



## Resolución Ministerial N° 183 -2016-MINAM

Lima, 19 JUL. 2016

Visto, el Memorando N° 391-2016-MINAM/VMGA/DGPNIGA de fecha 07 de julio de 2016, de la Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental; el Informe N° 047-2016-MINAM-DVMDERN/DGEVFPN, de fecha 08 de julio de 2016, de la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural; el Memorando N° 427-2016-MINAM-DVMDERN, de fecha 12 de julio de 2016, del Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales; el Memorando N° 433-2016-MINAM/SG/OAJ de fecha 15 de julio de 2016; y demás antecedentes; y,

### CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida;

Que, el Artículo VI del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, referido al principio de prevención, señala que la gestión ambiental tiene como objetivos prioritarios prevenir, vigilar y evitar la degradación ambiental; cuando no sea posible eliminar las causas que la generan, se adopten las medidas de mitigación, recuperación, restauración o eventual compensación, que correspondan;

Que, el numeral 24.1 del artículo 24 de la citada Ley señala que toda actividad humana que implique construcciones, obras, servicios y otras actividades, así como las políticas, planes y programas públicos susceptibles de causar impactos ambientales de carácter significativo, está sujeta, de acuerdo a ley, al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA, el cual es administrado por la Autoridad Ambiental Nacional;

Que, mediante la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, se crea el SEIA como un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión;

Que, el artículo 10 de la citada Ley N° 27446, modificada por el Decreto Legislativo N° 1078, señala que de conformidad con lo que establezca el Reglamento de la Ley y con los términos de referencia que en cada caso se aprueben, los estudios de impacto ambiental deberán contener, entre otros, la Estrategia de Manejo Ambiental o la definición de metas ambientales, incluyendo, según sea el caso, el plan de manejo, el plan de contingencias, el plan de compensación y el plan de abandono o cierre;

Que, dentro del Anexo I del Reglamento de la Ley N° 27446, aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM y sus modificatorias, se define a la compensación ambiental como las medidas y acciones generadoras de beneficios ambientales proporcionales a los daños o perjuicios ambientales causados por el desarrollo de los proyectos; siempre que no se puedan adoptar medidas de prevención, corrección, mitigación, recuperación y restauración eficaces;



Que, el literal f) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, establece como una de las funciones del Ministerio del Ambiente dirigir el SEIA;

Que, de conformidad con el literal f) del artículo 7 del Reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, el Ministerio del Ambiente es responsable de aprobar normas, guías, directivas y otros dispositivos legales y técnicos para orientar el funcionamiento del SEIA;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 398-2014-MINAM se aprueban los Lineamientos para la Compensación Ambiental en el marco del SEIA que tiene por objeto definir la formulación y elaboración del Plan de Compensación Ambiental de los Estudios de Impacto Ambiental detallados, en los casos que sea aplicable, en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental;

Que, con Resolución Ministerial N° 066-2016-MINAM se aprueba la Guía General para el Plan de Compensación Ambiental, que complementa los lineamientos aprobados por la Resolución Ministerial N° 398-2014-MINAM, y desarrolla los principales aspectos relacionados con la compensación ambiental durante el levantamiento de la información de la línea base, la identificación y caracterización de impactos ambientales y, particularmente, las medidas que debe contener el Plan de Compensación Ambiental;

Que, en dicho contexto, de acuerdo a los documentos del visto, la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural, en coordinación con la Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental, ha elaborado la "Guía Complementaria para la Compensación Ambiental: Ecosistemas Altoandinos", con el objetivo de establecer los pasos a seguir para estimar las pérdidas y ganancias del valor ecológico en un área de intervención, aplicable a los ecosistemas altoandinos, en un proceso de compensación ambiental; por lo que corresponde emitir el presente acto resolutivo;

Con el visado del Viceministerio de Gestión Ambiental; del Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales; de la Secretaria General; de la Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental; de la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural; y, de la Oficina de Asesoría Jurídica;

De conformidad con la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente; la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, modificada por el Decreto Legislativo N° 1078; el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; y, el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, aprobado por Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM.

