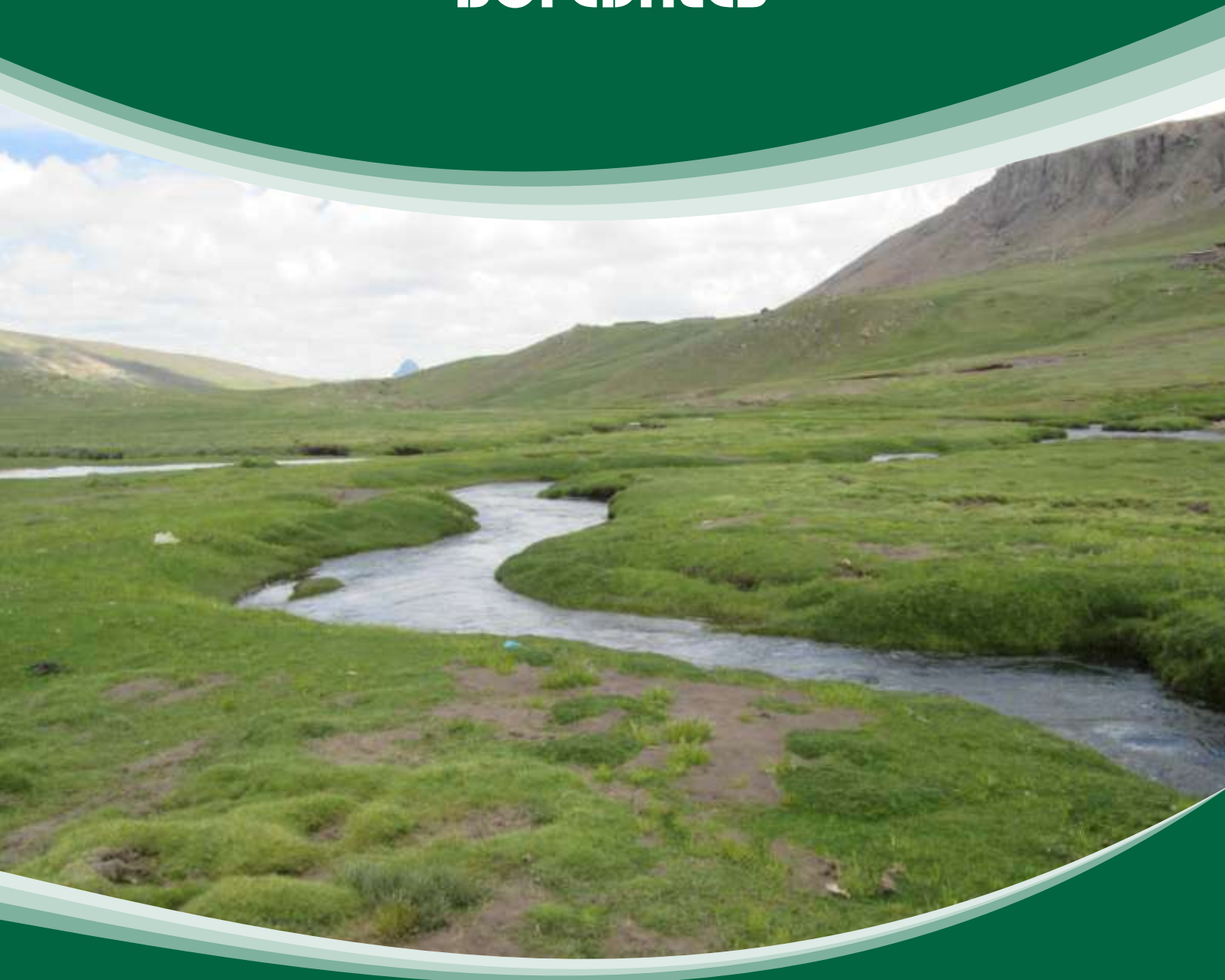


# MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO PARA ESTIMAR EL ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES



*Esta publicación forma parte de la Serie "Notas Técnicas sobre Cambio Climático", cuyo objetivo es hacer llegar a un público más amplio los resultados de los estudios, consultorías y sistematizaciones del Proyecto "Implementación de medidas de adaptación al cambio climático en cuencas seleccionadas-IMACC" ejecutado por el Ministerio del Ambiente con recursos financieros del Banco Interamericano de Desarrollo*

**Elaborado por:**

**Enrique R. Flores**  
efm@lamolina.edu.pe

**Con la colaboración de:**  
Raúl Tacuna y Vivian Calvo

**Laboratorio de Utilización de Pastizales**  
**Universidad Nacional Agraria La Molina**

**Huaraz, diciembre de 2014**

**Impreso en Corporación Globalmark**

---

Esta publicación es parte del Piloto de Recuperación de Bofedales implementado en 2014 en la quebrada Quillcayhuanca por el Laboratorio de Pastizales de la UNALM y el Instituto de Montaña, con la colaboración de la Jefatura del Parque Nacional Huascarán

# MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO PARA ESTIMAR EL ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES

Enrique Flores<sup>1</sup>, Raúl Tácuna<sup>2</sup> y Vivian Calvo<sup>3</sup>

Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales, Universidad Nacional Agraria La Molina.

