Refleja la capacidad de mantenimiento de la biodiversidad, que es lo primero que se ve afectado cuando un ecosistema es degradado. Además, usa la producción primaria como un indicador del buen o mal funcionamiento del ecosistema en general.

- d) Alteraciones en el paisaje:** El paisaje se integra a todos los ecosistemas que rodean al bofedal, y al bofedal mismo. Se ha diferenciado este como un atributo para hacer énfasis en la importancia que tiene el entorno en la provisión de agua al bofedal, y se incluyó evidencias de factores de degradación, que pueden estar presentes al interior del bofedal, o en los alrededores.

5.13 Indicadores del estado del ecosistema

Los indicadores son componentes del ecosistema que pueden ser observados y medidos, y que se relacionan con uno o más atributos (Pyke *et al.*, 2002). Los indicadores pueden relacionarse con la respuesta que da el ecosistema ante un factor de degradación, pero también puede ser un indicador de la presencia del factor de degradación en sí mismo (Fenersey *et al.*, 2007). Los indicadores considerados para la evaluación del estado del ecosistema bofedal son:

a) Indicador de la condición del agua

- **Nivel de la napa freática durante la época seca:** Se refiere a la profundidad en la que se encuentra la napa freática, usando la superficie del suelo como referencia. Al medirla durante la época seca será un indicador de qué tanto la estacionalidad afecta al bofedal. Esto se puede deber a que es un bofedal estacional (por lo que además tendría turba superficial) o que se deba a alteraciones en el aporte de agua al bofedal, si es que tiene una turba profunda. En cualquiera de los casos da una idea del balance que existe entre la acumulación de turba —que siempre se da en la época de lluvia— y la descomposición de la misma, que se da solo si en la época de estiaje el suelo deja de estar saturado de agua.
- **Conductividad eléctrica:** Indica la concentración de iones que hay en el agua. Cuando el pH es alcalino, valores altos de conductividad nos indican problemas de salinidad. Cuando el pH es ácido, pueden indicar altas concentraciones de metales. Ambos casos indican problemas con la calidad del agua.

b) Indicadores de la condición el suelo

- **Profundidad de turba:** reconocer la profundidad a la que desaparece la turba y se encuentra el suelo mineral o la roca madre; ayuda a reconocer la capacidad de almacenamiento de agua y carbono que tiene un bofedal. En bofedales permanentes se sabe que la profundidad de la turba se relaciona directamente con la edad. Es decir, turbas más profundas indican bofedales más antiguos. Pero no se sabe si esta relación se mantiene con los bofedales estacionales. Es importante cruzar la información de la profundidad de la napa freática con este indicador, para reconocer si hay alteraciones en la hidrología del bofedal.

- **Materia orgánica superficial:** la materia orgánica acumulada en el horizonte superficial del suelo nos refleja la capacidad de acumulación de carbono que tiene la turba. A valores más altos, mayor almacén de carbono tendrá el bofedal.
- **Densidad aparente en la capa superficial:** indica la capacidad de almacén de agua que hay en la turba. A valores más bajos de densidad, mayor capacidad de almacén. Se mide en la capa superficial, porque además, valores muy altos de densidad aparente en el horizonte superficial, indicarían problemas de compactación, probablemente por el pisoteo del ganado.
- **Signos de erosión:** indicador cualitativo, que evalúa visualmente los procesos de erosión hídrica de la turba. Estos procesos son promovidos generalmente por el pisoteo del ganado, que eliminan la vegetación superficial dejando la turba expuesta, y su erosión se favorece cuando hay flujos de agua superficial.

b) Indicadores de la condición de la biótica

Los indicadores seleccionados se relacionan con la vegetación, debido a que no se ha encontrado información suficiente que permita relacionar la presencia o ausencia de ciertas especies o grupos de especies de fauna con cierta condición en el bofedal.

- **Abundancia de especies nativas:** la proporción que representan las especies nativas, del total de vegetación, es un buen indicador de la condición ecológica en el bofedal. La presencia de especies que no son nativas, indican cambios que se pueden relacionar con reducción en el nivel de la humedad, cambios en la disponibilidad de nutrientes, o la presencia de ganado, como dispersor de especies que no son de la zona. Evaluar la proporción de especies no nativas o introducidas en el bofedal sería equivalente a este indicador. Para ambos casos se requiere de una lista que permita diferenciar entre especies nativas e invasivas, y por el momento no se cuenta con ninguna. No obstante, se ha preparado una lista de lo encontrado en revisión de literatura.
- **Riqueza de especies:** se refiere al número de especies (flora) presentes en un área o en una muestra determinada, como expresión de la diversidad.
- **Cobertura vegetal viva:** directamente relacionado con la protección que da la vegetación a la turba, evitando procesos de erosión. Mientras mayor es la cobertura vegetal, mayor es la protección de la turba. Se hace énfasis en la vegetación viva para que no se considere el mantillo. Se espera que un bofedal saludable presente un alto porcentaje de cobertura vegetal viva.
- **Biomasa aérea:** referido a la capacidad de producción primaria del ecosistema. Este indicador en sí mismo es un servicio ecosistémico, que se ve reducido especialmente cuando el sitio está siendo pastoreado.

d) Indicadores de las alteraciones en el paisaje

- **Presencia de factores de degradación (amenazas) en el bofedal:** Pondera las evidencias de factores de degradación presentes en el bofedal y sus alrededores.
- **Conectividad hidrológica del bofedal:** evalúa si hay infraestructura u otras evidencias de alteraciones en el curso del agua que debería llegar directamente al bofedal en evaluación. Esto incluye tomas de agua, canales, construcción de carreteras, explotaciones mineras cercanas, morrenas en las laderas cercanas, etc. Aunque cambios en la parte alta de la cuenca, en puntos lejanos del bofedal, causaran alteraciones de manera indirecta, son mucho más difíciles de evaluar.



6. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL ECOSISTEMA BOFEDAL

6.1 Consideraciones metodológicas generales

Se establecieron consideraciones referidas al personal de campo, materiales e instrumentos requeridos, así como los atributos e indicadores y sus valores relativos a considerar, necesarios para desarrollar el trabajo.

6.1.1 Personal de campo, materiales e instrumentos

Para evaluar el estado del ecosistema bofedal, el equipo de trabajo debe estar conformado, como mínimo, por el siguiente personal:

- *Profesional responsable de la brigada*: Encargado de conducir el grupo de trabajo tanto en gabinete como en campo, con la responsabilidad de orientar las acciones para la localización y toma de datos en las parcelas de evaluación, realiza la captura de imágenes con equipo RPAS².
- *Profesional 1*: Profesional conocedor de especies de flora, responsable de identificar las especies, la cobertura vegetal y en la medición de otros indicadores dentro de las parcelas.
- *Profesional 2*: Profesional encargado de la elaboración de mapas para el desarrollo del trabajo de campo, ubicación geográfica de parcelas con GPS, delimitación de parcelas, toma de fotos, entre otros.
- Una (1) persona conocedora de la zona de trabajo, que apoye como guía.

A continuación se hace referencia a los instrumentos y materiales a considerar para la evaluación del estado del ecosistema.

²Remotly Piloted Aircraft Systems

Cuadro n.º 1: Lista de equipamiento necesario para el desarrollo del trabajo en gabinete y campo.

INSTRUMENTOS / EQUIPOS	MATERIALES	SOFTWARE
<ul style="list-style-type: none"> - Navegador GPS - Multiparámetro - Barreno (se recomienda uno con diámetro de 4') - Cinta métrica de 50 y de 5 m. - Voltímetro (opcional) - Binoculares - Cámara Fotográfica Digital - Cuchilla - Cilindro metálico de volumen conocido (Ø4' con h=10 cm) - Pala recta - Drone (opcional) 	<ul style="list-style-type: none"> - Imágenes satelitales - Cartografía base digital - Bolsa plástica y/o de papel para colecta de muestra - Baterías alcalinas para GPS - Ficha de campo - Tabla porta hojas - Marcadores permanentes 	<ul style="list-style-type: none"> - SIG (QGis, Gv Sig y otro) - Google Earth - Open Office

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Atributos e indicadores a considerar

La evaluación de la condición ecológica del ecosistema implica estimar los atributos³ seleccionados (condición del agua, condición del suelo, condición de la biota y alteraciones en el paisaje) a partir de la medición directa de un grupo de indicadores⁴ (Cuadro n.º 2). Estos indicadores cumplen con los siguientes criterios:

- Pueden ser medidos (o muestreados) en campo fácilmente.
- Dan valores fáciles de interpretar.
- Son sensibles a los cambios sutiles del ecosistema.
- Tienen una respuesta predecible ante el cambio.
- Son indicadores de procesos del ecosistema.
- No requieren varias mediciones en el tiempo, para su interpretación.

³El atributo es un componente del ecosistema considerado de mayor relevancia para que funcione y persista en el espacio y el tiempo, no pueden ser medidos directamente, pero pueden ser estimados a través de un grupo de indicadores.

⁴El indicador es un componente del ecosistema que puede ser observado y medido, y que se relaciona con uno o más atributos.

Cuadro n.º 2: Atributos e indicadores para medir el estado del ecosistema bofedal

ATRIBUTOS	INDICADORES
Condición del agua	Napa freática en época seca (cm)
	Conductividad eléctrica (μS/cm)
Condición del suelo	Profundidad de turba (cm)
	Materia orgánica (%)
	Densidad aparente (g/cm ³)
	Signos de erosión (cualitativo)
Condición de la biota	Especies nativas (%)
	Riqueza de especies (n.º especies / área)
	Cobertura vegetal viva (%)
	Biomasa aérea (kg MS/ha)
Alteraciones en el paisaje	Presencia de factores de degradación (cualitativo)
	Conectividad hidrológica del bofedal (cualitativo)

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 Valores relativos de atributos e indicadores a considerar

Sobre los atributos e indicadores, se determinó el valor relativo de cada uno, a partir de matrices multicriterio⁵, basado en un análisis jerárquico. Esto permite comparar entre pares de atributos o de indicadores, y determinar la contribución o importancia relativa de cada uno. Se comparan primero los atributos entre sí, en una matriz, y luego los indicadores dentro de cada atributo, en cuatro matrices diferenciadas para cada atributo.