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1.-** Aprobar la "Guía Complementaria para la Compensación Ambiental: Ecosistemas Altoandinos" que como anexo forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

**Artículo 2.-** Disponer la publicación de la presente Resolución Ministerial en el Diario Oficial El Peruano. Asimismo, la resolución y su anexo serán publicados en el Portal de Transparencia Estándar del Ministerio del Ambiente.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

  
**Manuel Pulgar-Vidal Otáfora**  
Ministro del Ambiente





PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

## Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos





# Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos



Julio 2016



# Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos

## Ministerio del Ambiente

*Manuel Pulgar Vidal-Otálora*  
Ministro del Ambiente

*Gabriel Quijandría Acosta*  
Vice Ministro de Desarrollo  
Estratégico de los Recursos Naturales

*Mariano Castro Moreno*  
Vice Ministro de Gestión Ambiental

*Roger Loyola Gonzales*  
Director General de Evaluación, Valoración y  
Financiamiento del Patrimonio Natural

*Raquel Soto Torres*  
Directora General de Políticas, Normas e  
Instrumentos de Gestión Ambiental

*Especialistas de la DGEVFPN a cargo:*

Magaly Ramos Huanca

Sabby Araujo Flores

Hubert Portuguez Yactayo



## Contenido

I.	Introducción.....	6
II.	Objetivo .....	7
III.	Alcance.....	8
IV.	Proceso para la estimación de pérdidas y ganancias del valor ecológico.....	8
	Paso 1: Evaluación del área a impactar antes del impacto del proyecto .....	8
	Paso 2: Estimación y predicción del valor ecológico total después del impacto residual .....	10
	Paso 3: Estimación de la pérdida de valor ecológico total del área impactada .....	11
	Paso 4: Evaluación del área a compensar antes de las medidas de compensación ambiental.....	12
	Paso 5: Predicción del valor ecológico ganado después de las medidas de Compensación Ambiental.....	12
	Paso 6: Calculo de las Unidades de Compensación (UC) .....	12
V.	Estimación del Valor Ecológico .....	15
	4.1. Determinación de atributos.....	16
	4.2. Determinación de indicadores.....	17
	4.3. Cálculo del valor relativo de atributos e indicadores .....	19
	4.4. Determinación de la escala de valoración de los indicadores.....	25
	4.5. Escala y valor relativo para estimar el valor ecológico .....	29
VI.	Glosario .....	30
VII.	Referencia bibliográfica .....	33
VIII.	Anexos.....	35
	Anexo N° 01 .....	35
	Estimación del valor ecológico de un área de referencia.....	35
	Anexo N° 02 .....	37
	Ejemplo sobre el cálculo del Valor ecológico en pajonal de puna .....	37



## I. Introducción

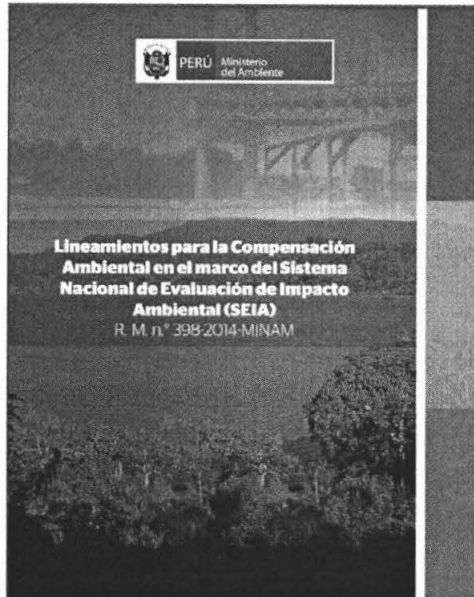
El Ministerio del Ambiente, a través de la Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural (DGEVFPN), en coordinación con la Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental (DGPNI), ha elaborado la presente “Guía Complementaria para la Compensación Ambiental: Ecosistemas Altoandinos”, en concordancia con los “Lineamientos para la Compensación Ambiental en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental - SEIA”, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 398-2014-MINAM y la Guía General para el Plan de Compensación Ambiental, aprobada mediante Resolución Ministerial N° 066-2016-MINAM.

