

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL**



**“MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO PARA ESTIMAR EL  
ESTADO DE SALUD DE BOFEDALES DE ALTA MONTAÑA”**

**Presentada por:**

**VIVIAN CALVO GÓMEZ**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO ZOOTECNISTA**

**Lima - Perú**

**2016**

## **DEDICATORIA**

A mi familia, por el apoyo y las fuerzas para seguir adelante.

A mi hermana Verónica por su complicidad y apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi especial agradecimiento al PhD. Enrique Flores Mariazza, asesor de este trabajo de investigación, por sus sabios consejos y ayuda a lo largo de mis estudios de la maestría.

Al equipo de investigadores del Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales por el apoyo incondicional.

Al Laboratorio de Ecología y Utilización de pastizales por las facilidades logísticas y materiales brindados.

A los profesores de la Facultad de Zootecnia.

Al Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) por el apoyo financiero para la ejecución del trabajo de campo

Al Concejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) por la subvención económica dentro del marco del proyecto de becas de maestría en Universidades Peruanas

## INDICE GENERAL

	Pág.
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	
2.1. Definición de Bofedales	3
2.1.1. Tipos de bofedales	4
2.1.2. Distribución e importancia	6
2.1.3. Estructura y función de los bofedales	8
2.1.4. Atributos e indicadores	10
2.2. Estados de Salud	14
2.2.1. Riesgos y amenazas	15
2.2.2. Servicios ecosistémicos	18
2.3. Modelos para estimar los estados de salud	20
2.3.1. Modelo clásico para el manejo de pastizales	21
2.3.2. Modelos de estados y transición	23
2.3.3. Modelo propuesto por Milton	26
2.3.4. Modelo Socio – ecológico	28
2.4. Estrategias de Conservación y Mejora	29
III. Materiales y Métodos	
3.1. Descripción de las Áreas de Estudio	33
3.2. Elaboración del Marco Conceptual y Metodológico	35
3.3. Estados de Salud	41
3.4. Validación de la Métrica para Estimar el Estado de Salud	48
IV. Resultados y Discusión	
4.1. Marco Conceptual y Metodológico	51
4.2. Desarrollo de un Sistema de Calificación	58
4.3. Consistencia de Expertos	63
4.4. Escala de Calificación	65
4.5. Calificación de los Bofedales	69
4.5.1. Milton	69
4.5.2. Parker	71
4.5.3. Pyke	73
4.5.4. Metodología propuesta	75
4.6. Validación de la Métrica para Estimar el Estado de Salud	77
V. Conclusiones	82
VI. Recomendaciones	84
VII. Referencias Bibliográficas	85
VIII. Anexos	91

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Principales amenazas enfrentadas por los bofedales	15
Tabla 2: Servicios ecosistémicos de bofedales	18
Tabla 3: Degradación gradual de pastizales áridos o semiáridos	27
Tabla 4: Estrategias y prácticas de mejora de acuerdo a los estados de salud	29
Tabla 5: Índices de salud del pastizal	43
Tabla 6: Rangos de puntajes de Flores	44
Tabla 7: Puntajes según categorías y sus respectivos rangos	45
Tabla 8: Escala Fundamental del proceso analítico jerárquico	46
Tabla 9: Matriz de comparación en parejas	47
Tabla 10: Normalización de la matriz de comparación por parejas	47
Tabla 11: Relación de atributos e indicadores de la salud de bofedales	54
Tabla 12: Rangos de valores según categoría	56
Tabla 13: Valores de umbrales bióticos y abióticos	57
Tabla 14: Matriz de comparación en parejas de los atributos	59
Tabla 15: Matriz de comparación en parejas de indicadores de integridad biótica	60
Tabla 16: Matriz de comparación en parejas de indicadores de función hídrica	61
Tabla 17: Matriz de comparación en parejas de indicadores de estabilidad	62
Tabla 18: Matriz de consistencia para los atributos	63
Tabla 19: Matriz de consistencia para los indicadores de integridad biótica	64
Tabla 20: Matriz de consistencia para los indicadores de función hidrológica	64
Tabla 21: Matriz de consistencia para los indicadores de estabilidad del sistema	65
Tabla 22: Escalas de valoración del atributo integridad biótica	66
Tabla 23: Escalas de valoración de función hidrológica	67
Tabla 24: Escalas de valoración de estabilidad del sistema	68
Tabla 25: Resultados obtenidos de la metodología Milton	69
Tabla 26: Resultados obtenidos de la metodología Parker	71
Tabla 27: Resultados obtenidos con la metodología Pyke	73
Tabla 28: Resultados obtenidos con la metodología propuesta	75
Tabla 29: Puntajes normalizados de las metodologías evaluadas según estado de salud	78

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Esquema de clasificación de los tipos de humedales altoandinos en función de la disponibilidad del agua, García & Otto, 2015	5
Figura 2: Modelo clásico de respuesta de la vegetación frente a la presión de pastoreo de Dyksterhuis (1949), basado en el modelo de sucesión lineal de Clements	21
Figura 3: Modelo de cambios en la vegetación por efecto de la presión de pastoreo (Flórez y Malpartida, 1987).	22
Figura 4: Modelo de estados transicionales	24
Figura 5: Analogía de la bola y la copa que ilustra la presencia de umbrales entre los múltiples estados estables de la vegetación (Laycock, 1991)	25
Figura 6: Representación simplificada del modelo socio – ecológico de bofedales con los subsistemas, (Rebaudo y Dangles, 2014)	28
Figura 7: Modelo por etapas de degradación de los pastizales	43
Figura 8: Estados transicionales del ecosistema de bofedal, adaptado de Pyke	52
Figura 9: Clasificación de los bofedales según su estado de salud	77

## INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Fichas de Relevamiento Rápido	
1.1. Bofedal Bueno de Quilcayhuanca, Huaraz	91
1.2. Bofedal Bueno de Santa Ana, Huancavelica	92
1.3. Bofedal Bueno de Mazocruz, Puno	93
1.4. Bofedal Regular de Quilcayhuanca, Huaraz	94
1.5. Bofedal Regular de Santa Ana, Huancavelica	95
1.6. Bofedal Regular de Mazocruz, Puno	96
1.7. Bofedal Pobre de Quilcayhuanca, Huaraz	97
1.8. Bofedal Pobre de Santa Ana, Huancavelica	98
1.9. Bofedal Pobre de Mazocruz, Puno	99
Anexo 2. Base de Datos Evaluación Metodología Milton	100
Anexo 3. Base de Datos Evaluación Metodología Parker	101
Anexo 4.1. Valor de indicadores según atributo de Metodología Pyke	102
Anexo 4.2. Estimación de la condición mediante la Metodología Pyke	103
Anexo 5. Base de Datos Evaluación Metodología Propuesta	104
Anexo 6. Análisis de conglomerados	105
Anexo 7. Análisis de Correlación de Pearson	106
Anexo 8. Análisis de Chi – Cuadrado	107
Anexo 9. Análisis de Kruskal – Wallis	108

## RESUMEN

En la actualidad los estudios sobre la evaluación del estado de salud del ecosistema de bofedales son limitados, siendo este de gran importancia debido a la cantidad de servicios ecosistémicos que brindan y por ser la principal fuente de alimentación para el ganado en los andes del Perú (Flores *et al.*, 2014). El impacto del cambio climático viene amenazando seriamente la integridad biótica de los bofedales así como también su estructura y funcionamiento. Modelos de simulación indican que si el avance en el retroceso glacial continúa la mitad de la superficie de los bofedales habría desaparecido para el año 2050, afectando seriamente la economía y seguridad alimentaria de las poblaciones locales. La presente investigación tiene como objetivos i) Desarrollar un marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de bofedales en base a atributos e indicadores de la estructura y función del ecosistema, ii) Diseñar un sistema de calificación de los estados de salud basados en opinión experta y análisis multicriterio y iii) Validar el sistema de calificación utilizando ecosistemas de referencia que se encuentran en diferente estado de conservación. El marco conceptual desarrollado es un esquema para evaluar el estado de salud basado en tres atributos; integridad biótica, función hidrológica y estabilidad del sistema, cada uno con sus respectivos indicadores. Se consideran tres estados de salud; saludable, saludable con problemas de manejo y no saludable y un esquema basado en el valor de los indicadores de vegetación, suelo y agua. El modelo fue validado en campo, y se compararon las diferentes metodologías de Milton *et al.* (1998), Pyke *et al.* (2002), Parker, 1954 y la propuesta en este trabajo de investigación para evaluar los estados de salud de los bofedales. Con dicho análisis se concluyó que la metodología de evaluación de los estados de salud adecuada es la propuesta en esta investigación, ya que refleja el estado de la estructura y el nivel en que se encuentran las funciones ecológicas básicas como productividad, ciclo hidrológico, biodiversidad y estabilidad del sistema ecológico.

Palabras clave: bofedales, estados de salud, indicadores, atributos

## ABSTRACT

Currently, research on the health status of high Andean wetlands ecosystems is scarce, despite the numerous environmental benefits they provide and being the main source of forage during the dry season for livestock in the Peruvian Andes (Flores *et al.*, 2014). The impact of climate change is seriously threatening the biotic integrity of high Andean wetlands as well as their structure and functioning. Simulation models indicate that if the advance in glacial retreat continues, half the surface of the high Andean wetlands would disappear by 2050, seriously affecting the economy and food security of local populations. The objectives of this research project comprise: i) develop conceptual and methodological framework to estimate the health status of high Andean wetlands based on attributes and indicators of the structure and function of the ecosystem; ii) design a scoring system on health status based on expert opinions and multi-criteria analysis; and iii) validate the rating system used by referencing ecosystems in different conservation status. The conceptual framework developed provides a scheme to assess health status based on the following three attributes: biotic integrity, hydrological function and stability of the system, each with their respective indicators. Three health status are also considered: healthy, healthy with management problems and unhealthy and a scheme based on the value of vegetation, soil and water indicators. The model was validated in the field, and the different methodologies of Milton *et al.* (1998), Pyke *et al.* (2002), Parker, (1954) and the proposal in this research to evaluate the health status of the high Andean wetlands were compared. Based on this analysis, the conclusion was reached that the assessment methodology to determine health status is the ultimate purpose in this investigation, as it reflects the structure status and level of basic ecological functions such as productivity, hydrological cycle, biodiversity and Stability of the ecological system.

**Key words:** High Andean wetlands, health status, ecosystem services, indicators, attributes

## I. INTRODUCCIÓN

Los bofedales constituyen un tipo de pastizal natural húmedo, con agua permanente, alimentados de diferentes fuentes como manantiales, agua de deshielo de glaciares, ríos y lluvia (Alzérreca *et al.*, 2001), que se ubican en la región Altoandina desde los 3800 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. Estos ecosistemas están entre los más productivos del mundo y son de inmensa importancia social y económica para la humanidad, pues proporcionan múltiples servicios ambientales como regulación del ciclo hidrológico, protección del suelo, entre otros. Poseen grandes reservas de carbono y tienen una alta productividad, produciendo pastos frescos en cantidad y de buena calidad para la crianza de ganado, que es una de las principales actividades de la zona.

Para la ley peruana los bofedales son ecosistemas frágiles cuyo estado ecológico viene siendo afectado por procesos naturales como el cambio climático, proceso que acelera el retroceso glacial, lo que aumenta la contaminación natural de los bofedales y fuentes de agua cercanas a ellos como resultado de la lixiviación que ocurre sobre las rocas y áreas desprotegidas degradadas y por procesos antropogénicos como la minería, sobrepastoreo y malas prácticas de manejo, afectando la capacidad de los bofedales para proveer bienes y servicios ambientales claves, que se verán reflejados en la economía y seguridad alimentaria de las poblaciones locales (Flores *et al.*, 2015)

Modelos de simulación indican que si el avance en el retroceso glacial continúa la mitad de la superficie de los bofedales habría desaparecido. Utilizar los modelos adecuados es muy importante para poder predecir y estimar el estado de salud de los bofedales en base a la evaluación de ciertos parámetros como atributos e indicadores que son determinantes para la obtención de información acerca de la estructura y función de estos ecosistemas, necesarios en la toma de medidas para la implementación de estrategias de manejo y conservación. En estas áreas, conocidas también como humedales altoandinos, se llevan a cabo interrelaciones funcionales-ecológicas, culturales y económicas, haciendo de este ecosistema un complejo de interacciones sociedad – naturaleza, que derivan en la necesidad de la toma de decisiones con la finalidad de dar respuesta a algún cambio en este ecosistema.

Económicamente, los bofedales tienen una importancia clave para comunidades aledañas que se benefician directamente a través de la regulación hídrica, controlando las inundaciones que pudieran surgir en las épocas lluviosas, ya que actúan como reservorios de agua y a su vez controlan el clima local e indirectamente a través de la ganadería, ya que estos proporcionan forraje verde permanente para camélidos, ovinos y vacunos, los cuales proveen una gran cantidad de recursos.

El propósito del presente estudio fue desarrollar un marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales tomando en cuenta la estructura y función del ecosistema de bofedal en base a la variación de los atributos e indicadores, teniendo en cuenta los umbrales bióticos y abióticos entre condiciones ecológicas buenas, regulares y malas. En este contexto la presente investigación tuvo como objetivos i) Desarrollar un marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de bofedales en base a atributos e indicadores de la estructura y función del ecosistema, ii) Diseñar un sistema de calificación de los estados de salud basados en opinión experta y análisis multicriterio y iii) Validar el sistema de calificación utilizando ecosistemas de referencia que se encuentran en diferente estado de conservación.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Definición de Bofedales

Los ecosistemas de bofedal son sistemas ecológicos cubiertos por vegetación hidrofítica compacta (Squeo *et al.*, 2006), son extremadamente frágiles por su dependencia del agua y están ubicados en los pisos de vegetación Altoandino (4300 a 5000 msnm), Puna húmeda superior (3800 a 4300 msnm) y Puna húmeda inferior (3400 a 3800 msnm). El término bofedal es muy propio de Perú, Bolivia y Chile, y es usado para identificar a un tipo de pastizal considerado el más importante de la ecorregión Puna (Salvador *et al.*, 2014), debido a que se encuentran permanentemente húmedos y fueron formados hace miles de años, se desarrollan sobre suelos orgánicos y mayormente se ubican a los pies de los glaciares almacenando el agua proveniente del deshielo glaciar, precipitación o afloramiento de aguas subterráneas (Squeo *et al.*, 2006).

Alegría *et al.* (2000) sostienen que los bofedales son formaciones vegetales que se establecen en un ambiente edáfico, principalmente orgánico, caracterizado por una condición hídrica de saturación permanente, presentando una gran diversidad biológica respecto del entorno. Los cuales están asociados a cursos de agua corriente permanente. No obstante, es posible encontrar bofedales en laderas de montañas o conos volcánicos, donde existen vertientes o nacen ríos superficiales o subsuperficiales. Los bofedales son ecosistemas estratégicos de reserva y sostenibilidad del ciclo hidrológico (Gil, 2011), como ser fuentes naturales de agua, reguladores del ciclo hídrico y el clima, zonas de descarga y recarga de acuíferos, barreras naturales contra las inundaciones y mejoran la calidad del agua.

En el Perú, los bofedales 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. Estos ecosistemas son altamente productivos para el desarrollo humano y brindan servicios ecosistémicos que constituyen patrimonio de la nación (pueden clasificarse en servicios de provisión, de regulación, de apoyo y culturales según Millenium Ecosystem Assessment, (MA, 2003), los cuales reflejan los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas.

Los bofedales son considerados por la convención Ramsar como ecosistemas de alta fragilidad asociada a causas naturales

como el cambio climático, las sequías prolongada y a la intervención humana. El cambio climático y los constantes incrementos de temperatura han ocasionado un significativo retroceso glaciar con la consecuente exposición a procesos de meteorización intensa y contaminación de áreas de pasto y aguadas (Gil, 2012).

#### 2.1.1. Tipos de Bofedales

La Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT, 1993) clasifica a los bofedales en cinco tipos: por su origen, su tamaño, receptividad, altitud y grado de pH.

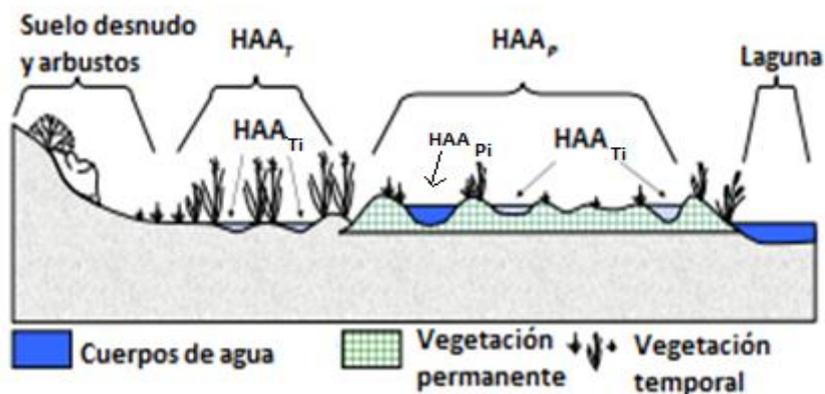
- a. Por su origen: pueden ser naturales como producto de la inundación de deshielos provenientes de los nevados, y artificiales construidos y regados por los campesinos. Se instalan en zonas topográficamente deprimidas y cerradas, formados por procesos geológicos: geomorfológicos, tectónicos, hidrogeológicos, litológicos, entre otros, donde se almacena o retiene agua, su alimentación hídrica puede ser subterránea o superficial, teniendo en cuenta que las aguas subterráneas juegan un rol muy importante en la génesis y evolución de la mayoría de ellos (Durán *et al.*, 2009).

Existen bofedales del tipo kárstico, que tienen formas redondeadas con profundidad variable, de origen fluvial presentan formas alargadas según la corriente principal y son por lo general poco profundos, y los de origen glaciar tienen formas semicirculares y son de profundidades importantes.

- b. Por su tamaño: se clasifican en grandes o chicos. Los primeros son usufructuados por un número variable de familias, aunque la propiedad del ganado es unifamiliar. Los chicos están ubicados en predios familiares y su cuidado y uso es solo del propietario. Existen bofedales que se encuentran en los fondos de valles a lo largo de arroyos, que son generalmente de menor tamaño donde las principales fuentes de agua suelen ser de descarga subterránea, agua de deshielo y corrientes de

- c. alimentación superficial, existe otro grupo conocido como bofedales de cuenca que tienden a ser de mayor tamaño, con agua de deshielo procedente de glaciares de elevaciones más altas y descarga de aguas subterráneas asociadas a los sistema de flujo regional.
- d. Por su receptividad: varían en función del agua disponible en el año; la precipitación, temperatura y humedad caracterizan determinadas zonas, teniendo los hidromorficos; situados en la ecorregion Puna húmeda y los méxicos; los que se encuentran en la ecorregion Puna seca.

García & Otto, (2015), plantean que existen dos tipos de humedales altoandinos (HAA): perennes y temporales, para realizar esta diferenciación se basó en los cambios estacionales de la vegetación fotosintéticamente activa y la disponibilidad temporal o permanente del agua, como se muestra en la figura 1, estos tipos de humedales presentan subtipos, el humedal altoandino temporal; temporalmente inundado y el humedal altoandino permanente con dos subtipos; temporalmente inundado y permanentemente inundado.



**Figura 1.** Esquema de clasificación de los tipos de humedales altoandinos en función de la disponibilidad del agua, García & Otto (2015).

- e. Por su Altitud: bofedales del tipo altiplánico, con altitudes que van desde los 3800 hasta los 4100 msnm. Y los bofedales del tipo altoandino, con altitudes comprendidas entre los 4100 y 4500 msnm.

- f. Por su Grado de pH edáfico: en función al promedio de acidez y alcalinidad del suelo de cada bofedal, clasificándose como ácidos; con pH menor a 6.5, neutros; comprende un pH de 6.6 a 7.3 y alcalinos; con valores mayores de 7.4.

### 2.1.2. Distribución e Importancia

El mapa de humedales del Perú (ANA, 2012) muestra 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 *et al.*, 2014).

De acuerdo al reglamento de zonificación ecológica y económica (DS N° 087 a 2004-PCM, el artículo 9) los bofedales son áreas de conservación, y de acuerdo con las normas ambientales para actividades de exploración minera (DS 20-2008-EM, artículo 11), ninguna actividad de exploración o construcción de caminos pueden cruzar los ecosistemas de bofedales, causa de colocación de materiales, residuos o cualquier otra materia o sustancia deberá caer sobre este ecosistema, si ocurriera y se ven afectados o degradados, deberán implementarse medidas de gestión y compensación que permitan la sustitución de los servicios ambientales.

La estrategia nacional de conservación de humedales del Perú, la cual fue actualizada en el 2014, hace referencia específica a los bofedales. A nivel regional el Perú participa en la iniciativa regional para la conservación y uso racional de los humedales altoandinos (Ramsar 2014), parte de los cuales se centraron en la estrategia regional para la conservación y uso sostenible de humedales altoandinos (2005 – 2015)

Existen cuatro aspectos fundamentales que hacen importantes a este tipo de ecosistemas (Alzérreca *et al.*, 2001):

- a) Sociocultural: los bofedales son formaciones que tienen miles años, por lo que en zonas altiplánicas, áridas y semiáridas, estos cumplen un rol fundamental, ya que son zonas estratégicas de pastoreo en época seca, y es la causa por la que en su entorno hayan prosperado culturas nativas de pastores de camélidos. Durante la colonia gran parte de los camélidos fueron desplazados de los bofedales ubicados en zonas bajas y reemplazados por ovinos y vacunos así como también una gran extensión fue transformada en superficie agrícola perdiéndose un recurso natural importante. Diferentes culturas andinas han manejado estos ecosistemas de forma sostenible y han creado reservorios de agua dulce y canales de riego, que a pesar de haber sido construidos hace varios siglos, continúan en funcionamiento en algunas regiones. No obstante, el sistema del manejo del agua y la tecnología hídrica de estas culturas se ha venido perdiendo paulatinamente desde la colonia.
- b) Económico: los bofedales comprenden un importante componente de la economía regional, por el aporte de agua dulce para consumo tanto de animales como de humanos, así mismo una parte sustancial de la producción agrícola dependen de las cuencas hidrográficas altoandinas, también porque proveen de forraje al ganado, motivo por el cual se estableció la producción ganadera en la zona, que es la principal actividad en los andes del Perú, generando ingresos a los pastores a través de la producción y venta de carne, lana, cuero, etc. Por otro lado estos ecosistemas son sitios de belleza escénica y paisajística, con una gran diversidad biológica y cultural, por lo que se han convertido en un atractivo turístico que generan ingresos para la zona.
- c) Ecológico: los bofedales constituyen un hábitat único para flora, fauna silvestre y especies de aves migratorias, también funcionan como reguladores del flujo hídrico de los ríos, al retener el agua en la época de lluvia, son productoras de forraje verde durante todo el año y debido a los suelos hidromorficos almacenan gran cantidad de materia orgánica.

d) Geopolítico: la instalación de las ciudades y comunidades en la Puna ocurrió hace más de 5000 años. La mayoría de los hábitats en los andes del Perú han sido fuertemente influenciados por actividades humanas, en algunos casos se han convertido en paisajes culturales, es decir, los ecosistemas que son mantenidos por las incesantes actividades del hombre y cuya biota está formada por especies fuertes y adaptadas, la alta producción de forraje y su régimen hídrico, es propicio para la crianza de camélidos, que de no existir la relación bofedales-camélidos, no existirían poblaciones aledañas a estos ecosistemas.

Las interacciones de los componentes físicos, biológicos y químicos de un bofedal, como el suelo, agua, plantas y animales, hacen posible que este desempeñe funciones vitales, como el almacenamiento de agua; protección contra inundaciones; control de la erosión; recarga de acuíferos; purificación de las aguas mediante la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes; y estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente la precipitación y la temperatura.

### 3.1.3. Estructura y Función de los Bofedales

Los bofedales pueden ser representados como ecosistemas constituidos por componentes vivos (bióticos) y no vivos (abióticos), que interactúan activamente como una unidad ecológica (Finlayson, 1997). Numerosos autores señalan que los ecosistemas pertenecen a una clase más amplia que los sistemas físicos, ya que éstos son entidades históricas, que poseen memoria de su desarrollo y de los eventos que afectan su comportamiento

Las características ecológicas de los bofedales es la suma de todas las funciones, productos y atributos que se derivan de los componentes individuales biológicos, químicos y físicos del ecosistema y sus interacciones. Pero de otro lado también está definido por el uso que le da la población cercana, ya que se reconoce que el uso de los bofedales puede afectar a sus características ecológicas (Servicio Agrícola y Ganadero, 2006). Las funciones realizadas por los bofedales incluyen los siguientes: almacenamiento de agua; protección contra las tormentas y mitigación de las inundaciones; control de la erosión; recarga y descarga de aguas subterráneas; la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes; y la estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente precipitación y temperatura. Estas funciones son el resultado de las interacciones entre los componentes biológicos, químicos y físicos del bofedal, tales como suelo, agua, plantas y animales.

La estructura de los bofedales está dada principalmente por los componentes que lo constituyen, como flora y fauna acuática, componentes abióticos, y las interacciones que se generan entre cada uno ellos. El funcionamiento corresponde a la expresión dinámica de la estructura del bofedal, a través de cambios en los flujos de materia y energía entre los diferentes componentes del ecosistema (Ahumada *et al.*, 2011).

Los bofedales formados por cojines duros son formaciones típicas altoandinas que se distribuyen a lo largo de la cordillera de los Andes, en donde las especies dominantes se reemplazan en forma gradual desde el norte hacia el sur. Estos cambios vegetacionales se dan principalmente por la ecología de la zona y por la historia de colonización de las especies. Los bofedales forman coberturas compactas, densas y de forma abombada, con condiciones de buen aprovisionamiento de agua y con falta de oxígeno, formando una cubierta de turba masiva de varios metros de espesor (Ruthsatz, 2012). La composición florística de los bofedales es singular, presenta una cubierta vegetal por lo general mayor a 70% y altas productividades de las plantas, presentan tres tipos de vegetación dominante, del tipo almohadillado, como *Oxychloe*, *Distichia* y *Plantago*, que forman un tapiz como si fuera una alfombra a lo largo de la superficie del suelo, en superficies con mayor humedad y cantidad de carbono podemos encontrar *Ranunculus*, y finalmente encontramos especies del genero *Poaceae*, como *Deyeuxia*, *Carex*, *Eleocharis*, entre otros, todas estas especies se entremezclan formando comunidades mixtas (Squeo *et al.*, 2006). Según Alzérreca *et al.* (2001), la composición botánica de los bofedales consta de 59.5% de herbáceas, 12.3% de pseudo gramíneas, 16.4% de gramíneas y 11.7% de otras especies.

El desarrollo de los suelos está en función de la clase de vegetación, humedad, fisiografía y clima. Los suelos de los bofedales se caracterizan por presentar influencia de agua en el perfil o estar anegados, contienen grandes cantidades de materia orgánica, lo que hace que los suelos sean ácidos, esta materia orgánica es acumulada a lo largo de los años debido al efecto de las bajas temperaturas en las zonas altoandinas, por lo que su descomposición se torna lenta, estos suelos son clasificados como histosoles, también se pueden encontrar los molisoles, que son suelos minerales con abundante materia orgánica, estos suelos se caracterizan por tener un drenaje externo lento y drenaje interno regular.