Cuadro n.º 3: Valores relativos de atributos e indicadores del ecosistema bofedal

ATRIBUTOS	INDICADORES	VALOR RELATIVO
Condición del agua 39.6 %	Napa freática en época seca (cm)	30.8
	Conductividad eléctrica (μS/cm)	8.8
Condición del suelo 24.5 %	Profundidad de turba (cm)	9.2
	Materia orgánica (%)	8.9
	Densidad aparente (g/cm ³)	3.5
	Signos de erosión (cualitativo)	2.9
Condición de la biota 19.9 %	Especies nativas (%)	8.7
	Riqueza de especies (n.º especies / área)	3.1
	Cobertura vegetal viva (%)	3
	Biomasa aérea (kg MS/ha)	5.1
Alteraciones en el paisaje 16.0 %	Presencia de factores de degradación (cualitativo)	8
	Conectividad hidrológica del bofedal (cualitativo)	8

⁵“Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos” (MINAM, 2016)

6.1.4 Puntaje de indicadores en función al rango de los valores de referencia

A partir de los valores relativos asignados a cada indicador, se buscó un mecanismo apropiado para darle un puntaje a las diferentes medidas que se obtengan de campo, de cada indicador. Para ello se buscaron y definieron rangos de los valores de referencia, utilizando datos propios y datos disponibles de instituciones y centros de investigación que compartieran sus resultados de caracterización de bofedales, en el Perú y en Bolivia. La escala de calificación de puntajes contempla como referencia los rangos de valores alcanzados en la medición en campo de los indicadores (Cuadros n.º 4, 5, 6 y 7). El puntaje máximo que tendrá cada indicador corresponde al valor relativo asignado a cada uno de ellos, según como se muestra en el Cuadro n.º 3.

Cuadro n.º 4: Escala de valoración de la condición de agua

INDICADOR	RANGO DE VALORES DE REFERENCIA	PUNTAJE
Napa freática (cm)	< 5	30.8
	6 - 20	20.5
	21 - 60	10.3
	> 60	0.0
Conductividad eléctrica (µS/cm)	< 52	8.8
	52 - 110	5.9
	110 - 215	2.9
	> 215	0.0

Fuente: Elaboración propia

Cuadro n.º 5: Escala de valoración de la condición de suelo

INDICADOR	RANGO DE VALORES DE REFERENCIA	PUNTAJE
Profundidad de turba (cm)	> 200	9.2
	100 - 200	6.1
	41 - 100	3.1
	< 40	0.0
Materia orgánica (%)	> 75	8.9
	56 - 75	5.9
	21 - 55	3.0
	< 37	0.0
Densidad aparente (g/cm³)	< 0.2	3.5
	0.2 - 0.3	2.3
	0.3 - 0.9	1.2
	> 0.9	0.0
Signos de erosión	A	2.9
	B	1.9
	C	1.0
	D	0.0

Fuente: Elaboración propia

Cuadro n.º 6: Escala de valoración de la condición de la biota

INDICADOR	RANGO DE VALORES DE REFERENCIA	PUNTAJE
Especies nativas (%)	> 80	8.7
	61 - 79	5.8
	31 - 60	2.9
	< 31	0.0
Riqueza de especies (transecto)	>10	3.1
	8 a 10	2.1
	5 a 7	1.0
	< 5	0.0
Cobertura vegetal (%)	100	3.0
	90 - 99	2.0
	89 - 75	1.0
	< 75	0.0
Biomasa (kg MS/ha)	> 1000	5.1
	651 - 999	3.4
	301 - 650	1.7
	< 300	0.0

Fuente: Elaboración propia

Cuadro n.º 7: Escala de valoración de la alteración en el paisaje

INDICADOR	RANGO DE VALORES DE REFERENCIA	PUNTAJE
Presencia de factores de degradación	A	8.0
	B	5.3
	C	2.7
	D	0.0
Conectividad hidrológica	A	8.0
	B	5.3
	C	2.7
	D	0.0

Fuente: Elaboración propia.

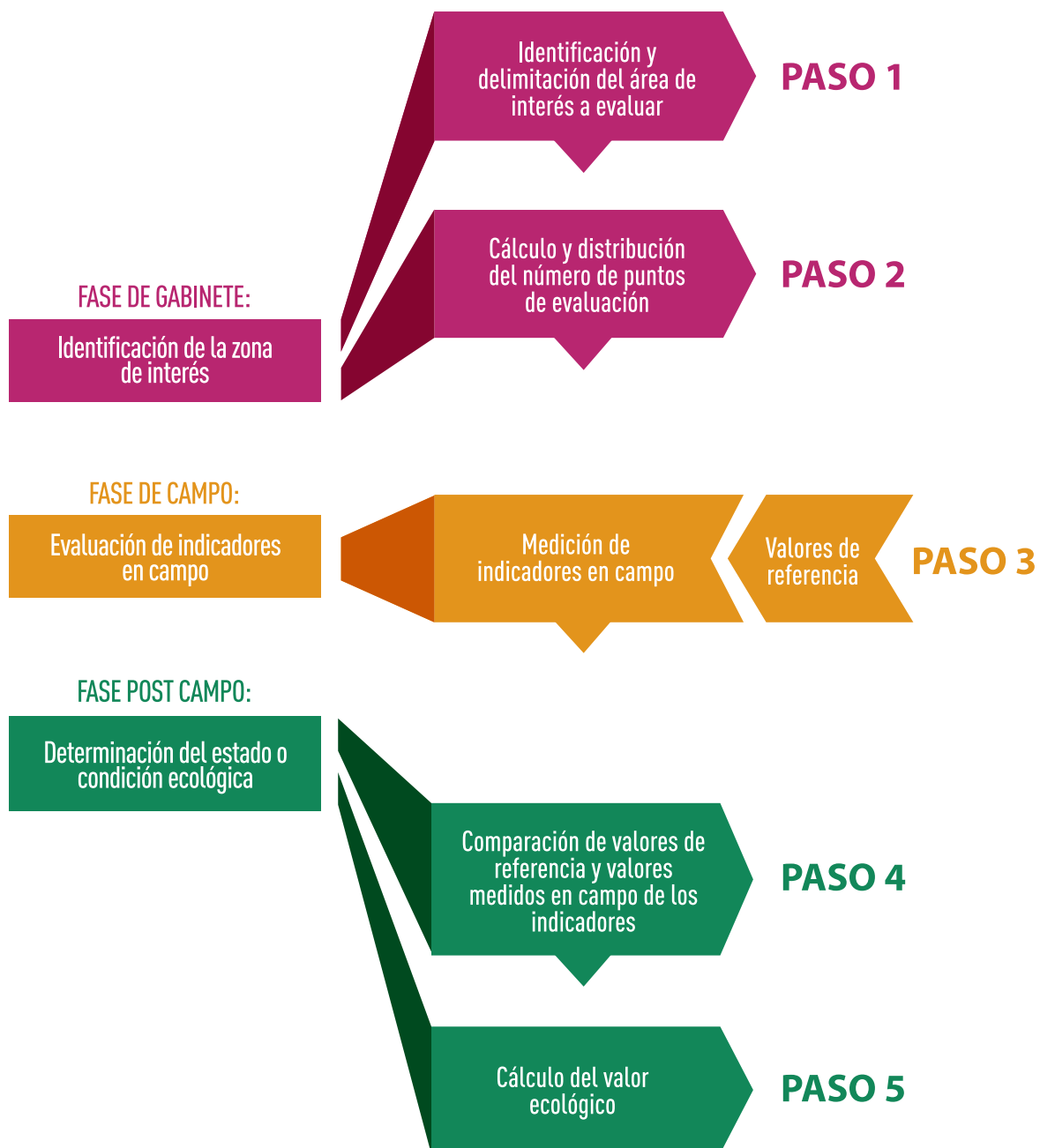
Considerando que los valores de referencia fueron determinados a partir de estudios realizados en el Perú (ubicados en su mayoría en la sierra central del país) y en Bolivia, se abre la posibilidad de establecer valores de referencia de lugares cercanos a las zonas de evaluación. Estos deben obtenerse de bofedales que se encuentren en las mejores condiciones en términos de integridad ecológica (composición, estructura y funcionalidad), para ello se tiene que levantar información en campo de cada indicador y reestablecer los rangos de valores de referencia por cada indicador.



6.2 Proceso metodológico

El proceso metodológico consta de una secuencia de pasos agrupados en tres (3) fases: 1) fase de gabinete, 2) fase de campo y 3) fase de post campo (Figuras n.º 2 y 3).

Figura n.º 2: Secuencia de pasos para evaluar el estado del ecosistema bofedal.



FASE DE GABINETE

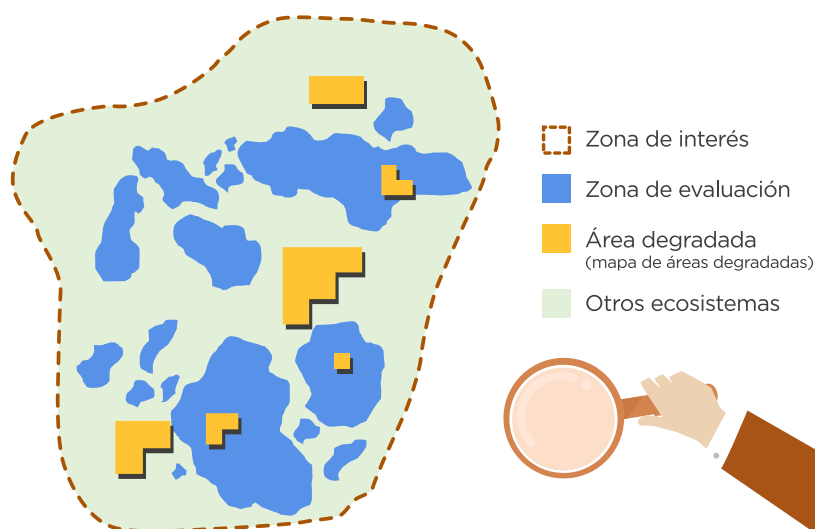
6.2.1 PASO 1: Identificación y delimitación de la zona de interés a evaluar

Como punto de partida, se debe identificar y delimitar la zona de interés, excluyendo las áreas con evidente cambio de uso (actividad agropecuaria, actividad minera, actividad petrolera, centros poblados, parque industrial, caminos, carreteras, etc.).