Esta Guía Complementaria establece un proceso determinado por una secuencia de pasos a seguir, que permite el **cálculo de pérdidas y ganancias basado en el valor ecológico** de un determinado sitio, aplicables a ecosistemas altoandinos (pajonal, tolar y césped de puna). Adicionalmente, esta guía establece la **metodología de cálculo del valor ecológico**, a través de un sistema de calificación basado en tres (3) atributos fundamentales del ecosistema: a) florística del sitio, b) estabilidad del suelo, e c) integridad biótica, los cuales proporcionan información relevante para establecer el valor ecológico o estado de conservación de un área, lo cual implica contar con valores ecológicos de referencia.

Cabe mencionar que los ecosistemas altoandinos en el Perú comprenden una superficie aproximada de 18 millones de hectáreas (ha), que representa el 14 % de la superficie nacional (MINAM, 2015) y abarca el 70 % de la región andina. En dichos ecosistemas se desarrollan gran parte de la actividad minera y ganadera del país.

Finalmente, es importante mencionar que esta metodología de cálculo de pérdidas y ganancias del valor ecológico para ecosistemas altoandinos puede ser tomada como referencia para el cálculo del valor ecológico en otros ecosistemas terrestres.





Guía General del Plan de Compensación Ambiental (R.M. N° 066-2016-MINAM)<sup>1</sup>

## II. Objetivo

La presente guía tiene como objetivo establecer los pasos a seguir para estimar pérdidas y ganancias del valor ecológico en un área de intervención, aplicable a los ecosistemas altoandinos: pajonal, tolar y césped de puna, en un proceso de compensación ambiental.



<http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/aprueban-la-guia-general-para-el-plan-de-compensacion-ambiental/>

El presente documento es aplicable a los impactos residuales que, de conformidad con la Guía General para el Plan de Compensación Ambiental, presenten un nivel de aceptación tolerable y que sean compensables. Su utilización se hace en el marco de lo dispuesto en la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, sin perjuicio de las actualizaciones y modificaciones posteriores que pudiera realizar el Ministerio del Ambiente.

### III. Alcance

El presente documento es aplicable a los impactos residuales que se determinen durante la elaboración del estudio ambiental y presenten un nivel de aceptación tolerable y que sean compensables, de conformidad con la Guía General para el Plan de Compensación Ambiental; siendo necesario en dicha etapa **estimar** las pérdidas y ganancias con el fin de contribuir a lograr la equivalencia ecológica, durante la ejecución del proyecto.

Cabe precisar que, para la aplicación de la presente guía, se debe tomar en cuenta la información de línea base levantada, así como la metodología de identificación y caracterización de impactos ambientales utilizada durante la elaboración del estudio ambiental, a fin de asegurar la evaluación integral del proyecto. Asimismo, esta guía podrá ser aplicada durante la implementación de la Estrategia de Manejo Ambiental, cuyos ajustes o modificaciones podrán ser presentados en la actualización del estudio ambiental, según corresponda.

### IV. Proceso para la estimación de pérdidas y ganancias del valor ecológico

A continuación se describe el proceso de estimación de pérdidas y ganancias de los valores ecológicos, a través de los siguientes pasos:

#### Paso 1: Evaluación del área a impactar antes del impacto del proyecto

Este primer paso explica el proceso de evaluación del estado de conservación, valor ecológico o condición del ecosistema. Para ello, se ha seleccionado tres (03) atributos del ecosistema: florística del sitio, estabilidad del suelo e integridad biótica, los cuales