## INDICE

I. Introducción .....	02
II. Ecosistema de Bofedales: Consideraciones Generales .....	02
2.1. Distribución e importancia de los Bofedales .....	02
2.2. Amenazas al ecosistema .....	03
2.3. Necesidades de conservación .....	03
2.4. Servicios ecosistémicos .....	03
III. Estado de Salud de los Bofedales .....	04
3.1. Atributos .....	05
3.2. Umbrales .....	05
a. Bofedal saludable .....	05
b. Bofedal saludable con problemas de manejo .....	06
c. Bofedal no saludable .....	06
3.3. Indicadores .....	07
a. Indicadores de Integridad Biótica .....	07
b. Indicadores de Función Hidrológica .....	08
c. Indicadores de Estabilidad .....	09
3.4. Calificando el Estado de Salud .....	09
IV. Síntesis y Perspectivas .....	11
V. Referencias Bibliográficas .....	12

<sup>1</sup> Enrique Flores, PhD. Profesor Principal en Manejo de Pastizales.

<sup>2</sup> Raúl Tácuna, Ing. Mg. Sc (c) Investigador Asociado

<sup>3</sup> Vivian Calvo, Bs. Asistente de Investigación.

## I. INTRODUCCIÓN

Los bofedales constituyen un ecosistema muy importante, proveen forraje y agua para el ganado en épocas críticas y suministran importantes servicios de aprovisionamiento y regulación al conjunto de la sociedad. Los bofedales se ubican en la región Puna desde los 3 800 msnm hasta los pies de glaciares y a lo largo de las márgenes de los ríos y manantiales de los territorios andinos de Perú, Bolivia, Chile y Argentina (Gil, 2011). En el país, abarcan aproximadamente cerca del dos por ciento del territorio altoandino y se utilizan principalmente para el pastoreo de rebaños domésticos de alpacas, llamas y ovejas, que a menudo constituyen la base de las economías campesinas.

Estudios recientes revelan que la capacidad de los bofedales para proveer bienes (carne, lana, forraje) y servicios ambientales claves (regulación del agua, almacenamiento de carbono y control de la erosión) está siendo seriamente amenazada por el cambio climático, el sobrepastoreo y malas prácticas de manejo. En el centro del Perú, por ejemplo, donde no hay otra opción para abastecerse de combustible, la turba es la principal fuente de recursos para cocina y calefacción, y en el sur del país, los habitantes locales construyen drenes y desvían el agua dentro y alrededor de turberas naturales preexistentes con el fin de aumentar el abastecimiento de forraje.

Los modelos de simulación predicen que la superficie de bofedales podría reducirse significativamente si el proceso de retroceso glacial debido al aumento de temperatura por el cambio climático continúa. Esto es muy grave, pues muchas especies de aves, de las cuales alrededor de un

tercio están en amenaza de extinción, dependen de los bofedales para su alimentación, anidamiento y provisión de agua. Especies de camélidos nativos como la vicuña y el guanaco también los utilizan para el pastoreo y suministro de agua en periodos críticos. Es más, los procesos climáticos (desglaciación, aumento de la temperatura, disminución de la precipitación) introducen nuevos problemas de disponibilidad de agua, salinización, reducción y fragmentación del hábitat (Salvador y col., 2014).

Las amenazas a este tipo de humedal de alta montaña no terminan allí, pues el aumento de las actividades económicas asociadas con la minería, construcción y generación de energía, coloca nuevas demandas sobre el agua y los minerales en las nacientes de cursos de agua, donde se encuentran los bofedales. Estas exigencias chocan con los usos tradicionales y las percepciones de los usuarios tradicionales, generando conflictos sociales por el agua y con las comunidades, especialmente en las zonas áridas y semiáridas donde el agua es el factor limitante para el funcionamiento del sistema socioecológico (Squeo et al. 2006).

En esta publicación se presenta un marco conceptual para estimar la salud ecológica de los bofedales desarrollado por el equipo de investigadores del Laboratorio de Utilización de Pastizales con la finalidad de proveer a los decisores políticos, económicos y ambientales de un instrumento de gestión ambiental que permita determinar el estado en que se encuentran la estructura y la funcionalidad del sistema ecológico, como base del diseño de medidas adecuadas para su conservación y manejo.

## II. ECOSISTEMA DE BOFEDALES: CONSIDERACIONES GENERALES

Los bofedales son sistemas ecológicos extremadamente frágiles por su dependencia del agua, sensibles a los cambios climáticos y vulnerables a la alteración que resulta de la actividad minera, el pastoreo y el retroceso glacial, por lo que se requiere desarrollar programas de manejo y conservación con sólidas bases científicas y de conocimiento, a fin de asegurar la continuidad de los servicios que estos ecosistemas proveen.

### 2.1. Distribución e importancia de los Bofedales

El mapa de humedales del Perú (ANA, 2012) mues-

tra que existe una extensión estimada de 549 156 hectáreas de bofedales u oconales, lo que corresponde al 6.91% del total de humedales del país. A pesar de su limitada extensión, los bofedales son ecosistemas estratégicos de reserva y sostenibilidad del ciclo hidrológico, dado que es en esos lugares donde se inician los cursos de agua. En consecuencia, requieren ser manejados mediante una estrategia de uso sostenible, considerando que son especialmente vulnerables al cambio climático, las sequías prolongadas y la intervención humana (Salvador y col., 2014).

## 2.2. Amenazas al ecosistema

La estrategia para los humedales altoandinos, impulsada por la Convención Ramsar, reconoce a los bofedales como ecosistemas estratégicos debido a su función de regulación y abastecimiento de agua en periodos críticos, por su alta biodiversidad, por ser hábitat de especies de flora y fauna amenazadas, centros de endemismo, espacios para actividades turísticas y ámbitos de vida para comunidades y poblaciones locales.