Se analizará, como mínimo, el *Mapa Nacional de Ecosistemas*⁶, mapas de áreas degradadas, imágenes de satélite (mediana o alta resolución espacial) y/o fotografías aéreas (Vehículos aéreos tripulados o RPAS), para los siguientes procesos:

- Identificación y delimitación del/los bofedal/es a partir de la distinción del tono, color, textura, brillo, tamaño y forma.
- De corresponder, estratificar en función a la heterogeneidad de la humedad (áreas secas, áreas inundadas, otros) y diferencias en las comunidades vegetales. Posteriormente —en campo— se verificará para ajustar la información generada.
- Verificación de la condición del/los bofedal/es; es decir, si es aislado, conectado con otros relativamente cercanos, o si es un complejo de pequeños bofedales, para una mejor planificación del trabajo de campo.
- Identificación de los cuerpos de agua cercanos y cuenca arriba del bofedal, como indicador de posibles fuentes superficiales que alimentan el bofedal.

Figura n.º 3: Esquema de la identificación y delimitación de la zona de interés a evaluar



Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 PASO 2: Cálculo y distribución del número de las unidades muestrales

El principal criterio a tomar en cuenta para la distribución de los puntos de evaluación será el gradiente de humedad dentro del bofedal, diferenciando:

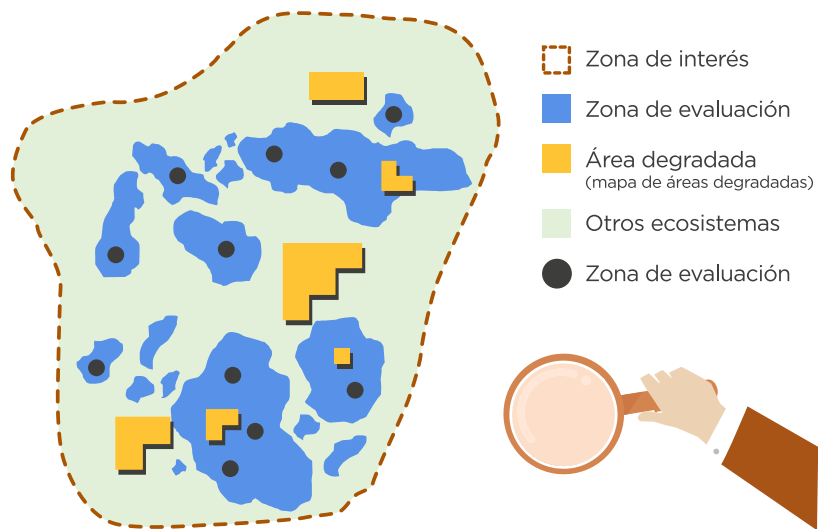
- Áreas inundadas: cuando el nivel del agua está algunos centímetros arriba del suelo.
- Áreas saturadas: se ve la vegetación sobre el suelo, pero al caminar el agua salpica.
- Áreas en capacidad de campo: al caminar el agua no salpica, pero al tocar el suelo se humedece la palma de la mano.
- Áreas secas: al tocar el suelo se siente seco.

Si además se observan diferencias en las comunidades vegetales, es importante elegir puntos que representen estas diferentes, eligiendo las más dominantes en el área. Asimismo, el cálculo del número de unidades muestrales, siendo puntos en este caso, considera la superficie (ha) del Bofedal.

- En bofedales muy pequeños (alrededor de 0.25 ha) no necesariamente se debe evaluar, ya que son muy sensibles a los cambios en su entorno. Si por algún motivo se considera importante evaluarlos, una unidad muestral (1 punto) es suficiente para su evaluación, ubicándolo en la condición más representativa en términos de vegetación y saturación de agua en el suelo.
- En bofedales pequeños (alrededor de 1 ha), se sugiere considerar dos unidades muestrales (2 puntos) para su evaluación, distribuidos uno en una zona con menor y otra con mayor humedad.
- En bofedales medianos (de 1 hasta 5 ha), se sugiere considerar tres unidades muestrales (3 puntos) para su evaluación; su distribución debe buscar representar el gradiente de humedad y diferencias en la vegetación.
- En bofedales grandes (de 5 ha a más), se sugiere considerar cuatro o cinco unidades muestrales (4 o 5 puntos) para su evaluación; su distribución debe buscar representar el gradiente de humedad y diferencias en la vegetación.

En caso que sea un complejo de bofedales, que no permite distinguir donde empieza o termina cada uno, se sugiere establecer un punto en cada bofedal que muestre condiciones de humedad y vegetación diferentes.

Figura n.º 4: Esquema de la distribución espacial de las unidades muestrales



Fuente: Elaboración propia.

FASE DE CAMPO

6.2.3 PASO 3: Medición de indicadores en campo

Previo a la medición de indicadores en campo, se debe elaborar el mapa de localización del ámbito de estudio y, de ser el caso, complementar con otros de mayor detalle. En este mapa, se mostrarán los puntos de evaluación, las vías de acceso, los cuerpos de agua, centros poblados, y demás aspectos que se estimen necesarios. Además, se recomienda que el mapa muestre como fondo imágenes satelitales con la mejor resolución espacial disponible (recomendable pixel de 5 metros de resolución).

Se recomienda que la evaluación de bofedales se lleve a cabo en época seca, a fin de poder diferenciar la gradiente de humedad.

En las unidades muestrales se evaluarán los siguientes indicadores:

a) Condición del agua

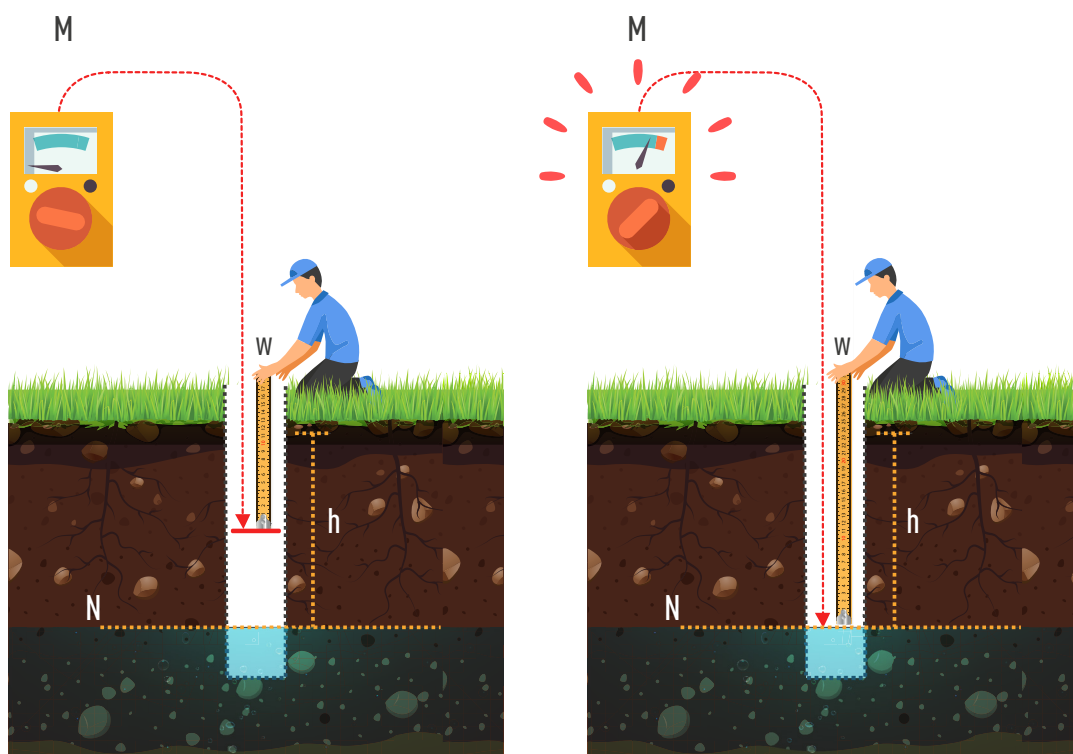
- Nivel de la napa freática en la época seca:

Sobre las unidades muestrales, se hace un hoyo en la turba hasta encontrar agua, con un barreno de 4 pulgadas de diámetro. Al hacer el hoyo se altera el nivel real del agua, por lo que se recomienda marcarlo con una banderilla y, mientras se mide los demás indicadores, se va revisando cada cierto rato cómo viene subiendo el nivel del agua, a fin de determinar cuando este estable y medirlo.

Cuando el bofedal tiene turba y agua es sencillo hacer el hoyo, pero se recomienda buscar alguna zona en que no haya vegetación de cojín, porque es muy difícil de cortar con el barreno; se debe realizar el corte y sacar una pequeña área de la vegetación de cojín, con una cuchilla. Cuando el bofedal tiene poca turba y/o no está muy húmedo, es más difícil hacer el hoyo, por lo que se sugiere utilizar un barreno de metal, que tenga un poco de filo en la punta, para facilitar el corte de las raíces de la turba. Cuando la napa freática está muy profunda, será difícil llegar a ella. En estos casos basta con llegar a los 55 – 60 cm, que es el valor límite para considerar el sitio como regular. Si después del tiempo de espera, el fondo del hoyo sigue estando seco, se considerará el sitio como pobre en términos de napa freática.

Para medir el nivel del agua en el hoyo, se requiere una wincha acoplada a un voltímetro. El voltímetro se conecta a un cable de los usados para las conexiones eléctricas, y la punta de este cable se pega con cinta aislante a la punta de la wincha. En el momento en que la punta del cable entra en contacto con el agua, generará un cambio en el valor marcado en el voltímetro. En ese punto se revisa la distancia entre el suelo y agua, verificando los datos en la wincha.

Figura n.º 5: Multitéster conectado a la wincha, usada para medir el nivel de la napa freática



M: Multitester
N: Nivel de napa freática
h: Profundidad de napa freática (m)
W: Wincha

Fuente: Elaboración propia.