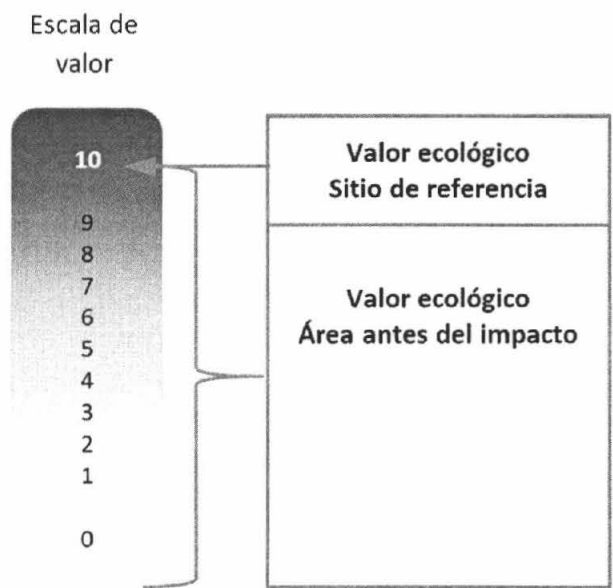


reflejan la estructura, composición y función del ecosistema. Cada uno de estos atributos es evaluado a través de indicadores.

Los indicadores seleccionados deben describir aspectos que son necesarios para evaluar un ecosistema. Por razones prácticas, los indicadores tienen que ser razonablemente estables durante el año, y para su medición en campo debe considerar el tiempo óptimo para ello.

Para la determinación de los valores de los indicadores de un determinado ecosistema y que en adelante se llamará "valor ecológico" (VE), se requiere contar con valores referentes obtenidos de sitios que son considerados con el mejor estado de conservación existente (sitio de referencia). A partir de los cuales se establecen una escala de calificación de valor ecológico que va de 0 al 10, siendo este último el de mayor valor, tal como se observa en la figura n.º 1.

Figura n.º 1. Escala de calificación del valor ecológico



Fuente: Elaboración propia



En el Cuadro n.º 01 del Anexo n.º 01, se muestran los valores ecológicos de los sitios de referencia para los ecosistemas césped de puna, pajonal de puna y tolar.



Luego de hallar el valor ecológico (VE) del sitio a impactar antes de la intervención del proyecto, se calcula su Valor Ecológico Total (VET), el cual se obtiene de multiplicar el valor ecológico del área antes del impacto, con las unidades de compensación (UC), que en ecosistemas terrestres será expresado en hectáreas. Figura n.º 2.

Figura n.º 2. Cálculo del valor ecológico total (VET) antes del impacto



Fuente: Elaboración propia

Cabe indicar que si bien los números no dan un valor "absoluto" a la naturaleza, sirven solamente para comparar el impacto y la compensación necesaria para devolver los valores perdidos.

### Paso 2: Estimación y predicción del valor ecológico total después del impacto residual

Una vez que se conoce el valor ecológico total del área **antes** de ser impactada por el proyecto, se requiere conocer el valor ecológico total del área **después** del impacto del proyecto.

Considerando que el impacto residual ha causado la "pérdida total" de la estructura, composición y función del ecosistema, se debe asumir que el valor ecológico del sitio impactado será reducido a un **valor de cero**, lo que implica que el ecosistema pierde su funcionalidad y está fragmentado y aislado del contexto ecológico.

En estas condiciones, una predicción del valor ecológico basado en atributos e indicadores, no es necesaria ni aplicable, debido a que lo que se compensa es el resultado del impacto residual, después de haber aplicado la jerarquía de mitigación<sup>2</sup>, por lo que el valor ecológico total del área después de la intervención del proyecto es considerado "**cero**".

En muchos casos, se presentan impactos negativos indirectos en las áreas contiguas, lo cual es difícil de predecir y dependerá también de aspectos externos que no pueden

<sup>2</sup> Lineamientos para la Compensación Ambiental en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, pág. 20. Principios.