Cada uno de los elementos bióticos y abióticos que componen la estructura de los bofedales responde a las condiciones ambientales en función de sus atributos. De este modo, podemos utilizar cualquier componente del bofedal para monitorear su estado (ej.

indicadores), y trasladar esa condición al estado del bofedal. Para lo cual debemos utilizar el supuesto que los componentes escogidos representan fielmente la condición global de bofedal, o bien, son los componentes más sensibles que permiten detectar cambios. Es evidente que cuando se desconocen las características básicas de los componentes bióticos y abióticos, su uso como indicadores es limitado. En este contexto la identificación de estos indicadores, permite analizar la condición global del bofedal sin la necesidad de un análisis detallado de su estructura.

#### 2.1.4. Atributos e Indicadores

Los atributos de un ecosistema son elementos necesarios para la evaluación del estado de conservación en el que se encuentra dicho ecosistema, ya que integra complejos procesos en los que interactúan múltiples componentes propios de cada ecosistema, algunos atributos no pueden ser medidos directamente, ya que se trata de todo un sistema que hace difícil su medición.

Según el SRM (Society for Range Management) se debe tomar en cuenta ciertos atributos de los ecosistemas para que la evaluación de la salud sea más robusta, dentro de estos atributos se han escogido los siguientes tres: integridad biótica, función hidrológica y estabilidad del sistema, ya que estos presentan indicadores de vegetación, agua y suelo, que definen mejor el estado en que se encuentran la estructura y función de los bofedales.

- a. 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.
- b. 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 como ríos, puquios y manantiales.
- c. 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.

Los estados de salud se basan en el enfoque tradicional de la condición de pastizales que considera principalmente la producción potencial del sitio, pero también añade importantes indicadores de procesos y funciones naturales.

Estos indicadores de procesos ecológicos han sido utilizados históricamente en el monitoreo de pastizales y en inventarios de gestión de tierras. Los indicadores son componentes de un sistema cuyas características (por ejemplo, presencia o ausencia, cantidad, distribución) se usan como índice de un atributo (Pellant y Pyke, 2000).

a. Indicadores de Integridad Biótica

- 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.
  
- 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.
  
- Materia orgánica: La materia orgánica acumulada en la 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.
  
- 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 conductividad eléctrica; su nivel depende del estado del manejo, de la geología del área y de procesos externos como degradación, contaminación natural y artificial.
- Tasa 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.
- 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 del Sistema

- Grado de cobertura: Esta positivamente correlacionada 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.
- Plantas invasoras: La presencia de plantas invasoras, no originales del ecosistema, indica que las condiciones ambientales que favorecían 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.

Las plantas invasoras son aquellas plantas naturalizadas capaces de producir descendencia, a menudo en gran número y a considerable distancia de los progenitores, teniendo por tanto la capacidad potencial de extenderse en un amplio territorio. Para considerar una planta invasora algunos autores consideran un requisito adicional que produzcan impactos negativos sobre la biodiversidad.

- **Signos de erosión:** A medida que el suelo superficial se pierde la estructura del suelo sub-superficial 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.
  
- **Fragmentación del hábitat:** Es definida como un proceso que presenta una expansión larga del hábitat y es transformada en pequeños números de parches de un área, implica la aparición de discontinuidades, un bofedal que alguna vez formo 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.
  
- **Diversidad de especies:** 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.

## 2.2. Estados de Salud

El término salud implica el buen funcionamiento del ecosistema y está asociado a su estructura, función y resiliencia, en términos de beneficios a la comunidad humana, la salud de los ecosistemas se ve reflejada en los servicios ecosistémicos que estos brindan como alimento, fibra, y la capacidad de asimilar y reciclar desechos, agua y aire (Costanza, 1992). La salud de los ecosistemas puede verse afectada por diversos estresores o factores de estrés, que dependiendo de su intensidad y tiempo de duración van a influir sobre la capacidad de recuperación de los ecosistemas. La capacidad de recuperación de un ecosistema se refiere a la capacidad de mantener su estructura y patrón de comportamiento en la presencia de estrés. Un sistema saludable es aquel que posee la resistencia adecuada para sobrevivir a diversas perturbaciones de pequeña escala.

Según el Consejo Nacional de Investigación (NRC siglas en inglés) en la clasificación de pastizales de los Estados Unidos la salud del pastizal es el grado en que se encuentran la integridad del suelo y la sostenibilidad de los procesos ecológicos. La integridad del suelo se refiere al mantenimiento de las características físicas y biológicas del suelo, lo cual depende del clima, sitio, topografía y cobertura vegetal. Una cobertura adecuada de vegetación protege la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia, detiene el flujo superficial, mantiene la infiltración y permeabilidad y protege la superficie del suelo de la erosión. Mientras que la sostenibilidad de los procesos ecológicos es el adecuado funcionamiento de los procesos a lo largo del tiempo, siendo estos procesos; eficiencia en captura de energía solar, ciclaje de materia orgánica y nutrientes, retención de humedad y soporte de hábitat para vida silvestre (Adams *et al.*, 2003).

Los bofedales saludables proporcionan oportunidades de pastoreos sostenibles al ganado como llamas, alpacas y ovinos, que constituyen la base de las economías altoandinas. En el centro del Perú, por ejemplo, donde no hay otra opción para abastecerse de combustible, la turba que es un material orgánico originado por la lenta descomposición de materia vegetal, rico en carbono es usado como 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 (Salvador *et al.*, 2014)

### 2.2.1. Riesgos y Amenazas

La estrategia para los humedales altoandinos, impulsada por la Convención Ramsar, reconoce a los bofedales como ecosistemas estratégicos debido a su función de regulación, 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 del drenaje, urbanización, agricultura, construcción de represas, sobrepastoreo, construcción de carreteras, contaminación y otras formas de intervención del sistema ecológico (Tabla 1).

**Tabla 1: Principales amenazas enfrentadas por los bofedales**

<b>Naturaleza</b>	<b>Amenazas</b>
Abióticas	Retroceso glacial
	Contaminación natural
	Sequias 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).

Ante las amenazas que enfrentan los humedales del país, en 1992 el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) aprobó “La Estrategia Nacional para la Conservación de Humedales en el Perú”, que tiene como objetivo general promover la conservación de los humedales orientados a obtener beneficios ecológicos, sociales, económicos, culturales y espirituales como aporte al desarrollo integral del Perú.

La variabilidad natural de los ecosistemas de bofedales, fuertemente vinculada con las precipitaciones y las condiciones climáticas propias del altiplano, hacen que el estudio del funcionamiento de los ecosistemas sea particularmente complejo, considerando además las interacciones humanas sobre ellos.

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 (Flores *et al.*, 2014). El cambio climático se da mediante incrementos en temperatura, que a su vez tiene efectos directos en otras variables, principalmente relacionadas con el sistema hídrico: cambios en el régimen de precipitaciones y humedad, afectando el estado de los glaciares, en el Perú es particularmente significativo, ya que posee el 71% de los glaciares tropicales de los Andes Sudamericanos. El sobrepastoreo de otro lado, ha reducido la integridad biótica y función hídrica afectando seriamente la capacidad de los bofedales para suministrar beneficios ambientales claves (Flores *et al.*, 2014).

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 información sobre los balances hídricos de los humedales se considera clave para conocer el funcionamiento ecológico de los humedales; sin embargo, el conocimiento de estos balances es aún incompleto, generando incertidumbre sobre los efectos potenciales que las diferentes acciones humanas pueden tener sobre los bofedales.

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. En el deterioro de los bofedales se identifican aspectos como la sobrecarga o

sobrepastoreo que puede afectar la vegetación y convertirse en un grave problema para la conservación y alimentación futura del ganado. Esto ocurre cuando la carga animal (número de animales por hectárea) no se ajusta a la disponibilidad y calidad de forraje, teniendo en consideración los marcados periodos estacionales de producción de forraje en la época de lluvias y en la época de seca. La disminución del agua en los bofedales, especialmente en la época seca, hace que se presenten procesos de salinización. Estos problemas pueden acrecentarse notoriamente cuando se hace uso las aguas superficiales y/o subterráneas que alimentan el bofedal sin considerar las capacidades de recuperación del sistema hídrico, disminuyendo la productividad del bofedal principalmente en la época seca, cuando los bofedales constituyen la fuente más importante de forraje y por último la mala distribución del agua hace que esta circule por canales profundos de las partes más bajas de los bofedales, resultando así en un mal drenaje que ocasiona desecación de las partes más elevadas del bofedal y la muerte de plantas quedando manchones secos de materia orgánica sin vegetación verde (Centro de Estudios para el Desarrollo, 2006).

La introducción de otras especies ganaderas (como vacunos y ovinos, por ejemplo) puede afectar a los bofedales si no se aplican medidas de manejo apropiadas, cuando no existe una adecuada carga animal con relación a la disponibilidad y condición de las especies forrajeras, se ocasiona el sobrepastoreo, esto conlleva a la compactación y pérdida de la cobertura vegetal por el excesivo pisoteo asociado al pastoreo continuo que comúnmente se observa en los bofedales ya que los ganaderos tienden a incrementar su ganado por encima de lo que el ecosistema puede soportar. Es necesario considerar los riesgos de deterioro de los bofedales debido a la intensidad de pisoteo y el forrajeo intensivo por parte de estas especies.

El conocimiento local sobre el manejo de los bofedales no siempre es utilizado por las comunidades aledañas, puede ser porque las tierras para pastoreo son limitadas, o debido al cambio en las fuentes de sustento, como la expansión de la agricultura, o conflictos sociales por el uso de zonas comunes (Maldonado, 2014). Los pobladores al no tener otras opciones para realizar actividades económicas compatibles con la conservación de la diversidad biológica de los bofedales, y al carecer de conocimientos técnicos presionan sobre este recurso alterando finalmente su capacidad para proveer servicios ecosistémicos.

### 2.2.2. Servicios Ecosistémicos

Son aquellos beneficios económicos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas, estos incluyen servicios de aprovisionamiento, como alimentos y agua; servicios de regulación como el control de inundaciones; servicios culturales tales como beneficios espirituales, recreativos y culturales; y servicios de apoyo, tales como el ciclo de nutrientes, que mantienen las condiciones para la vida en la tierra. (Millenium Ecosystem Assessment, 2003)

Los servicios ecosistémicos que brindan los bofedales constituyen patrimonio de la nación y pueden clasificarse en servicios de provisión, regulación, apoyo y culturales (Havsted *et al.*, 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 ecosistémicos de bofedales**

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

Fuente. Flores *et al.* (2015)

- a) Servicios de provisión: Son los beneficios materiales (productos) que las personas reciben directamente de los ecosistemas, tales como: alimentos (plantas, animales), agua fresca (para riego, consumo humano), materias primas (fibras, leña, madera), recursos genéticos, medicinas naturales y productos bioquímicos y farmacéuticos, y recursos ornamentales.
- b) Servicio de regulación: Son los beneficios que se obtienen de la regulación los procesos de los ecosistemas, tales como: mantenimiento de la calidad del aire, regulación climática (incluye almacenamiento y secuestro de carbono), prevención y moderación de eventos extremos (como las tormentas), regulación de los flujos de agua, tratamiento de desechos (incluye purificación del agua), prevención o control de la erosión, mantenimiento de la fertilidad del suelo, polinización, control biológico (enfermedades y plagas).
- c) Servicios de base, soporte o hábitat: agrupa a los servicios necesarios para producir los otros servicios ecosistémicos, tales como: mantenimiento de los ciclos de vida de las especies, y protección de la diversidad genética.
- d) Servicios culturales: son los beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas, tales como la belleza escénica, la recreación y turismo, la inspiración para la cultura, el arte y el diseño, la experiencia Espiritual, y la información para el desarrollo del conocimiento.

El Perú forma parte de la estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos, que fue construido con ayuda de los puntos focales de Ramsar y un conjunto de organizaciones de apoyo que fueron denominados grupo de contacto, quienes definieron que el objetivo general de la estrategia es promover la conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos, a través de procesos de gestión regional de largo plazo entre los países involucrados a fin de mantener los bienes y servicios que ellos prestan, y reducir los impactos y amenazas existentes, ya que estos ecosistemas son considerados ecosistemas de gran fragilidad asociadas a causas naturales como el cambio climático, las sequías prolongadas en la puna y a la intervención humana.

La importancia de los bofedales para la mantención de la biodiversidad en el altiplano hace que exista un creciente interés por su protección y gestión sustentable, considerando

además que frecuentemente los bofedales están vinculados con ambientes claves para la alimentación y reproducción de especies significativas. Por ello, preocupa que el uso productivo de estos sistemas tenga efectos adversos en sitios de nidificación o de alimentación, generando pérdida de especies.

En un contexto ecológico y social como este, es necesario establecer criterios de sostenibilidad en las poblaciones locales, como alternativa de desarrollo socioeconómico respecto al sobreuso de los bofedales. Esto puede ser posible mediante la estimación de la disposición a pagar por los servicios ambientales que brindan los bofedales, con la finalidad de construir un fondo para promover su conservación. La sostenibilidad toma relevancia al estimar las medidas de bienestar social, lo cual representa un valor cuantitativo individual de los bienes y servicios ambientales que se evalúan y también concientizar a la población de la importancia de estos ecosistemas y como obtenemos beneficios a partir de dichos servicios. (Alarcón *et al.*, 2014).

### **2.3. Modelos para Estimar los Estados de Salud**

Existen modelos que describen el comportamiento de los ecosistemas de pastizales basados en lo que se podría esperar en respuesta a uno o varios tipos de acciones perturbadoras, llevando a dichos ecosistemas a diferentes estadios de conservación o estados de salud, muchos de estos modelos son utilizados como base para explicar la degradación de los pastizales.

#### **2.3.1. Modelo Clásico para el Manejo de Pastizales**

El modelo clásico para el manejo de pastizales sugiere que el pastoreo es un proceso que, dependiendo de su intensidad y/o frecuencia puede desencadenar cambios en la vegetación, denominados sucesión vegetal. El primero en definir el concepto clásico o sucesional fue Clements (1928), quien describió un modelo de cambios unidireccionales de la vegetación (sucesión lineal) hacia un estado estable en equilibrio con el clima, llamado clímax, el cual sugiere que un pastizal que no ha sido utilizado para el pastoreo posee una composición florística única. Según este modelo, es posible hallar una presión de pastoreo de igual intensidad pero en sentido contrario a la tendencia sucesional, lo cual llevaría a mantener un equilibrio distinto del clímax con una determinada carga animal (Westoby *et al.*, 1989) (Figura 2)

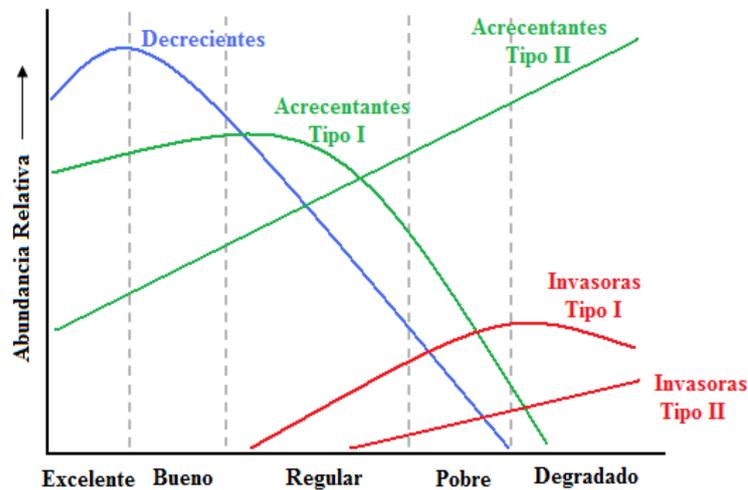


**Figura 2. Modelo clásico de respuesta de la vegetación frente a la presión de pastoreo (Westoby *et al.*, 1989), basado en el modelo de sucesión lineal de Clements.**

Los disturbios como el sobrepastoreo, producen cambios en el ecosistema (biodiversidad, cobertura vegetal, productividad), haciendo que este se aparte de su estado estable, dirección opuesta a la tendencia sucesional, que llevaría al sistema a una condición pobre. Si el disturbio desaparece, el ecosistema tiende a retornar por sí mismo a su estado original, que en ausencia de pastoreo es posible llegar a una condición excelente.

Este modelo ha sido criticado por varios autores, dando a entender que se trata de una ineficaz y sobre-simplificación de la dinámica de la vegetación en los pastizales, y que su aplicación puede contribuir al mal manejo y la degradación de algunos ecosistemas (Briske *et al.*, 2003).

Desde el enfoque Dyksterhuis (1949), la condición de los pastizales puede ser medido directamente en términos de la producción del forraje, el modelo muestra las tendencias en la importancia de las principales gramíneas bajo cambios progresivos en las perturbaciones por pastoreo, la especies que se pueden encontrar se agrupan en tres categorías; las que dependen de la conducta de la comunidad, las especies que simplemente aumentan en la cobertura, y las especies que finalmente son eliminadas. La (Figura 3), muestra los cambios en las proporciones relativas de las plantas acrecentantes, decrecientes e invasoras de acuerdo a los movimientos ascendentes y descendentes a lo largo de las curvas según la mejora y deterioro de pastizales.



**Figura 3. Modelo de cambios en la vegetación por efecto de la presión de pastoreo (Dyksterhuis, 1949).**

En un ecosistema siempre encontraremos plantas decrecientes (deseables), acrecentantes tipo I e invasoras tipo I (poco deseables), y las acrecentantes tipo II e invasoras tipo II (indeseables). Se puede notar que las especies de decrecientes y acrecentantes tipo I existen en condiciones excelentes de las praderas y estas van desapareciendo conforme ocurre el proceso de retrogresión. Las acrecentantes II siempre estarán presentes ya que cumplen un rol ecológico, en muchos casos contienen sustancias químicas para la salud o son un nicho ecológico para especies de animales necesarios para el equilibrio del ecosistema, y aparecen como la última barrera contra la erosión de suelos degradados o impactados por actividades del hombre.

### 2.3.2. Modelos de Estados y Transición

Los ecosistemas son, por definición, complejos sistemas en los que factores biológicos, climáticos y geológicos se combinan con factores sociales, políticos y económicos para producir una serie de procesos ambientales que determinan la evolución de cada uno de los ecosistemas en el tiempo. Los modelos ecosistémicos son simplificaciones de la realidad que están diseñados para analizar algunos aspectos del sistema real que tratan de imitar (Blanco, 2013)

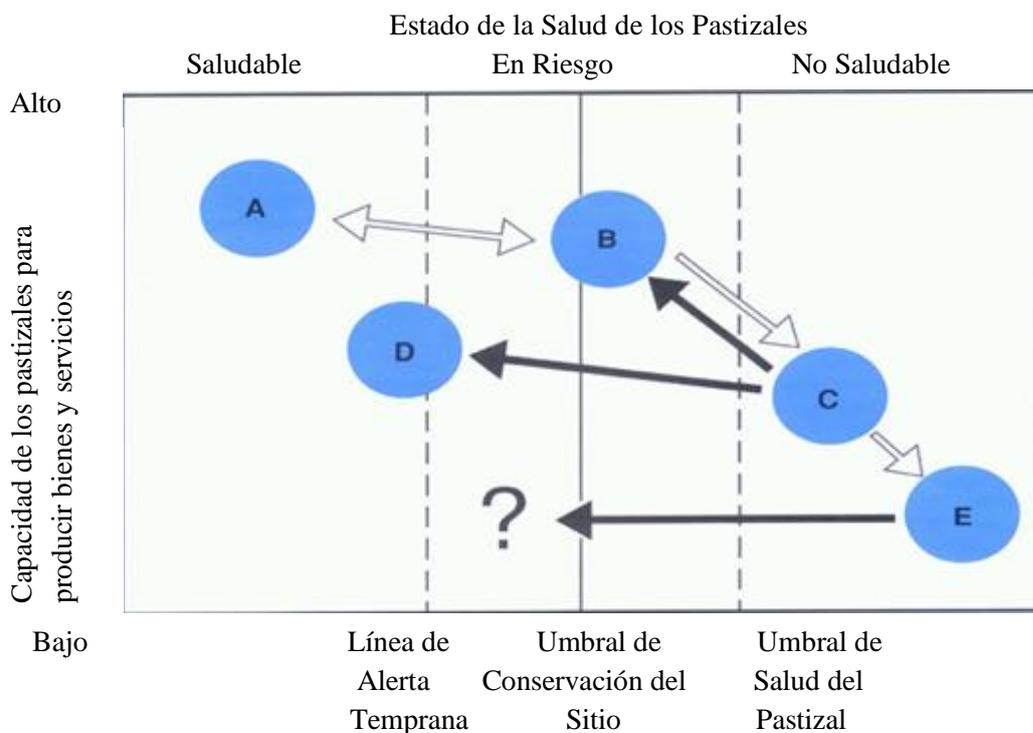
Los modelos de estado y transición, los cuales están basados en la teoría del no equilibrio, describen las transiciones por las cuales la vegetación puede ser transformada en una

variedad de estados alternos. Los factores que transforman la vegetación incluyen, eventos naturales (fuego y cambios climáticos) y acciones de manejo como cambio en la carga animal, quema, destrucción o introducción de poblaciones de plantas y fertilización (Westoby *et al.*, 1989)

Los modelos del tipo de estado y transición han recibido mucha atención desde su introducción en 1989 (Bestelmeyer *et al.*, 2003). Los subtipos de vegetación son llamados "estados", y los procesos que causan estados para cambiar de uno a otro se denominan "transiciones". Cuando los estados se resisten al cambio, se les llama "estado estacionario". Un ejemplo de un estado de equilibrio es donde se producen las plantas de larga vida o no dominantes en un sitio. Estas comunidades de plantas en estado estacionario sólo cambian como resultado de tales transiciones como largos períodos de humedad superior a la media o la sequía, el fuego, o la acción humana. El conocimiento de los mecanismos para explicar transiciones, está estrechamente ligado al uso de indicadores ecológicos para anticipar estas transiciones. Por lo tanto, los modelos incluyen valores de referencia para indicadores cuantitativos, una lista de indicadores claves y una descripción de los cambios que sugieran una aproximación a una transición.

El modelo tiene como punto central umbrales ecológicos que son necesarios para reconocer las diferentes comunidades vegetales estables (Briske *et al.*, 2005). Los umbrales son puntos en el espacio y el tiempo en el que uno o más de los procesos ecológicos principales responsables de mantener el equilibrio sostenido de los estados se degradan más allá del punto de la auto-reparación (Stringham *et al.*, 2003). Los umbrales ecológicos se pueden clasificar en dos grupos generales; su distinción tiene importantes implicaciones ecológicas y de gestión. El primer grupo consiste en umbrales bióticos (estructurales o de composición, que se basan en los cambios en la composición de la comunidad, forma de crecimiento de las plantas y presencia de especies invasoras) lo cual representa la línea de alerta temprana entre la transición de estado saludable y estado en riesgo y el segundo grupo consiste en umbrales abióticos (funcionales, que están definidos por los cambios positivos o negativos en varios procesos ecológicos, como propiedades hidrológicas y del suelo, ciclaje de nutrientes y productividad) y representa la línea de salud del pastizal en la transición de estado en riesgo y estado no saludable. (Society for Range Management, 1995).

La línea de alerta temprana fue propuesta por la NRC (National Research Council) como el punto en el que los cambios negativos en las características de los ecosistemas se notaron por primera vez, cambios que pueden indicar la degradación del ecosistema y una amenaza para la productividad a largo plazo del sitio. El "umbral de la salud de los pastizales" representa el punto donde la degradación es tan grave que la mejora sólo será posible mediante la aplicación de prácticas de mejora tales como control químico o mecánico de malas hierbas y la siembra de las especies deseadas (Figura 4)



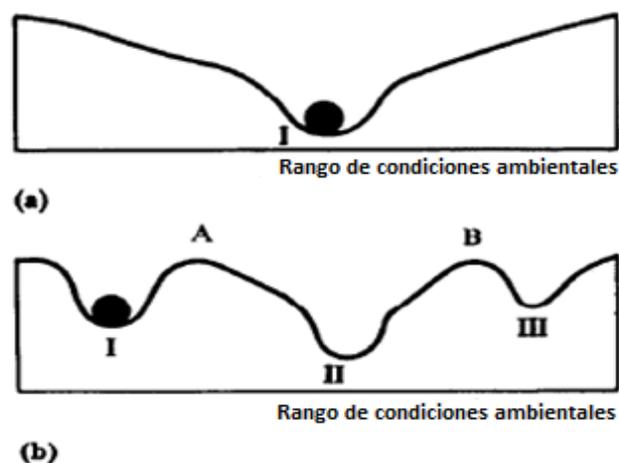
**Figura 4. Modelo de estados transicionales**

Fuente: National Research Council. Rangeland Health (1994).

Las flechas representan las transiciones entre diferentes estados o condiciones ecológicas, que se representan como círculos (A-E). Las flechas blancas representan cambios continuos hacia un estado no saludable y las flechas negras representan la posible recuperación hacia un estado de mejor conservación. Un cambio de 'A' a 'B' indica que se ha producido algún deterioro; pero su recuperación es posible a través de una buena gestión (flecha en doble sentido de A a B), Un cambio continuo a 'C' representa una pérdida de la salud de los pastizales; su recuperación hacia un estado saludable 'D' o en riesgo "B" es difícil pero posible si se aplican prácticas de mejoramiento de pastizales,

como control de malezas y revegetación. "E" representa pastizales que han seguido deteriorándose; la erosión del suelo y otros cambios en los ecosistemas asociados a 'E' hacen que la recuperación a una condición más saludable sea difícil (SRM, 1995)

Los umbrales representan límites que separan los múltiples estados de equilibrio en tiempo y espacio, por lo tanto su existencia determina que el sistema no se encuentra en equilibrio. El reconocimiento de estos estados estables o en equilibrio y los modelos que los describen, es necesario para desarrollar nuevos conceptos acerca de la condición de los pastizales. Este modelo presenta una analogía de bola y copa (Laycock, 1991) (Figura 5), los umbrales se distinguen sobre la base de los cambios en la fisionomía de la comunidad, la estrategia de historia de vida y los cambios positivos o negativos en las propiedades del suelo que alteran las características del sitio.