Los bofedales, a pesar de su importancia, son considerados hoy ecosistemas que han perdido parte de su capacidad para proveer bienes y servicios ambientales como consecuencia de drenajes, urbanización, agricultura, construcción de represas, sobrepastoreo, construcción de carreteras, contaminación y otras formas de intervención del sistema ecológico (Tabla 1).

Los estudios del Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria La Molina revelan que una parte importante de los bofedales muestran severos signos de deterioro debido al efecto combinado del cambio climático y el sobrepastoreo. El cambio climático y los constantes incrementos de temperatura han ocasionado un significativo retroceso glacial con la consecuente exposición a procesos de meteorización intensa y contaminación de pastos y aguadas. El sobrepastoreo, de otro lado, ha reducido la integridad biótica y la función hídrica, afectando seriamente la capacidad de los bofedales para suministrar beneficios ambientales claves (Flores y col., 2014), revelando la necesidad de que el estado implemente políticas y estrategias para reducir estas amenazas.

**Tabla 1. Principales Amenazas Enfrentadas por los Bofedales**

Naturaleza	Amenazas
Abióticas	Retroceso glacial
	Contaminación natural
	Sequías prolongadas
	Variaciones extremas de los patrones de precipitación
Antrópicas	Sobrepastoreo producido por la actividad pastoril que sobrepasa la capacidad del bofedal para regenerarse
	Fragmentación del terreno
	Construcción de caminos y carreteras
	Construcción de represas
	Introducción de especies exóticas vegetales o animales
	Contaminación ambiental
	Drenaje para expansión de agricultura o para actividades productivas y extractivas
	Expansión de la actividad agrícola
	Minería
	Urbanización
Altas tasas de extracción de la vegetación y suelos orgánicos con fines de combustible y/o musgo	

Fuente: Sotil y Flores (2014)

## 2.3. Necesidades de conservación

La problemática respecto a la conservación del agua está relacionada al ciclo hidrológico y específicamente al estatus ecológico y potencial de los bofedales y otros ecosistemas de pastizal (pajonales, césped de puna, arbustales y bosques) para interceptar, almacenar y contribuir a la regulación del abastecimiento de agua de ríos, lagunas y manantiales. La situación de deterioro de los bofedales y su creciente reducción debido al retroceso glacial afecta directamente a las condiciones de vida de las comunidades locales al originar la disminución de fuentes de agua y forraje en periodos críticos del año cuando la lluvia es escasa.

## 2.4. Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos que brindan los bofedales constituyen patrimonio de la nación y pueden clasificarse en servicios de provisión, de regulación, de apoyo y culturales (Havsted y col., 2007), pero aquellos referidos al abastecimiento de agua, forraje y carbono vienen cobrando especial relevancia en el contexto del cambio climático debido a que las fechas de inicio, frecuencia y duración de los eventos de precipitación se hacen cada vez más impredecibles, dificultando los procesos de producción y planeamiento (Tabla 2).

**Tabla 2. Servicios Ambientales Provistos por los Bofedales**

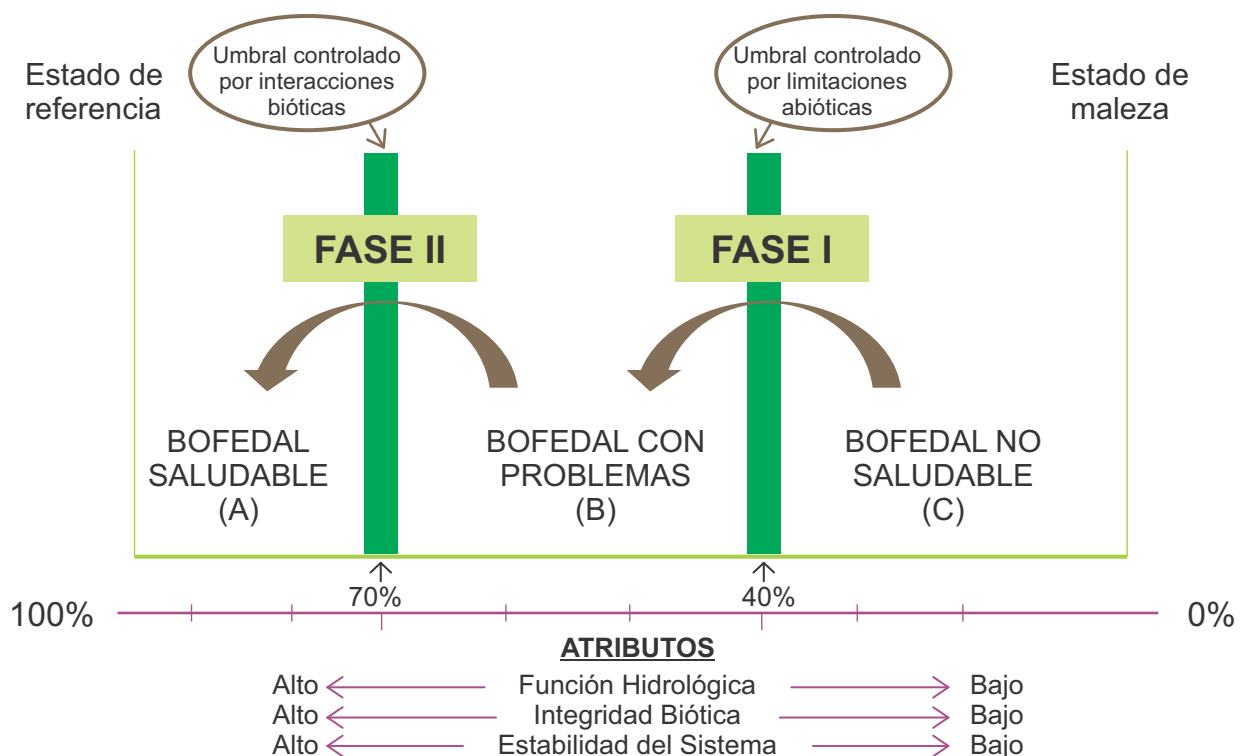
Tipología	Servicio Ecosistémico del bofedal	Tipología	Servicio Ecosistémico del bofedal
Provisión	Agua dulce Forraje	Apoyo	Refugio de fauna silvestre Cobertura y hábitat para reproducción Migración de animales silvestres
Regulación	Captura de carbono Control de erosión de suelo Regulación de inundaciones		Funcionamiento del ciclo hidrológico Mantenimiento de los ciclos de vida
	Calidad y cantidad de agua Purificación de agua Sedimentación y carga nutrientes		Culturales
	Almacenamiento de agua Regulación del clima local		