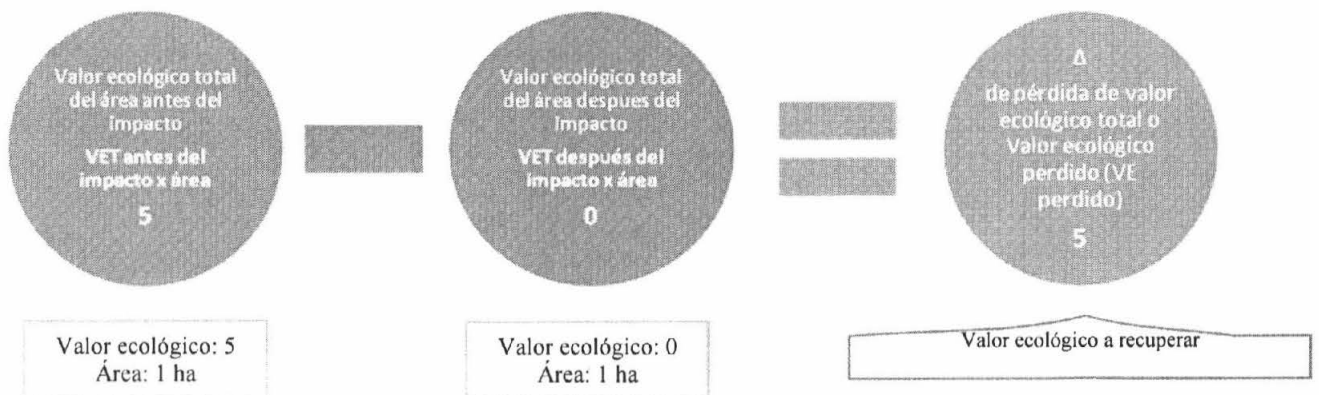
ser atribuibles al desarrollo del proyecto. Por lo tanto, en este nivel de desarrollo del modelo, dichos impactos no serán incluidos en el método de evaluación.

### Paso 3: Estimación de la pérdida de valor ecológico total del área impactada

Obtenidos los valores ecológicos totales antes y después del impacto del proyecto, se puede obtener el *delta* de pérdida de valor ecológico total del ecosistema específico o el *valor ecológico perdido (VE perdido)*, el cual es el resultado de restar el valor ecológico total (VET) antes del impacto del proyecto y el valor ecológico total (VET) después del impacto del proyecto.

El *VE perdido* representa la pérdida de biodiversidad y funcionalidad del ecosistema en el sitio de impacto, el cual debe ser devuelto a través de las medidas de restauración y/o conservación en una nueva área ecológicamente equivalente. En la figura n.º 3 se muestra un ejemplo para el cálculo.

Figura n.º 3. Ejemplo de cálculo del  $\Delta$  valor perdido



Fuente: Elaboración propia

El valor ecológico de los ecosistemas altoandinos se estima considerando tres (03) atributos e indicadores, los cuales reflejan la capacidad del ecosistema para cumplir funciones ecológicas claves, tales como flujo de energía, ciclo de nutrientes y ciclo hidrológico, además de su capacidad para recuperarse de alteraciones causadas por factores perturbadores.



#### **Paso 4: Evaluación del área a compensar antes de las medidas de compensación ambiental.**

El área donde se realizará las medidas de compensación (área a compensar) debe cumplir con lo expuesto en los Lineamientos para la Compensación Ambiental en el marco del SEIA, aprobado por Resolución Ministerial N° 398-2014-MINAM (el área ecológicamente equivalente al afectado debe ubicarse en el área más cercana a la afectada, entre otros). Asimismo, el área debe tener el potencial mínimo para incrementar su valor ecológico, a través de medidas y acciones de conservación y/o restauración.

Asimismo, se requiere la evaluación de dicha área utilizando la misma escala de valoración citada en el Paso 1; con ello se obtiene el valor ecológico total del área antes de aplicar las medidas de compensación (VET antes de medidas de compensación).