**Figura 5. Analogía de la bola y la copa que ilustra la presencia de umbrales entre los múltiples estados estables de la vegetación, (Laycock, 1991)**

Este modelo describe la analogía de la bola y la copa para ilustrar los conceptos globales y locales de la estabilidad. La comunidad está representada como un balón negro en una superficie topográfica que viene a ser la copa, la cual muestra la gama de condiciones ambientales en las que la comunidad es estable. En (a) la comunidad es localmente y globalmente estable y representa adecuadamente el clímax, ya que después de todas las alteraciones o perturbaciones volverá a su configuración original (I), en cambio en (b) la comunidad es localmente estable, pero si es perturbado más allá de un rango crítico, este cruzará el umbral A y se trasladará a una nueva configuración localmente estable (II) (Briske *et al.*, 2003)

La identificación de los umbrales ecológicos ayuda a reconocer las diferentes comunidades vegetales estables que potencialmente pueden ocupar un sitio ecológico. Los umbrales son difíciles de definir y cuantificar porque ellos representan una serie compleja de componentes que interactúan en lugar de fronteras discretas en tiempo y espacio. Los componentes de los umbrales pueden ser ampliamente categorizados como estructurales y funcionales en base a los atributos de composición y función de la vegetación (Briske *et al.*, 2005)

El potencial de reversibilidad del umbral depende de la extensión y duración de las modificaciones del ecosistema, especialmente aquellos que tienen que ver con las vías del ciclaje de nutrientes, agua y flujo de energía. La modificación de los ecosistemas impone a menudo una serie de mecanismos de retroalimentación que limita la reversión al estado estable anterior y refuerza el estado alterado.

### 2.3.3. Modelo Propuesto por Milton

Según Milton *et al.* (1994) la productividad secundaria, o la capacidad de soporte de la vegetación a herbívoros, pueden decrecer como resultado de cambios en el tamaño, densidad y rango de crecimiento de las plantas. En pastizales naturales el rendimiento de las plantas forrajeras no está influenciado solo por condiciones climáticas, fuego o consumo por el ganado, sino también por numerosas interacciones con competidores, muchas veces las especies de plantas perennes que son palatables para el ganado, producen menos semillas y plántulas que sobreviven en condiciones de pastoreo intensivo que en condiciones de pastoreo ligero, una de las consecuencias del sobrepastoreo es el cambio en la dominancia de las plantas, exponencialmente aumentan las plantas invasoras, que pueden ser tóxicas. Milton *et al.* (1994) estableció la degradación gradual de los pastizales áridos y semiáridos (Tabla 3), donde establece que los síntomas describen el estado de las plantas y animales, proponiendo acciones de manejo que se deben tener en cuenta para mejorar la condición de los pastizales.

**Tabla 3: Degradación gradual de pastizales áridos o semiáridos**

Paso	Descripción	Síntomas	Opción de manejo	Nivel de producción
0	La biomasa y la composición de la vegetación varían con los ciclos climáticos y eventos estocásticos	La vegetación perenne varía con el tiempo	Manejo adaptativo	Productores secundarios
1	La herbivoría reduce el crecimiento de plantas palatables, permitiendo que se establezcan especies no palatables	Cambia la demografía en la población de plantas	Estrictos controles de pastoreo	Productores secundarios
2	Especies de plantas que han perdido su establecimiento	Reducción de productividad, pérdida de plantas y animales	Manejar la vegetación (agregar semillas, retirar plantas)	Productores primarios
3	La biomasa y la productividad de la vegetación efímera se benefician de la pérdida de cubierta perenne.	Se reduce la biomasa perenne (se incrementa la inestabilidad y las plantas de vida corta), disminuyen las aves residentes	Manejar la cobertura del suelo (mantillo, barreras contra la erosión, endurecimiento de la superficie)	Ambiente físico
4	La desertificación implica cambios en la función del suelo y la actividad de los detritus			

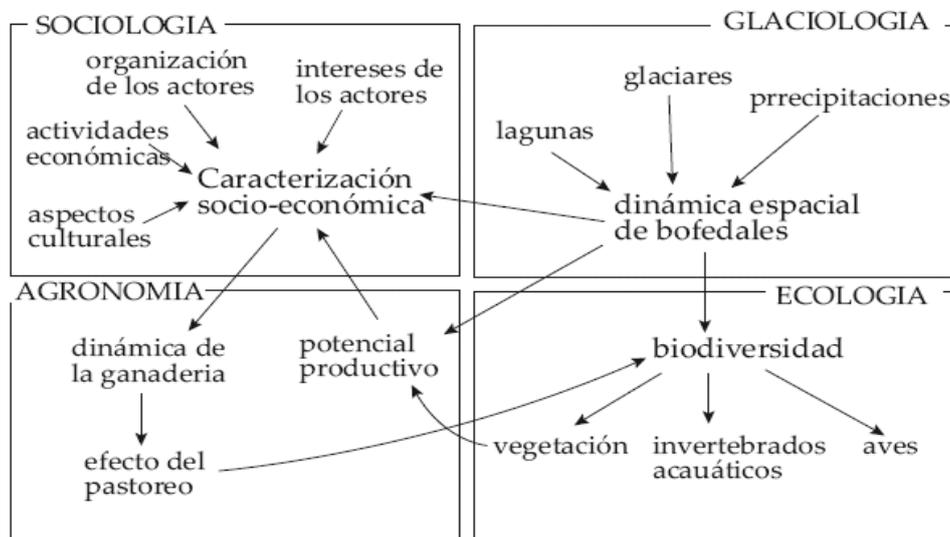
El punto de partida para la establecer la condición de pastizales fue la condición más adecuada para el pastoreo extensivo y el punto final la desertificación, que se define como la pérdida a largo plazo de la productividad de plantas y animales y la utilidad de la diversidad para beneficio de la humanidad (pérdida de bienes y servicios ecosistémicos)

Un concepto moderno del manejo de ecosistemas es el relacionado con el principio ecológico de la sucesión y retrogresión, basado en la cercanía o lejanía del estatus clímax.

Para tal efecto es necesario identificar la condición de la pradera, excelente, bueno, regular, pobre y muy pobre, en función al porcentaje de plantas deseables que integran, el ecosistema de pastizal, su grado de palatabilidad, el valor nutritivo y la protección que ofrecen al suelo (Flores, 1999).

### 2.3.4. Modelo Socio – Ecológico

Los sistemas socio-ecológicos (SSE), también denominados sistemas conjuntos naturales y humanos están compuestos de por lo menos dos subsistemas: un subsistema social (p.e., una comunidad de agricultores, una familia) y uno ecológico (p.e., una cuenca, un valle, un bofedal) como se muestra en la Figura 6. El aspecto clave de esos subsistemas es que existen influencias recíprocas entre los subsistemas, es decir interactúan. De esas interacciones resultan atributos a nivel del sistema global, que permiten caracterizar los sistemas socio-ecológicos. Los atributos principales de los sistemas socio-ecológicos, que a veces no se pueden observar en los subsistemas que lo componen, son 1) la no-linealidad de las dinámicas, la cual se define por los cambios bruscos al sobrepasar los umbrales 2) propiedades emergentes, 3) la existencia de varias escalas y 4) bucles de retroactividad. (Rebaudo y Dangles, 2014)



**Figura 6. Representación simplificada del modelo socio – ecológico de bofedales con los subsistemas, (Rebaudo y Dangles, 2014)**

Por la complejidad de las interacciones socio-ecológicas que existe en los ecosistemas de bofedales, para su evaluación, muchas veces es necesario de un equipo multidisciplinario, que pueda atender todos los subsistemas dentro de este ecosistema. Los bofedales proveen a las poblaciones humanas locales servicios como las áreas de pastoreo, los cuales afectan severamente las comunidades vegetales, si no se tiene un plan de manejo adecuado. Este funcionamiento con sistemas intrínsecamente conectados, incluyendo interacciones entre

subsistemas físicos, ecológicos y sociales tiene las características de sistemas complejos. Desde esta perspectiva, el paradigma agente parece adaptado para conectar datos de glaciología, ecología, agronomía y sociología.

## 2.4. Estrategias de Conservación y Mejora

El desarrollo de estrategias de conservación y mejora tiene como objetivo principal evitar cambios en la estructura y funcionamiento de los bofedales que ocurren debido a las amenazas del tipo antrópico para asegurar el manejo adecuado y sostenible de los recursos de los ecosistemas, dichas estrategias vienen siendo empleadas en diversos programas de recuperación de pastizales con resultados notables. Estas estrategias deben ser implementadas con la participación de los pobladores, para que pueda generar un mayor impacto en su uso, y de esta manera poder asegurar la adopción y manejo sostenible de dichas estrategias Tabla 4.

**Tabla 4: Estrategias y prácticas de mejora de acuerdo a los estados de salud**

Estados de Salud del Bofedal	Estrategias	Practicadas
Bofedal no saludable	Restauración y protección	Tratamiento de agua
		Represamiento
		Revegetación
		Protección de áreas para el descanso permanente o exclusión del pastoreo
		Protección de riveras, ojos de agua y manantiales
Bofedal saludable con problemas de manejo	Restauración y manejo sostenible	Protección de áreas para el descanso permanente o exclusión del pastoreo
		Protección de riveras, ojos de agua y manantiales
		Instalación de cercos y capacitación para la rotación de campos

		Instalación de cercos y capacitación para el descanso rotativo
		Instalación de cercos y capacitación para el diferimiento rotativo
		Reducción en número de animales y generación de mecanismos de retribución
Bofedal saludable	Manejo sostenible	Capacitación en buenas prácticas de manejo de bofedales
		Asistencia técnica en buenas prácticas de manejo de bofedales

Fuente. Flores *et al.* (2015)

- a. Tratamiento de agua: en los bofedales es posible la fitodepuración, que se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas), estas plantas están adaptadas para crecer bajo condiciones de suelos saturados por agua, ya que presentan un sistema de grandes espacios aéreos internos. Y pueden servir como filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas, pueden asimilar nutrientes directamente (esta incluye N, P y metales pesados) y actúan como soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos, que actúan purificando el agua mediante procesos aerobios de degradación (Delgadillo *et al.*, 2010)
  
- b. Represamiento: es posible la construcción de reservorios o depósitos de agua, aprovechando las depresiones naturales del suelo o lagunas naturales, utilizando como insumo tierra compactada que permite captar y almacenar agua proveniente de las lluvias producidas en los meses de diciembre a marzo, para luego ser utilizadas en los meses de mayor escasez. En la zona altoandina, las represas permiten a través de la lenta infiltración del agua una recarga permanente de los acuíferos produciendo el mantenimiento de los bofedales en las partes bajas (Santa Cruz *et al.*, 2008)

- c. Revegetación con especies forrajeras nativas: según el conocimiento ancestral y de acuerdo con la palatabilidad de las especies evidenciada por el comportamiento del ganado, se debe identificar la vegetación forrajera nativa presente en las zonas de pastoreo. Además, determinar las zonas dentro del bofedal, donde hubo presencia de especies forrajeras nativas que hayan sufrido procesos de sobreexplotación, provocando su desaparición. (Santa Cruz *et al.*, 2008)
- d. Protección de áreas para el descanso permanente o exclusión del pastoreo: el descanso permanente de un área se refiere a prevenir el pastoreo, es decir no dejar entrar a los animales en un área determinada para promover un mejor crecimiento de los pastos con la consecuente recuperación de la cobertura vegetal, permitiendo la recuperación de la diversidad florística y la productividad forrajera del bofedal. (Flores, 1999)
- e. Protección de riveras, ojos de agua y manantiales: estos pequeños depósitos temporales de agua, los cuales se generan por el almacenamiento natural durante el periodo de lluvias, son utilizados como abrevaderos para el ganado y la fauna silvestre, para la protección de estos depósitos naturales, se pueden formar taludes inclinados utilizando “champas”, que son porciones rectangulares de tamaño variable de tierra o pasto (Miranda, 2014)
- f. Instalación de cercos y capacitación para la rotación de campos: su función es regular el acceso de animales para permitir el mejor establecimiento, crecimiento y desarrollo de las especies forrajeras, permitiendo sectores de reserva y facilitando el manejo del ganado y la rotación del pastoreo, que significa mover animales de una pastura a otra a base de un programa cuyo objetivo es evitar el pastoreo de las especies claves durante periodos fenológicos críticos (Flores, 1999)
- g. Reducción en número de animales (determinación de la capacidad de carga): debe establecerse la capacidad forrajera del área en cantidad de animales por unidad de superficie. Esto permite un mejor control de la carga animal, lo cual es una labor de administración del ganado en función de la capacidad de carga del área. El pastoreo con camélidos sudamericanos es recomendable porque provoca un menor impacto

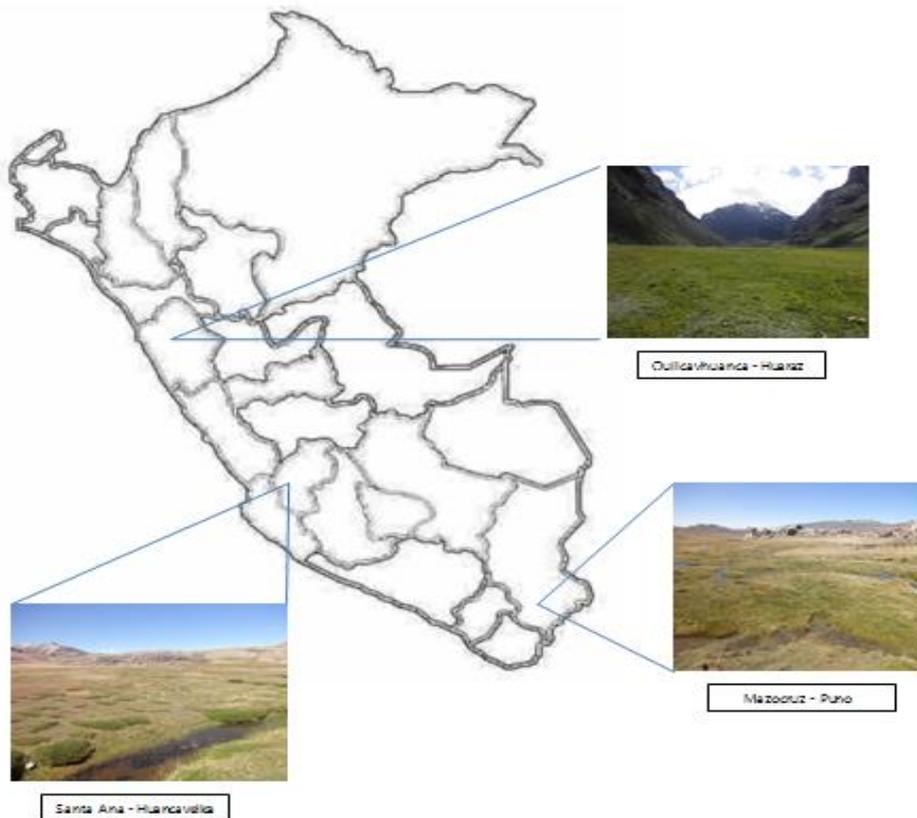
sobre la vegetación, especialmente por una menor intensidad de ramoneo y menor compactación del suelo (Alzérreca *et al.*, 2001).

- h. Mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos: Los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos son los esquemas, herramientas, instrumentos e incentivos para generar, canalizar, transferir e invertir recursos económicos, financieros y no financieros, donde se establece un acuerdo entre contribuyentes y retribuyentes al servicio ecosistémico, orientado a la conservación, recuperación y uso sostenible de las fuentes de los servicios ecosistémicos. (Peña, 2012)

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción de las Áreas de Estudio

El estudio se llevó a cabo en el ecosistema de puna que se localiza por encima de los 3800 m.s.n.m. en zonas alto andinas de bofedales dominada por vegetación de porte corte y siempre verde, en las regiones de Ancash, Huancavelica y Puno. Se seleccionaron bofedales en tres estados de conservación en cada una de las regiones estando estos en condición buena, regular y pobre, los cuales fueron evaluados según las metodologías de evaluación de pastizales de Parker, Pyke, Milton y la propuesta en este estudio. Los bofedales seleccionados tienen diferente origen, por lo tanto reciben suministros de agua de fuentes como deshielo glaciar, subsuperficial, superficial y de precipitación.



a. Bofedales de la región Ancash

Los bofedales evaluados se encuentran en la Quebrada Quilcayhuanca perteneciente al Parque Nacional Huascarán, ubicado en la parte central de la cordillera blanca, en la provincia de Huaraz, Ancash. A una altitud promedio de 3900 m.s.n.m Entre las coordenadas geográficas 9°33'21"- 9°21'55" de latitud Sur y 77°32'33" – 77°17'38" de longitud Oeste. Ocupa geológicamente un abanico deyectivo del río Quilcay, el cual está constituido por materiales fluvio-aluvionales. La temperatura de la quebrada varía de forma descendente con la altitud, llegando el promedio máximo mensual a 13,5°C y el promedio mínimo mensual a -5°C, con una precipitación promedio de 632 mm al año. Comprende un área de 93,57 km<sup>2</sup> con un perímetro de 49,73 km, donde se localizan los glaciares Pucaranra, Tullparaju y Cayesh, y las lagunas Cuchillacocha y Tullparaju, las cuales son las más importantes de la microcuenca Quilcayhuanca por su extensión.

b. Bofedales de la región Huancavelica

Los bofedales evaluados en esta región se encuentran en las comunidades de Santa Ana y Pucapampa en el distrito de Santa Ana, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica. A una altitud de 4100 m.s.n.m Entre las coordenadas geográficas 13°04'19" de latitud Sur y 75°08'24" de longitud Oeste. La temperatura máxima es de 10,8 °C, y el promedio mínimo mensual es – 8 °C, con una precipitación de 772 mm al año. Comprende un área de 622.1 km<sup>2</sup>.

c. Bofedales de la región Puno

Los bofedales evaluados en esta región se encuentran en la comunidad de Mazocruz, distrito de Santa Rosa, provincia del Collao, Puno. Entre las coordenadas geográficas 16°44'40" latitud Sur y 69°42'50" longitud Oeste. A una altitud de 4300 m.s.n.m considerado como una de las zonas más frías del país, es una zona de altiplanicie influenciada por los vientos del sur, cuyas características son un clima frío y seco con nevadas ocasionales que pueden presentarse en cualquier época del año. La temperatura máxima es de 15.8 °C y la temperatura puede llegar hasta -18 °C, con una precipitación de 532 mm al año.

### **3.2. Elaboración del Marco Conceptual y Metodológico**

Para desarrollar el modelo conceptual se revisaron las teorías existentes referentes al estado de salud, para tener una base sobre el adecuado funcionamiento de los ecosistemas, se analizaron los atributos e indicadores que éstos sugieren y en base a un análisis de casos previos se adaptaron dichas teorías de estados de salud al ecosistema de bofedales de alta montaña.

Se utilizó el término salud para referirse a la capacidad de los bofedales para realizar ciertas funciones claves. Este término transmite el significado que todas las piezas que componen el conjunto, están presentes y trabajando juntos. Para los ecosistemas de bofedales, las funciones de un bofedal saludable incluyen: producción primaria neta y producción de forraje para ganado y animales silvestres, su importancia radica en la eficiencia de utilización de energía y agua disponible para la producción máxima de biomasa, mantenimiento del suelo o estabilidad del sitio, necesarios para el mantenimiento de la producción potencial de los bofedales, protege el suelo y le da un soporte estable a largo plazo para la producción de biomasa, almacenamiento de carbono, captura, retención y lenta liberación del flujo de agua, que le confiere una mayor humedad disponible para el crecimiento de plantas y disminuye potenciales erosiones de suelo, ciclaje de energía y nutrientes y diversidad funcional de especies vegetales.

Para estimar el estado ecológico de los atributos y los indicadores que surgieron del modelo conceptual se utilizó un esquema de muestreo estratificado sistemático en áreas de referencia combinando el uso de transeptos con cuadrantes a lo largo de gradientes de conservación. Los estratos fueron los tipos de bofedales, definidos en base a su composición florística y naturaleza hidrológica, y las gradientes los estados de conservación bueno, regular y pobre. El muestreo estratificado sistemático por lo general no incluye la variabilidad entre los estratos. En consecuencia, cuando una población está bien estratificada la variabilidad de las estimaciones basadas en una muestra de tamaño  $n$  se suele ser considerablemente menor que la variabilidad de una estimación basada en una muestra aleatoria (Madow y Madow 1943) y el análisis de gradiente es un enfoque de investigación para el estudio de los patrones espaciales de la vegetación. Se trató de comprender la estructura y la variación de la vegetación de un paisaje en términos de gradientes en el espacio de las variables en tres niveles, factores ambientales, poblaciones de especies y características de las comunidades (Whittaker, 1967). Las medidas directas

de la integridad del sitio y el estado de los procesos ecológicos son difíciles o costosos de medir debido a la complejidad de los procesos y sus interrelaciones. Por lo tanto, los atributos se utilizan a menudo como indicadores del estado funcional de los procesos ecológicos y la integridad del sitio (Pellant y Pyke, 2000)

Para el desarrollo de la metodología se tomaron en cuenta 12 indicadores de vegetación, agua y suelo que corresponden a cada uno de los atributos de integridad biótica, función hidrológica y estabilidad del sistema.

Cada uno de estos indicadores siguió una metodología con los cuales fueron evaluados y monitoreados en campo, y fueron escogidas porque representan una manera simplificada, fácil y de bajo costo realizar la evaluación.

### 1. Biomasa

La biomasa es la cantidad de materia viva producida y acumulada por la vegetación en un área determinada, esta biomasa es originada en un proceso biológico, donde la transformación de energía radiante es llevada a energía química a través de la fotosíntesis. Dicha biomasa vegetal se estimó mediante la técnica del corte y separación manual de plantas que consistió en la extracción de 5 muestras de la cobertura vegetal hasta el ras del suelo, en un área delimitada por un cuadrante metálico de 0.03 m<sup>2</sup>. La cobertura de pasto cortado se colocó en bolsas de polietileno debidamente etiquetados y pesados en fresco. Dichas muestras fueron derivadas posteriormente al Laboratorio de Utilización de Pastizales UNALM para su presecado y deshidratación a 105 °C por 24 horas. Finalmente, las muestras fueron pesadas en seco para obtener el contenido de materia seca (MS) de la biomasa vegetal en g/m<sup>2</sup>, para luego ser expresado en kg MS /ha, mediante la siguiente relación

$$\%MS = (PH - PS) / PS * 100$$

### 2. Mantillo

El mantillo es la capa orgánica del suelo, formada en gran parte por restos vegetales y por la caída de la vegetación senescente, actuando como protección para el suelo, ya que evita la erosión y le confiere humedad, y asegura el ciclaje de nutrientes mediante su descomposición. Este parámetro fue medido de acuerdo a la cantidad de material senescente en pie, sobre la superficie del suelo y en descomposición, se extrajo el mantillo de manera manual en un área delimitada por un cuadrante de 0.03 m<sup>2</sup> y se pesó.

- El mantillo es más o menos uniforme a lo largo del sitio, incluyendo material senescente en pie y en descomposición sobre la superficie del suelo.

Rango 65 – 100%

- La cantidad de mantillo es ligera a moderadamente reducida y son un tanto irregular a lo largo del sitio. El material muerto en pie es menos frecuente.

Rango 35 – 65%.

- La cantidad de mantillo esta reducido o es ausente, la distribución del mantillo está fragmentado a lo largo del sitio.

Rango < 35%

### 3. Materia Orgánica

La materia orgánica resulta de compuestos orgánicos que provienen de restos de animales y plantas, que se encuentran en proceso de descomposición, con alto contenido de carbono. Este parámetro se evaluó en las respectivas áreas representativas de evaluaciones, mediante 5 muestreos de suelos en distintos puntos a lo largo de una transecta de censo de vegetación, a una profundidad de 30 cm. Las muestras se combinaron hasta obtener un kilogramo de muestra por cada parcela de evaluación que posteriormente fueron derivadas al Laboratorio de análisis de suelos - UNALM para su estudio de caracterización físico-químico, lo cual nos determinó la cantidad de materia orgánica en porcentaje.

### 4. Carbono

Es la cantidad de carbono que contienen los compuestos orgánicos del suelo, es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica del suelo, se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos. Este parámetro se halló de manera indirecta, ya que utilizamos el porcentaje que este representa de la materia orgánica previamente hallado, teniendo en cuenta que se considera el 58% del contenido de carbono es la materia orgánica fácilmente asimilable.

$$\%C = \%MO / 1.724$$

## 5. Calidad de agua

La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a las características físicas, químicas y biológicas, se considera que el agua es de buena calidad cuando está exenta de sustancias y microorganismos, así como también de sustancias sensoriales desagradables, como el olor, color, sabor y turbiedad, que sean perjudiciales para los consumidores. Se realizó el análisis in situ de los parámetros como temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) y Sólidos Totales Disueltos (mg/l), utilizando un multiparametro, en fuentes de agua cercanas que alimentaban directamente a los bofedales, tales como; ojos de agua, riachuelos y manantiales.

## 6. Tasa de infiltración

La tasa de infiltración es una medida de la velocidad a la cual el suelo es capaz de absorber la cantidad de agua disponible en la superficie hacia el interior del suelo, disminuyendo así la escorrentía superficial del agua. Este parámetro fue evaluado mediante un infiltrometro, el cual consta de dos anillos que permitió la medición precisa y directa de tiempo mediante temporizador, alarma y tasa de infiltración en escala de medición (en mm).

Este parámetro se midió de manera estratificada, se realizaron 5 mediciones en toda el área de análisis, repartidos en 4 esquinas y uno central.

## 7. Densidad del suelo

La densidad del suelo es un indicador del peso de las partículas sólidas del suelo relacionado con el volumen que ocupan, que está relacionada con la porosidad, un suelo muy poroso es menos denso. La estimación de la densidad del suelo se realizó según el método del cilindro descrito por Blake (1965). Para ello, se utilizaron puntos fijos de muestreo determinados por una transecta marcada con 4 m de distanciamiento entre si y seguidamente se extrajeron muestras de suelo sobre el tapiz natural hasta una profundidad de 10 a 15 cm. Para dicha extracción se colocó un cilindro metálico, de dimensiones 4.1 cm diámetro y 4.9 cm altura, sobre la superficie del terreno en el punto determinado por la transecta y seguidamente se le introdujo mediante golpes en la parte superior. Una vez enterrado, se retiró conjuntamente con el contenido de suelo, que luego fue etiquetado.

Las muestras fueron posteriormente derivadas al Laboratorio de Utilización de Pastizales - UNALM, para el presecado y posterior deshidratación a 105 °C por 24 horas, para luego

obtener el peso seco. La densidad aparente se estimó en función a la relación entre el peso seco y el volumen del cilindro metálico, lo cual representa la relación entre la masa de sólidos y el volumen total del suelo, incluyendo los poros, que finalmente se expresa en  $\text{g/cm}^2$  según la siguiente relación:

$$\text{Densidad aparente} = \text{Masa/Volumen de cilindro}$$

## 8. Signos de Erosión

Los signos de erosión se refieren a las pérdidas absolutas de la capa superficial y nutrientes del suelo, con la consecuente aparición de grietas y surcos. El estado de erosión fue evaluado a través de una apreciación visual del bofedal donde se registró la presencia de cárcavas, surcos, depresiones, y pérdida de cobertura vegetal.

- No hay señales de movimiento de suelo, deposición de suelo o mantillo, plantas en pedestales, arena gruesa o restos de agregados.
- Ligeras evidencias de movimiento de suelo o deposición de suelo/mantillo, plantas en pedestales. La extensión del suelo expuesto es moderado.
- Extremas cantidades de movimiento de suelo o deposición de suelo/mantillo, mayores características de erosión.