- **Conductividad eléctrica:**

Con un multiparámetro, y en el lugar del hoyo donde se midió el nivel de napa freática o en alguna poza superficial, se mide la conductividad eléctrica, que también será corregida de acuerdo a la temperatura del agua.

b) Condición del suelo

- **Profundidad de la turba:**

Usando el barreno y el hoyo donde se midió la napa freática, se revisa la profundidad de la turba. Si la napa freática es muy superficial, se recomienda hacer otro hoyo para evaluar la profundidad de la turba. Cada vez que se extrae el material con el barreno, se revisa la punta del barreno para ver si sigue siendo turba. La turba se reconoce por ser material vegetal (principalmente raíces) en proceso de pudrición, que pueden o no tener un mal olor, pero que se observan casi enteras. Al frotar la turba tiene una textura suave, no granulosa como el suelo mineral, y tiene un color marrón oscuro a negro.

Si aparecen capas de suelo mineral color gris, el hoyo debe ser más profundo, ya que es común que estas capas de suelo gris sean intermedias y debajo se encuentren capas de turba enterradas. Lo ideal es hacer un hoyo de un metro, para poder diferenciar un bofedal regular de uno bueno; sin embargo, no siempre se puede contar con un barreno tan profundo. En estos casos es importante anotar si la profundidad es la máxima a la que se pudo llegar, o es en realidad la profundidad de la turba en el bofedal.

Figura n.º 6: Barreno usado para hacer hoyo en el bofedal y medir la profundidad de la turba



Fuente: Elaboración propia.

- **Materia orgánica en el horizonte superficial:**

Se sugiere que la primera parte extraída con el barreno sea usada como muestra para evaluar materia orgánica. Usando una cuchilla se elimina la vegetación superficial, y se corta hacia abajo del suelo, para que la muestra represente los primeros 10 cm de turba. De ser necesario, se repite el procedimiento para obtener una buena muestra, considerando que la idea es reducir al máximo el impacto de la evaluación en el área.

Es importante indicar que, a diferencia del suelo mineral, la muestra de turba se toma de un solo punto, porque la turba no se puede mezclar homogéneamente para sacar una muestra representativa. Cada muestra es puesta en una bolsa sellada y codificada para ser llevada al laboratorio.

- **Densidad aparente en el horizonte superficial:**

Para tomar la muestra se requiere de un cilindro metálico de volumen conocido. Se debe eliminar la vegetación superficial en el área que se va a muestrear, o cortar con la pala un cuadrado de la vegetación y sacarlo. El cilindro metálico se introduce en la capa superficial de la turba, a unos 4 o 5 cm de la superficie, y se debe verificar que la muestra abarque todo el cilindro. Esta muestra es puesta en una bolsa sellada y codificada para ser llevada al laboratorio.

Figura n.º 7: Modo de extracción de muestra para medir densidad aparente



Fuente: Elaboración propia.

- **Signos de erosión:**

Para esta evaluación se observará con cuidado el sitio, y se marcará la descripción que mejor explique lo observado, siguiendo la Cuadro n.º 8.

Cuadro n.º 8: Descripción del grado de erosión de la superficie evaluada

A	Menos del 10 % del área presenta signos de erosión laminar superficial y movimiento de mantillo.
B	Se aprecian signos de erosión laminar superficial en menos del 25 % del área, y pocas evidencias de alteraciones (vegetación seca, removida y/o pudriéndose) en la superficie de la vegetación de cojín.
C	Se presenta erosión laminar profunda, formando surcos y zanjas en al menos el 15 % del área, y/o se evidencia formación de parches (cojines fraccionados); presencia de vegetación seca, removida o podrida en la superficie de la vegetación de cojín, en al menos 20 % del área.
D	Se observa una severa erosión en la superficie de la vegetación de cojín en al menos el 25 % del área; se han formado parches y el nivel del curso del agua está a 10cm o más de profundidad, en relación a la superficie del suelo con vegetación de cojín. O al menos 25 % del área presenta la formación de surcos y depresiones profundas.

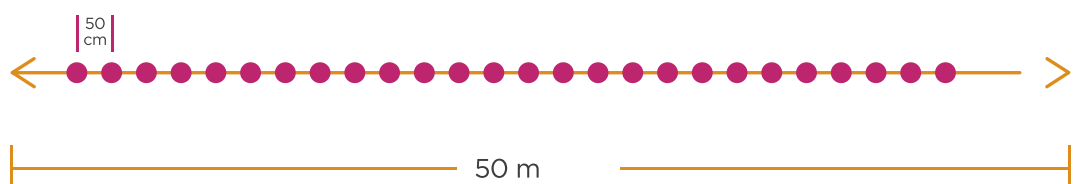
Fuente: Elaboración propia

c) Condición de la biota

- **Especies nativas:**

Se realiza el método de intercepción, evaluando 100 puntos en un transecto de 50 m. El transecto se establece usando una wincha de 50 m lo más estirada y cercana a la superficie del suelo que se pueda. Cada 50 cm se registra la especie encontrada. En ladera, se recomienda evaluar en el sentido de la misma, para abarcar mayor heterogeneidad, y en áreas planas, en paralelo a los cursos de agua (riachuelos o arroyos que atraviesan el bofedal). En seguida, se calcula la cantidad de puntos en que se encontró vegetación, y se estima el porcentaje de la vegetación que es considerada nativa. Ver Figura n.º 8.

Figura n.º 8: Transecto que servirá para la medición de variables



Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la estimación de la abundancia de las especies nativas, se requiere elaborar una lista mínima de las especies dominantes y más representativas encontradas en los bofedales.

Figura n.º 9: Identificación de especies nativas



Nombre científico: *Oreobulus obtusangulus*

Foto: Yanett Gmzales

Fuente: Elaboración propia.

- **Riqueza de especies:**

Se incluyen todas las especies de vegetación, de musgos y líquenes. No es necesario identificar el nombre científico de todas, pero sí diferenciar cuántas especies hay en cada bofedal evaluado. Cada 50 cm se registra la especie encontrada.

Figura n.º 10: Identificación de la riqueza de especies



Distrito de Catac, Provincia de Recuay, Departamento de Ancash.

Fuente: Elaboración propia.

- **Cobertura vegetal viva:**

Usando el transecto como base, a los 12.5 m, 25 m, y 37.5 m se estimará visualmente la cobertura vegetal, con ayuda de un cuadrante de 1x1 m, dividido en 4. Estos tres valores serán promediados con el porcentaje calculado por el transecto (proporción de puntos en los que se registró vegetación). Se recomienda que cuando haya agua inundando el área, se revise si en la base hay vegetación o es suelo o turba desnuda.

Figura n.º 11: Evaluación de la cobertura vegetal



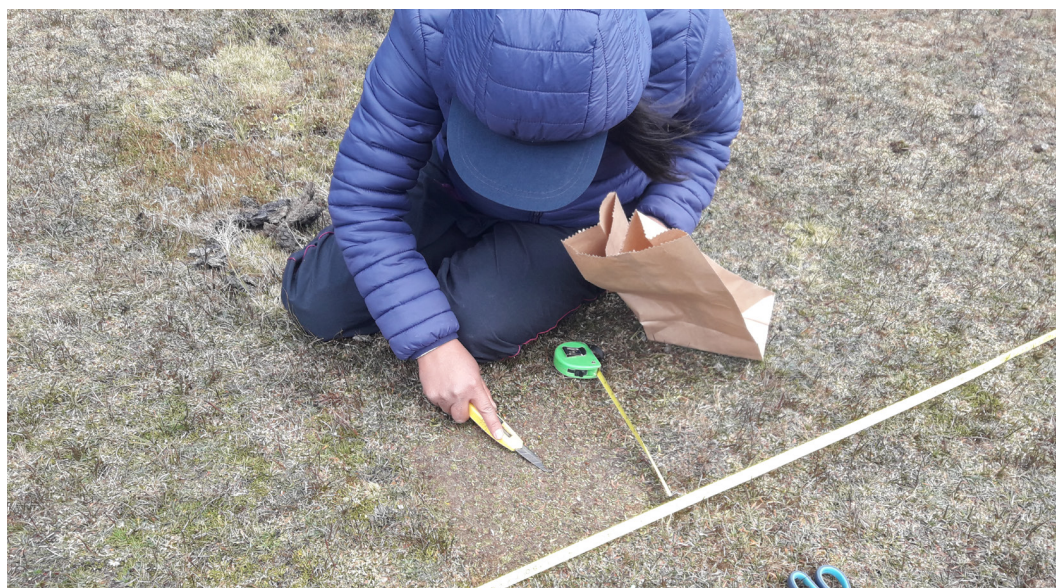
Fuente: Elaboración propia.

- **Biomasa aérea:**

Para el cálculo de la biomasa se recomienda el uso del método de corte. Usando la ubicación de los cuadrantes en que se evalúa la cobertura vegetal, se colocan cuadrados de 25 x 25 cm, y se corta toda la cobertura vegetal hasta el ras del suelo. Estas muestras se guardan en una misma bolsa de papel, codificada, que es llevada al laboratorio para ser secada en el horno durante 48 horas, y pesada en seco. Se hace necesario realizar primero la medición del indicador de cobertura vegetal, para luego recoger la muestra y medir la biomasa.

Cuando la vegetación dominante sea de cojín, se recomienda, con ayuda de una pala, cortar el cuadrado de 25 x 25 cm y, con una tijera podadora, cortar al ras toda la parte verde de la vegetación de cojín. El peso obtenido en laboratorio debe ser proyectado a hectárea para que sea comparable.

Figura n.º 12: Recolección de la cobertura vegetal para medir biomasa aérea



Fuente: Elaboración propia.

d) Alteración en el paisaje

- Presencia de factores de degradación:

Para esta evaluación se observarán evidencias de factores de degradación que se encuentran en el bofedal y/o en los alrededores. Para cada factor se dan indicadores para diferenciar un gradiente de abundancia y de intensidad, lo que generaría un gradiente en el nivel de impacto que este factor puede generar. Para evaluar este indicador en el sitio, se utilizará la descripción que se indica en el cuadro n.º 9, y se elegirá la que mejor explique lo observado.