#### **Paso 5: Predicción del valor ecológico ganado después de las medidas de Compensación Ambiental**

La recuperación del valor ecológico perdido se obtendrá mediante la suma de un conjunto de acciones de restauración o conservación o su combinación, las cuales deben asegurar que el **delta** de pérdida del valor ecológico **sea devuelto**. Estas acciones deben estar orientadas a restaurar los valores ecológicos que han sido afectados por la existencia del impacto residual del proyecto.

Las medidas de compensación pueden variar en su naturaleza o número de acuerdo al ecosistema y tendrán que ser determinadas individualmente, de acuerdo a la situación específica. Dentro de las medidas típicas o estrategias para mejorar el valor ecológico en ecosistemas altoandinos se encuentran el manejo de pastizales y del agua.

#### **Paso 6: Calculo de las Unidades de Compensación (UC)**

La estimación de las unidades de compensación (UC) se basa en el principio de la equivalencia ecológica, donde el VET perdido es igual al VET ganado. Es así que el área a compensar es igual a la división entre el VET perdido y el valor ecológico después de las medidas de compensación.

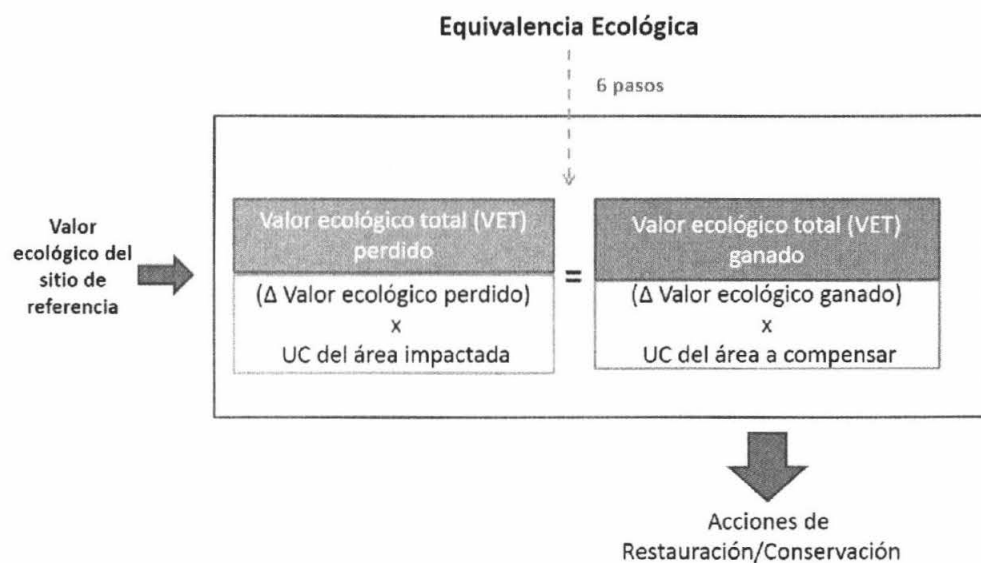
$$\text{Valor ecológico total perdido (VET perdido)} = \text{Valor ecológico total ganado (VET ganado)}$$

$$\text{VET antes del impacto} - \text{VET después del impacto} = \text{VET antes de las medidas} - \text{VET después de las medidas}$$

$(\Delta \text{ Valor ecológico perdido}) \times \text{UC del área impactada} = (\Delta \text{ Valor ecológico ganado}) \times \text{UC del área a compensar}$

$\text{Unidades de compensación (a compensar en ha)} = \text{VET perdido} / (\Delta \text{ VE ganado})$
---

Figura n.º 4. Esquema del proceso de evaluación de pérdidas y ganancias de valor ecológico



Fuente: Elaboración propia

En la figura siguiente, se ilustra un ejemplo, en donde el área del impacto residual es de 100 ha, con un valor ecológico 5 antes del impacto. Luego, se asume que el valor ecológico después del impacto se reduce a 0, por tanto, hay una pérdida de 500 hectáreas de valor ecológico (5 valor ecológico x 100 hectáreas= 500 Valor ecológico total).