Fuente: Sotil y Flores (2014)

### III. Estado de Salud de los Bofedales

El estado de salud se define como el grado en que se encuentra la estructura y función del ecosistema, y es medido a través de tres atributos: integridad biótica, función hidrológica y estabilidad (Pyke et al. 2002; Aguirre y col., 2013). Existen tres estados (A) saludable, (B) saludable con problemas de manejo y (C) no saludable (Figura 1), a cada uno le corresponde un puntaje de acuerdo al valor que registran sus indicadores respectivos, en una escala que varía de 0 a 100 puntos: saludable (70-100), saludable con problemas de manejo (40 - <70) y no saludable (< 40).

En el marco de este modelo conceptual se han considerado dos fases, la primera o Fase I involucra pasar de un estado no saludable (C) a otro saludable con problemas de manejo (B), corrigiendo aquellos aspectos de orden abiótico (por ej., erosión del suelo, calidad de agua, pérdida de materia orgánica, entre otros) a otro en el cual sólo prevalecen problemas de manejo (por ej., sobrepastoreo, exceso de carga, pérdida de diversidad). La segunda o Fase II considera pasar del estado B al A o estado saludable, donde la estructura y función del sistema se han restablecido a un nivel tal que el bofedal puede recuperarse por sí solo o con una mínima intervención (Sotil y Flores, 2014).



**Figura 1. Estados Transicionales del Ecosistema de Bofedal**

### 3.1. Atributos

Los atributos son aquellos componentes que definen el estado en que se encuentran la estructura y función del ecosistema. El sistema propuesto considera tres atributos: integridad biótica, función hidrológica y estabilidad del sistema, los cuales se definen a continuación:

- **Integridad biótica:** capacidad del sistema para acumular activamente biomasa y materia orgánica, y sostener una florística adecuada, de tal forma que asegure un adecuado suministro de energía y nutrientes para la estabilidad del sistema.
- **Función hidrológica:** capacidad del bofedal para capturar, almacenar y regular la provisión de agua en cantidad y calidad a lo largo del año, asegurando un adecuado abastecimiento a fuentes claves, a ríos, puquios y manantiales.
- **Estabilidad del sistema:** capacidad del bofedal para limitar la pérdida de suelo, nutrientes y materia orgánica necesarios para asegurar un adecuado nivel de resistencia del sistema a las perturbaciones bióticas y abióticas.

### 3.2. Umbrales

Los umbrales son valores críticos que establecen el límite entre dos categorías o estados de conservación. Existen dos tipos de umbrales; i) el umbral biótico, que define niveles mínimos en que se encuentran los procesos ecológicos de acumulación de biomasa, productividad,

florística y capacidad reproductiva de las plantas, con sólo prácticas de manejo se puede retornar al estado anterior (A); y ii) umbral abiótico, que define niveles mínimos en que se encuentra la salud del suelo en términos de estructura, estabilidad de agregados, cobertura y contenido de materia orgánica, y la calidad del agua. Se requiere prácticas mecánicas y de ingeniería hidráulica para que el sistema retorne a su estado anterior (B).

#### a. Bofedal saludable

Bofedales cuya estructura y función ecosistémica no ha sido alterada, y en los cuales el nivel de manejo es adecuado (Foto 1).

- i. **Integridad biótica:** más del 70% de la biomasa disponible está compuesta por especies nativas deseables con abundante mantillo y hojarasca de años anteriores en la superficie del suelo. El mantillo es abundante y las especies clave están presentes.
- ii. **Función hidrológica:** la lluvia penetra el perfil del suelo con facilidad; el agua aflora en la superficie gran parte del año, las aguas de puquios, ojos de agua y riachuelos que discurren por la quebrada son claras y regulares en caudal año tras año.
- iii. **Estabilidad del sistema:** la diversidad de plantas es alta y la cobertura uniforme, la presencia de plantas invasoras es escasa, hay pocos signos de erosión, no se observan signos de fragmentación, y la conectividad entre unidades de vegetación presentes es alta.