Cuadro n.º 9: Muestra categorías por presencia de factores a partir de su abundancia e intensidad

A	Se presenta uno o ningún factor de degradación, en baja abundancia e intensidad.
B	Se presentan dos factores de degradación en baja abundancia e intensidad, o un factor con abundancia baja e intensidad alta, o viceversa, alta abundancia y baja intensidad.
C	Se presentan dos factores de degradación con alta intensidad o alta abundancia.
D	Se presentan tres o más factores de degradación en cualquier grado, o se presenta un factor de degradación con alta abundancia y alta intensidad.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en el cuadro n.º 10 se describe el nivel de abundancia y de intensidad para cada factor de degradación.

Cuadro n.º 10: Factores de degradación de bofedales

FACTOR DE DEGRADACIÓN	NIVEL	ABUNDANCIA	INTENSIDAD
Alteraciones hidrológicas dentro del bofedal	Alta (3)	Las zanjas de infiltración o canales cubren una alta proporción del área (al menos 30 %)	La diferencia entre la superficie del suelo y el curso del agua es de 25 cm a más
	Baja (1)	Las zanjas de infiltración o canales cubren una baja proporción del área.	La diferencia entre la superficie del suelo y el curso del agua es menos de 25 cm
Ganadería	Alta (3)	Presencia de más de 3 unidades animal por hectárea. O alta abundancia de estiércol de ganado.	El pastoreo continuo en el área de bofedal (si hay algún informante local)
	Baja (1)	Presencia de menos de 3 unidades animal por hectárea. Baja presencia de estiércol de ganado	El pastoreo es estacional en el área de bofedal (si hay algún informante local)
Cosecha de turba	Alta (3)	En más del 15 % del área se ha cosechado turba.	Se ha drenado el bofedal y cosechado más de 30 cm de profundidad de turba.
	Baja (1)	En menos del 15 % del área se ha cosechado turba.	No se ha drenado el bofedal y se ha cosechado menos de 30 cm de turba
Quemas	Alta (3)	Evidencia de quema reciente en al menos el 25 % del área.	La quema siempre es de alta intensidad.
	Baja (1)	Evidencia de quema en menos del 25 % del área	

Fuente: Elaboración propia

- Conectividad hidrológica:

Se evalúa en el entorno cercano al bofedal (unos 500 m) para detectar infraestructura o alteraciones que han modificado el curso natural del agua hacia el bofedal. Para esta evaluación se elegirá la descripción que mejor explique lo observado en campo, siguiendo el cuadro n.º 11.

Cuadro n.º 11: Infraestructura o alteraciones que condicionan la conectividad hidrológica en el bofedal

A	No se ha encontrado ningún problema o alteración en las fuentes de agua que alimentan directamente al bofedal.
B	La presencia de carreteras o infraestructura han cambiado la permeabilidad del agua hacia el bofedal, pero no la cantidad de agua que entra. Se han encontrado fuentes de nutrientes, minerales y/o contaminantes en las partes altas de la quebrada (alteraciones de la calidad de agua).
C	Se encuentran tomas de agua o canales que funcionan estacionalmente, o carreteras que reducen la cantidad de agua que entra al bofedal. Hay presencia de morrenas grandes, indicando la pérdida significativa de masa glaciar.
D	Se encuentran carreteras y tomas de agua o canales permanentes que desvían y eliminan la entrada de agua de estas fuentes hacia el bofedal.

Fuente: Elaboración propia

FASE DE POST CAMPO

6.2.4 PASO 4: Comparación de valores de referencia y la unidad muestral evaluada (UM) para la determinación de puntajes

A partir de las mediciones realizadas en campo y de las muestras recolectadas y evaluadas en el laboratorio, se deben estimar los puntajes de cada indicador. Para ello, se identifica el rango (cuadros n.º 3, 4, 5, 6 y 7) de los valores de referencia (VR)⁷, al que corresponden los valores de los indicadores de las unidades muestrales evaluadas.

En el cuadro n.º 12, la columna Puntaje, de los valores de referencia (VR), toma los valores máximos (también se evidencian en los cuadros n.º 4, 5, 6 y 7), sumando 100, lo que significa que este sitio mantiene su máxima integridad ecológica; es decir, todos los componentes físicos, químicos y biológicos y sus relaciones (incluyendo la composición, estructura y función del ecosistema) están presentes y funcionan de manera adecuada. Por lo tanto, el cálculo del puntaje de los indicadores de las unidades muestrales evaluadas (UM), se obtienen en función al rango de los valores de referencia (VR) en el que se encuentran.

Cuadro n.º 12: Formato para el llenado y comparación de los valores de referencia y la unidad muestral para el cálculo del valor ecológico de un bofedal

ATRIBUTOS	INDICADORES	VALORES DE REFERENCIA (VR)		UNIDAD MUESTRAL (UM)	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Condición del agua 39.6%	Napa freática en época seca (cm)	<5	30.8		
	Conductividad eléctrica (µS/cm)	<52	8.8		
Condición del suelo 24.5%	Profundidad de turba (cm)	>200	9.2		
	Materia orgánica (%)	>75	8.9		
	Densidad aparente (g/cm³)	<0.2	3.5		
	Signos de erosión (cualitativo)	A	2.9		
Condición de la biota 19.9%	Especies nativas (%)	>80	8.7		
	Riqueza de especies (n.º especies / área)	>10	3.1		
	Cobertura vegetal viva (%)	100	3		
	Biomasa aérea (kg MS/ha)	>1000	5.1		
Alteraciones en el paisaje 16.0%	Presencia de factores de degradación	A	8		
	Conectividad hidrológica	A	8		
Sumatoria		-----	100		
Escala 1-10		-----	10		
Estado del Ecosistema (valor ecológico)		-----	Muy bueno		

Fuente: Elaboración propia

⁷Los valores de referencia fueron levantados en campo.



Distrito Santa Ana, Provincia Castrovirreyna, Departamento de Huancavelica.

Foto: © PRODERN

6.2.5 PASO 5: Cálculo del valor ecológico

El cálculo del estado del ecosistema de la zona evaluada se obtendrá determinando un único valor por cada indicador, salvo que ésta se haya zonificado, para lo cual el valor ecológico será determinado para cada zona a fin de determinar acciones de recuperación o conservación por cada una. El valor ecológico es calculado promediando los valores de los indicadores de todas las unidades muestrales evaluadas (cuadro n.º 13).

Cuadro n.º 13: Cálculo del promedio de los indicadores de las parcelas de evaluación (PE)

INDICADORES	UM ₁	UM ₂	UM ₃	...	UM _n	VALOR PROMEDIO
	VALOR					
Napa freática en época seca	N ₁	N ₂	N ₃	...	N _n	(N ₁ + N ₂ + N ₃ +...+ N _n)/n
Conductividad eléctrica	C ₁	C ₂	C ₃	...	C _n	(C ₁ + C ₂ + C ₃ +...+ C _n)/n
Profundidad de turba	T ₁	T ₂	T ₃	...	T _n	(T ₁ + T ₂ + T ₃ +...+ T _n)/n
Materia orgánica	Mo ₁	Mo ₂	Mo ₃	...	Mo _n	(Mo ₁ + Mo ₂ + Mo ₃ +...+ Mo _n)/n
Densidad aparente	Da ₁	Da ₂	Da ₃	...	Da _n	(Da ₁ + Da ₂ + Da ₃ +...+ Da _n)/n
Signos de erosión	E ₁	E ₂	E ₃	...	E _n	(E ₁ + E ₂ + E ₃ +...+ E _n)/n
Especies nativas	N ₁	N ₂	N ₃	...	N _n	(N ₁ + N ₂ + N ₃ +...+ N _n)/n
Riqueza de especies	Sp ₁	Sp ₂	Sp ₃	...	Sp _n	(Sp ₁ + Sp ₂ + Sp ₃ +...+ Sp _n)/n
Cobertura vegetal viva	Cv ₁	Cv ₂	Cv ₃	...	Cv _n	(Cv ₁ + Cv ₂ + Cv ₃ +...+ Cv _n)/n
Biomasa aérea	B ₁	B ₂	B ₃	...	B _n	(B ₁ + B ₂ + B ₃ +...+ B _n)/n
Presencia de factores de degradación	D ₁	D ₂	D ₃	...	D _n	(D ₁ + D ₂ + D ₃ +...+ D _n)/n
Conectividad hidrológica	Ch ₁	Ch ₂	Ch ₃	...	Ch _n	(Ch ₁ + Ch ₂ + Ch ₃ +...+ Ch _n)/n

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se determina el puntaje de cada indicador, en función al rango de valores en el que se encuentra y se realiza una sumatoria.

Cuadro n.º 14: Formato para determinar el puntaje del valor promedio obtenido.

INDICADORES	VALOR PROMEDIO	
	VALOR	PUNTAJE
Napa freática en época seca	(N ₁ + N ₂ + N ₃ +...+ N _n)/n	P ₁
Conductividad eléctrica	(C ₁ + C ₂ + C ₃ +...+ C _n)/n	P ₂
Profundidad de turba	(T ₁ + T ₂ + T ₃ +...+ T _n)/n	P ₃
Materia orgánica	(Mo ₁ + Mo ₂ + Mo ₃ +...+ Mo _n)/n	P ₄
Densidad aparente	(Da ₁ + Da ₂ + Da ₃ +...+ Da _n)/n	P ₅
Signos de erosión	(E ₁ + E ₂ + E ₃ +...+ E _n)/n	P ₆
Especies nativas	(N ₁ + N ₂ + N ₃ +...+ N _n)/n	P ₇
Riqueza de especies	(Sp ₁ + Sp ₂ + Sp ₃ +...+ Sp _n)/n	P ₈
Cobertura vegetal viva	(Cv ₁ + Cv ₂ + Cv ₃ +...+ Cv _n)/n	P ₉
Biomasa aérea	(B ₁ + B ₂ + B ₃ +...+ B _n)/n	P ₁₀
Presencia de factores de degradación	(D ₁ + D ₂ + D ₃ +...+ D _n)/n	P ₁₁
Conectividad hidrológica	(Ch ₁ + Ch ₂ + Ch ₃ +...+ Ch _n)/n	P ₁₂
VALOR RELATIVO		$\sum_{p=1}^{12} P$
Escala 1-10		V
Estado del Ecosistema (valor ecológico)		EE

Fuente: Elaboración propia

La suma de los puntajes de los indicadores representa el valor relativo obtenido para la zona de evaluación, éste valor debe verificarse en el Cuadro n.º 15 e identificar el estado al que corresponde. Para ello, se muestran cinco niveles que corresponden a una escala de 0 a 10, siendo la que presenta mejor condición ecológica, la escala del 8 al 10.