## 9. Cobertura del suelo

La cobertura vegetal del suelo se refiere a la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de grupos funcionales que abarcan distintas especies de plantas. La cobertura vegetal se estimó mediante la metodología del censo de vegetación (Parker, 1950) a través del marco puntual modificado y consistió en realizar el conteo de los elementos encontrados en campo a través de una transección al paso. Los censos de vegetación permitieron estimar la cantidad de especies de plantas deseables, poco deseables e indeseables (Flores, 1999), las cuales se sumaron, para finalmente obtener la cobertura vegetal en porcentaje.

## 10. Plantas invasoras

Las plantas invasoras son especies exóticas, cuya introducción puede causar daños ambientales, ya que constituyen una amenaza importante para el medio ambiente debido a que podrían cambiar los hábitats y alterar la función de los ecosistemas y los servicios ambientales. Este parámetro se determinó en base a la lista de especies de plantas encontradas en cada uno de los sitios evaluados, las especies encontradas en los sitios de condición regular y pobre son diferentes a las encontradas en la condición buena, ya que al existir perturbaciones que cambian la estructura y función del ecosistema, aparecen las especies invasoras, que pueden ser reconocidas fácilmente por tratarse de especies que crecen en zonas que se encuentran en proceso de degradación. La frecuencia relativa de estas especies es utilizada como el porcentaje de especies invasoras para cada sitio.

## 11. Fragmentación del hábitat

La fragmentación del hábitat es un proceso de cambios ambientales, que conllevan a la aparición de discontinuidades en el medio ambiente, esto se debe a que el ecosistema pasa por un proceso de división debido a sucesos naturales y a factores antropogénicos. La fragmentación del hábitat fue evaluado a través de una apreciación visual donde se registró la presencia de parches, cantidad, tamaño y cercanía entre parches, los cuales fueron categorizados según:

- No fragmentado, menos del 3% del área esta subdividida en parches, y estos parches son grandes y cercanos, el 97% del área es continua
- Ligeramente fragmentado, entre 3 – 15% del área esta subdividida en parches, estos son de regular tamaño y están un poco alejados los unos de los otros, entre el 45 – 97% del área es discontinua.
- Fragmentado, más de 15% del área esta subdividida en parches pequeños, que están muy alejados los unos a los otros y menos del 45% del área es continua

## 12. Diversidad de especies

La diversidad de especies expresa la riqueza o el número de especies diferentes que están presentes en determinado ecosistema. La diversidad de especies fue determinada mediante el Índice de Shannon con los datos obtenidos en el censo de vegetación realizado a través de una transecta con ayuda del marco puntual modificado, tomando en cuenta la frecuencia de

cada especie, es decir la cantidad de veces que se encuentra dicha especie a lo largo de la transecta. Obteniendo la proporción de cada una de las especies con respecto al total, luego se saca el logaritmo neperiano de la proporción y finalmente se multiplica este logaritmo con la proporción y se suma, finalmente se divide esta suma por el logaritmo neperiano de la cantidad de especies encontradas.

$$\text{Índice de Shanon (H')} = \frac{\sum (P_i * \text{Log}(P_i))}{\text{Log}(n)}$$

Dónde:

Pi: proporción de cada especie

Log: Logaritmo neperiano

N: Número total de especies

### **3.3. Estados de Salud**

Los estados de salud de los bofedales fueron evaluados en campo mediante metodologías estándares utilizadas en pastizales; la propuesta por Milton *et al.* (1998), quien evalúa el estado de salud como la condición de los pastizales de acuerdo a los procesos que mantienen la fertilidad del suelo y la productividad del pastizal, donde se evalúan 5 puntos visualmente que toma en cuenta, la cubierta vegetal, el valor forrajero, la intensidad de la utilización, la demografía de la planta y la protección del suelo. La propuesta por Parker (1950), quien también evalúa el estado de salud como la condición de pastizales como una representación práctica de las principales etapas de sucesión de las comunidades vegetales influenciada por el uso de pastoreo, destinada más hacia la aptitud del ecosistema para el pastoreo de ganado. La propuesta por Pyke *et al.* (2002), quienes propusieron que el estado de salud es el grado en que se encuentran la integridad del suelo, vegetación, agua y aire, así como los procesos ecológicos del ecosistema que se mantienen en equilibrio, lo cual puede ser evaluado por la superposición de tres subconjuntos de indicadores utilizados para estimar los tres atributos del sitio, que se refieren a elementos del ecosistema que no pueden ser medidos directamente, pero se puede aproximar por un conjunto de indicadores observables del sistema.

Y por último la metodología propuesta en esta investigación, la cual plantea 12 indicadores de vegetación, agua y suelo que están asociados a tres atributos, que según el

puntaje obtenido, serán clasificados en bofedal saludable, saludable con problemas de manejo y no saludable. Por último, se definieron umbrales críticos que son valores límites en los cuales se encuentran los indicadores luego de la evaluación en campo, donde los ecosistemas se encuentran en riesgo, ya que los procesos ecosistémicos podrían mejorar y llevar al sistema a un estado saludable, aumentando la capacidad del ecosistema para producir bienes y servicios o podrían seguir degradándose y llevar al sistema a un estado no saludable en tanto que este ya no pueda regresar a un estado anterior y se disminuya la capacidad de producir bienes y servicios (Pellant y Pyke, 2000).

a. Metodología propuesta por Milton

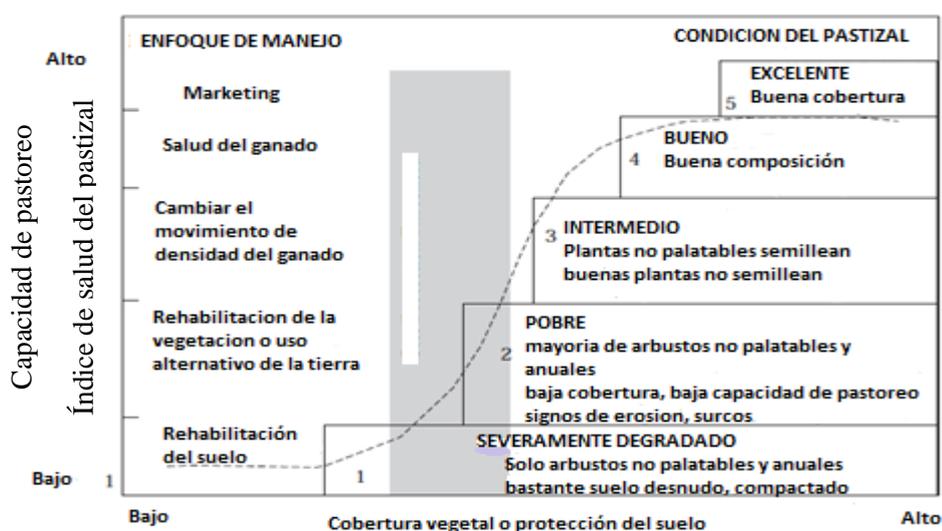
Milton *et al.* (1994) desarrolló una guía de evaluación de salud de los pastizales, la cual consiste en tres secciones: descripción del sitio, registro de pastoreo y evaluación del pastoreo, y toma en cuenta cinco criterios para evaluar la salud de los pastizales: (a) el valor forrajero: ¿qué porcentaje de la vegetación (80, 60, 40, 20, 5) es palatable para el ganado?, La mayoría de los ganaderos están familiarizados con las plantas invasoras y no comestibles comunes y se puede estimar el porcentaje de cobertura representado por posibles plantas forrajeras, (b) la intensidad de pastoreo: la severidad del uso de plantas palatables por el ganado (leve, moderada, severa) el observador sabe que la producción de semillas es probable que se reduzca o se puede prever mediante indicadores de perturbación de grave defoliación, (c) los indicadores de perturbación (de vez en cuando, generalizada, abundante) según la presencia de malezas o plantas anuales o matas, (d) regeneración de plántulas: ¿qué proporción (80,60,40,20, 5) de las plántulas de plantas perennes son especies forrajeras? y (e) salud del suelo y hábitat: ¿cómo se compara la cobertura vegetal (superior, igual, 3/4, 1/2, 1/4) con el valor relativo a lo esperado para el sitio? Tomando como signos (abundante, común, de vez en cuando, ausente) a signos positivos (mantillo, cubierta vegetal) y signos negativos (fragmentación, erosión y pérdida de status hídrico).

Cada uno de estos criterios tiene un puntaje que va del 1 al 5, que finalmente son sumados, y se saca el promedio para obtener un índice (Tabla 5) que está relacionado con el gráfico de protección del sitio y condición del pastizal (Figura 7)

**Tabla 5: Índices de salud del pastizal**

Condición del pastizal	Puntaje
Excelente	Encima de 4.5
Bueno	3.5 – 4.4
Intermedio	2.5 – 3.4
Pobre	1.5 – 2.4
Severamente degradado	Debajo de 1.5

Fuente. Milton *et al.* (1994)



**Figura 7. Modelo por etapas de degradación de los pastizales (Milton *et al.*, 1994)**

b. Metodología propuesta por Parker

Parker desarrolló un método para la determinación de la tendencia de la condición de pastizales que consta de tres pasos que proporciona un medio para la obtención e interpretación de los registros de datos de vegetación y suelo en parcelas de pastoreo, el método sugiere el resumen de los atributos ecológicos en transectas, basado específicamente sobre las tendencias en la composición y abundancia de especies de plantas y en la cobertura del suelo, además propuso un proceso de evaluación para interpretar los datos de campo basado en la comprensión de la dinámica de las comunidades de plantas en el momento de la medición. Los puntajes de la condición del pastizal están basados en el modelo clímax de sucesión vegetal, que como se sabe son limitados para predecir la mayor parte de los procesos ecológicos.

Este método establece el uso de transectas marcadas permanentemente en el campo, donde se hacen las mediciones de los factores del sitio, plantas perennes, vigor, edad y estimación de la erosión, donde se registran 100 datos según lo que se encuentre en el anillo censador que tiene un bucle de ¾ de pulgada de diámetro, que puede ser vegetación, mantillo, roca, pavimento de erosión o suelo desnudo. Las plantas son clasificadas en deseables, poco deseables e indeseables, basados no solo en su valor como forraje para el ganado, sino también de las características ecológicas y cualidades de protección del suelo.

Para fijar un puntaje a la evaluación realizada en el campo utilizando la metodología de Parker modificada por Flórez y Malpartida (1980), desarrollaron una ecuación que involucra a todos los componentes evaluados en campo, así como el rango de puntaje según categoría (Tabla 6). Las especies botánicas encontradas fueron clasificadas taxonómicamente y de acuerdo a su grado de deseabilidad para el ganado en deseables, poco deseables e indeseables (Flores, 1999).

$$\text{Puntaje (0-100\%)} = 0.5 (\text{D\%}) + 0.2 (\text{IF\%}) + 0.2 (\text{CV\%}) + 0.1 (\text{IV\%})$$

Dónde:

D (%): Porcentaje de especies deseables

IF (%): Porcentaje de especies forrajeras (especies deseables y poco deseables)

CV (%): Porcentaje de cobertura vegetal

IV (%): Porcentaje de índice de vigor las plantas claves

**Tabla 6: Rangos de puntajes**

Condición	Rango
E+	91 - 100
E-	81 - 90
B+	71 - 80
B-	61 - 70
R+	51 - 60
R-	41 - 50
P+	31 - 40
P-	21 - 30
MP+	11 - 20
MP-	1 - 10

Fuente. Flores, 1999

c. Metodología propuesta por Pyke

Pyke desarrollo un método cualitativo para evaluar el estado de pastizales en un punto específico en el tiempo, considerando 17 indicadores para evaluar los 3 atributos del ecosistema (integridad biótica, función hidrológica y estabilidad del sitio) para un sitio específico, que incluye; riachuelos, patrones de escurrimiento, pedestales o terracetas, suelo desnudo, cárcavas, erosión eólica y áreas de deposición, movimiento de mantillo, resistencia del suelo a la erosión, degradación o pérdida de la superficie del suelo, composición vegetal con relación a la infiltración, compactación del suelo, grupos funcionales vegetales, mortalidad vegetal, cantidad de mantillo, producción anual, plantas invasoras y capacidad de reproducción. El modelo propone que los criterios para evaluar la salud de los pastizales, se definen mediante estos indicadores en tres atributos principales; la estabilidad del suelo y la función hídrica, la integridad de los ciclos de nutrientes y flujos de energía y presencia de funcionamiento de los mecanismos de recuperación. A cada uno de los indicadores se le asigna de 1 a 5 categorías basadas en la respuesta de lo que se espera para este sitio ecológico; (1) ninguno a ligero, (2) ligero a moderado, (3) moderado, (4) moderado a extremo y (5) extremo, donde los rangos de puntaje van de 0.5 a 5.49 como el mínimo y máximo respectivamente (Tabla 7)

**Tabla7: Puntajes según categorías y sus respectivos rangos**

Puntajes	Categorías	Rangos
1	Ninguno a Ligero	0.5 – 1.49
2	Ligero a Moderado	1.5 – 2.49
3	Moderado	2.5 – 3.49
4	Moderado a Extremo	3.5 – 4.49
5	Extremo	4.5 – 5.49

Fuente. Pyke *et al.* (2002)

#### 4.4. Metodología para estimar el estado de salud de bofedales

En esta investigación se desarrolló una metodología para evaluar la salud de los bofedales, basado en el modelo de Pyke, ya que toma en cuenta los atributos del ecosistema como integridad biótica, función hidrológica y estabilidad del sistema, que por ser variables síntesis son difíciles de medir en campo, ya que abarcan un sin número de procesos e interacciones, pero que pueden ser medidos a través de indicadores de vegetación, suelo y

agua. Se tomaron en cuenta 12 indicadores, los cuales están ligados a uno o más atributos. Esta metodología propone un sistema de calificación, con puntajes que han sido definidos mediante un panel de expertos, para cada uno de los atributos e indicadores.

Para el desarrollo de la metodología, se convocó a un panel experto (Oliver, 2002) conformado por tres expertos, un ecólogo, un manejador de pastizales y un especialista en sistemas de información espacial y ecología del paisaje. Este panel experto asignó valores a cada uno de los atributos propuestos tomando en cuenta su importancia o impacto que este pueda tener en el mantenimiento de la función y estructura del ecosistema.

Para la valoración de los atributos se utilizó la metodología de matriz de comparación por parejas utilizando la escala fundamental (Tabla 8) del proceso analítico jerárquico, que va del 1 al 9 en orden de importancia (Saaty, 2008).

**Tabla 8: Escala Fundamental**

Intensidad de importancia en una escala absoluta	Definición	Explicación
1	La misma importancia	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	Moderada importancia de uno sobre otro	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
5	Importancia esencial o fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
7	Muy fuertemente importante	Una actividad está fuertemente favorecida y su dominio demostrado en la práctica
9	Importancia extrema	La evidencia a favor de una actividad sobre otra es del más alto nivel posible de afirmación
2,4,6,8	Los valores intermedios entre las dos sentencias adyacentes	Cuando se necesita
Recíprocos	Si la actividad i tiene uno de los números anteriores que se le asignen en comparación con la actividad j, entonces j tiene el valor recíproco cuando se compara con i	
Racionales	Relaciones de derivados de la escala	Si la consistencia se ve obligada mediante la obtención de valores numéricos para atravesar la matriz

Fuente. Saaty, 2008

Esta escala permite calificar a cada atributo según la jerarquía o importancia ecológica de cada uno con respecto a los otros, se construye la matriz de comparación por parejas (Tabla 9) tomando como punto de partida la pregunta de importancia relativa de cada fila con respecto a cada columna; ¿A es más importante que B? y ¿cuánto más importante es este con respecto al otro?, para los recuadros equivalentes se coloca la inversa del número, y en los recuadros donde la comparación se hace con el mismo elemento, se coloca el número 1, luego se normaliza la tabla de la matriz de comparación por parejas (Tabla 10) con cada una de las sumatorias totales para finalmente promediar los valores normalizados para hallar la prioridad relativa de cada uno de los elementos que estamos comparando.

**Tabla 9: Matriz de comparación en parejas**

	A	B	C
A	1	x	Y
B	1/x	1	1/z
C	1/y	z	1
Total ( $\Sigma$ )	$\Sigma A$	$\Sigma B$	$\Sigma C$

Donde A, B y C son los elementos que estamos comparando, x, y, z son los puntajes que se obtiene al comparar cada uno de los elementos, colocando los valores recíprocos 1/x, 1/y y 1/z en los recuadros correspondientes.

**Tabla 10: Normalización de la matriz de comparación por parejas**

A	$1/\Sigma A$	$x/\Sigma B$	$y/\Sigma C$	$(1/\Sigma A + x/\Sigma B + y/\Sigma C)/3$	%
B	$1/x/\Sigma A$	$1/\Sigma B$	$1/z/\Sigma C$	$(1/x/\Sigma A + 1/\Sigma B + 1/z/\Sigma C)/3$	%
C	$1/y/\Sigma A$	$z/\Sigma B$	$1/\Sigma C$	$(1/y/\Sigma A + z/\Sigma B + 1/\Sigma C)/3$	%
Total	1	1	1	1	100

La normalización de la matriz de comparación por parejas se obtiene al dividir cada uno de los valores obtenidos en las comparaciones con la sumatoria total de cada columna, luego se suma cada fila y se saca el promedio, finalmente este promedio se lleva a porcentaje.

Una vez definidos los valores porcentuales para cada atributo e indicador, se realizó un análisis multicriterio para calificar los respectivos rangos de los indicadores, los cuales tienen una ponderación total de acuerdo al valor de cada indicador al que pertenecen y

fueron calificados según el grado de importancia dentro de cada atributo. El análisis multicriterio consiste en emitir un juicio comparativo entre medidas heterogéneas y ofrece la ventaja de proporcionar un método transparente para la ponderación de variables individuales sobre la base de la investigación empírica y la teoría existente (Eakin y Bojórquez-Tapia, 2008).

### 3.4. Validación de la Métrica para Estimar el Estado de Salud

Para realizar la validación de la metodología, utilizamos métodos estadísticos no paramétricos, a partir de la comparación entre la metodología propuesta y el promedio de los métodos estándares de evaluación de pastizales, este tipo de prueba es menos exigente con el tamaño de muestra y normalmente son usadas cuando los datos son ordinales, no cumplen el tamaño de la muestra, igualdad de varianzas, tipo de distribución, etc. Para analizar la similitud de los bofedales de acuerdo a su estado de salud, se agruparon mediante un análisis de conglomerados con el programa SPSS 19, en función a su similitud de acuerdo al estado de salud al que corresponden según las metodologías evaluadas.

Para hallar el grado de correlación entre los puntajes obtenidos mediante la evaluación con la metodología propuesta y los puntajes obtenidos con las metodologías estándares de evaluación de pastizales, se realizó la prueba estadística no paramétrica del índice de correlación de Pearson. Para aplicar este procedimiento, se normalizaron los resultados, ya que estaban en diferentes escalas, llevándolos a una sola escala, de 0 a 10. Los datos fueron analizados con el programa SPSS 19. Los valores de correlación de Pearson van de -1 a +1, pasando por el cero el cual corresponde a ausencia de correlación, y los valores cercanos a 1 como un mayor grado de correlación.

El coeficiente de correlación de Pearson fue definido por la siguiente expresión:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

dónde:

- $\sigma_{XY}$ : es la covarianza de (x, y)
- $\sigma_X$ : es la desviación estándar de la variable x
- $\sigma_Y$ : es la desviación estándar de la variable y

El coeficiente de correlación de Pearson hace referencia a la media de los productos cruzados de las puntuaciones estandarizadas de x e y. Esta fórmula reúne algunas propiedades que la hacen preferible a otras. Al operar con puntuaciones estandarizadas es un índice libre de escala de medida.

Se establecieron dos hipótesis que fueron probadas mediante el análisis de correlación de Pearson:

H<sub>0</sub>: no existe correlación entre las dos variables de estudio

H<sub>1</sub>: existe correlación entre las dos variables de estudio

Para determinar si el promedio de los puntajes obtenidos en campo mediante evaluaciones realizadas con metodologías estándares están relacionados con los puntajes obtenidos mediante la metodología propuesta se realizó el análisis de chi cuadrado, ya que esta prueba mide la relación entre dos variables nominales, comparando las frecuencias observadas con el modelo teórico (frecuencias esperadas). Cuando se analizan los resultados de una posible relación, es necesario conocer si los resultados obtenidos se alejan significativamente de los resultados esperados, y si este alejamiento no es significativo y puede atribuirse al azar o es significativa y otras variables diferentes al azar están influyendo en nuestros resultados.

Se establecieron dos hipótesis que fueron probadas mediante el análisis de Chi-Cuadrado:

H<sub>0</sub>: los valores observados están relacionados con los valores esperados

H<sub>1</sub>: los valores observados no están relacionados con los valores esperados

Estadístico

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

dónde:

- O<sub>i</sub>: valores observados
- E<sub>i</sub>: valores esperados

Para separar los promedios obtenidos por los diferentes métodos se realizó el análisis de varianza de una clasificación por rangos de Kruskal – Wallis, debido a que se trata de una prueba alternativa no paramétrica al modelo ANOVA de una vía para comparar más de dos grupos independientes, cuando este test nos da resultados significativos quiere decir que, en al menos dos grupos, hay diferencias pero no sabemos en cuáles de ellos (ni cuantas hay). Esto se hizo para demostrar que los puntajes obtenidos mediante las cuatro metodologías aplicadas para evaluar el estado de salud de los bofedales son similares.

Para saber que grupos difieren entre si se utilizan pruebas post- hoc (comparaciones dos a dos controlando la significación) y se asume que todos los datos provienen de la misma distribución.

Se plantearon las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: No existen diferencias estadísticamente significativas entre los métodos.

H<sub>1</sub>: Existen diferencias estadísticamente significativas entre los métodos.

Estadístico:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^K \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N + 1)$$

dónde:

H: estadístico de contraste de Kruskal-Wallis

N: número total de casos

R: Rango calculado

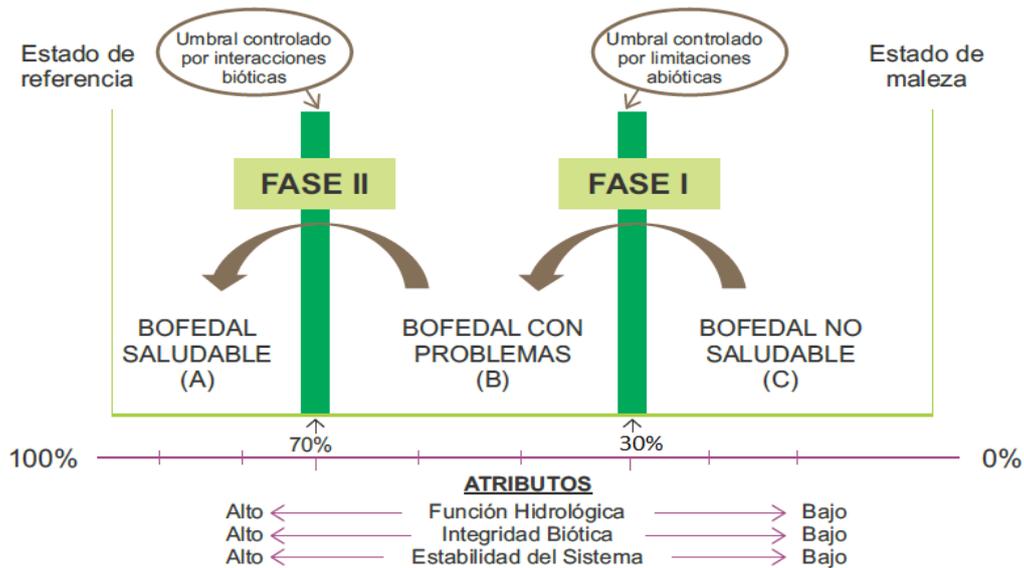
n: número de elementos del grupo al que le corresponde cada rango

k: número de grupos

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Marco Conceptual y Metodológico**

El modelo considera tres estados; saludable, saludable con problemas de manejo y no saludable, que transitan a través de dos fases, la primera fase o fase I involucra pasar del estado no saludable a uno con problemas de manejo, corrigiendo aquellos aspectos de orden abiótico (por ejemplo, erosión del suelo, calidad de agua, pérdida de materia orgánica, entre otros). La segunda fase o fase II considera pasar del estado saludable con problemas de manejo a uno 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). También es necesario tener en cuenta los umbrales, que son valores críticos que establecen el límite entre dos estados de conservación. Existen dos tipos de umbrales; i) el umbral biótico, define niveles mínimos en que se encuentran los procesos ecológicos de acumulación de biomasa, productividad, florística y capacidad reproductiva de las plantas, con solo prácticas de manejo se puede retornar al estado anterior; 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. (Figura 8)



**Figura 8. Estados transicionales del ecosistema de bofedal, adaptado de Pyke *et al.* (2002)**

Un sistema ecológico es saludable y libre de "síndrome de dificultad" si es estable y sostenible, es decir, si está activo mantiene su organización y autonomía en el tiempo, y es resistente al estrés (Constanza, 1992).

Se definieron los estados de salud de los bofedales en base a la observación de los diferentes estados encontrados en campo, tratando de explicar de una manera resumida el estado de algunos indicadores, de vegetación, agua y suelo que definen el comportamiento de los atributos, para poder tener una definición aproximada de los tres estados propuestos para bofedales; saludable, saludable con problemas de manejo y no saludable.

a. Bofedal saludable

Bofedales cuya estructura y función ecosistémica no ha sido alterada, y en los cuales se asume el nivel de manejo es adecuada.

- 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 claves están presentes.

- ii. Función hidrológica: la lluvia penetra el perfil del suelo con facilidad durante la época seca en bofedales temporales; 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.

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.

- i. Integridad biótica: la biomasa disponible se ha reducido notablemente, alrededor del 30 al 69% de la producción proviene de plantas nativas deseables, además estas plantas deseables han perdido su valor. Las plantas claves 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, aunque las diferentes fuentes de aguas 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.

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.

- i. Integridad biótica: estos bofedales contienen solo de 0 a 25% de plantas deseables, las plantas invasoras se tornan abundantes y vigorosas. Las plantas claves han desaparecido. La productividad vegetal disminuye 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 disminuye notablemente.

- iii. Estabilidad del sistema: el suelo esta 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.

El marco metodológico desarrollado contempló un conjunto de 12 indicadores cuantitativos y cualitativos de vegetación, agua y suelo que representan componentes de los atributos, los que por tratarse de una variable síntesis son difíciles de medir directamente (Flores *et al.*, 2015). En este estudio, los indicadores fueron parámetros o características observables del ecosistema fáciles de evaluar y que brindan información sobre el estado en que se encuentra cada uno de los atributos y en consecuencia permiten el adecuado diagnóstico y monitoreo del estado de salud.

Cada uno de estos indicadores fue medido en campo de una manera simple y de bajo costo, ya que las metodologías utilizadas para evaluar cada uno de los indicadores en campo, requirieron de un mínimo esfuerzo.