**Foto 1.** Bofedal en estado saludable, se observa vegetación abundante, afloramientos de agua y una cubierta vegetal uniforme y continua.

**Fuente:** Archivo Fotográfico del Laboratorio de Ecología y de Utilización de Pastizales - LEUP

## b. Bofedal saludable con problemas de manejo

Bofedales cuya estructura y función ecosistémica ha sido alterada moderadamente por deficiencias de manejo y la ausencia de prácticas adecuadas de conservación (Foto 2).

- i. **Integridad biótica:** la biomasa disponible se ha reducido notablemente, alrededor del 30 - 69% de la producción proviene de plantas nativas deseables, además estas plantas deseables han perdido su valor. Las plantas clave están aún presentes pero en menor proporción que en el estado de referencia.
- ii. **Función hidrológica:** se observan ligeros signos de pérdida de suelo y cobertura, el agua no se acumula en la superficie como antes, aunque las diferentes fuentes de agua presentes y colindantes al bofedal son claras.
- iii. **Estabilidad del Sistema:** la diversidad de plantas es medianamente alta y la cobertura no es completamente uniforme, se observan ligeros signos de fragmentación y la erosión es ligera a moderada



**Foto 2.** Bofedal en estado saludable con problemas de manejo, se observa suelo desnudo, cubierta vegetal no uniforme sin afloramientos de agua, moderados signos de erosión y fragmentación.

**Fuente:** Archivo Fotográfico del Laboratorio de Ecología y de Utilización de Pastizales - LEUP

## c. Bofedal no saludable

Bofedales cuya estructura y funciones han sido alteradas significativamente, por lo que puede recuperarse pero existe muy poca probabilidad de que regrese a su estado inicial (Foto 3).

- i. **Integridad biótica:** estos bofedales contiene sólo 0-25% de plantas deseables, las plantas invasoras se tornan abundantes y vigorosas. Las plantas clave han desaparecido. La productividad vegetal ha disminuido notablemente.
- ii. **Función hidrológica:** las aguas después de las lluvias no penetran fácilmente y discurren sobre la superficie entre los surcos y parches de vegetación. La calidad del agua ha disminuido notablemente.
- iii. **Estabilidad del Sistema:** el suelo está pobremente protegido y existen signos marcados de erosión y fragmentación del hábitat, la cobertura vegetal es escasa y no uniforme, y la superficie del suelo es dura y seca.





**Foto 3.** Bofedal no saludable, se observan áreas descubiertas de vegetación, fuertes signos de erosión en surcos, alta presencia de plantas invasoras, no hay afloramientos de agua, fuerte fragmentación y discontinuidad entre parches.

**Fuente:** Archivo Fotográfico del Laboratorio de Ecología y de Utilización de Pastizales - LEUP .

### 3.3. Indicadores

Los indicadores son componentes observables de un ecosistema que pueden estar relacionados con uno o más atributos, son fáciles de evaluar y son usados para estimar el estado de cada atributo en referencia a aquel que se puede alcanzar con las mejores prácticas de manejo y conservación (Ludwing y col., 2004). Para cada atributo se han seleccionado indicadores que representan componentes de los atributos, los que por tratarse de una variable síntesis son difíciles de medir directamente. A cada indicador se le ha asignado de 1 a 5 categorías (extremo, moderado a extremo, basado en lo que se espera que pueda alcanzar en función de su potencial biótico y abiótico para cada sitio ecológico (Pyke et al. 2002).

Los indicadores son parámetros o características observables de un ecosistema fáciles de evaluar y que brindan información sobre el estado del atributo y en consecuencia permiten el monitoreo del área. El valor de cada indicador refleja el grado de alejamiento del

área con respecto al de referencia, o mejor estado de conservación posible esperado (Tabla 3).

#### a. Indicadores de Integridad Biótica

1. **Cantidad de biomasa aérea.** Este parámetro revela la capacidad productiva del sitio y el grado en que éste es capaz de capturar energía, almacenarla y transferir nutrientes a las cadenas de pastoreo y descomposición, asegurando así una adecuada transferencia de nutrientes de la planta al sistema suelo.
2. **Cantidad de mantillo.** Es la cantidad de hojarasca y residuos vegetales en la superficie del suelo por unidad de área, está relacionada positivamente con el nivel protección del suelo, la capacidad del sistema para sostener procesos claves como el ciclaje de nutrientes y brindar adecuada protección contra la erosión, permitiendo una mejor infiltración y regulación del abastecimiento del agua.

**Tabla 3.** Relación de Atributos e Indicadores de la Salud de Bofedales.

Atributo	Indicador	Parámetro	Método
Integridad biótica	Biomasa	Kg	Corte y separación manual
	Mantillo	Kg	Corte y separación manual
	Vigor	%	Altura canopia plantas claves
	Materia orgánica	%	Oxidación con dicromato de potasio
	Carbono	%	Estimado a partir de la materia orgánica
Función hidrológica	Calidad de agua	Saturación de oxígeno, pH, cantidad de sedimentos (TDS), temperatura	Kit multiparámetro
	Capacidad de infiltración	Tasa de infiltración (mm/seg)	Infiltrómetro
	Grado de compactación	g/cm <sup>2</sup>	Penetrómetro
	Densidad del suelo	g/cm <sup>3</sup>	Método del cilindro
Estabilidad del sistema	Signos de erosión	%	Apreciación visual
	Grado de cobertura del suelo	%	Método del cuadrante CSU
	Plantas invasoras	% plantas	Marco puntual modificado
	Fragmentación del hábitat	Nº parches/área	Apreciación visual y Fotogrametría
	Diversidad	Especies, número y balance	Índice de Shanon