Cuadro n.º 15: Escala y valor relativo para estimar el estado de los ecosistemas de bofedal.

ESCALA	VALOR RELATIVO (%)	ESTADO DEL ECOSISTEMA
[0 - 2>	[0 - 20>	Muy pobre
[2 - 4>	[20 - 40>	Pobre
[4 - 6>	[40 - 60>	Regular
[6 - 8>	[60 - 80>	Bueno
[8 - 10]	[80 - 100]	Muy bueno

Fuente: MINAM (2016)





Quebrada Quilcayhuanca. Distrito de Independencia, Provincia de Huaraz. Ancash.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benavides, J. (2014). *The effect of drainage on organic matter accumulation and plant communities of high - altitude peatlands in the Colombian tropical Andes*. Medellín, Colombia.

Benavides, J., Dale V., & Wieder K. (2013). *The influence of climate change on recent peat accumulation patterns of Distichia muscoides cushion bogs in the high-elevation tropical Andes of Colombia*. Colombia.

Biancalani, R., & Armine, A. (2014). *Towards climate-responsible peatlands management*. Roma, Italia.

Carafa, T. (2009). *Evaluación ecológica de los bofedales de la cuenca circundante al nevado Llimani*. La Paz, Bolivia.

Carter, V. (1997). *Technical Aspects of Wetlands: Hydrology, Water Quality, and Associated Functions*. U.S. Geological Survey, Estados Unidos.

Castro, M., & Restovic, I. (2005). *Turberas altoandinas: Espacios frágiles de vida y cultura, Complejo de turberas de Parinacota*. Quito, Ecuador.

Chimner, R., & Ewel, K. (2004). *Differences in carbón fluxes between forested and cultivated micronesia tropical peatlands*. Holanda.

Costanza, R. (1992). *Ecosystem health: New goals for environmental management*. Washington, Estados Unidos. Island Press.

Cooper, D., Wolf, E., Colson, C., Vering, W., Granda, A., & Meyer, M. (2010). *Alpine peatlands of the Andes*. Cajamarca, Peru.

Cooper, D., Kaczynski, K., Slayback, D., & Yager, K. (2015). *Growth and organic carbon production in peatlands dominated by Distichia muscoides*. Bolivia.

Dale, V., & Beyeler, S. (2001). Ecological Indicators. *Challenges in the development and use of ecological indicators*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X01000036>

Enriquez, A., Chimner, R., Cremona, M., Diehl, P., & Bonvissuto, G. (2015). *Grazing intensity levels influence C reservoirs of wet and mesic meadows along a precipitation gradient in Nothern Patagonia*. Wetland Ecology and Management.

Flores, E., Tácuna, R., & Calvo, V. (2014). Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales. Huaraz, Perú. Editorial Corporación Globalmark.

Fuentealba, B., & Mejía, M. (2016). Caracterización ecológica y social de humedales altoandinos del Parque Nacional Huascarán. Huaraz, Perú.

Editorial Biblioteca Nacional del Perú.

Hernandez, S. (2015). *Indicadores de calidad ambiental de humedales*. Manizales. Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Católica de Manizales, Colombia.

Hribljan, J., Cooper, D., Sueltenfuss, J., Wolf, E., Heckman, K., Lilleskov, E., & Chimner, R. (2015). *Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia*. Bolivia.

Liberman, M., & Molinillo M. (2015). *Bofedales de Apolobamba. Estudio de línea base de bofedales priorizados en el área natural de manejo integrado nacional Apolobamba*. La Paz, Bolivia.

Llambí, L., Soto, A., Celleri, R., De Bievre, B., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Páramos Andinos. Ecología, hidrología y suelos de páramos*. Quito, Ecuador.

Maldonado, F. (2015). *An Introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes*. Lima, Perú, Peat and Mires.

Miller & Spoolman (2011). *Environmental science*, California, Estados Unidos.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Estrategia Nacional de Humedales*. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/consultaspublicas/wp-content/uploads/sites/52/2014/02/RM-N%C2%B0-051-2014-MINAM.pdf>

Mostacero, J., Ramírez, R., & Mejía, F. (2008). *Caracterización biológica, física, química de los humedales altoandinos de La Libertad*. Perú. Recuperado de http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo/_data/20161107121031_113.pdf

Page, S., & Baird, A. (2016). *Peatlands and global change: Response and resilience. Annual Review of Environment and Resources*. Recuperado de <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-environ-110615-085520>

Palabral, A., & Lliully, A. (2014). *Gestión del agua y cambio climático-Vegetación en los bofedales de Choqueta y Belén de Andamarca - Oruro*. La Paz, Bolivia.

Parker, K. (2000). *Application of Ecology in the Determination in Range Condition and Trend*. Washington, Estados Unidos. Recuperado de <file:///C:/Users/lquispec/Downloads/4579-4459-1-PB.pdf>

Plesnik, J. (2011). *A concept of a degraded ecosystem in theory and practice: a review. European topic centre on biological diversity*. Republica Checa.

Richardson, J. (2001). *Wetland soils genesis, hydrology, landscapes, and classification*.

Ruthsatz, B. (2012). *Vegetation and ecology of the high Andean peatlands of Bolivia*. La Paz, Bolivia.

Rydin, H., & Jeglum, J. (2013). *The biology of peatlands*. United Kingdom: Oxford university press. Estados Unidos.

Salazar, C., Rojas, L., Lillo, A., & Aguirre, E. (1999). *Análisis de requerimientos hídricos de vegas y bofedales en el norte de Chile*. Recuperado de <http://aprchile.cl/pdfs/Requerimientos-hidricos-Bofedales.pdf>

Salvador, F., Moneris, J., & Rochefort, L. (2014). *Peatlands of the Peruvian Puna ecoregion: types, characteristics and disturbance*. Recuperado de http://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrerecherche/Salvador_etal_Mires_Peat_2014.pdf

Squeo, F., Warner, B., Aravena, R., & Espinoza, D. (2006). *Bofedales: High altitude peatlands of the central Andes*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/40881271_Bofedales_High_altitude_peatlands_of_the_central_Andes



Nombre Científico: *Plantago rigida*

8. GLOSARIO

Atributo:	Es el componente de un ecosistema considerado de mayor relevancia para que funcione y persista en el espacio y el tiempo (Pardo <i>et al.</i> , 2007), que no puede ser medido directamente, pero puede ser estimado a través de un grupo de indicadores (Pyke <i>et al.</i> , 2002).
Ecosistema:	Es el complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional (Convenio de Diversidad Biológica).
Especie:	Diferentes tipos de organismos que se encuentran en la tierra entre los cuales es posible el entrecruzamiento o intercambio de material genético. Asimismo, son miembros de un grupo de poblaciones que se reproducen o pueden potencialmente cruzarse entre sí en condiciones naturales.
Humedal Altoandino:	Se define como humedales a las superficies saturadas o cubiertas de agua, bajo un régimen hídrico natural o artificial, permanente o temporal, dulce o salado, y que alberga comunidades biológicas características (MINAM, 2015). Humedales altoandinos son aquellos humedales ubicados entre los 3500 a 3800 m s. n. m, en los fondos de valle fluvio-glacial, conos volcánicos, planicies lacustres, piedemonte y terrazas fluviales (Squeo <i>et al.</i> , 2006). Esta definición incluye a los bofedales y lagunas.
Indicador:	Es un componente del ecosistema que puede ser observado y medido, y que se relaciona con uno o más atributos (Pyke <i>et al.</i> , 2002). Los indicadores pueden relacionarse con la respuesta que da el ecosistema ante un factor de degradación, pero también puede ser un indicador de la presencia del factor de degradación en sí mismo (Fenerssy <i>et al.</i> , 2007).
Servicio ecosistémico:	Aquellos beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas. Esos beneficios pueden ser de dos tipos: directos e indirectos. Se consideran beneficios directos la producción de provisiones: agua y alimentos (servicios de aprovisionamiento), o la regulación de ciclos como las inundaciones, degradación de los suelos, desecación y salinización, pestes y enfermedades (servicios de regulación). Los beneficios indirectos se relacionan con el funcionamiento de procesos del ecosistema que genera los servicios directos (servicios de apoyo), como el proceso de fotosíntesis y la formación y almacenamiento de materia orgánica; el ciclo de nutrientes; la creación y asimilación del suelo y la neutralización de desechos tóxicos. Los ecosistemas también ofrecen beneficios no materiales, como los valores estéticos, espirituales y culturales, o las oportunidades de recreación (servicios culturales). [Evaluación de los ecosistemas del milenio]
Valor de referencia:	Es aquel valor que representa la máxima integridad ecológica; es decir, todos los componentes físicos, químicos y biológicos y sus relaciones (incluyendo la composición, estructura y función del ecosistema) están

presentes y funcionan de manera adecuada, permitiendo la comparación con otros sitios evaluados, con diferentes niveles de degradación.

Zona de interés: Es aquella en la que se evaluará su condición ecológica a partir de la medición de indicadores propuestos, para desarrollar iniciativas de conservación y/o recuperación.

9. ANEXOS

Anexo n.º 1

Ejemplo del cálculo del valor ecológico aplicado a un ecosistema de bofedal

Haciendo uso de la presente guía, se ha calculado el valor ecológico de un área que corresponde a un ecosistema bofedal, ubicado en el departamento de Áncash. Este caso será usado como ejemplo para ilustrar el procedimiento del cálculo del valor ecológico de un bofedal estratificado en dos (2) zonas, a partir de los valores de los indicadores medidos en campo. Para ello, se ha utilizado las escalas de valoración de los indicadores que han sido establecidos en la presente guía y que se encuentran consignados en los cuadros n.º. 4, 5, 6 y 7.