Se escogieron 12 indicadores, de los cuales 4 de ellos están relacionados con el atributo integridad biótica (producción de biomasa, cantidad de mantillo, materia orgánica y cantidad de carbono acumulados). Los siguientes 3 indicadores están relacionados al atributo función hidrológica, que incluyen la calidad del agua, tasa de infiltración y densidad del suelo, y por último 5 indicadores relacionados con el atributo estabilidad del sistema (signos de erosión, grado de cobertura del suelo, plantas invasoras, fragmentación del hábitat y diversidad de especies). Para evaluar cada uno de los indicadores en campo, se establecieron los métodos más sencillos para que puedan ser evaluados con facilidad (Tabla 11)

**Tabla 11: Relación de atributos e indicadores de la salud de bofedales.**

<b>Atributo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Método de Evaluación</b>
<b>Integridad Biótica</b>	Biomasa	Kg MS/Ha	Corte y separación manual
	Mantillo	Kg MS/Ha	Corte y separación manual
	Materia Orgánica	%	Oxidación con dicromato de potasio
	Carbono	%	Estimación a partir de la materia orgánica

<b>Función Hidrológica</b>	Calidad de Agua	pH, Solidos totales disueltos y Conductividad eléctrica	Kit multiparametro
	Capacidad de Infiltración	mm/seg	Infiltrometro
	Densidad del Suelo	g/cm <sup>3</sup>	Método del cilindro
<b>Estabilidad del Sistema</b>	Signos de Erosión	%	Apreciación visual
	Grado de Cobertura del Suelo	%	Método del cuadrante
	Plantas Invasoras	%	Marco puntual modificado
	Fragmentación del Hábitat	%	Apreciación visual
	Diversidad de Especies	Florística, Riqueza	Índice de Shanon

Fuente. Flores *et al.* (2015)

Una vez definidos los indicadores, cada uno con su respectivo parámetro y método de evaluación en campo, se definieron los rangos de variación para cada uno de ellos (Tabla 12), utilizando para ello datos obtenidos de estudios previos donde se muestran valores de indicadores para diferentes estados de salud del bofedal. Para lograr este objetivo se analizaron los estudios de condición de bofedales y se fijaron rangos de valor para cada indicador y su correspondiente atributo que corresponden a los límites de puntaje entre condiciones ecológicas buenas, regulares y pobres. Se tomaron los valores máximos y mínimos que se encontraron en campo según la literatura y se establecieron los rangos de valores.

El modelo desarrollado asignó de 1 a 5 categorías (extremo, moderado a extremo, moderado, ligero a moderado y ninguno a ligero) a cada indicador, 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).

**Tabla 12: Rangos de valores según categoría**

Atributos	Indicadores	Unidades	Extremo	Moderado a extremo	Moderado	Ligero a moderado	Ninguno a ligero	
<b>Integridad Biótica</b>	Biomasa	Kg MS/ha	>1000	769 - 1000	534 - 768	300 - 533	<300	
	Mantillo	Kg MS/ha	>100	77 - 100	54 - 76	30 - 53	<30	
	Materia Orgánica	(%)	>80	60 - 80	40 - 59	20 - 39	<20	
	Carbono	(%)	>46	34 - 46	22 - 33	10 - 21	<10	
<b>Función Hidrológica</b>	Calidad del Agua	pH	>7.5	6.35 – 7.5	5.2 – 6.4	4 – 5.1	<4	
		TDS	mg/L	<23	23 - 75	76 - 129	130 - 184	>184
		CE	µS/seg	>152.9	111 – 152.9	69.8 - 110	28.2 – 69.7	<28.2
	Densidad aparente	(g/cm <sup>3</sup> )	<0.09	0.10 – 0.42	0.43 – 0.72	0.73 – 1.03	>1.03	
	Tasa de infiltración	mm/hora	>70	31 - 70	11 - 30	5 - 10	<5	
<b>Estabilidad del Sistema</b>	Cobertura	(%)	>95	83 - 95	71 - 82	60 - 70	<60	
	Signos de erosión	(%)	<5	5 - 15	16 - 25	26 - 35	>35	
	Plantas invasoras	(%)	<10	10 - 20	21 - 34	35 - 50	>50	
	Fragmentación del hábitat	(%)	<3	3 - 7	7 - 11	11 - 15	>15	
	Diversidad de especies	(%)	>2.17	1.59 – 2.17	0.99 – 1.58	0.38 – 0.98	<0.38	

Los datos de los valores para cada uno de los indicadores fueron encontrados en la literatura, en evaluaciones de diferentes bofedales, donde se tomaron los valores menores y mayores, restando el valor mayor del valor menor y dividiendo este resultado por tres, para obtener los valores del medio, ya que los extremos están considerados como valores por encima del máximo o por debajo del mínimo, resultando así un rango para cada una de las 5 categorías asignadas.

Dichas categorías, reflejan el grado de alejamiento de lo que se podría encontrar en las áreas de referencia, es decir, para el indicador cantidad de biomasa, la categoría extremo nos indica que el valor encontrado excede el 90% de la producción potencial para el sitio, por el contrario para la categoría ninguno a ligero estaría indicando que el valor está por debajo del 20% de la producción potencial. De otro lado, aquellos indicadores que

podrían ser negativos para estimar el estado de salud, se toman de manera contraria, es decir, para el indicador de plantas invasoras, la categoría extremo nos indica que el valor encontrado está por debajo del 10% o que tiene poca presencia en el área, y para la categoría ninguno a ligero, representa que el valor encontrado sobrepasa el 50% del área o que dominan la cobertura vegetal.

En este estudio se definieron los valores umbrales (Tabla 13), a partir de los rangos establecidos de los estudios previos analizados, para definir el umbral controlado por interacciones bióticas, se tomaron los valores mínimos del rango de la categoría moderado a extremo (establecido como los valores que se podrían encontrar en un bofedal de condición buena) y para definir el umbral controlado por interacciones abióticas, se tomaron los valores máximos del rango de la categoría ligero a moderado (establecido como los valores que se podrían encontrar en un bofedal de condición pobre) Es difícil definir valores para los umbrales, debido a que los bofedales son ecosistemas dinámicos, y no se podrían establecer valores exactos ya que cada sitio presenta sus propias complejidades, es decir hay algunos bofedales que tienen mayor capacidad de recuperación frente a cambios derivados de diversas fuerzas perturbadoras, por lo que los valores límites entre un estado de salud y otro podrían ser más extensos, haciendo que los umbrales varíen según las características funcionales y estructurales de cada bofedal y la sensibilidad de cada uno de los indicadores.

**Tabla 13: Valores de umbrales bióticos y abióticos**

<b>Atributos</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Rango</b>	<b>Umbral controlado por interacciones bióticas</b>	<b>Umbral controlado por interacciones abióticas</b>
<b>Integridad Biótica</b>	Biomasa	Kg MS/ha	300 - 1000	769	533
	Mantillo	Kg MS/ha	30 - 100	77	53
	Materia Orgánica	(%)	20 - 80	60	39
	Carbono	(%)	10 - 46	34	21
<b>Función Hidrológica</b>	pH		4 -7.5	6.35	5.1
	Solidos totales disueltos	mg/L	184 -23	75	130

	Conductividad eléctrica	μS/seg	28.2 – 152.9	111	69.7
	Densidad aparente	(g/cm <sup>3</sup> )	0.09 – 1.03	0.42	0.73
	Tasa de infiltración	mm/hora	70 - 5	31	10
<b>Estabilidad del Sistema</b>	Cobertura	(%)	60 - 95	83	70
	Signos de erosión	(%)	5 - 35	15	26
	Plantas invasoras	(%)	10 - 50	20	35
	Fragmentación del hábitat	(%)	3 -15	7	11
	Diversidad de especies	(%)	0.38 – 2.17	1.59	0.98

El umbral controlado por interacciones bióticas se refiere a los valores límite de cada indicador, cuando el bofedal sobrepasa dicho umbral, que se refiere a la pérdida de biomasa, mantillo, calidad de agua, incremento de plantas invasoras, etc. El estado de salud varia de un estado saludable a uno con problemas de manejo o en riesgo, pero si las fuerzas perturbadoras continúan o se vuelven más intensas, los bofedales pueden sobrepasar el umbral controlado por interacciones abióticas, que se refiere a la pérdida de cobertura vegetal, incremento de los signos de erosión y fragmentación del hábitat, reducción en la tasa de infiltración, etc. El estado de salud varia de un estado saludable pero con problemas de manejo a uno no saludable, en ambos casos los valores límites para cada indicador varían, debido a que los indicadores están conectados e interaccionan unos con otros, por ejemplo, si se reduce la cobertura vegetal, la superficie del suelo es más susceptible a la erosión y fragmentación con la consecuente disminución de la producción de biomasa.

#### **4.2. Desarrollo de un Sistema de Calificación**

El modelo desarrollado contempló un sistema de calificación, basado en la valoración de cada uno de los atributos e indicadores con puntajes asignados por expertos, utilizando el proceso analítico jerárquico, donde cada uno de los expertos asignaron valores a los atributos según el grado de importancia que resulta de la comparación de cada uno de ellos respecto de los otros.

Se construyó la matriz de comparación por parejas para los atributos (Tabla 14) y se formuló la pregunta para cada atributo; ¿integridad biótica juega un rol más importante que función hidrológica en el mantenimiento de la estructura y función del ecosistema

bofedal?, ¿Cuánto más importante según la escala?, se calificó de acuerdo a los promedios de los puntajes asignados por el panel de expertos, luego se halló la matriz normalizada y finalmente se obtuvo la prioridad relativa de cada uno de los atributos comparados.

**Tabla 14: Matriz de comparación en parejas de los atributos**

	Integridad Biótica	Función Hidrológica	Estabilidad del Sistema	Matriz Normalizada			Ponderación	Prioridad Relativa (%)
Integridad Biótica	1	1/5	1/3	0.111	0.048	0.2	0.1196	11.96
Función Hidrológica	5	1	1/3	0.556	0.238	0.2	0.331	33.12
Estabilidad del Sistema	3	3	1	0.333	0.714	0.6	0.549	54.92
Total ( $\Sigma$ )	9	4.2	1.67	1	1	1	1	100

Según la opinión de los expertos, al comparar los atributos, coinciden que el atributo función hidrológica es fuertemente más importante (5) que la integridad biótica y que el atributo estabilidad del sistema es moderadamente más importante (3) que la integridad biótica y que la función hidrológica. Obteniendo finalmente las prioridades relativas para cada uno de los atributos, 11.96% para integridad biótica, 33.12% para función hidrológica y 54.92% para estabilidad del sistema.

Finalmente se realizaron las matrices por comparación de parejas de cada uno de los indicadores, dentro de cada atributo.

a. Integridad Biótica

Para la valoración de cada uno de los indicadores que se encuentran dentro de este atributo, fue necesario tener en cuenta la definición del atributo, para poder establecer de manera más adecuada la importancia de cada indicador, ya que depende del rol que desempeñan cada uno de estos dentro del atributo, entonces se construyó la matriz de comparación en parejas de los indicadores del atributo integridad biótica (Tabla 15) y se formuló la pregunta para cada indicador; ¿biomasa juega un rol más importante que mantillo en el mantenimiento de la integridad biótica, definida como la 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? ¿Cuánto más importante según la escala?

**Tabla 15: Matriz de comparación en parejas de indicadores de integridad biótica**

	Biomasa	Mantillo	Materia Orgánica	Carbono	Matriz Normalizada				Ponderación	Prioridad Relativa (%)
Biomasa	1	5	1	1	0.312	0.625	0.25	0.25	0.3593	35.93
Mantillo	1/5	1	1	1	0.063	0.125	0.25	0.25	0.1719	17.19
Materia Orgánica	1	1	1	1	0.312	0.125	0.25	0.25	0.2344	23.44
Carbono	1	1	1	1	0.312	0.125	0.25	0.25	0.2344	23.44
Total ( $\Sigma$ )	3.2	8	4	4	1	1	1	1	1	100

De acuerdo a la opinión de los expertos, al comparar los indicadores del atributo integridad biótica, coinciden que el indicador biomasa es fuertemente más importante (5) que el mantillo y que las demás comparaciones entre indicadores tienen la misma importancia. Obteniendo finalmente las prioridades relativas para cada uno de los indicadores, 35.93% para biomasa, 17.19% para mantillo, 23.44% para materia orgánica y 23.44% para carbono.

**b. Función Hidrológica**

Se construyó la matriz de comparación en parejas de los indicadores del atributo función hidrológica (Tabla 16) y se formuló la pregunta para cada indicador; ¿calidad de agua juega un rol más importante que densidad del suelo en el mantenimiento de la función hidrológica, definida como la capacidad del bofedal para capturar, almacenar y regular la provisión de agua en cantidad y calidad a lo largo del año, asegurando y un adecuado abastecimiento a fuentes claves, ríos, puquios y manantiales? ¿Cuánto más importante según la escala?

**Tabla 16: Matriz de comparación en parejas de indicadores de función hidrológica**

	Calidad de Agua	Densidad	Tasa de infiltración	Matriz Normalizada			Ponderación	Prioridad Relativa (%)
Calidad de Agua	1	1/7	1/7	0.07	0.067	0.067	0.07	6.66
Densidad del suelo	7	1	1	0.47	0.467	0.467	0.47	46.67
Tasa de Infiltración	7	1	1	0.47	0.467	0.467	0.47	46.67
Total ( $\Sigma$ )	15	2.14	2.14	1	1	1	1	100

Según la opinión de los expertos, al comparar los indicadores del atributo función hidrológica, coinciden que el indicador densidad del suelo y la tasa de infiltración son muy fuertemente más importantes (7) que la calidad del agua y que la densidad del suelo y la tasa de infiltración tienen la misma importancia. Obteniendo finalmente las prioridades relativas para cada uno de los indicadores, 6.66% para calidad del agua, 46.67% para densidad del suelo y 46.67% para tasa de infiltración.

c. Estabilidad del Sistema

Se construyó la matriz de comparación en parejas de los indicadores del atributo estabilidad del sistema (Tabla 17) y se formuló la pregunta para cada indicador; ¿cobertura del suelo juega un rol más importante que signos de erosión en el mantenimiento de la estabilidad del sistema, definida como la capacidad del bofedal para limitar la pérdida del suelo, nutrientes y materia orgánica necesarios para asegurar un adecuado nivel de resistencia del sistema a las perturbaciones bióticas y abióticas? ¿Cuánto más importante según la escala?

**Tabla 17: Matriz de comparación en parejas de los indicadores de estabilidad del sistema**

	Cob.	Sig. de Erosion	Plantas Invasoras	Frag. del hábitat	Div.	Matriz Normalizada					Pond.	Prioridad Relativa (%)
Cobertura	1	6.33	5	1	0.33	0.187	0.333	0.371	0.081	0.18	0.23	23.0
Sig. de erosión	1/6.33	1	1/3.66	1/3	1/5	0.029	0.053	0.02	0.027	0.11	0.047	4.72
Plantas invasoras	1/5	3.66	1	5	1/7	0.037	0.19	0.074	0.405	0.08	0.157	15.72
Frag. del hábitat	1	3	1/5	1	1/5	0.187	0.16	0.015	0.081	0.11	0.109	10.94
Diversidad	3	5	7	5	1	0.56	0.26	0.52	0.405	0.53	0.456	45.62
Total ( $\Sigma$ )	5.358	19	13.473	12.33	1.876	1	1	1	1	1	1	100

Según la opinión de los expertos, al comparar los indicadores del atributo estabilidad del sistema, coinciden que el indicador cobertura del suelo está entre fuertemente y muy fuertemente más importante (6.33) que signos de erosión, también es fuertemente más importante (5) que plantas invasoras, pero el indicador plantas invasoras es moderadamente más importante (3.66) que signos de erosión y fuertemente más importante (5) que fragmentación del hábitat, pero el indicador fragmentación del hábitat es moderadamente más importante (3) que signos de erosión, y finalmente el indicador diversidad de especies es más importante que los demás indicadores. Obteniendo finalmente las prioridades relativas para cada uno de los indicadores, 23% para cobertura del suelo, 4.72% para signos de erosión, 15.72% para plantas invasoras, 10.94% para fragmentación del hábitat y 45.62% para diversidad de especies.

El proceso de análisis jerárquico, genera escalas relativas de medición, las mediciones de un conjunto de objetos en una escala estándar se pueden convertir en escalas relativas de mediciones a través de la normalización, que luego reflejaran la prioridad relativa de cada elemento comparado para establecer una jerarquía en base a números porcentuales.

### 4.3.Consistencia de Expertos

Una vez obtenidas las prioridades relativas de cada uno de los atributos e indicadores, se realizó la consistencia de los expertos dentro de cada comparación en la matriz, para evaluar si las opiniones de los expertos fueron consistentes dentro de cada comparación. Esto quiere decir que si los resultados de cada matriz se acercan a la realidad.

El juicio de expertos es la columna vertebral del proceso analítico jerárquico, por lo tanto los puntajes obtenidos dependen, en gran medida, de la credibilidad de los expertos y la calidad de opinión de los expertos.

#### a. Atributos

Se construyó la matriz de consistencia de expertos para evaluar los atributos (Tabla 18) Dentro de los cuales, las opiniones de los expertos coincidieron, para cada una de las comparaciones realizadas dentro de los tres atributos presentados, es decir que cada uno de los expertos asigno el mismo valor para cada comparación.

**Tabla 18: Matriz de consistencia para los atributos**

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Promedio	Desv.	cv
Integridad Biótica	1/5	1/5	1/5	0.2	0	0
Función Hidrológica	5	5	5	5	0	0
Estabilidad del Sistema	3	3	3	3	0	0

Se halló el coeficiente de variación de cada uno de los atributos, para hallar la variabilidad en relación con el promedio obtenido de los puntajes asignados por los expertos. Obteniendo cero para todos los atributos, esto quiere decir que existe homogeneidad en los valores de las variables, por lo que podemos decir que es una matriz consistente.

## b. Indicadores

Se construyó la matriz de consistencia de expertos para evaluar cada uno de los indicadores dentro de cada atributo.

Para los indicadores de integridad biótica (Tabla 19), la opinión de los expertos fue bastante similar, por lo que se obtuvo un coeficiente de variación cero, señalando que no existen diferencias entre las opiniones de los expertos, por lo tanto obtuvimos matrices consistentes.

**Tabla 19: Matriz de consistencia para los indicadores de integridad biótica**

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Promedio	Desv.	cv
Biomasa	5	5	5	5	0	0
Mantillo	1/5	1/5	1/5	0.2	0	0
Materia Orgánica	1	1	1	1	0	0
Carbono	1	1	1	1	0	0

Para los indicadores de función hidrológica (Tabla 20), la opinión de los expertos también fue similar, por lo que se obtuvo un coeficiente de variación cero, concluyendo que la matriz es bastante homogénea y consistente.

**Tabla 20: Matriz de consistencia para los indicadores de función hidrológica**

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Promedio	Desv.	cv
Calidad de Agua	0.14	0.14	0.14	0.14	0	0
Densidad del suelo	7	7	7	7	0	0
Tasa de Infiltración	1	1	1	1	0	0

Para el caso de los indicadores de estabilidad del sistema (Tabla 21), si encontramos diferencias entre las opiniones de los expertos en la mayoría de los indicadores, por lo que se tuvo que citar a una nueva reunión de expertos para evaluar mejor los indicadores presentados y poder establecer una jerarquía entre ellos.

En la segunda reunión de los expertos, se llegó a un consenso sobre la pregunta de importancia relativa, ya que anteriormente no se estaba tomando en cuenta. Por lo que para la mayoría de indicadores, las opiniones fueron bastante similares, y solo tuvieron diferentes opiniones en dos de ellos, generando así una matriz más consistente.

**Tabla 21: Matriz de consistencia para los indicadores de estabilidad del sistema**

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Promedio	Desv.	cv
Cobertura	1	1	1/3	0.7	0.39	0.56
Signos de erosión	1/5	1/5	1/5	0.2	0	0
Plantas invasoras	1/3	1/3	1/3	0.33	0	0
Fragmentación del hábitat	5	5	5	5	0	0
Diversidad de especies	1	1	3	1.67	1.15	0.68

La experiencia ha demostrado, sin embargo, que existen dificultades a menudo en prácticas de verificación de predicciones, y la determinación de la precisión, como una medida de la calidad de los juicios de evaluación de la consistencia se vuelve difícil cuando las características de las variables que fueron juzgadas están en constante cambio.

#### 4.4.Escala de Calificación

La escala de calificación fue desarrollada usando el análisis multicriterio, de acuerdo a las prioridades relativas de cada atributo y sus respectivos indicadores, llevando los valores de los indicadores hacia una nueva prioridad relativa, con relación a la prioridad de los atributos, obteniendo nuevos valores, que fueron usados para definir puntajes de acuerdo a los rangos de cada categoría, los cuales actúan como fronteras para clasificar el estado en que se encuentran la estructura y función de los bofedales en base a los atributos e indicadores.

##### a. Integridad biótica

Para el atributo de integridad biótica, como ya se mencionó antes, se tienen 4 indicadores, para cada uno de ellos se halló su prioridad relativa de acuerdo al porcentaje que representan dentro del atributo (Tabla 22), es decir que para biomasa que en una escala de

100% su prioridad relativa era de 35.94%, ahora es llevado al 11.96% que representa el atributo, por lo que su nuevo valor es de 4.30%, así mismo para mantillo que ahora representa el 2.06% y la materia orgánica y el carbono que ambos representan el 2.80%

**Tabla 22: Escalas de valoración del atributo integridad biótica**

		Prioridad relativa	Pesos	Rangos
Integridad Biótica (11.96%)	Biomasa (35.94%)	4.30	0	<20% del área de referencia
			1.08	20 – 45%
			2.15	46 – 70%
			3.23	71 – 90%
			4.30	>90%
	Mantillo (17.19%)	2.06	0	<20% del área de referencia
			0.52	20 – 45%
			1.03	46 – 70%
			1.55	71 – 90%
			2.06	>90%
	Materia Orgánica (23.44%)	2.80	0	<15% del área de referencia
			0.70	15 - 35%
			1.40	35 - 55%
			2.10	56 – 80%
			2.80	>80%
	Carbono (23.44%)	2.80	0	<15% del área de referencia
			0.70	15 - 35%
			1.40	35 - 55%
			2.10	56 – 80%
			2.80	>80%

Finalmente se sacaron los pesos, al dividir el valor de la prioridad relativa entre 4 para hallar las 5 categorías en la que estamos clasificando, ya que para el menor valor se le asignó un puntaje de cero y al máximo valor con el puntaje mayor que puede tomar según cada indicador, seguido de la definición de los rangos para cada una de las categorías.

b. Función Hidrológica

Para el atributo de función hidrológica, se tienen 3 indicadores, para cada uno de ellos se halló su prioridad relativa de acuerdo al porcentaje que representan dentro del atributo (Tabla 23), es decir que para calidad de agua que en una escala de 100% su prioridad relativa era de 6.67%, ahora es llevado al 33.12% que representa el atributo, por lo que su nuevo valor es de 2.21%, pero este indicador tiene 3 sub indicadores, como son pH, sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica, por lo que a cada uno de ellos le correspondería un valor de 0.736%, así mismo para densidad del suelo y la tasa de infiltración que ambos representan el 15.46%.

**Tabla 23: Escalas de valoración de función hidrológica**

			Prioridad relativa	Pesos	Rangos
Función Hidrológica (33.12%)	Calidad de Agua (6.67%)	pH	0.74	0	< 40% del área de referencia
				0.18	40 – 54%
				0.37	55 – 64%
				0.55	65 – 80%
				0.74	> 80%
		TDS	0.74	0	>70% del área de referencia
				0.18	51 – 70%
				0.37	31 – 50%
				0.55	10 – 30%
				0.74	<10%
	CE	0.74	0	< 10% del área de referencia	
			0.18	10 – 30	
			0.37	31 – 50	
			0.55	51 – 70%	
			0.74	>70%	
	Densidad del Suelo (46.67%)	15.46	0	<10% del área de referencia	
			3.87	10 – 30%	
			7.73	31 – 50%	
			11.60	51 – 70%	
			15.46	>70%	
Tasa de Infiltración (46.67%)	15.46	0	>70% del área de referencia		
		3.87	51 – 70%		
		7.73	31 – 50%		
		11.60	10 – 30%		
		15.46	<10%		

c. Estabilidad del Sistema

Para el atributo de estabilidad del sistema, se tienen 5 indicadores, para cada uno de ellos se halló su prioridad relativa de acuerdo al porcentaje que representan dentro del atributo (Tabla 24), es decir que para cobertura que en una escala de 100% su prioridad relativa era de 23%, ahora es llevado al 54.92% que representa el atributo, por lo que su nuevo valor es de 12.63%, así mismo para signos de erosión que ahora representa 2.59%, plantas invasoras que ahora representa 8.63%, fragmentación del hábitat con 6.01% y diversidad de especies que ahora representa el 25.06%.

**Tabla 24: Escalas de valoración de estabilidad del sistema**

		Prioridad relativa	pesos	Rangos
Estabilidad del Sistema (54.92%)	Cobertura (23%)	12.63	0	< 20% del área de referencia
			3.15	20 – 45%
			6.30	46 – 70%
			9.45	71 – 95%
			12.60	> 95%
	Signos de Erosión (4.72%)	2.59	0	>35%
			0.65	26 - 35%
			1.30	16 - 25%
			1.94	5 - 15%
			2.59	<5%
	Plantas Invasoras (15.72%)	8.63	0	>50% cobertura basal
			2.16	35 – 50%
			4.32	20 – 34%
			6.47	10 – 19%
			8.63	< 10%
	Fragmentación del Hábitat (10.94%)	6.01	0	Moderado
			3.01	Ligero
			6.01	Nulo
	Diversidad de Especies (45.62%)	25.06	0	<20% del área de referencia
			6.28	20 – 40%
12.55			41 – 60%	
18.83			61 – 80%	
25.10			>80%	

Los rangos fueron definidos según la literatura, ya que para la mayoría de los indicadores, se tienen datos de campo que fueron evaluados durante varios años y pertenecen a metodologías estándares utilizadas para evaluar el estado de salud de los pastizales.