Fuente: Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales

- Materia orgánica en el horizonte superficial.** La materia orgánica acumulada en forma de hojarasca, el color del suelo y la existencia de estructura son indicadores de la cantidad de materia orgánica presente y del potencial del sitio para proveer nutrientes al ecosistema, así como de brindar condiciones adecuadas para el desarrollo de la vegetación y el funcionamiento del sistema hidrológico.
- Vigor.** Se mide a través de la altura de canopia de plantas importantes. Este parámetro refleja el vigor de las plantas y el potencial del sitio para sostener un crecimiento adecuado de las plantas. Existe una relación entre la altura de la planta y la longitud del sistema radicular. Raíces profundas y bien ramificadas están asociadas con una buena aireación, grado de porosidad y retención de humedad a lo largo del perfil del suelo.
- Carbono.** El carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sostenibilidad de los ecosistemas debido a su influencia sobre la agregación de las partículas del suelo, existiendo una relación directa entre el tamaño de los agregados y el contenido de COS, ya que mientras mayor es el contenido de COS

lábil, mayor será el tamaño de los agregados. El COS asociado a la materia orgánica, proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico que favorecen el incremento de la solubilidad de varios nutrientes, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad (Martínez et al., 2008).

#### b. Indicadores de Función Hidrológica

- Calidad del agua.** Se refiere al estado en el cual se encuentran indicadores claves como la temperatura, pH, contenido de sedimentos, y oxígeno; su nivel depende del estado del manejo, de la geología del área y de procesos externos como degradación, contaminación natural y artificial.
- Capacidad de infiltración.** Es una variable síntesis que refleja la capacidad del suelo para proveer agua a las raíces de las plantas, y en hidrología se define como la velocidad máxima con que el agua penetra en el suelo. Un suelo desagregado y permeable tendrá una capacidad de infiltración mayor que un suelo arcilloso y compacto.

8. **Grado de compactación.** Se define como la pérdida de volumen que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él. En condiciones naturales (sin intervención antrópica) se puede encontrar en el suelo horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo.
9. **Densidad del suelo.** Es el peso de las partículas sólidas del suelo, relacionado con el volumen que ocupan, sin tener en cuenta su organización. La densidad de un suelo se suele utilizar como medida para estimar el nivel de compactación del suelo y muestrear su grado de deterioro. Una densidad baja, generalmente, equivale a más porosidad y mayores agregados del suelo. Un bofedal saludable tendrá una densidad baja, lo que corresponde a mayor estabilidad, menos compactación y, probablemente, mayor contenido de humedad que un suelo con una densidad mayor.

### c. Indicadores de Estabilidad

10. **Signos de erosión.** A medida que el suelo superficial se pierde, la estructura del suelo subsuperficial se degrada y el contenido de materia orgánica se reduce, trayendo como consecuencia una pérdida en la capacidad del sitio para almacenar agua de lluvia y liberarla gradualmente, así como la capacidad del suelo de suplementar nutrientes para el crecimiento de las plantas.
11. **Grado de cobertura.** Está positivamente correlacionado con el grado de protección que brinda la vegetación contra el potencial erosivo de la lluvia cuando ésta impacta directamente sobre el suelo. Este parámetro está correlacionado con los patrones de flujo de agua, porque a mayor cobertura, la intercepción de gotas de lluvia es mayor y el movimiento del agua superficial se hace más lento.
12. **Plantas invasoras.** La presencia de plantas invasoras, no originales del ecosistema, indica que las condiciones ambientales que favorecerían la presencia de especies nativas han cambiado significativamente. Estas plantas, por su naturaleza generalmente anual o efímera, brindan menor protección al suelo que las especies originales, haciéndolo más inestable y susceptible a las perturbaciones.
13. **Fragmentación del hábitat.** Implica la aparición de discontinuidades, un bofedal que alguna vez formó una unidad queda dividido en fragmentos separados, así
- bofedales fragmentados son menos productivos y estables, debido a la discontinuidad. Ahora los procesos de transferencia de nutrientes, energía y agua son interrumpidos, la estabilidad y productividad del sistema ecológico disminuye, afectando notoriamente al número de especies que podrían estar presentes.
14. **Diversidad.** Se refiere al número de especies y proporción relativa que existe en el área, y está asociada positivamente con el grado de estabilidad y resiliencia del sistema ecológico, dado que las especies allí presentes son el resultado de un largo proceso de adaptación a las condiciones bióticas y abióticas prevalentes en el sitio ecológico.

## 3.4. Calificando el Estado de Salud

Para estimar el estado de salud de un bofedal es necesario tomar datos cualitativos y cuantitativos de los indicadores y clasificarlos en cinco categorías: extremo, moderado a extremo, moderado, ligero a moderado y ninguno a ligero, dependiendo de cuánto se alejan del valor ideal. Luego, registrar su estado en la Tabla 4 de manera resumida y sumar la cantidad de indicadores según atributo ya sea (I) integridad biótica, estabilidad del sistema (E) o función hidrológica (F), y posteriormente graficar las frecuencias de los mismos para luego inferir a partir de esto el estado del atributo. La frecuencia de indicadores permite contar con información completa y facilitar el llegar a consensos sobre la presencia y cantidad de cada indicador, para estimar a partir de allí el estado de salud del bofedal.