En los cuadros n.º 16 y 17, se observan los indicadores con sus valores de referencia y puntajes máximos, así como los valores medidos en las dos zonas. En la primera zona, se observa que en el área evaluada se ha encontrado treinta y siete (37) centímetros de profundidad para el indicador de napa freática, ubicándose dentro del rango de valores de referencia de 21 – 60 cm; por lo tanto, el puntaje asignado corresponde a 10.3. Con este mismo criterio se procedió a calcular el puntaje de cada indicador evaluado para las dos zonas identificadas.

Figura n.º 13. Bofedal delimitado por su heterogeneidad en dos zonas.



Cuadro n.º 16. Ejemplo del cálculo del valor ecológico de la zona 1

ATRIBUTOS	INDICADORES	VALORES DE REFERENCIA (VR)		UNIDAD MUESTRAL (UM) EN EL BOFEDAL 1	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Condición del agua	Napa freática en época seca (cm)	<5	30.8	37	10.3
	Conductividad eléctrica (µS/cm)	<52	8.8	302	0.0
Condición del suelo	Profundidad de turba (cm)	>200	9.2	63	3.1
	Materia orgánica (%)	>75	8.9	58	5.9
	Densidad aparente (g/cm³)	<0.2	3.5	0.25	2.3
	Signos de erosión (cualitativo)	A	2.9	A	2.9
Condición biótica	Especies nativas (%)	>80	8.7	72	5.8
	Riqueza de especies (n.º especies / área)	>10	3.1	8	2.1
	Cobertura vegetal viva (%)	100	3.0	90	2.0
	Biomasa aérea (kg MS/ha)	>1000	5.1	1800	5.1
Alteraciones en el paisaje	Evidencia de amenazas en el entorno del bofedal	A	8.0	A	8.0
	Conectividad hidrológica del bofedal	A	8.0	D	0.0
Puntaje relativo (%)		-----	100	-----	47.5
Escala 1-10		-----	10	-----	4.75
Estado del Ecosistema (valor ecológico)			Muy Bueno		Regular

Cuadro n.º 17. Ejemplo del cálculo del valor ecológico de la zona 2

ATRIBUTOS	INDICADORES	VALORES DE REFERENCIA (VR)		UNIDAD MUESTRAL (UM) EN EL BOFEDAL 2	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Condición del agua	Napa freática en época seca (cm)	<5	30.8	22	10.3
	Conductividad eléctrica (µS/cm)	<52	8.8	315	0.0
Condición del suelo	Profundidad de turba (cm)	>200	9.2	90	3.1
	Materia orgánica (%)	>75	8.9	57	5.9
	Densidad aparente (g/cm³)	<0.2	3.5	0.25	2.3
	Signos de erosión (cualitativo)	A	2.9	C	1.0
Condición biótica	Especies nativas (%)	>80	8.7	35	2.9
	Riqueza de especies (n.º especies / área)	>10	3.1	5	1.0
	Cobertura vegetal viva (%)	100	3.0	80	1.0
	Biomasa aérea (kg MS/ha)	>1000	5.1	950	1.7
Alteraciones en el paisaje	Evidencia de amenazas en el entorno del bofedal	A	8.0	C	2.7
	Conectividad hidrológica del bofedal	A	8.0	D	0.0
Puntaje relativo (%)		-----	100	-----	-----
Escala 1-10		-----	10	-----	-----
Estado del Ecosistema (valor ecológico)			Muy Bueno		Pobre



Quebrada Quilcayhuanca. Distrito de Independencia, Provincia de Huaraz. Ancash.

Anexo n.º 2: Ficha de Campo

FICHA DE TRABAJO DE CAMPO PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS ECOSISTEMAS DE BOFEDAL																
DATOS DESCRIPTIVOS DE LA PARCELA DE MUESTREO																
ID BOFEDAL:		Comunidad:		Distrito:		Nº TRANSECTO:		Provincia:		Departamento:						
Responsables:																
Coordenadas en "X":		Coordenadas en "Y":														
MEDICION DE INDICADORES																
Especies nativas (%):																
Comunidad vegetal dominante (s):				pH:				DA (g/cm3):								
Prof. Turba (cm):				CE:				biomasa (kg MS/ha):								
Nivel de napa (cm):				12.5 m:				25 m:				37.5 m:				IMO (%):
Cobertura vegetal (%)																
Factores de degradación:																
Signos erosión:				Observaciones				Nombre de especie				Conectividad hidrológica:				
Nº	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	Nº	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	Nº	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	Nº	Dist. (m)	Nombre de especie	Observaciones	
1	0.5			26	13			51	25.5			76	38			
2	1			27	13.5			52	26			77	38.5			
3	1.5			28	14			53	26.5			78	39			
4	2			29	14.5			54	27			79	39.5			
5	2.5			30	15			55	27.5			80	40			
6	3			31	15.5			56	28			81	40.5			
7	3.5			32	16			57	28.5			82	41			
8	4			33	16.5			58	29			83	41.5			
9	4.5			34	17			59	29.5			84	42			
10	5			35	17.5			60	30			85	42.5			
11	5.5			36	18			61	30.5			86	43			
12	6			37	18.5			62	31			87	43.5			
13	6.5			38	19			63	31.5			88	44			
14	7			39	19.5			64	32			89	44.5			
15	7.5			40	20			65	32.5			90	45			
16	8			41	20.5			66	33			91	45.5			
17	8.5			42	21			67	33.5			92	46			
18	9			43	21.5			68	34			93	46.5			
19	9.5			44	22			69	34.5			94	47			
20	10			45	22.5			70	35			95	47.5			
21	10.5			46	23			71	35.5			96	48			
22	11			47	23.5			72	36			97	48.5			
23	11.5			48	24			73	36.5			98	49			
24	12			49	24.5			74	37			99	49.5			
25	12.5			50	25			75	37.5			100	50			

Anexo n.º 3

Lista de especies representativas de bofedales.

FORMA DE VIDA	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	RANGO ALTITUDINAL
Comunidad de cojín	<i>Azorella dipensioides</i>	Juncaceae	3710
	<i>Distichia acicularis</i>	Juncaceae	3800- 4800
	<i>Distichia filamentosa</i>	Juncaceae	4600 - 4900
	<i>Distichia muscoides</i>	Juncaceae	3800- 4800
	<i>Oreobulus obtusangulus</i>	Cyperaceae	3500 - 4600
	<i>Oxychloe andina</i>	Juncaceae	4100 - 4700
	<i>Phylloscirpus deserticola</i>	Cyperaceae	3800 - 4700
	<i>Plantago rigida</i>	Plantaginaceae	4280
	<i>Plantago tubulosa</i>	Plantaginaceae	3900 - 4700
	<i>Patosia clandestina</i>	Juncaceae	
	<i>Werneria pygmaea</i>	Asteraceae	3800 - 4700
	<i>Zameiocris muticus</i>	Cyperaceae	4200 - 4700
Juncaceas (Pseudograminea)	<i>Juncus andicola</i>	Juncaceae	3709
	<i>Juncus articus</i>	Juncaceae	3100 - 4700
	<i>Juncus bufonius</i>	Juncaceae	3000 - 4800
	<i>Juncus ebracteatus</i>	Juncaceae	3500 - 4000
	<i>Juncus imbricatus</i>	Juncaceae	3000 - 4500
	<i>Juncus microcephalus</i>	Juncaceae	3700 - 4000
	<i>Juncus pallescens</i>	Juncaceae	3100 - 4100
	<i>Juncus stipulatos</i>	Juncaceae	3000 - 4000
	<i>Luzula gigantea</i>	Juncaceae	3800 - 4200
	<i>Luzula peruviana</i>	Juncaceae	3500 - 4800
	<i>Luzula racemosa</i>	Juncaceae	3500 - 4800
	<i>Luzula vulcanica</i>	Juncaceae	
Cyperaceae (Pseudograminea)	<i>Carex ecuadorica</i>	Cyperaceae	3500 - 4200
	<i>Carex hebetata</i>	Cyperaceae	3500 - 4500
	<i>Carex microglochin</i>	Cyperaceae	3800 - 4750
	<i>Carex pichinchensis</i>	Cyperaceae	3800 - 4750
	<i>Cyperus tacnensis</i>	Cyperaceae	2900 - 3800
	<i>Eleocharis albibracteata</i>	Cyperaceae	3500 - 4500
	<i>Isolepis inundatus</i>	Cyperaceae	4000 - 4450
	<i>Phylloscirpus boliviensis</i>	Cyperaceae	3772
	<i>Scirpus pungens</i>	Cyperaceae	3500 - 4200
	<i>Scirpus rigidus</i>	Cyperaceae	3500 - 4200
	<i>Trichiporum rigidum</i>	Cyperaceae	4200 - 4420