#### 4.5. Calificación de los bofedales

Para esta etapa, se tomaron datos de campo en las zonas altoandinas de Huaraz, Huancavelica y Puno, en cada una de estas zonas se evaluaron tres bofedales en diferente estado de conservación, determinados mediante observación como bueno, regular y pobre, cada uno de estos bofedales fue evaluado utilizando métodos estándares de evaluación de pastizales, como los propuestos por Milton *et al.* (1998); Parker (1954), Pyke *et al.* (2002), y la metodología propuesta en esta investigación

##### 4.5.1. MILTON

Para la evaluación de los bofedales mediante la metodología propuesta por Milton se tomaron en cuenta los cinco criterios para evaluar la salud de los pastizales descritos en la metodología, los cuales fueron anotados en los formatos de relevamiento rápido junto con los criterios (Anexo2), los cuales fueron promediados para hallar el índice de salud del bofedal. (Tabla 25)

**Tabla 25: Resultados obtenidos de la metodología Milton**

Bofedales	Criterios de evaluación	Estados de salud		
		Bueno	Intermedio	Pobre
Quilcayhuanca – Huaraz	A. Valor Forrajero	4.0	4.0	2.0
	B. Intensidad de Pastoreo	3.0	3.0	2.0
	C. Indicadores de Perturbación	4.5	3.5	3.0
	D. Regeneración de Plántulas	4.0	3.0	2.0
	E. Salud del Suelo y Habitat	3.3	3.0	2.3
	TOTAL	18.8	16.5	11.3
	<b>PROMEDIO</b> <b>CONDICION</b>	<b>3.8</b> <b>Bueno</b>	<b>3.4</b> <b>Intermedio</b>	<b>2.3</b> <b>Pobre</b>
Santa Ana – Huancavelica	A. Valor Forrajero	4.0	4.0	2.0
	B. Intensidad de Pastoreo	4.0	3.0	1.0
	C. Indicadores de Perturbación	4.5	3.0	2.5
	D. Regeneración de Plántulas	4.0	4.0	2.0
	E. Salud del Suelo y Habitat	3.3	3.0	1.3
	TOTAL	19.8	17	8.8
	<b>PROMEDIO</b> <b>CONDICION</b>	<b>3.9</b> <b>Bueno</b>	<b>3.4</b> <b>Intermedio</b>	<b>1.8</b> <b>Pobre</b>

Mazocruz - Puno	A. Valor Forrajero	5.0	3.0	3.0
	B. Intensidad de Pastoreo	4.0	3.0	1.0
	C. Indicadores de Perturbación	3.0	3.5	2.0
	D. Regeneración de Plántulas	4.0	3.0	3.0
	E. Salud del Suelo y Habitat	2.3	3.3	3.0
	TOTAL	18.3	15.8	12
	<b>PROMEDIO</b>	<b>3.6</b>	<b>3.2</b>	<b>2.4</b>
<b>CONDICION</b>	<b>Bueno</b>	<b>Intermedio</b>	<b>Pobre</b>	

Al realizar la evaluación en campo de los 9 bofedales, mediante la metodología propuesta por Milton *et al.* (1998), se obtuvieron los puntajes para cada uno de los criterios de evaluación, observando así que los bofedales considerados como de buena condición mediante observación en campo para cada uno de los sitios, resultaron ser de condición buena (3.5 a 4.4), encontrando en campo 3.8, 3.9 y 3.6 para los bofedales de Huaraz, Huancavelica y Puno respectivamente, esto se puede deber a que en los bofedales de condición buena, existe mayor valor forrajero, es decir que el porcentaje de especies palatables y poco palatables para el ganado (llamas, alpacas y ovinos) es mayor, con la consecuente disminución de plantas invasoras o no palatables, que son señaladas por el autor como indicadores de perturbación, también por que la intensidad de pastoreo es menor, es decir que el grado de uso de las especies forrajeras es más bajo, asegurando una mayor recuperación, y por último la relación de la salud del suelo con la cantidad de cobertura vegetal.

Para los bofedales considerados de condición regular mediante observación en campo, resultaron ser de condición intermedia (2.5 a 3.4), encontrando en campo 3.4, 3.4 y 3.2 para los bofedales de Huaraz, Huancavelica y Puno respectivamente, esto se debe a que los valores de los criterios de evaluación van disminuyendo, las cantidad de plantas palatables y poco palatables disminuyen debido a que se incrementan las especies invasoras o no palatables, esto se debe a que el grado de uso de las especies forrajeras es mayor, ocasionando una recuperación más lenta. Finalmente para los sitios considerados como pobres mediante observación en campo, resultaron ser también de condición pobre (1.5 a 2.4), encontrando en campo 2.3, 1.8 y 2.4 para los bofedales de Huaraz, Huancavelica y Puno respectivamente, esto se debe principalmente a que la intensidad de pastoreo es alta, por lo tanto el valor forrajero del sitio disminuye notablemente, es decir que abundan las especies invasoras, incrementándose los indicadores de perturbación y el riesgo de erosión.

#### 4.5.2. PARKER

Para la evaluación de los bofedales mediante la metodología de Parker, se anotaron los datos en el formato de transección lineal (Anexo 3) obtenidos de la lectura del anillo censador de la transecta, según la metodología.

Para lograr el puntaje de la condición del bofedal, se utilizó la fórmula propuesta por Flórez y Malpartida (1980), ya que toma en cuenta los componentes de la condición evaluados por la metodología de Parker, para determinar la categoría a la que pertenece según el puntaje obtenido (Tabla 26)

**Tabla 26: Resultados obtenidos de la metodología Parker.**

Bofedales	Componentes de la condición	Estados de salud		
		Bueno	Regular	Pobre
Quilcayhuanca – Huaraz	Plantas deseables (%)	41	55	49
	Índice Forrajero (%)	86	94	87
	Cobertura vegetal (%)	100	98	98
	Índice de vigor (%)	45.63	29.33	24.50
	<b>P (%) = 0.5(D%) + 0.2(IF%) + 0.2(CV%) + 0.1(IV%)</b>	<b>62.26</b>	<b>68.83</b>	<b>63.95</b>
	<b>CONDICION</b>	<b>Bueno -</b>	<b>Bueno -</b>	<b>Bueno -</b>
Santa Ana – Huancavelica	Plantas deseables (%)	29	38	40
	Índice Forrajero (%)	95	98	50
	Cobertura vegetal (%)	100	99	93
	Índice de vigor (%)	44	12.20	8.90
	<b>PUNTAJE</b>	<b>57.90</b>	<b>59.62</b>	<b>49.49</b>
	<b>CONDICION</b>	<b>Regular +</b>	<b>Regular +</b>	<b>Regular -</b>
Mazocruz – Puno	Plantas deseables (%)	76	79	5
	Índice Forrajero (%)	78	80	11
	Cobertura vegetal (%)	92	100	100
	Índice de vigor (%)	79.47	19	67.33
	<b>PUNTAJE</b>	<b>79.95</b>	<b>77.40</b>	<b>31.43</b>
	<b>CONDICION</b>	<b>Bueno +</b>	<b>Bueno +</b>	<b>Pobre +</b>

Al realizar la evaluación en campo de los 9 bofedales, mediante la metodología propuesta por Parker (1954), se obtuvieron los puntajes para cada uno de los componentes de la condición, estos puntajes fueron hallados usando la fórmula propuesta por Flórez y Malpartida (1980). Y los rangos de condición según Flores (1999).

Para el caso de los bofedales de Quilcayhuanca en Huaraz, los tres bofedales que fueron observados en campo y seleccionados según su estado de salud como bueno, regular y pobre, resultaron de condición bueno menos, ya que están dentro del rango 61 – 70.

Para el caso de Santa Ana en Huancavelica, los bofedales considerados como bueno y regular mediante observación, resultaron de condición regular más, ya que están dentro del rango 51 – 60, mientras que el bofedal considerado como pobre según observación, resultó de condición regular menos, ya que está dentro del rango 41 – 50.

Finalmente para el caso de Mazocruz en Puno, los bofedales considerados como bueno y regular mediante observación, resultaron de condición bueno más, ya que están dentro del rango 71 – 80, mientras que el bofedal considerado como pobre según observación en campo, resultó de condición pobre más, ya que está dentro del rango 31 – 40, esto se debió principalmente a que la cantidad de plantas invasoras fue mucho mayor que la cantidad de plantas deseables y poco deseables.

Estos resultados se pueden interpretar como una sobrestimación del estado de salud, debido a que el porcentaje de cobertura para cada uno de los estados es cercano al 100%, esto sucede a menudo en bofedales porque son ecosistemas que presentan condiciones favorables para el crecimiento de las plantas, como la cantidad de agua y materia orgánica en el suelo, haciendo que la cobertura vegetal sea casi homogénea a lo largo del año.

#### **4.5.3. PYKE**

Para la evaluación de los bofedales mediante la metodología propuesta por Pyke *et al.* (2002), se evaluaron los 17 indicadores que fueron anotados en el formato de evaluación (Anexo 4), para luego resumir los valores en un cuadro según la cantidad que le corresponde a cada atributo de acuerdo a los indicadores correspondientes (Tabla 27).

**Tabla 27: Resultados obtenidos con la metodología Pyke**

Bofedales	Atributos e indicadores	Estados de salud		
		Bueno	Regular	Pobre
Quilcayhuanca – Huaraz	ES: Estabilidad del Sistema (indicadores 1 - 6, 8, 9, y 11)	1.22	2.3	3.4
	FH: Función hidrológica (indicadores 1 - 5, 7 - 11 y 14)	1.55	2	3.36
	IB: Integridad biótica (indicadores 8 -9 y 11-17)	1.33	2	3.56
	<b>PROMEDIO</b> <b>CATEGORIA</b>	<b>1.37</b> <b>Ninguno a</b> <b>Ligero</b>	<b>2.1</b> <b>Ligero a</b> <b>Moderado</b>	<b>3.44</b> <b>Moderado</b>
Santa Ana – Huancavelica	ES: Estabilidad del Sistema (indicadores 1 - 6, 8, 9, y 11)	1	2.11	4.56
	FH: Función hidrológica (indicadores 1 - 5, 7 - 11 y 14)	1.27	2.18	4.18
	IB: Integridad biótica (indicadores 8 -9 y 11-17)	1.33	2.22	3.89
	<b>PROMEDIO</b> <b>CATEGORIA</b>	<b>1.2</b> <b>Ninguno a</b> <b>Ligero</b>	<b>2.17</b> <b>Ligero a</b> <b>Moderado</b>	<b>4.21</b> <b>Moderado a</b> <b>Extremo</b>
Mazocruz - Puno	ES: Estabilidad del Sistema (indicadores 1 - 6, 8, 9, y 11)	1.11	2.33	4
	FH: Función hidrológica (indicadores 1 - 5, 7 - 11 y 14)	1.45	2.36	3.73
	IB: Integridad biótica (indicadores 8 -9 y 11-17)	1.33	2.44	3.44
	<b>PROMEDIO</b> <b>CATEGORIA</b>	<b>1.30</b> <b>Ninguno a</b> <b>Ligero</b>	<b>2.38</b> <b>Ligero a</b> <b>Moderado</b>	<b>3.72</b> <b>Moderado a</b> <b>Extremo</b>

Al realizar la evaluación en campo de los 9 bofedales, mediante la metodología propuesta por Pyke *et al.* (2002), se obtuvieron los puntajes para cada uno de los indicadores de evaluación según los atributos, observando que para los bofedales considerados como de buena condición mediante observación en campo para cada uno de los sitios, resultaron ser de categoría ninguno a ligero (0.5 a 1.49), encontrando en campo 1.37, 1.2 y 1.3 para los bofedales de Huaraz, Huancavelica y Puno respectivamente.

Lo mismo ocurrió con los bofedales considerados de condición regular mediante observación en campo, que resultaron ser de categoría ligero a moderado (1.5 a 2.49), encontrando en campo 2.1, 2.17 y 2.38 para los bofedales de Huaraz, Huancavelica y Puno respectivamente. Finalmente para los sitios considerados como pobres mediante observación en campo, resultó ser de categoría moderado (2.5 a 3.49), encontrando en campo 3.44 para el bofedal de Huaraz, y de categoría moderado a extremo (3.5 a 4.49), encontrando en campo 4.21 y 3.72 para los bofedales de Huancavelica y Puno respectivamente.

En esta metodología, cada uno de los atributos está relacionado a algunos indicadores, y cada uno de estos están clasificados en cinco categorías; extremo, moderado a extremo, moderado, ligero a moderado y ninguno a ligero, los cuales están relacionados a lo que se espera encontrar en el campo para cada uno de ellos en relación a lo que se podría encontrar en un área de referencia.

Esta metodología se acerca a los resultados que se esperan encontrar en ecosistemas de bofedales, sin embargo los indicadores definidos por Pyke *et al.* (2002), son muy generales, incluso el atributo función hidrológica es analizado mediante indicadores que estiman de manera indirecta el estado de dicho atributo.

La desventaja de utilizar este método es que toma mucho tiempo y se necesita de especialistas para poder evaluar los 17 indicadores, ya que cada uno de ellos debe tener valores referenciales para cada una de las categorías según el área ecológica referencial.

#### 4.5.4. METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL ESTADO DE SALUD DE BOFEDALES

Para la evaluación de los bofedales mediante la metodología propuesta en esta investigación, se evaluaron los 12 indicadores propuestos (Anexo 5), que se le asignó un puntaje a cada uno de ellos según los rangos propuestos para las cinco categorías; extremo, moderado a extremo, moderado, ligero a moderado y ninguno a ligero, estos puntajes son sumados finalmente para obtener el puntaje en una escala de 0 a 100 (Tabla 28).

**Tabla 28: Resultados obtenidos con la metodología Propuesta**

Bofedales	Atributos e indicadores	Estados de salud		
		Bueno	Regular	Pobre
Quilcayhuanca – Huaraz	Integridad Biótica: (Biomasa, mantillo, materia orgánica y carbono)	10.56	8.09	3.7
	Función Hidrológica: (calidad del agua, tasa de infiltración y densidad del suelo)	16.93	17.3	1.10
	Estabilidad del Sistema: (cobertura, plantas invasoras, signos de erosión, fragmentación del hábitat y diversidad de especies)	48.66	38.09	25.15
	<b>PUNTAJE ESTADO DE SALUD</b>	<b>76.15 Saludable</b>	<b>63.48 Saludable con problemas de manejo</b>	<b>29.95 No saludable</b>
Santa Ana – Huancavelica	Integridad Biótica:	7.01	3.14	3.14
	Función Hidrológica:	24.66	9.02	1.472
	Estabilidad del Sistema:	46.50	37.90	21.01
	<b>PUNTAJE ESTADO DE SALUD</b>	<b>78.17 Saludable</b>	<b>50.06 Saludable con problemas de manejo</b>	<b>25.62 No saludable</b>

Mazocruz Puno	-	Integridad Biótica:	8.41	3.14	2.63
		Función Hidrológica:	28.53	20.98	5.52
		Estabilidad del Sistema:	42.19	25.35	17.89
		<b>PUNTAJE</b>	<b>79.13</b>	<b>49.47</b>	<b>26.04</b>
		<b>ESTADO DE SALUD</b>	<b>Saludable</b>	<b>Saludable con problemas de manejo</b>	<b>No saludable</b>

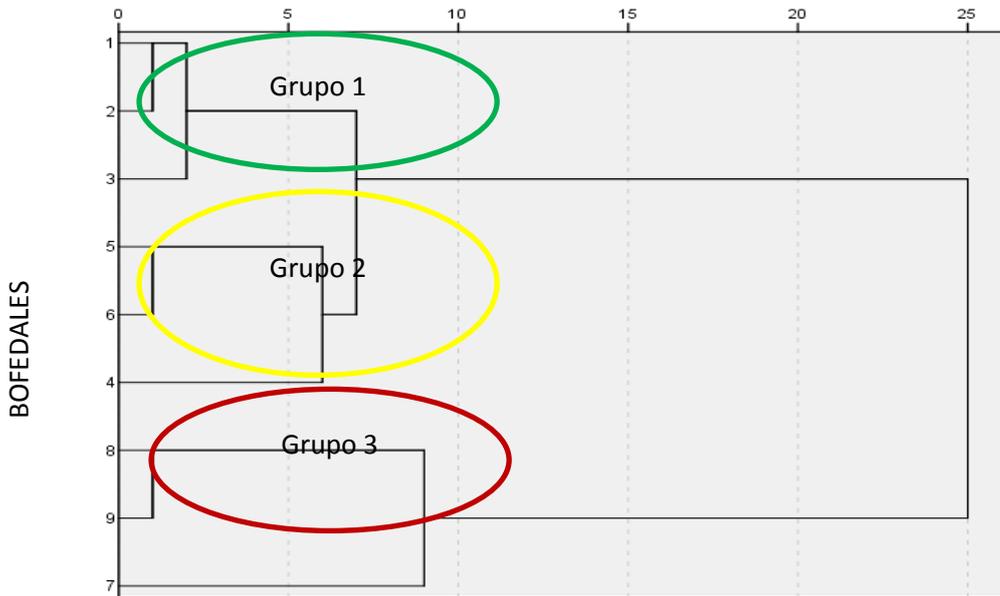
Al realizar la evaluación en campo de los 9 bofedales, mediante la metodología propuesta en esta investigación, se obtuvieron los puntajes para cada uno de los indicadores de evaluación dentro de cada uno de los atributos, observando que para los bofedales considerados como de buena condición mediante observación en campo para cada uno de los sitios, resultaron estar en estado saludable (70 - 100), encontrando en campo 76.15, 78.17 y 79.13 para los bofedales de Huaraz, Huancavelica y Puno respectivamente, lo mismo ocurrió con los bofedales considerados de condición regular mediante observación en campo, que resultaron estar en estado saludable con problemas (30 - 70), encontrando en campo 63.48, 50.06 y 49.47 para los bofedales de Huaraz, Huancavelica y Puno respectivamente. Finalmente para los sitios considerados como pobres mediante observación en campo, resultó que su estado de salud fue no saludable (0 - 30), encontrando en campo 29.95, 25.62 y 26.04 para los bofedales de Huaraz, Huancavelica y Puno respectivamente.

Esta metodología contempla la evaluación de 12 indicadores que son fáciles de medir en campo y no requiere de especialistas para realizar la evaluación de dichos indicadores, ya que la mayoría de los indicadores son cuantitativos.

#### **4.6. Validación de la Métrica para Estimar el Estado de Salud**

Los resultados de la comparación a partir de las metodologías estándares de evaluación de pastizales como las propuestas por Milton *et al.* (1998), Parker (1954) y Pyke *et al.* (2002) y la metodología estimar el estado de salud de bofedales, revelan:

El análisis de conglomerados clasifica a los bofedales en tres grupos, que vienen a ser los tres estados de salud analizados, de acuerdo a los puntajes obtenidos en cada uno de ellos mediante la evaluación de la metodología para estimar el estado de salud de bofedales propuesto en esta investigación (Figura 9).



**Figura 9. Clasificación de los bofedales según su estado de salud**

La gráfica nos indica que los bofedales 1, 2 y 3 según los puntajes obtenidos, pertenecen al grupo 1, que son los bofedales con mayor puntaje obtenido, clasificados como saludables, así mismo los bofedales 4, 5 y 6 que obtuvieron puntajes intermedios, pertenecen al grupo 2, que son los bofedales clasificados como saludables con problemas de manejo y los bofedales 7, 8 y 9 que obtuvieron los menores puntajes, pertenecen al grupo 3, que son los bofedales clasificados como no saludables

Para hallar la correlación entre los puntajes obtenidos mediante los diferentes métodos, se normalizaron los resultados en una escala de 0 a 10, debido a que no todos los métodos analizados se encontraban en la misma escala, es decir Milton y Pyke nos dan puntajes en una escala de 0 a 10, mientras que Parker y el método para estimar el estado de salud de bofedales nos dan puntajes en una escala de 0 a 100 (Tabla 29).

Para los puntajes obtenidos mediante la metodología de Pyke, se tuvo que invertir la escala, debido a que en esta metodología los puntajes menores son los que se refieren al mejor estado de salud, mientras que los puntajes mayores están relacionados con un estado de salud pobre.

**Tabla 29: Puntajes normalizados de las metodologías evaluadas según estado de salud**

Estados de Salud	Metodología propuesta	Métodos Estándares			
		Milton	Parker	Pyke	Promedio
Saludable	7.62	8.44	6.23	7.50	7.39
	7.82	8.67	5.79	7.81	7.42
	7.91	8.00	7.99	7.63	7.87
Promedio	7.78	8.37	6.67	7.65	7.56
Saludable con problemas de manejo	6.35	7.56	6.88	6.17	6.87
	5.01	7.56	5.96	6.05	6.52
	4.95	7.11	7.74	5.66	6.84
Promedio	5.44	7.41	6.86	5.96	6.74
No saludable	2.99	5.11	6.40	3.73	5.08
	2.56	4.00	4.95	2.33	3.76
	2.60	5.33	3.14	3.26	3.91
Promedio	2.72	4.81	4.83	3.11	4.25

Después de normalizar los puntajes para cada una de las metodologías, se sacó el promedio dentro de cada estado de salud para analizar qué tan cercanos o distantes se encuentran según la metodología evaluada.

Antes de realizar el análisis de los datos en el programa, se establecen las hipótesis correspondientes.

$H_0$ : No existe correlación entre los puntajes obtenidos mediante la metodología propuesta y el promedio de los puntajes obtenidos mediante las propuestas estándares de evaluación de pastizales.

$H_1$ : Existe correlación entre los puntajes obtenidos mediante la metodología propuesta y el promedio de los puntajes obtenidos mediante las propuestas estándares de evaluación de pastizales.

El p-valor hallado es menor que 0,01, por lo tanto rechazamos la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna; concluyendo que existe correlación altamente significativa entre los puntajes obtenidos mediante la metodología propuesta y el promedio de los puntajes obtenidos mediante las propuestas estándares de evaluación de pastizales.

Si bien los métodos estuvieron correlacionados, las menores discrepancias entre los valores hallados para cada estado de salud, se observaron entre la metodología propuesta y el método de Pyke, esto podría deberse a que la metodología propuesta está basada en el modelo de Pyke, al tomar en cuenta el uso de atributos e indicadores de la estructura y función del sistema. Cabe resaltar que el método propuesto toma medidas más directas de la función hidrológica, por lo que sería importante continuar estudiando los costos y eficiencia de estos métodos para evaluar los estados de salud.

Utilizamos la prueba de Chi-cuadrado para hallar si el promedio de los puntajes obtenidos en campo mediante evaluaciones realizadas con metodologías estándares están relacionados con los puntajes obtenidos mediante la metodología para estimar el estado de salud de bofedales

Se plantearon las siguientes hipótesis:

$H_0$ : el promedio de los puntajes obtenidos de la evaluación de metodologías estándares está relacionado con los puntajes obtenidos mediante la metodología para estimar el estado de salud de bofedales.

$H_1$ : el promedio de puntajes obtenidos de la evaluación de metodologías estándares no está relacionado con los puntajes obtenidos mediante la metodología para estimar el estado de salud de bofedales.

Si:

$X^2_{\text{Cal}} > X^2_{\text{tabla}}$ , se rechaza la  $H_0$

$X^2_{\text{Cal}} < X^2_{\text{tabla}}$ , se acepta la  $H_0$

Nivel de confianza: 95%

Grados de libertad:  $9 - 1 = 8$

$X^2_{\text{tabla}}$ :  $X^2_{(0.05, 8)} = 15.51$

$3.93 < 15.51$ , se acepta la  $H_0$

Dado que el resultado de  $X^2_{\text{cal}} = 3.93$ , y este valor es menor que el tabular, entonces aceptamos la hipótesis nula, por lo tanto podemos concluir que el promedio de puntajes hallados mediante metodologías estándares está relacionado con los puntajes de la metodología para estimar el estado de salud de bofedales

Para demostrar que los puntajes obtenidos mediante las cuatro metodologías aplicadas para evaluar el estado de salud de los bofedales son similares, se realizó la prueba de Kruskal – Wallis.

Se plantearon las siguientes hipótesis:

$H_0$ : No existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntajes obtenidos mediante las cuatro metodologías aplicadas.

$H_1$ : Existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntajes obtenidos mediante las cuatro metodologías aplicadas.

Nivel de confianza: 95%

Grados de libertad:  $4 - 1 = 3$

$X^2(0,05; 3) = 7.815$

El resultado del estadístico de prueba de Kruskal-Wallis debe ser comparado con el que le corresponde en la tabla para la prueba de Chi-cuadrado.

Encontramos que  $H$  calculado  $< X^2_{\text{tabular}}$ ;  $0.743 < 7.815$ ; por lo tanto se acepta la hipótesis nula, por lo tanto podemos concluir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de los puntajes obtenidos mediante las cuatro metodologías aplicadas.

Para hallar si existen diferencias entre los tratamientos se realizan las comparaciones múltiples.

Se plantean las hipótesis:

$H_0: \theta_i = \theta_j$

$H_1: \theta_i \neq \theta_j$

Deben haber  $k(k-1)/2$  comparaciones, esto es  $4(4-1)/2 = 6$  comparaciones

Nivel de confianza: 95%

$Z_{\text{tabla}}(\alpha/k(k-1)) = Z_{\text{tabla}}(0.05/4(4-1)) = 2.64$

Ninguna de las diferencias entre los promedios de los rangos de cada una de las comparaciones, resulto mayor que el valor tabular de 2.64, por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula y podemos concluir que no existen diferencias significativas entre ninguna de las metodologías

## V. CONCLUSIONES

- El modelo para estimar el estado de salud de bofedales incorpora aspectos relacionados a la estructura y función del sistema teniendo en cuenta ciertos atributos e indicadores los cuales permiten estimar la salud ecológica del bofedal con adecuada precisión, ya que el método propuesto a diferencia de otros es aplicable a bofedales con diferentes fuerzas perturbadoras además del pastoreo.
- El modelo para estimar el estado de salud de bofedales es mejor que los modelos estándares de evaluación de pastizales, porque utiliza indicadores fáciles de medir en campo y de bajo costo, haciendo que sea una herramienta útil para estimar el estado de salud de los ecosistemas de bofedales en corto tiempo.
- Los coeficientes de variación para cada uno de los atributos e indicadores evaluados por los expertos, resultaron en su mayoría ser cero, por lo que se puede inferir que no hubo diferencias entre las opiniones de los expertos al momento de calificar las comparaciones, resultando de esta manera una matriz consistente, es decir hubo un alto grado de coincidencia entre expertos.
- Hubo una alta correlación entre los valores calculados por el método para estimar el estado de salud de bofedales y los valores promedios obtenidos a partir de evaluaciones con las metodologías estándares, ya que cuando el bofedal evaluado mediante las metodologías estándares predice que el estado de salud mejora, la metodología para estimar el estado de salud de bofedales también lo hace, lo que soporta la validez del método.

- Los valores de los puntajes obtenidos con la metodología para estimar el estado de salud de bofedales se reflejan a lo largo de todos los estados transicionales, es consistente y no sobreestima el estado de salud real. En cambio, las evaluaciones realizadas mediante las metodologías estándares, muestran resultados que sobreestiman el estado de conservación de los bofedales cuando están en condición pobre.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar el comportamiento de los bofedales bajo diferentes fuerzas perturbadoras, como fuego, drenaje, contaminación para confirmar la hipótesis que la metodología predice con exactitud el estado de salud independientemente de la fuerza perturbadora.
- Analizar el comportamiento del modelo a una mayor escala y en diferentes tipos de bofedales según origen y régimen hídrico para ampliar la base de datos acerca del estado de salud y valor de los indicadores y ampliar el rango de validez del método propuesto.
- Estimar la capacidad de los métodos multivariantes como el análisis discriminante y componentes principales para generar funciones de clasificación del estado de salud y que indicadores son importantes para definir ciertas funciones claves del ecosistema.
- Analizar la sensibilidad de cada uno de los indicadores frente a los cambios de estados de salud, para establecer de mejor manera los umbrales o valores límites de cada uno de ellos.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ADAMS, B.; EHLERT, G.; STONE, C.; LAWRENCE, D.; ALEXANDER, M.; WILLOUGHBY, M.; HINEZ, C.; MOISEY, D.; BURKINSHAW, A.; CARLSON, J. y FRANCE, K. 2003. Rangeland Health Assessment for Grassland, Forest and Tame Pasture. Alberta Sustainable Resource Development Lands Division. Rangeland Management Branch. Pp: 7-46.