La Tabla 5 representa un ejemplo de evaluación de los indicadores realizado a un bofedal, en la que cada uno fue agrupado según el atributo funcional que representa, estabilidad del sistema (E), función hidrológica (F) o integridad biótica (I). En primer lugar tenemos a la estabilidad del sistema, la cual ha sido evaluada sobre un total de ocho (8) indicadores, que en su mayor proporción califican con una categoría moderado a extremo. De igual manera, la función hidrológica fue evaluada sobre un total de nueve (9) indicadores, los cuales en su mayoría califican bajo una categoría moderado a extremo y finalmente, de modo similar en el caso de la integridad biótica observamos una mayor cantidad de indicadores que califican con la categoría de moderado a extremo para un total de diez (10) indicadores. En el caso de la integridad biótica, se está considerando adicionalmente un quinto criterio de evaluación relacionado con la presencia/ausencia de plantas invasoras. En ninguno de los tres atributos, los indicadores evaluados alcanzaron la categoría extrema.

**Tabla 4.** Estado de los Indicadores por Atributo

Atributos	Indicadores	Extremo	Moderado a Extremo	Moderado	Ligero a moderado	Ninguno a Ligero
I	1. Biomasa		✓			
E, I	2. Mantillo				✓	
I	3. Vigor*		✓			
E, F	4. Materia Orgánica		✓			
E, F	5. Carbono		✓			
F, I	6. Calidad de agua	°T		✓		
		pH		✓		
		TDS		✓		
		O <sup>2</sup> disuelto		✓		
E, F	7. Capacidad de infiltración		✓			
E, F, I	8. Grado de compactación				✓	
E, F	9. Densidad del suelo			✓		
E, F, I	10. Resistencia del suelo a erosión		✓			
E, I	11. Cobertura basal del suelo		✓			
I	12. Plantas invasoras**					✓
E, F, I	13. Resistencia del hábitat a fragmentación		✓			
I	14. Diversidad			✓		

I: integridad biótica, E: estabilidad del sistema, F: función hidrológica

\* La evaluación del vigor se realiza a las especies vegetales claves del bofedal

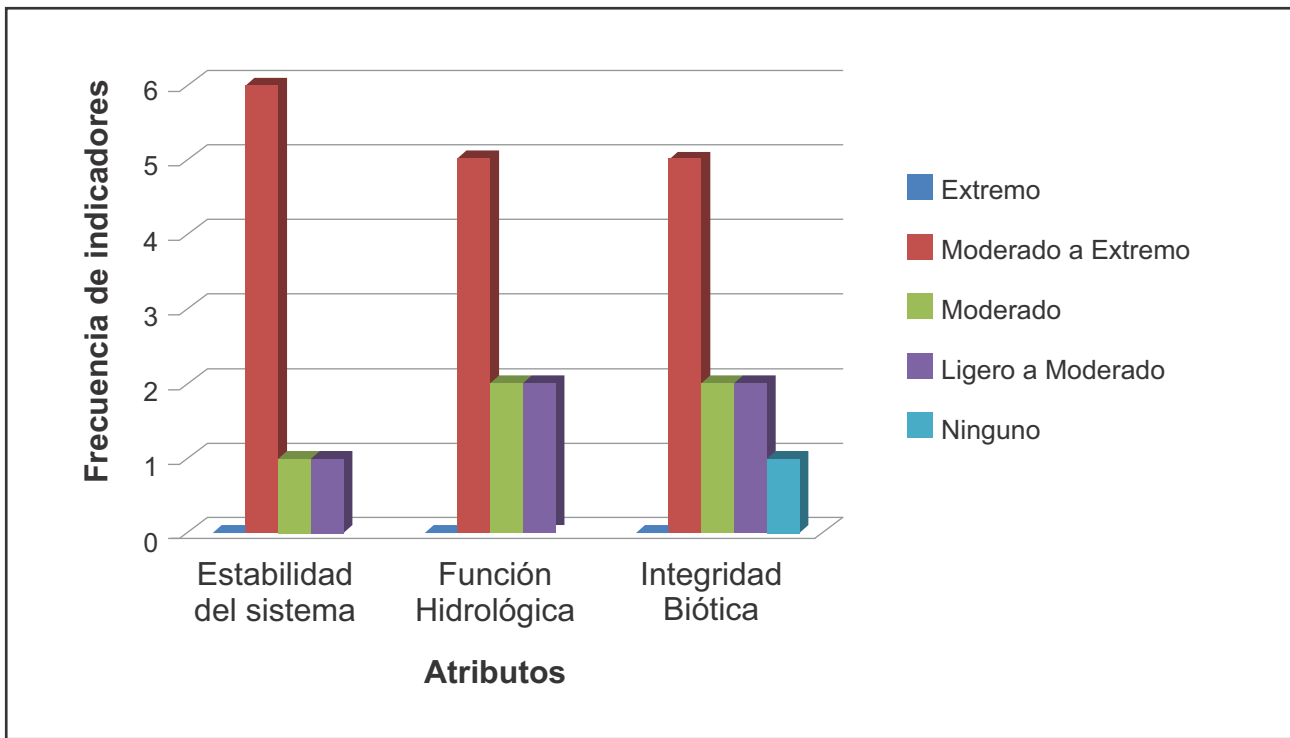
\*\* Está referido al porcentaje de plantas indeseables