Poaceae (Gramínea)	<i>Aciachne pulvinata</i>	Poaceae	4000
	<i>Agrostis breviculmis</i>	Poaceae	4000 - 4450
	<i>Agrostis glomerata</i>	Poaceae	4000 - 4450
	<i>Agrostis haenkeana</i>	Poaceae	4000 - 4450
	<i>Agrostis tolucensis</i>	Poaceae	3000 - 4500
	<i>Bromus catharticus</i>	Poaceae	3200 - 4000
	<i>Bromus lanatus</i>	Poaceae	3750 - 4600
	<i>Calamagrostis antoniana</i>	Poaceae	4000 - 4500
	<i>Calamagrostis brevifolia</i>	Poaceae	4200 - 4420
	<i>Calamagrostis curvula</i>	Poaceae	4000 - 4700
	<i>Calamagrostis eminens</i>	Poaceae	
	<i>Calamagrostis heterophylla</i>	Poaceae	3650 - 4800
	<i>Calamagrostis minima</i>	Poaceae	3900 - 4900
	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	Poaceae	4200 - 4420
	<i>Calamagrostis ovata</i>	Poaceae	4200 - 4800
	<i>Calamagrostis rigescens</i>	Poaceae	3500 - 4500
	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Poaceae	3700 - 4600
	<i>Dissanthelium calycinum</i>	Poaceae	4000 - 4450
	<i>Festuca dolichophylla</i>	Poaceae	3800 - 4500
	<i>Festuca longivaginata</i>	Poaceae	4000 - 4450
	<i>Muhlenbergia ligularis</i>	Poaceae	4000 - 4450
	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	Poaceae	3000 - 4300
	<i>Paspalum pygmaeum</i>	Poaceae	4000 - 4450
	<i>Poa annua</i>	Poaceae	3600 - 4200
	<i>Poa candamoana</i>	Poaceae	3400 - 4600
	<i>Poa subspicata</i>	Poaceae	4000 - 4450
	<i>Stipa brachyphylla</i>	Poaceae	4300 - 4800
	<i>Stipa ichu</i>	Poaceae	3200 - 3800
	<i>Stipa obtusa</i>	Poaceae	> 4500
Asteraceae	<i>Baccharis genistelloides</i>	Asteraceae	4000 - 4450
	<i>Belloa subspicata</i>	Asteraceae	4000 - 4450
	<i>Cotula mexicana</i>	Asteraceae	4000 - 4450
	<i>Hypochaeris taraxacoides</i>	Asteraceae	3800 - 4700
	<i>Loricaria lucida</i>	Asteraceae	
	<i>Oritrophium limnophilum</i>	Asteraceae	
	<i>Paranephelium uniflorus</i>	Asteraceae	2900 - 4500
	<i>Senecio canescens</i>	Asteraceae	4580 - 4800
	<i>Werneria nubigena</i>	Asteraceae	2900 - 4500
Rosaceae	<i>Alchemilla pinnata</i>	Rosaceae	3800 - 4200
	<i>Alchemilla diplophylla</i>	Rosaceae	4300 - 4800
	<i>Alchemilla orbiculata</i>	Rosaceae	3800 - 4500

Gentianaceae	<i>Gentianella cf. Persquarrosa</i>	Gentianaceae	4000 - 4450
	<i>Halenia cf. umbellata</i>	Gentianaceae	4000 - 4450
	<i>Gentiana sedifolia</i>	Gentianaceae	4000 - 4450
	<i>Gentiana prostrata</i>	Gentianaceae	3800 - 4800
	<i>Gentianella punicata</i>	Gentianaceae	3800 - 4800

ANEXO n.º 4

Métricas de estimación del valor relativo de los atributos e indicadores, para estimar el valor ecológico de un ecosistema de bofedal

Para el cálculo del valor relativo de los atributos e indicadores se utilizaron matrices multicriterio, las cuales permitieron realizar comparaciones entre pares de atributos o indicadores de su contribución relativa o importancia de cada atributo e indicador para establecer el estado del ecosistema. Los criterios utilizados se basan en principios teóricos desarrollados por investigadores de los bosques, teniendo además como referencia las investigaciones realizadas por el Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria-La Molina (UNALM) en los últimos veinte años.

Las matrices de importancia relativa evalúan el valor de importancia entre los elementos dentro de cada nivel de jerarquía. El primer análisis compara los componentes del primer nivel de jerarquía, es decir se construye una matriz de 3 x 3 para evaluar la importancia relativa de los tres atributos que reflejan el estado de conservación del ecosistema. Luego se sigue el mismo procedimiento para evaluar la importancia relativa de los indicadores (segundo nivel jerárquico) dentro de cada atributo (Saaty, 1980).

El valor de importancia entre dos elementos de la matriz es definido en una escala del 1 al 9 en base a la información que cada atributo o indicador pueda dar sobre el estado de conservación de la estructura y función de un ecosistema, donde:

- 1 = igualmente importante
- 3 = moderadamente más importante
- 5 = fuertemente más importante
- 7 = muy fuertemente más importante
- 9 = extremadamente más importante

Las comparaciones entre elementos de la matriz se inicia por fila, respondiendo a la pregunta ¿es el atributo 1 más importante que el atributo 2? Y luego ¿es el atributo 1 más importante que el atributo 3? En caso que el atributo 1 sea más importante que el atributo 2, el elemento de la matriz correspondería a un valor a_{12} y su elemento recíproco en la matriz sería igual a su inversa $1/a_{21}$ tal como se muestra en el cuadro n.º 18.

Cuadro n.º 18: Matriz de importancia relativa y cálculo de pesos relativos

	ATRIBUTO 1	ATRIBUTO 2	ATRIBUTO 3	TOTAL	PESO (%)
Atributo 1	$a_{11} = 1$	a_{12}	a_{13}	$\sum a_{1.}$	$\frac{\sum a_{1.}}{\sum a.} \times 100$
Atributo 2	$1/a_{21}$	$a_{22} = 1$	a_{23}	$\sum a_{2.}$	$\frac{\sum a_{2.}}{\sum a.} \times 100$
Atributo 3	$1/a_{31}$	$1/a_{32}$	$a_{33} = 1$	$\sum a_{3.}$	$\frac{\sum a_{3.}}{\sum a.} \times 100$
TOTAL				$\sum a_{ij}$	$\sum a. = 100$

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo este procedimiento se llenaron todas las matrices que se muestran a continuación:

Cuadro n.º 19: Asignación de valores relativos a los atributos del ecosistema

ATRIBUTO	CONDICIÓN DEL AGUA	CONDICIÓN DEL SUELO	CONDICIÓN DE LA BIOTA	ALTERACIÓN EN PAISAJE	TOTAL	PESO (%)
Condición del Agua	1	2.2	2.2	1.8	7.20	39.6 %
Condición del Suelo	1/2.2	1	1.5	1.5	4.45	24.5 %
Condición de la Biota	1/2.2	1/1.5	1	1.5	3.62	19.9 %
Alteración del Paisaje	1/1.8	1/1.5	1/1.5	1	2.89	16.0 %
TOTAL						100.0

Fuente: Elaboración propia

El atributo más importante es la condición hídrica, ya que este asegura todas las funciones del ecosistema que indirecta o directamente determinan la provisión de servicios ecosistémicos. Luego, en el siguiente nivel de importancia, se considera a la condición del suelo, que es el soporte de la vegetación, y el que asegura los servicios hidrológicos y el almacenamiento de carbono. El siguiente es la biota, que refleja la biodiversidad que mantiene el ecosistema, y la provisión de forraje y otros bienes del bofedal. Finalmente, se encuentra el paisaje, como el entorno que ayuda o no a asegurar las funciones que se dan en el bofedal.

Cuadro n.º 20: Matriz de valores relativos para los indicadores de la condición hidrológica

CONDICIÓN DEL AGUA	NAPA FREÁTICA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	TOTAL	(%)	PESO RELATIVO
Napa freática	1	3.50	4.50	77.8	30.8 %
Conductividad eléctrica	1/3.5	1	1.29	22.2	8.8 %
TOTAL			5.79	100.0	39.6 %

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la condición hidrológica, es la napa freática el indicador más importante y tiene un peso de más del 30 % del valor ecológico total.

Cuadro n.º 21: Matriz de valores relativos para los indicadores de la condición del suelo

CONDICIÓN DEL SUELO	PROFUNDIDAD DE TURBA	MATERIA ORGÁNICA	DENSIDAD APARENTE	SIGNOS DE EROSIÓN	TOTAL	(%)	PESO RELATIVO
Profundidad de turba	1	1.5	1.7	3.7	7.9	37.4	9.2 %
Materia orgánica	1/1.5	1	2.3	3.7	7.7	36.3	8.9 %
Densidad aparente	1/1.7	1/2.3	1	1	3.0	14.3	3.5 %
Signos de erosión	1/1.3.7	1/3.7	1	1	2.5	12.0	2.9 %
TOTAL					21.1	100.0	24.5 %

Fuente: Elaboración propia

En la condición del suelo, la profundidad de la turba y el porcentaje de materia orgánica en el horizonte superficial son los indicadores más importantes, ambos relacionados directamente con la provisión de servicios ecosistémicos. Los signos de erosión están asociados principalmente con el efecto del pastoreo, es el menos importante en este caso.

Cuadro n.º 22: Matriz de valores relativos para los indicadores de la condición de la biota

CONDICIÓN DE LA BIOTA	COBERTURA VEGETAL	RIQUEZA DE ESPECIES	ESPECIES NATIVAS	BIOMASA	TOTAL	(%)	PESO RELATIVO
Cobertura vegetal	1	1	1/2.5	1/2	2.9	15.0	3.0 %
Riqueza de especies	1	1	1/3	1/1.50	3.0	15.5	3.1 %
Especies nativas	2.50	3.00	1	2	8.5	43.8	8.7 %
Biomasa	2.00	1.50	1/2	1	5.0	25.7	5.1 %
TOTAL					19.40	100.0	19.9 %

Fuente: Elaboración propia

En este caso, el indicador más importante es el porcentaje de especies nativas, que da una idea de la salud del bofedal en relación a la biodiversidad, seguido por biomasa, que se relaciona con la capacidad de producción primaria que tiene el sistema. Ambos indicadores se pueden ver afectados directamente por la presencia de ganado, aunque indirectamente por otros problemas que se pueden dar en el sistema.

Cuadro n.º 23: Matriz de valores relativos para los indicadores de alteraciones en el paisaje

ALTERACIÓN EN PAISAJE	EVIDENCIA DE AMENAZAS	CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA	TOTAL	(%)	PESO RELATIVO
EVIDENCIA DE AMENAZAS	1	1	2	50.0	8.0 %
CONECTIVIDAD HIDROLÓGICA	1	1	2	50.0	8.0 %
TOTAL			4	100.0	16.0 %

Fuente: Elaboración propia

Se les ha dado el mismo peso relativo a los indicadores de alteraciones del paisaje, ya que ambos son cualitativos y buscan reflejar potenciales amenazas o actuales evidencias de factores de degradación que afectan al área de bofedal estudiado.



Vista aérea de humedal de Lucre-Huacarpay, Cusco.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

EL PERÚ PRIMERO

Ministerio del Ambiente

Av. Antonio Miroquesada 425
Magdalena del Mar, Lima - Perú
(511) 611-6000
www.gob.pe/minam