AHUMADA, M.; AGUIRRE, F.; CONTRERAS, M. y FIGUEROA, A. 2011. Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Gobierno de Chile. 50 pp.

ALARCÓN, J. A.; FLORES, E. R. y BARRANTES, C.A. 2014. Valoración Económica para la Mejora de los Ecosistemas de Bofedales del Entorno de la Ciudad de Huaraz. Convenio Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales y Ministerio del Medio Ambiente. 1-28.

ALEGRÍA, M.A.; POZO, V.; ROJAS, M.; LILLO, A. 2000. Protección de Humedales (Vegas y Bofedales) en el Norte de Chile. 15 pp.

ALZÉRRECA, H. y LUNA, D. 2001. Manual del Ganadero para el Manejo de Bofedales. La Paz. Bolivia.

AUTORIDAD BINACIONAL DE LAGO TITICACA (ALT). 1993. Manejo y uso de agua en bofedales potenciación de la ganadería camélida. Plan Director Global Binacional de Protección - Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los recursos del Lago Titicaca, Rio Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S). La Paz, Bolivia. pp 12-13.

BESTELMEYER, B. T.; BROWN, J. R.; HAVSTAD, K. M.; ALEXANDER, R.; CHAVEZ, G. y HERRICK, J. E. 2003. Development and use of state-and-transition models for rangelands. *Journal of Range Management*. 56: 114–126.

BLANCO, J.A. 2013. Modelos ecológicos: descripción, explicación y predicción. *Ecosistemas*. 1-5.

BLAKE G.R. 1965. Bulk density. In C. A. Blake (ed). *Methods of soil analysis*. Part physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling. Pp. 374–390.

BRISKE, D.; FUHLENDORF, S.; SMEINS, F. 2003. Vegetation dynamics on rangelands: a critique of the current paradigms. *Journal of Applied Ecology*, 40: 601–614.

BRISKE, D.; FUHLENDORF, S.; SMEINS, F. 2005. State and Transitions Models, Thresholds, and Rangeland Health: A Synthesis of Ecological Concepts and Perspectives. *Rangeland Ecology Management*. 58: 1-10.

CENTRO DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO (CED), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). 2006. Proyecto Conservación de la Biodiversidad y Manejo Sustentable del Salar del Huasco. Región de Tarapacá – Chile. 98 pp.

CLEMENTS, F. E. 1928. Plant succession and indicators. A definite edition of plant succession and indicators. H. H. Wilson Co., New York. 453 p.

COSTANZA, R.; NORTON B. y HASKELL, B. 1992. *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Island Press, Washington DC, 269 pp.

DELGADILLO, O.; CAMACHO, A.; PEREZ, L.F.; ANDRADE, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Serie Técnica. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Cochabamba, Bolivia, 115 pp.

DURAN, J.J.; GARCÍA DE DOMINGO, A.; ROBLEDO, P. 2009. Propuesta de clasificación genético-geológica de los humedales. Aplicación a los humedales españoles incluidos en el convenio de Ramsar. *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 335–346.

DYKSTERHUIS, E.J. 1949. Condition and management of rangeland based on quantitative ecology. *Journal of Range Management* 2 (3) 104-115.

EAKIN, H. y BOJÓRQUEZ-TAPIA, L.A. 2008. Insights into the Composition of Household Vulnerability from Multicriteria Decision Analysis. *Global Environmental Change*. 18: 112-127.

FINLAYSON, C.M. 1997. An introduction to wetland management: Information needs for wetland management. 17 pp.

FLORES, E.R. 1999. Tambos alpaqueros y pastizales II: Mejoramiento de praderas naturales. Proyecto especial tambos alpaqueros. *Boletín técnico LUP N°12*, Lima, Perú.

FLORES, E. R.; BARRANTES, C.A. y TÁCUNA, R.E. 2014. Capacidad de carga y retribución económica de bofedales sobrepastoreados. Taller Bofedales. Escuela de Postgrado. UNA La Molina.

FLORES, E.R.; TÁCUNA, R.E. y CALVO, V. 2014. Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales. Convenio Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales y Ministerio del Medio Ambiente. 1–16.

FLORES, E.R.; ÑAUPARI, J.A.; TÁCUNA, R.E. 2015. La economía del cambio climático en el Perú: ganadería altoandina. C.E. Ludeña y L. Sánchez- Aragón (editores). Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía N° 265. Washington D.C.

FLOREZ, J.A.; MALPARTIDA, E. 1980. Determinación de la capacidad de carga de los pastizales naturales de la zona rígida de Pampas Galeras. Programa de Forrajes de la Universidad Nacional Agraria La Molina. *Boletín N° 21*. Lima, Perú

GARCÍA, E.; OTTO, M. 2015. Caracterización eco hidrológica de humedales altoandinos usando imágenes de satélite multitemporales en la cabecera de cuenca del Rio Santa, Ancash, Perú. *Ecología Aplicada*, 14(2): 115 – 125 pp.

GIL, J. 2011. Bofedal: Humedal Altoandino de Importancia Para el Desarrollo de la Región Cusco. 1 - 10.

GIL, J. 2012. Retroceso Glaciar y Cambio Climático en los Andes Peruanos: Principales Impactos 9 pp.

HAVSTED, K.M.; DEBRA, P.C.; RHONDA, K.; BROWN, J.; BESTELMEYER, B.; FREDRICKSON, E.; HERRIK, J. 2007. Ecological services to and from rangelands. *Ecological economics* 64:261-268.

LAYCOCK, W. A. 1991. Stable states and thresholds of range condition on North American rangelands: a viewpoint. *Journal of Range Management*. 44: 427–433.

MADOW, W. G.; MADOW, L. H. 1943. On the Theory of Systematic Sampling, I. Bureau of Agricultural Economics and Food Distribution Administration, U. S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 1 - 24 pp.

MALDONADO FONKEN. 2014. An Introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat*. Volume 2105. Article 05. 1–13.

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.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. (MA). 2003. *Ecosystem and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Washington, DC: Island Press. 49–70.

MILTON, S. J.; DEAN, W. R.; DU PLESSIS, A. M.; SIEGFRIED, W.R. 1994. A Conceptual Model of Arid Rangeland Degradation. *BioScience*. Vol. 44. No 2.

MILTON, S. J.; DEAN, W. R.; ELLIS, R. P. 1998. Rangeland Health Assessment: A Practical Guide for Ranchers in Arid Karoo Shrublands. *Journals of Arid Environments*. 39: 253–265.

MIRANDA, F. 2014. Manejo de praderas altoandinas y cosecha de agua. *Soluciones Practicas*. 57 pp

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1994. Rangeland Health: New Method to Classify, Inventory, and Monitoring Rangelands. Washington, DC: The National Academies Press. 18-157 pp.

OLIVER, I. 2002. An Expert Panel-based Approach to the Assessment of Vegetation Condition within the Context of Biodiversity Conservation Stage 1: The Identification of Condition Indicators. *Ecological Indicators*. 2: 223–237.

PARKER, K. W. 1954. Application of Ecology in the Determination in Range Condition and Trend. *Journal of Range Management*. 7, 14 – 23.

PELLANT, M.; SHAVER, P.; PYKE, D. and HERRICK, F. 2000. Interpreting Indicators of Rangeland Health. *Technical Reference 1734–6*. 111 pp.

PEÑA, P. 2012. Guía para negociar mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos con comunidades nativas. *Sociedad Peruana de Derecho Ambiental*. Segunda Edición. 38 pp.

PYKE, D.; HERRICK, F.; SHAVER, P. and PELLANT, M. 2002. Rangeland Health Attributes and Indicators for Qualitative Assessment. *Journal Range Management*. 55, 584-597.

REBAUDO, F. y DANGLES, O. 2014. Un modelo socio – ecológico para establecer escenarios de dinámica de bofedales frente a los cambios globales. *Ecología en Bolivia*. 49 (3): 141–153.

RUTHSATZ, B. 2012. Vegetación y ecología de los bofedales altoandinos de Bolivia. *Phytocoenologia*, 42 (3 – 4). 133–179.

SALVADOR, F.; MONERRIS, J. y ROCHEFORT, L. 2014. Peatlands of the Peruvian Puna Ecoregion: Types, Characteristics and Disturbance. *Mires and Peat*. Vol 15. Article 03, 1-17.

SAATY, T. 2008. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *Journal of Services Sciences*. Vol 1. No.1. pp. 83–98.

SANTA CRUZ, Y.; ORDOÑEZ, P.; JACOBO, U.; CAMILOAGA, F. 2008. Cosecha de agua, una práctica ancestral: manejo sostenible de las praderas naturales. Arequipa, 48 pp.

SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO (SAG) – Centro de Ecología Aplicada. 2006. Guía de Conceptos y Criterios para la Evaluación de Humedales. Gobierno de Chile. 81 pp.

SOCIETY FOR RANGE MANAGEMENT. (SRM). 1995. New Concepts for Assessment of Rangeland Condition. *Journal of Range Management* 48: 271-283.

SOTIL, J. y FLORES, E.R. 2014. Lineamientos para el Desarrollo de Proyectos de Inversión Pública en Recuperación de Bofedales. Convenio Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales y Ministerio del Medio Ambiente. 56 pp.

SQUEO, F.; WARNER, B.; ARAVENA, R. y ESPINOZA, D. 2006. Bofedales: High Altitude Peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*. 79, 245-255.

STRINGHAM, T.; KRUEGER, W; SHAVER, P. 2003. State and Transition Modeling: An Ecological Process Approach. *Journal of Range Management*. 56: 106 – 113.

WESTOBY, M.; WALKER, B.; NOYMEIR, I. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management*, 42: 266–274.

WHITTAKER, R. H. 1967. Gradient Analysis of Vegetation. *Biological Reviews*. 49, pp. 207–264.

## VIII. ANEXOS

### 1.1. Ficha de relevamiento rápido del bofedal de condición buena de Quilcayhuanca, Huaraz

FICHA DESCRIPTIVA DE BOFEDALES			
<b>A. INFORMACIÓN GENERAL</b>		<b>C. FOTOGRAFÍA PANORÁMICA DEL BOFEDAL</b>	
1. Región, Provincia, Distrito: Ancash, Huaraz, Independencia			
2. Comunidad o Granja Quilcayhuanca - PNH			
3. Sector: 2	4. Geología		
5. Coordenadas (WGS-84)	6. Altitud (msnm)		
Latitud: 8953731	3874		
Longitud: 239588	8. Uso Actual de la Tierra		
7. Zona de Vida Natural	Exclusion con pastoreo		
9. Intensidad de Uso: Ligerio			
<b>B. VEGETACIÓN</b>			
10. Cobertura Vegetal (%)	11. Mantillo (%)		
100%	32.5		
12. Especies Dominantes	13. Biomasa (Kg) : 1137.6		
Dominante Plantago tubulosa			
Sub-Dominante Calamagrostis rigida			
Sub-Sub-Dominante Plantago rigida			
<b>D. SUELOS</b>		<b>E. AGUA</b>	
14. Posic. Topográfica	Fondo de valle	24. Fuentes de Agua: Manantial y Agua Superficial	25. Tipo: permanente
15. Paisaje Circundante	Montañoso		
16. Pendiente (%)	Casi a nivel 0 - 2%	<b>F. ASPECTOS ESPECIALES</b>	
17. Signos de Erosión	Ninguna	26. Fragmentación	
18. Grado de Erosión	19. Estructura Masiva	27. Conectividad de los Parches	
20. Pedregosidad Superf. (%): 0.1 - 3%		28. Cercanía a Caminos o Trochas (km)	
21. Afloram. Rocoso (%): < 2%	22. Profundidad Suelo	29. Cercanía a Centros poblados (Km)	
23. Textura: Franco arenoso	profundo >75 cm	<b>G. PROBLEMAS DE MANEJO</b>	
Notas:		30. Sobrepastoreo: Si	31. Desvio de cursos de agua
		32. Drenaje:	33. Quema de pastizales
<b>H. ESTADOS DE SALUD</b>		<b>I. CONDICIÓN FORRAJERA Y CAPACIDAD DE CARGA</b>	
Saludable	v	Buena	v
Saludable con problemas de manejo		Regular	
No saludable		Pobre	
		Muy Pobre	
		Vacunos	
		Ovinos	
		Alpacas	2 UAL/Ha/año
		Llamas	

1.2. Ficha de relevamiento rápido del bofedal de condición buena de Santa Ana, Huancavelica

FICHA DESCRIPTIVA DE BOFEDALES			
<b>A. INFORMACIÓN GENERAL</b>		<b>C. FOTOGRAFÍA PANORÁMICA DEL BOFEDAL</b>	
1. Región, Provincia, Distrito: Santa Ana, Huancavelica			
2. Comunidad o Granja	Pucapampa		
3. Sector: Pucapampa	4. Geología		
5. Coordenadas (WGS-84)	6. Altitud (msnm)		
Latitud: 8558926	4589		
Longitud: 490790	8. Uso Actual de la Tierra		
7. Zona de Vida Natural	Pastoreo		
9. Intensidad de Uso: Ligero			
<b>B. VEGETACIÓN</b>			
10. Cobertura Vegetal (%)	11. Mantillo (%)		
100%	35.96%		
12. Especies Dominantes	13. Biomasa (Kg) : 741.50		
Dominante Calamagrostis rigescens Sub-Dominante Phylloscirpus deserticola Sub-Sub-Dominante carex sp			
<b>D. SUELOS</b>		<b>E. AGUA</b>	
14. Posic. Topográfica	Planicie	24. Fuentes de Agua: riachuelo y manantial	
15. Paisaje Circundante	montañoso	25. Tipo: permanente	
16. Pendiente (%)	0 - 2%	<b>F. ASPECTOS ESPECIALES</b>	
17. Signos de Erosión	Ninguna	26. Fragmentación: No	
18. Grado de Erosión	19. Estructura	27. Conectividad de los Parches: Si	
20. Pedregosidad Superf. (%): 0	Masiva	28. Cercanía a Caminos o Trochas (km)	
21. Afloram. Rocoso (%): 0	22. Profundidad Suelo	29. Cercanía a Centros poblados (Km)	
23. Textura Franco	> 75	<b>G. PROBLEMAS DE MANEJO</b>	
Notas:		30. Sobrepastoreo: Si	31. Desvio de cursos de agua
		32. Drenaje:	33. Quema de pastizales
<b>H. ESTADOS DE SALUD</b>		<b>I. CONDICIÓN FORRAJERA Y CAPACIDAD DE CARGA</b>	
Saludable	✓	Buena	Vacunos
Saludable con problemas de manejo		Regular	Ovinos
No saludable		Pobre	Alpacas 1 UAL/ Ha/año
		Muy Pobre	Llamas

### 1.3.Ficha de relevamiento rápido del bofedal de condición buena de Mazocruz, Puno

FICHA DESCRIPTIVA DE BOFEDALES			
<b>A. INFORMACIÓN GENERAL</b>		<b>C. FOTOGRAFÍA PANORÁMICA DEL BOFEDAL</b>	
1. Región, Provincia, Distrito: Masocruz, Puno			
2. Comunidad o Granja Huancollo			
3. Sector: Huanacamaya	4. Geología		
5. Coordenadas (WGS-84)	6. Altitud (msnm)		
Latitud: 8165488	4307		
Longitud: 401762	8. Uso Actual de la Tierra		
7. Zona de Vida Natural	Pastoreo		
9. Intensidad de Uso: Ligero			
<b>B. VEGETACIÓN</b>			
10. Cobertura Vegetal (%)	11. Mantillo (%)		
100%	50.50%		
12. Especies Dominantes	13. Biomasa (Kg) : 673.2		
Dominante Plantago tubulosa			
Sub-Dominante Festuca dolichophylla			
Sub-Sub-Dominante Distichia muscoides			
<b>D. SUELOS</b>		<b>E. AGUA</b>	
14. Posic. Topográfica	Planicie	24. Fuentes de Agua: Ojo de agua, riachuelo	25. Tipo: permanente
15. Paisaje Circundante	Montañoso		
16. Pendiente (%)	0 - 2%	<b>F. ASPECTOS ESPECIALES</b>	
17. Signos de Erosión	Ninguna	26. Fragmentación: Ninguna < 3%	
18. Grado de Erosión	19. Estructura	27. Conectividad de los Parches: Si	
20. Pedregosidad Superf. (%): 0.01 -0.1%	Masiva	28. Cercanía a Caminos o Trochas (km)	
21. Afloram. Rocoso (%): < 2%	22. Profundidad Suelo	29. Cercanía a Centros poblados (Km)	
23. Textura	> 75	<b>G. PROBLEMAS DE MANEJO</b>	
Notas:		30. Sobrepastoreo: Si	31. Desvío de cursos de agua
		32. Drenaje:	33. Quema de pastizales
<b>H. ESTADOS DE SALUD</b>		<b>I. CONDICIÓN FORRAJERA Y CAPACIDAD DE CARGA</b>	
Saludable	√	Buena	√
Saludable con problemas de manejo		Regular	
No saludable		Pobre	
		Muy Pobre	
		Vacunos	
		Ovinos	
		Alpacas	2UAL/ Ha / año
		Llamas	

#### 1.4. Ficha de relevamiento rápido del bofedal de condición regular de Quilcayhuanca, Huaraz

FICHA DESCRIPTIVA DE BOFEDALES			
<b>A. INFORMACIÓN GENERAL</b>		<b>C. FOTOGRAFÍA PANORÁMICA DEL BOFEDAL</b>	
1. Región, Provincia, Distrito: Ancash, Huaraz, Independencia			
2. Comunidad o Granja Quilcayhuanca - PNH			
3. Sector: 1	4. Geología		
5. Coordenadas (WGS-84)	6. Altitud (msnm)		
Latitud: 8950650	3874		
Longitud: 236537			
7. Zona de Vida Natural	8. Uso Actual de la Tierra		
	Pastoreo		
9. Intensidad de Uso: Moderada			
<b>B. VEGETACIÓN</b>			
10. Cobertura Vegetal (%)	11. Mantillo (%)		
98%	17.41%		
12. Especies Dominantes	13. Biomasa (Kg) : 861.49		
Dominante Plantago tubulosa			
Sub-Dominante Calamagrostis rigida			
Sub-Sub-Dominante Lobelia oligophylla			
<b>D. SUELOS</b>		<b>E. AGUA</b>	
14. Posic. Topográfica	Fondo de valle	24. Fuentes de Agua: Riachuelo y manantial	25. Tipo: permanente
15. Paisaje Circundante	Montañoso		
16. Pendiente (%)	Casi a nivel 0 - 2%	<b>F. ASPECTOS ESPECIALES</b>	
17. Signos de Erosión	Ligero a moderado	26. Fragmentación	
18. Grado de Erosión	19. Estructura	27. Conectividad de los Parches	
20. Pedregosidad Superf. (%): 0.1 - 3%	Masiva	28. Cercanía a Caminos o Trochas (km)	
21. Afloram. Rocoso (%): < 2%	22. Profundidad Suelo	29. Cercanía a Centros poblados (Km)	
23. Textura: Franco arenoso	profundo >75 cm	<b>G. PROBLEMAS DE MANEJO</b>	
Notas:		30. Sobrepastoreo: Si	31. Desvío de cursos de agua
		32. Drenaje:	33. Quema de pastizales
<b>H. ESTADOS DE SALUD</b>		<b>I. CONDICIÓN FORRAJERA Y CAPACIDAD DE CARGA</b>	
Saludable		Buena	✓
Saludable con problemas de		Regular	✓
No saludable		Pobre	
		Muy Pobre	
		Vacunos	
		Ovinos	
		Alpacas	2 UAL/Ha/año
		Llamas	

### 1.5. Ficha de relevamiento rápido del bofedal de condición regular de Santa Ana, Huancavelica

FICHA DESCRIPTIVA DE BOFEDALES			
<b>A. INFORMACIÓN GENERAL</b>		<b>C. FOTOGRAFÍA PANORÁMICA DEL BOFEDAL</b>	
1. Región, Provincia, Distrito: Santa Ana, Huancavelica			
2. Comunidad o Granja Pucapampa			
3. Sector: Pucapampa	4. Geología		
5. Coordenadas (WGS-84)	6. Altitud (msnm)		
Latitud: 8553822	4517		
Longitud: 487697			
7. Zona de Vida Natural	8. Uso Actual de la Tierra		
	Pastoreo		
9. Intensidad de Uso: Moderado			
<b>B. VEGETACIÓN</b>			
10. Cobertura Vegetal (%)	11. Mantillo (%)		
96%	35.57%		
12. Especies Dominantes	13. Biomasa (Kg) : 431.06		
Dominante <i>Werneria pygmaea</i>			
Sub-Dominante <i>Calamagrostis rigescens</i>			
Sub-Sub-Dominante <i>Juncus ebracteatus</i>			
<b>D. SUELOS</b>		<b>E. AGUA</b>	
14. Posic. Topográfica: Planicie		24. Fuentes de Agua: Rio, riachuelo y manantial	
15. Paisaje Circundante Montañoso		25. Tipo: permanente	
16. Pendiente (%) 0 - 2%		<b>F. ASPECTOS ESPECIALES</b>	
17. Signos de Erosión Moderada		26. Fragmentación: Ligeramente 3- 15% del area con parches	
18. Grado de Erosión	19. Estructura	27. Conectividad de los Parches: Si	
20. Pedregosidad Superf. (%): 0	Masiva	28. Cercanía a Caminos o Trochas (km)	
21. Afloram. Rocoso (%): 0	22. Profundidad Suelo	29. Cercanía a Centros poblados (Km)	
23. Textura: Fanco	> 75	<b>G. PROBLEMAS DE MANEJO</b>	
Notas:		30. Sobrepastoreo: Si	31. Desvío de cursos de agua
		32. Drenaje:	33. Quema de pastizales
<b>H. ESTADOS DE SALUD</b>		<b>I. CONDICIÓN FORRAJERA Y CAPACIDAD DE CARGA</b>	
Saludable		Buena	Vacunos
Saludable con problemas de v		Regular v	Ovinos
No saludable		Pobre	Alpacas 1 UAL/ Ha / año
		Muy Pobre	Llamas

## 1.6. Ficha de relevamiento rápido del bofedal de condición regular de Mazocruz, Puno

FICHA DESCRIPTIVA DE BOFEDALES			
<b>A. INFORMACIÓN GENERAL</b>		<b>C. FOTOGRAFÍA PANORÁMICA DEL BOFEDAL</b>	
1. Región, Provincia, Distrito: Masocruz, Puno			
2. Comunidad o Granja Huancollo			
3. Sector: Santa Rosa	4. Geología		
5. Coordenadas (WGS-84)	6. Altitud (msnm)		
Latitud: 8165091	4155		
Longitud: 4288			
7. Zona de Vida Natural	8. Uso Actual de la Tierra		
	Pastoreo		
9. Intensidad de Uso: Moderado			
<b>B. VEGETACIÓN</b>			
10. Cobertura Vegetal (%)	11. Mantillo (%)		
98%	32.27%		
12. Especies Dominantes	13. Biomasa (Kg) : 464.877		
Dominante Plantago tubulosa			
Sub-Dominante Festuca dolichophylla			
Sub-Sub-Dominante Distichia muscoides			
<b>D. SUELOS</b>		<b>E. AGUA</b>	
14. Posic. Topográfica	Planicie		
15. Paisaje Circundante	Montañoso	24. Fuentes de Agua: Riachuelo, manantial	25. Tipo: permanente
16. Pendiente (%)	0 - 2%	<b>F. ASPECTOS ESPECIALES</b>	
17. Signos de Erosión	Moderado	26. Fragmentación: ligeramente 3 - 15% del area	
18. Grado de Erosión	19. Estructura	27. Conectividad de los Parches: Si	
20. Pedregosidad Superf. (%): 0.01 - 0.1%	Masiva	28. Cercanía a Caminos o Trochas (km)	
21. Afloram. Rocoso (%): 2 - 10%	22. Profundidad Suelo	29. Cercanía a Centros poblados (Km)	
23. Textura	> 75	<b>G. PROBLEMAS DE MANEJO</b>	
Notas:		30. Sobrepastoreo: Si	31. Desvío de cursos de agua
		32. Drenaje:	33. Quema de pastizales
<b>H. ESTADOS DE SALUD</b>		<b>I. CONDICIÓN FORRAJERA Y CAPACIDAD DE CARGA</b>	
Saludable		Buena	√
Saludable con problemas de		Regular	Vacunos
No saludable		Pobre	Ovinos
		Muy Pobre	Alpacas 2 UAL/ Ha / año
			Llamas

1.7.Ficha de relevamiento rápido del bofedal de condición pobre de Quilcayhuanca, Huaraz

FICHA DESCRIPTIVA DE BOFEDALES				
<b>A. INFORMACIÓN GENERAL</b>		<b>C. FOTOGRAFÍA PANORÁMICA DEL BOFEDAL</b>		
1. Región, Provincia, Distrito: Ancash, Huaraz, Independencia				
2. Comunidad o Granja Quilcayhuanca - PNH				
3. Sector: 2	4. Geología			
5. Coordenadas (WGS-84)	6. Altitud (msnm)			
Latitud: 8953539	3984			
Longitud: 239415	8. Uso Actual de la Tierra			
7. Zona de Vida Natural	Pastoreo			
9. Intensidad de Uso: Pesada				
<b>B. VEGETACIÓN</b>				
10. Cobertura Vegetal (%)	11. Mantillo (%)			
98%	15.46%			
12. Especies Dominantes	13. Biomasa (Kg) : 646.76			
Dominante Aciachne pulvinata				
Sub-Dominante Hordeum muticum				
Sub-Sub-Dominante werneria nubigena				
<b>D. SUELOS</b>		<b>E. AGUA</b>		
14. Posic. Topográfica	Fondo de valle	24. Fuentes de Agua: Riachuelo y manantial		
15. Paisaje Circundante	Montañoso	25. Tipo: permanente		
16. Pendiente (%)	Ligeramente 2 - 5%	<b>F. ASPECTOS ESPECIALES</b>		
17. Signos de Erosión	Severa	26. Fragmentación		
18. Grado de Erosión	19. Estructura	27. Conectividad de los Parches		
20. Pedregosidad Superf. (%):	Masiva	28. Cercanía a Caminos o Trochas (km)		
21. Afloram. Rocoso (%):	22. Profundidad Suelo	29. Cercanía a Centros poblados (Km)		
23. Textura: Franco arcillo limoso	medianamente sup 50 - 75cm	<b>G. PROBLEMAS DE MANEJO</b>		
Notas:		33. Sobrepastoreo: Si	34. Desvio de cursos de agua	
		35. Drenaje:	36. Quema de pastizales	
<b>H. ESTADOS DE SALUD</b>		<b>I. CONDICIÓN FORRAJERA Y CAPACIDAD DE CARGA</b>		
Saludable		Buena	✓	
Saludable con problemas de manejo		Regular	Vacunos	
No saludable		Pobre	Ovinos	
		Muy Pobre	Alpacas	
			Llamas	
			2 UAL/Ha/año	

1.8.Ficha de relevamiento rápido del bofedal de condición pobre de Santa Ana, Huancavelica