**Tabla 5.** Resumen de Indicadores por Atributo

Resumen de indicadores por atributo	Extremo	Moderado a Extremo	Moderado	Ligero a moderado	Ninguno a Ligero	Σ
E: Estabilidad del sistema (indicadores 4, 5, 7 - 11, 13)		✓✓✓✓✓✓✓	✓	✓		8
F: Función hidrológica (indicadores 2, 4 -10, 13 )		✓✓✓✓✓✓	✓✓	✓✓		9
I: Integridad biótica (indicadores 1 -3, 6, 8, 10 - 14)		✓✓✓✓✓✓	✓✓	✓✓	✓	10

La Figura 2 representa gráficamente la descripción de la Tabla 5, en donde apreciamos que en los tres casos la distribución de frecuencias encontradas para los indicadores evaluados corresponden en mayor proporción a la categoría “Moderado a Extremo” y en una misma propor-

ción pero en menor cuantía a las categorías “Moderado” y “Ligero a Moderado”, respectivamente. Se aprecia que sólo en el atributo de Integridad Biótica aparece un quinto criterio de evaluación relacionado con la presencia/ausencia de plantas invasoras.



**Figura 2.** Histograma de Frecuencia por Atributo

Los resultados demuestran que el bofedal evaluado correspondería a uno en estado saludable pero con posibles problemas de manejo, debido a que si bien la mayoría de indicadores califican en la categoría Moderado a Extremo, encontramos algunos que están en categorías muy inferiores como Ligero a Moderado o Ninguno, los cuales surgen cuando las prácticas de conservación y manejo no son las más

adecuadas. La determinación del puntaje final en la escala del 1 al 100 no se está presentando debido a que aún está en proceso la estimación del valor que correspondería a cada indicador en función del impacto que tendría sobre determinado atributo y su importancia ecológica relativa con respecto a otros indicadores.

## IV. SÍNTESIS Y PERSPECTIVAS

En este documento se presenta un marco conceptual para estimar el estado de salud de bofedales basado en tres atributos integridad biótica (I), función hidrológica (I) y estabilidad del sistema (E). El marco en cuestión considera el uso de catorce indicadores y dos umbrales uno biótico y otro abiótico. Estos umbrales representan puntos a partir de los cuales el proceso de degradación se hace más acelerado y su recuperación más difícil. El modelo muestra cómo a partir de los valores de los indicadores y su frecuencia se puede construir un escenario a manera de histograma que sugiere el estado de salud y la necesidad de determinadas prácticas de mejora. En consecuencia, podría servir de base para el desarrollo de pautas para el

financiamiento de proyectos de recuperación de bofedales.

Está pendiente en agenda desarrollar, a partir del marco conceptual, un modelo cuantitativo para estimar el estado de conservación, en una escala de puntaje de 0 a 100. Para ello se requiere coleccionar información acerca de cómo varían los indicadores según estado de conservación y tipo de bofedal, lo cual implica determinar, con la ayuda de expertos y con un enfoque multicriterio, cuál sería el peso relativo que correspondería a cada atributo y sus respectivos indicadores.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, L., Flores, E.R y Naupari, J. 2013. *Definiendo atributos e indicadores para Estimar el estado de conservación de ecosistemas terrestres representativos de la Sierra del Perú*. Informe técnico. Convenio GIZ – MINAM.
- Flores, E. R, Barrantes, C y Tacuna, R. 2014. *Capacidad de carga y retribución económica de bofedales sobrepastoreados*. Taller Bofedales. Escuela de Postgrado. UNA La Molina.
- Gil, E. 2011. *Bofedal: Humedal altoandino de importancia para el desarrollo de la región Cusco*. 1-10.
- Havsted, K.M, Debra, P.C, Rhonda K., Brown, J., Bestelmeyer, B., Fredrickson, E., Herrick, J. 2007. Ecological services to and from rangelands. *Ecological economics* 64:261-268
- Herrick, J.E., Bestelmeyer, B.T., and Crossland, K. 2008. *Simplifying Ecological site verification, Rangeland health assessments and monitoring*. Society for Range Management. 30 (6): 24-26.
- Ludwing, J.A., Tongway, D. J., Bastin, G.N., and James, C.D. 2004. Monitoring ecological indicators of rangeland functional integrity and their relation to biodiversity at local to regional scales. *Austral Ecology*. 29, 108-120.
- Martínez, E., Fuentes, J.P., y Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Journal of Soil Science. Plant Nutrition*. 8 (1), 68-96.
- Pyke, D.A., Herrick, J.E., Shaver, P. and Pellant, M. 2002. Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management*. 55: 584-597.
- Salvador, F. Monerris, J. and Rochefort, L. 2014. *Peatlands of the Peruvian Puna ecoregion: types, characteristics and disturbance*. Mires and Peat, International Mire Conservation Group and International Peat Society, 15 (3), 1-17.
- Squeo, F.A., Warner, B.G., Aravena, R y Espinoza, D. 2006. Bofedales: High altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79, 245-255.
- Sotil, J. y Flores, E.R. 2014. *Lineamientos para el desarrollo de proyectos de inversión pública en recuperación de bofedales*. Informe Técnico del Proyecto de Recuperación de Bofedales. Convenio Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales y Ministerio del Ambiente.

## NOTAS

# MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO PARA ESTIMAR EL ESTADO DE SALUD DE LOS BOFEDALES