FICHA DESCRIPTIVA DE BOFEDALES				
<b>A. INFORMACIÓN GENERAL</b>		<b>C. FOTOGRAFÍA PANORÁMICA DEL BOFEDAL</b>		
1. Región, Provincia, Distrito: Santa Ana, Huancavelica				
2. Comunidad o Granja Chonta				
3. Sector: Chonta	4. Geología			
5. Coordenadas (WGS-84)	6. Altitud (msnm)			
Latitud: 8553199	4773			
Longitud: 493929	8. Uso Actual de la Tierra			
7. Zona de Vida Natural	Pastoreo			
9. Intensidad de Uso: Pesado				
<b>B. VEGETACIÓN</b>				
10. Cobertura Vegetal (%)	11. Mantillo (%)			
78%	34.60%			
12. Especies Dominantes	13. Biomasa (Kg) : 375.39			
Dominante Alchemilla diplophylla Sub-Dominante Calamagrostis breviculmis Sub-Sub-Dominante Calamagrostis vicunarum				
<b>D. SUELOS</b>		<b>E. AGUA</b>		
14. Posic. Topográfica	Fondo de valle	24. Fuentes de Agua: Rio, riacuelo y manantial		
15. Paisaje Circundante	Montañoso	25. Tipo: permanente		
16. Pendiente (%)	ligeramente inclinado 2 - 4%	<b>F. ASPECTOS ESPECIALES</b>		
17. Signos de Erosión	Severo	27. Fragmentación: >15% del area con parches		
18. Grado de Erosión	19. Estructura	29. Conectividad de los Parches; No		
20. Pedregosidad Superf. (%): 0.1 - 3%	Masiva	31. Cercanía a Caminos o Trochas (km)		
21. Afloram. Rocosos (%): <2%	22. Profundidad Suelo	32. Cercanía a Centros poblados (Km)		
23. Textura	>75	<b>G. PROBLEMAS DE MANEJO</b>		
Notas:		33. Sobrepastoreo: Si	34. Desvio de cursos de agua: Si	
		35. Drenaje:	36. Quema de pastizales	
<b>H. ESTADOS DE SALUD</b>		<b>I. CONDICIÓN FORRAJERA Y CAPACIDAD DE CARGA</b>		
Saludable		Buena	Vacunos	
Saludable con problemas de manejo		Regular v	Ovinos	
No saludable v		Pobre	Alpacas 1 UAL / Ha/ año	
		Muy Pobre	Llamas	

## 1.9. Ficha de relevamiento rápido del bofedal de condición pobre de Mazocruz, Puno

FICHA DESCRIPTIVA DE BOFEDALES					
<b>A. INFORMACIÓN GENERAL</b>		<b>C. FOTOGRAFÍA PANORÁMICA DEL BOFEDAL</b>			
1. Región, Provincia, Distrito: Masocruz, Puno					
2. Comunidad o Granja: Huancollo					
3. Sector: Santa Rosa	4. Geología				
5. Coordenadas (WGS-84)				6. Altitud (msnm)	
Latitud: 8165271				4155	
Longitud: 0402223				8. Uso Actual de la Tierra	
7. Zona de Vida Natural				Pastoreo	
9. Intensidad de Uso: Pesado					
<b>B. VEGETACIÓN</b>					
10. Cobertura Vegetal (%)		11. Mantillo (%)			
85%		18.44%			
12. Especies Dominantes		13. Biomasa (Kg) : 368.81			
Dominante <i>Oxychloe andina</i>					
Sub-Dominante <i>Calamagrostis vicunarum</i>					
Sub-Sub-Dominante <i>Festuca dolichophylla</i>					
<b>D. SUELOS</b>		<b>E. AGUA</b>			
14. Posic. Topográfica: Planicie		24. Fuentes de Agua: Laguna, ojo de agua y manantial			
15. Paisaje Circundante: Montañoso		25. Tipo: permanente			
16. Pendiente (%): 2 - 4%		<b>F. ASPECTOS ESPECIALES</b>			
17. Signos de Erosión: Severa		26. Fragmentación: > 15% del area			
18. Grado de Erosión		27. Conectividad de los Parches: Si			
20. Pedregosidad Superf. (%): 0		28. Cercanía a Caminos o Trochas (km)			
21. Afloram. Rocoso (%): < 2%		29. Cercanía a Centros poblados (Km)			
23. Textura		<b>G. PROBLEMAS DE MANEJO</b>			
Notas:		30. Sobrepastoreo: Si			
		31. Desvio de cursos de agua			
		32. Drenaje:			
		33. Quema de pastizales			
<b>H. ESTADOS DE SALUD</b>		<b>I. CONDICIÓN FORRAJERA Y CAPACIDAD DE CARGA</b>			
Saludable		Buena			
Saludable con problemas de manejo		Regular			
No saludable		Pobre			
		Muy Pobre			
		Vacunos			
		Ovinos			
		Alpacas 0.33 UAL/ Ha / año			
		Llamas			

## 2. Evaluación Metodología Milton

Bofedal	Rango de Indicadores							Condición
	Valor Forrajero	Intensidad de Pastoreo	Indicadores de Perturbación	Regeneración de Plántulas	Salud del Suelo y Habitat	Suma	Promedio	
Bueno - Huaraz	4	3	4.5	4	3.3	18.8	3.8	Bueno
Bueno - Huancave	4	4	4.5	4	3.3	19.8	3.9	Bueno
Bueno - Puno	5	4	3	4	2.3	18.3	3.6	Bueno
Regular Huaraz	4	3	3.5	3	3	16.5	3.4	Intermedio
Regular Huancave	4	3	3	4	3	17	3.4	Intermedio
Regular Puno	3	3	3.5	3	3.3	15.8	3.2	Intermedio
Pobre - Huaraz	2	2	3	2	2.3	11.3	2.3	Pobre
Pobre Huancave	2	1	2.5	2	1.3	8.8	1.8	Pobre
Pobre - Puno	3	1	2	3	3	12	2.4	Pobre

### 3. Indicadores, Puntaje y Condición de la Metodología Parker

Bofedal	Indicadores				Puntaje (%)	Condición
	Plantas deseables (%)	Índice forrajero (%)	Cobertura vegetal (%)	Índice de vigor (%)		
Bueno – Huaraz	41	86	100	45.63	62.26	Bueno -
Bueno - Huancavelica	29	95	100	44	57.90	Regular +
Bueno – Puno	76	78	92	79.47	79.95	Bueno +
Regular – Huaraz	55	94	98	29.33	68.83	Bueno -
Regular – Huancavelica	38	98	99	12.20	59.62	Regular +
Regular – Puno	79	80	100	19	77.40	Bueno +
Pobre - Huaraz	49	87	98	24.50	63.95	Bueno -
Pobre – Huancavelica	40	50	93	8.90	49.49	Regular -
Pobre - Puno	5	11	100	67.33	31.43	Pobre +

#### 4.1. Valor de Indicadores de la Estabilidad del Sistema, Función Hidrológica e Integridad Biótica Mediante la Metodología Pyke

Categorías	Bofedales					Bueno Huaraz					Bueno Huancavelica					Bueno Puno					Regular Huaraz					Regular Huancavelica					Regular Puno					Pobre Huaraz					Pobre Huancavelica					Pobre Puno									
	E	ME	M	LM	NL	E	ME	M	LM	NL	E	ME	M	LM	NL	E	ME	M	LM	NL	E	ME	M	LM	NL	E	ME	M	LM	NL	E	ME	M	LM	NL	E	ME	M	LM	NL	E	ME	M	LM	NL	E	ME	M	LM	NL					
Riachuelos					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1
Patrones de escurrimiento				1						1				1						1					1					1					1					1					1					1					
Pedestales o Terracetas					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Suelo desnudo					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Cárcavas					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Áreas de deposición					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Movimiento de mantillo					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Resistencia del suelo a la erosión					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Perdida de la superficie del suelo					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Vegetación relativa a la infiltración			1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1		
Compactación del suelo				1						1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Grupos funcionales					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Mortalidad vegetal					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Cantidad de mantillo				1						1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Producción anual					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Plantas invasoras					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					
Capacidad de reproducción					1					1					1					1					1					1					1					1					1					1					

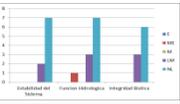
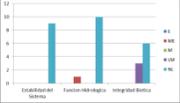
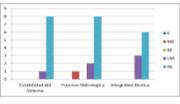
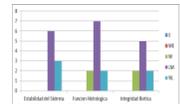
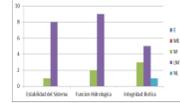
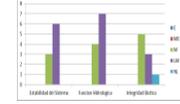
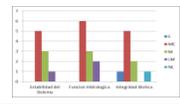
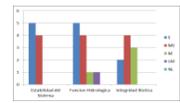
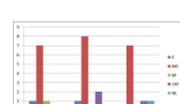
\*Indicadores asociados a cada uno de los atributos

Estabilidad del Sistema: Riachuelos, patrones de escurrimiento, pedestales, suelo desnudo, cárcavas, áreas de deposición, resistencia del suelo a la erosión, perdida de suelo, compactación del suelo

Función Hidrológica: Riachuelos, patrones de escurrimiento, pedestales, suelo desnudo, cárcavas, movimiento de mantillo, resistencia del suelo a la erosión, perdida de suelo, vegetación relativa a la infiltración, compactación del suelo, cantidad de mantillo

Integridad Biótica: resistencia del suelo a la erosión, perdida de suelo, compactación del suelo, grupos funcionales, mortalidad vegetal, cantidad de mantillo, producción anual, plantas invasoras y capacidad de reproducción.

#### 4.2. Estimación de la Condición por la Metodología Pyke

Bofedal	Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica	Total	Condición																								
Bueno Huaraz	$5(0)+4(0)+3(0)+2(2)+1(7)=11/9$ =1.22	$5(0)+4(1)+3(0)+2(3)+1(7)=17/11$ =1.55	$5(0)+4(0)+3(0)+2(3)+1(6)=12/9$ =1.33	1.37	Ninguno a Ligero <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estabilidad del Sistema</th> <th>Función Hidrológica</th> <th>Integridad Biótica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>ME</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>LM</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>NL</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> 		Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica	E	0	0	0	ME	0	1	0	M	0	0	0	LM	3	3	3	NL	7	7	6
	Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica																										
E	0	0	0																										
ME	0	1	0																										
M	0	0	0																										
LM	3	3	3																										
NL	7	7	6																										
Bueno - Huancavelica	$5(0)+4(0)+3(0)+2(0)+1(9)=9/9$ =1	$5(0)+4(1)+3(0)+2(0)+1(10)=14/11$ =1.27	$5(0)+4(0)+3(0)+2(3)+1(6)=12/9$ =1.33	1.2	Ninguno a Ligero <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estabilidad del Sistema</th> <th>Función Hidrológica</th> <th>Integridad Biótica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>ME</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>LM</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>NL</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> 		Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica	E	0	0	0	ME	0	1	0	M	0	0	0	LM	0	0	0	NL	9	10	6
	Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica																										
E	0	0	0																										
ME	0	1	0																										
M	0	0	0																										
LM	0	0	0																										
NL	9	10	6																										
Bueno - Puno	$5(0)+4(0)+3(0)+2(1)+1(8)=10/9$ =1.11	$5(0)+4(1)+3(0)+2(2)+1(8)=16/11$ =1.45	$5(0)+4(0)+3(0)+2(6)+1(6)=12/9$ =1.33	1.30	Ninguno a Ligero <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estabilidad del Sistema</th> <th>Función Hidrológica</th> <th>Integridad Biótica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>ME</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>LM</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>NL</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table> 		Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica	E	0	0	0	ME	0	1	0	M	0	0	0	LM	1	2	3	NL	8	8	6
	Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica																										
E	0	0	0																										
ME	0	1	0																										
M	0	0	0																										
LM	1	2	3																										
NL	8	8	6																										
Regular - Huaraz	$5(0)+4(0)+3(0)+2(6)+1(3)=15/9$ =1.67	$5(0)+4(0)+3(2)+2(7)+1(2)=22/11$ =2	$5(0)+4(0)+3(2)+2(5)+1(2)=18/9$ =2	1.89	Ligero a Moderado <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estabilidad del Sistema</th> <th>Función Hidrológica</th> <th>Integridad Biótica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>ME</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>LM</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>NL</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> 		Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica	E	0	0	0	ME	0	0	0	M	0	2	2	LM	6	7	5	NL	3	2	2
	Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica																										
E	0	0	0																										
ME	0	0	0																										
M	0	2	2																										
LM	6	7	5																										
NL	3	2	2																										
Regular - Huancavelica	$5(0)+4(0)+3(1)+2(8)+1(0)=19/9$ =2.11	$5(0)+4(0)+3(3)+2(5)+1(1)=24/11$ =2.18	$5(0)+4(0)+3(3)+2(5)+1(1)=20/9$ =2.22	2.17	Ligero a Moderado <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estabilidad del Sistema</th> <th>Función Hidrológica</th> <th>Integridad Biótica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>ME</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>LM</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>NL</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> 		Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica	E	0	0	0	ME	0	0	0	M	1	2	3	LM	8	9	5	NL	0	0	1
	Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica																										
E	0	0	0																										
ME	0	0	0																										
M	1	2	3																										
LM	8	9	5																										
NL	0	0	1																										
Regular - Puno	$5(0)+4(0)+3(3)+2(6)+1(0)=21/9$ =2.33	$5(0)+4(0)+3(4)+2(7)+1(0)=26/11$ =2.36	$5(0)+4(0)+3(5)+2(3)+1(1)=22/9$ =2.44	2.38	Ligero a Moderado <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estabilidad del Sistema</th> <th>Función Hidrológica</th> <th>Integridad Biótica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>ME</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>LM</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>NL</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> 		Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica	E	0	0	0	ME	0	0	0	M	3	4	5	LM	6	7	3	NL	0	0	1
	Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica																										
E	0	0	0																										
ME	0	0	0																										
M	3	4	5																										
LM	6	7	3																										
NL	0	0	1																										
Pobre - Huaraz	$5(0)+4(5)+3(3)+2(1)+1(0)=31/9$ =3.44	$5(0)+4(6)+3(3)+2(2)+1(0)=37/11$ =3.36	$5(1)+4(5)+3(2)+2(0)+1(1)=32/9$ =3.56	3.44	Moderado <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estabilidad del Sistema</th> <th>Función Hidrológica</th> <th>Integridad Biótica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>ME</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>LM</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>NL</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> 		Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica	E	0	0	1	ME	5	6	5	M	3	2	2	LM	1	2	0	NL	0	0	1
	Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica																										
E	0	0	1																										
ME	5	6	5																										
M	3	2	2																										
LM	1	2	0																										
NL	0	0	1																										
Pobre - Huancavelica	$5(5)+4(4)+3(0)+2(0)+1(0)=41/9$ =4.56	$5(5)+4(4)+3(1)+2(1)+1(0)=46/11$ =4.18	$5(2)+4(4)+3(3)+2(0)+1(0)=35/9$ =3.89	4.21	Moderado a Extremo <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estabilidad del Sistema</th> <th>Función Hidrológica</th> <th>Integridad Biótica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>ME</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>LM</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>NL</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> 		Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica	E	5	5	2	ME	4	4	4	M	0	1	3	LM	0	1	0	NL	0	0	0
	Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica																										
E	5	5	2																										
ME	4	4	4																										
M	0	1	3																										
LM	0	1	0																										
NL	0	0	0																										
Pobre - Puno	$5(1)+4(7)+3(1)+2(0)+1(0)=36/9$ =4	$5(1)+4(8)+3(0)+2(2)+1(0)=41/11$ =3.72	$5(0)+4(7)+3(0)+2(1)+1(1)=31/9$ =3.44	3.72	Moderado a Extremo <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Estabilidad del Sistema</th> <th>Función Hidrológica</th> <th>Integridad Biótica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>ME</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>LM</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>NL</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> 		Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica	E	1	1	0	ME	7	8	7	M	1	0	0	LM	0	2	1	NL	0	0	1
	Estabilidad del Sistema	Función Hidrológica	Integridad Biótica																										
E	1	1	0																										
ME	7	8	7																										
M	1	0	0																										
LM	0	2	1																										
NL	0	0	1																										

--	--	--	--	--	--

5. Evaluación Metodología Propuesta

	Bofedal	Bueno Huaraz	Bueno Huancavelica	Bueno Puno	Regular Huaraz	Regular Huancavelica	Regular Puno	Pobre Huaraz	Pobre Huancavelica	Pobre Puno
Indicadores	Biomasa	4.3	2.15	2.15	3.23	1.08	1.08	2.15	1.08	1.08
	Mantillo	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	1.55	2.06	1.55
	Materia Orgánica	2.1	1.4	2.1	1.4	0	0	0	0	0
	Carbono	2.1	1.4	2.1	1.4	0	0	0	0	0
	Subtotal	<b>10.56</b>	<b>7.01</b>	<b>8.41</b>	<b>8.09</b>	<b>3.14</b>	<b>3.14</b>	<b>3.7</b>	<b>3.14</b>	<b>2.63</b>
	pH	0.736	0.552	0.736	0.736	0.552	0.736	0.184	0.552	0.736
	TDS	0.552	0.368	0.184	0.552	0.552	0.552	0.552	0.368	0.552
	CE	0.184	0.552	0.552	0.552	0.184	0.368	0.368	0.552	0.368
	Densidad Aparente	7.73	7.73	15.46	7.73	0	7.73	0	0	3.865
	Tasa de Infiltración	7.73	15.46	11.595	7.73	7.73	11.595	0	0	0
	Subtotal	<b>16.93</b>	<b>24.66</b>	<b>28.53</b>	<b>17.3</b>	<b>9.018</b>	<b>20.98</b>	<b>1.104</b>	<b>1.472</b>	<b>5.52</b>
	Cobertura Vegetal	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	6.3	9.45
	Signos de Erosion	2.592	6.47	2.16	8.63	2.16	2.16	0	2.16	2.16
	Plantas Invasoras	8.63	2.592	2.592	1.296	1.296	1.296	0	0	0
	Fragmentación	6.01	6.01	6.01	3.01	3.01	3.01	0	0	0
	Diversidad de Especies	18.83	18.83	18.83	12.55	18.83	6.28	12.55	12.55	6.28
	Subtotal	<b>48.66</b>	<b>46.50</b>	<b>42.19</b>	<b>38.086</b>	<b>37.896</b>	<b>25.346</b>	<b>25.15</b>	<b>21.01</b>	<b>17.89</b>
Total	<b>76.154</b>	<b>78.17</b>	<b>79.13</b>	<b>63.476</b>	<b>50.054</b>	<b>49.47</b>	<b>29.954</b>	<b>25.622</b>	<b>26.04</b>	
Condición	Saludable			Saludable con problemas de manejo			No saludable			

## 6. Análisis de Conglomerados

Estados de Salud	Bofedal	Metodología propuesta	Promedio
Saludable	1	7.62	7.39
	2	7.82	7.42
	3	7.91	7.87
Saludable con problemas de manejo	4	6.35	6.87
	5	5.01	6.52
	6	4.95	6.84
No saludable	7	2.99	5.08
	8	2.56	3.76
	9	2.60	3.91

Para hallar el dendograma de la prueba de conglomerados es:

Analizar – clasificar – conglomerados jerárquicos (se desea agrupar de tres)

- Seleccionar variables (datos de la metodología propuesta y del promedio)
- Etiquetar: por número de Bofedal

Conglomerar por casos

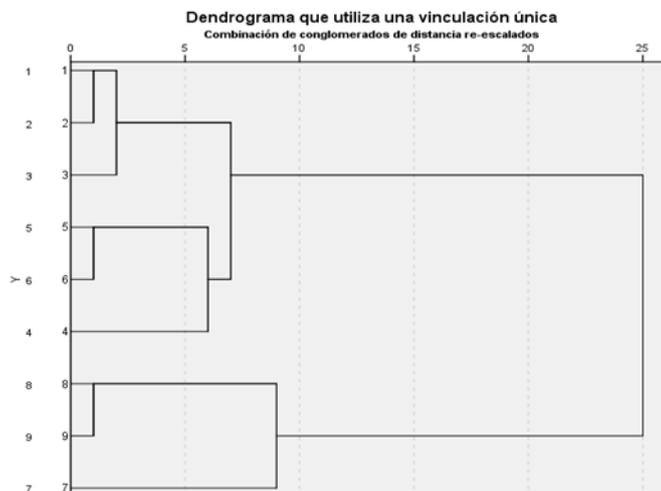
\*Estadístico: matriz de distancias

Rango: min 2, máx. 3

\*Grafico: dendograma

\*Método: método de conglomeración (vecino más cercano)

Estandarizar: puntuaciones Z, por variable



## 7. Análisis de Correlación de Pearson

Metodología propuesta	Promedio
7.62	7.39
7.82	7.42
7.91	7.87
6.35	6.87
5.01	6.52
4.95	6.84
2.99	5.08
2.56	3.76
2.60	3.91

Los pasos a seguir para hallar la correlación de Pearson son:

Analizar – correlaciones – bivariadas – variables (puntajes de la metodología y promedio)

Coefficientes de correlación: Pearson

### Estadísticos descriptivos

	Media	Desviación típica	N
Metodología	5,3122	2,23569	9
Promedio	6,1844	1,54532	9

### Correlaciones

		Metodología	Promedio
Metodología	Correlación de Pearson	1	,942**
	Sig. (bilateral)		,000
	Suma de cuadrados y productos cruzados	39,986	26,038
	Covarianza	4,998	3,255
	N	9	9
Promedio	Correlación de Pearson	,942**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	Suma de cuadrados y productos cruzados	26,038	19,104
	Covarianza	3,255	2,388
	N	9	9

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

## 8. Análisis de Chi – Cuadrado

Estados de Salud	Metodología propuesta	Métodos Estándares			
		Milton	Parker	Pyke	Promedio
Saludable	7.62	8.44	6.23	7.50	7.39
	7.82	8.67	5.79	7.81	7.42
	7.91	8.00	7.99	7.63	7.87
Saludable con problemas de manejo	6.35	7.56	6.88	6.17	6.87
	5.01	7.56	5.96	6.05	6.52
	4.95	7.11	7.74	5.66	6.84
No saludable	2.99	5.11	6.40	3.73	5.08
	2.56	4.00	4.95	2.33	3.76
	2.60	5.33	3.14	3.26	3.91

$H_0$ : el promedio de puntajes de metodologías estándares está relacionado con los puntajes de la metodología propuesta

$H_1$ : el promedio de puntajes de metodologías estándares no está relacionado con los puntajes de la metodología propuesta

Estadístico 
$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Promedio (v. Observados)	Metodología (V. esperados)	O - E	(O-E) <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>
7.39	7.615	-0.22	0.0499	0.00654997
7.42	7.817	-0.39	0.1547	0.01979584
7.87	7.913	-0.04	0.0015	0.00019202
6.87	6.348	0.52	0.2737	0.04311202
6.52	5.006	1.52	2.2972	0.45888113
6.84	4.947	1.89	3.5783	0.7233369
5.08	2.99	2.09	4.3683	1.46098365
3.76	2.562	1.20	1.4356	0.56034848
3.91	2.604	1.31	1.7116	0.65728407
				3.93048408

Dado que el resultado de  $X^2_{cal} = 3.93$ , y este valor es menor que el tabular, entonces aceptamos la hipótesis nula.

$3.93 < 15.51$ , se acepta la  $H_0$

## 9. Análisis de Kruskal – Wallis

$H_0$ : No existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntajes obtenidos mediante las cuatro metodologías aplicadas.

$H_1$ : Existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntajes obtenidos mediante las cuatro metodologías aplicadas.

Nivel de confianza: 95%

Grados de libertad:  $K - 1$

$$\text{Fórmula: } H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^K \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N + 1)$$

dónde:

N: número total de casos

R: Rango calculado

n: número de elementos del grupo al que le corresponde cada rango

Estados de Salud	Metodología propuesta	Milton	Parker	Pyke
Saludable	7.62	8.44	6.23	7.50
	7.82	8.67	5.79	7.81
	7.91	8.00	7.99	7.63
Saludable con problemas de manejo	6.35	7.56	6.88	6.17
	5.01	7.56	5.96	6.05
	4.95	7.11	7.74	5.66
No saludable	2.99	5.11	6.40	3.73
	2.56	4.00	4.95	2.33
	2.60	5.33	3.14	3.26

Se construye una tabla con los promedios para cada una de las repeticiones según los estados de salud, y los tratamientos vienen a ser las metodologías utilizadas.

	Propuesta	Milton	Parker	Pyke
Saludable	7.783	8.370	6.670	7.647
Regular	5.437	7.41	6.860	5.96
Pobre	2.717	4.813	4.83	3.107

Se realiza la tabla de rangos para cada uno de los tratamientos que deseamos comparar.

	Propuesta	Milton	Parker	Pyke
Saludable	11	12	7	10
Regular	5	9	8	6
Pobre	1	3	4	2
suma	17	24	19	18
promedio	5.67	8.00	6.33	6.00

Reemplazamos en la fórmula:

$$H = \frac{12}{12(12+1)} \left( \frac{17^2}{3} + \frac{24^2}{3} + \frac{19^2}{3} + \frac{18^2}{3} \right) - 3(12 + 1)$$

$$H = \frac{12}{12(13)} (96.33 + 192 + 120.33 + 108) - 3(13)$$

$$H = \frac{12}{156} (516.66) - 39 = 39.743 - 39 = 0.743$$

$$X^2(0,05; 3) = 7.815$$

Encontramos que  $X^2$  calculado  $<$   $X^2$  tabular;  $0.743 < 7.815$ ; por lo tanto se acepta la hipótesis nula.

### Comparaciones múltiples

Para hallar si existen diferencias entre los tratamientos se realizan las comparaciones múltiples.

Se plantean las hipótesis:

$$H_0: \theta_i = \theta_j$$

$$H_1: \theta_i \neq \theta_j$$

Deben haber  $k(k-1)/2$  comparaciones, esto es  $4(4-1)/2 = 6$  comparaciones

Nivel de confianza: 95%

$$Z_{\text{tabla}}(\alpha/k(k-1)) = Z_{\text{tabla}}(0.05/4(4-1)) = 2.64$$

$$\text{Fórmula: } Z_{\text{tabla}} \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$2.64 \sqrt{\frac{12(12+1)}{12} \left( \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \right)} = 7.77$$

Comparaciones:

$ \bar{R}_1 - \bar{R}_2  =  5.67 - 8  = 2.34$	$2.33 < 7.77$ ; se acepta la $H_0$
$ \bar{R}_1 - \bar{R}_3  =  5.67 - 6.33  = 0.67$	$0.66 < 7.77$ ; se acepta la $H_0$
$ \bar{R}_1 - \bar{R}_4  =  5.67 - 6  = 1.67$	$0.33 < 7.77$ ; se acepta la $H_0$
$ \bar{R}_2 - \bar{R}_3  =  8 - 6.33  = 1.67$	$1.67 < 7.77$ ; se acepta la $H_0$
$ \bar{R}_2 - \bar{R}_4  =  8 - 6  = 2$	$2 < 7.77$ ; se acepta la $H_0$
$ \bar{R}_3 - \bar{R}_4  =  6.33 - 6  = 0.33$	$0.33 < 7.77$ ; se acepta la $H_0$

Podemos concluir que no existen diferencias significativas entre ninguna de las metodologías