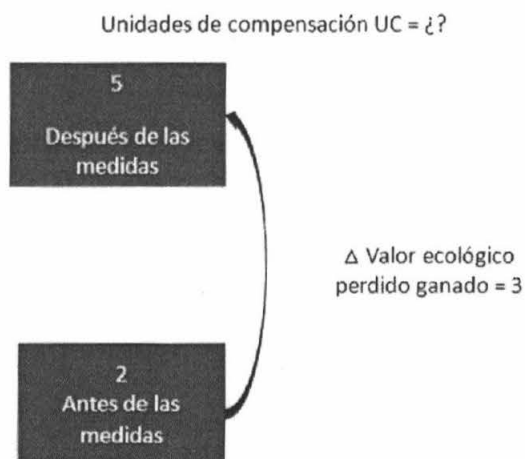
Figura n.º 5. Determinación del Valor ecológico perdido



Fuente: Elaboración propia

Luego se evalúa el valor ecológico del sitio a compensar, sitio que debe ser ecológicamente equivalente al impactado que, para este ejemplo es 2, por lo cual se necesitaría alcanzar como mínimo un valor ecológico de 5 (igual que el delta del valor ecológico perdido del área impactada).

Figura n.º 6. Determinación del Valor ecológico ganado



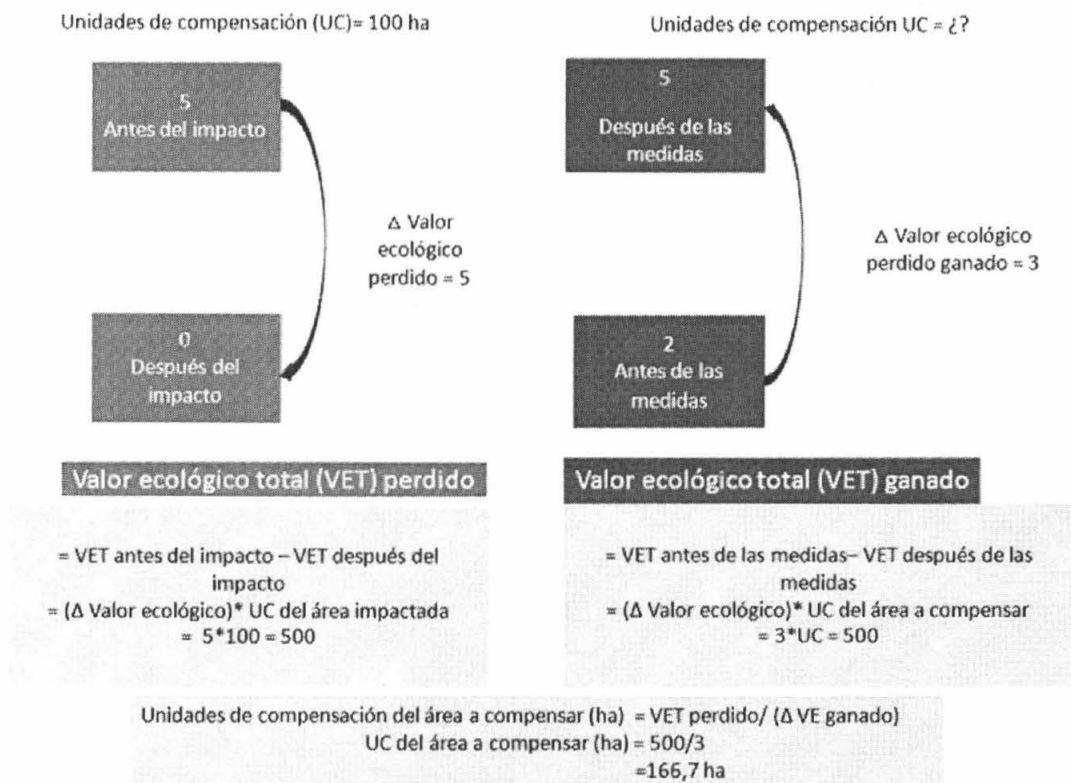
Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se necesita ganar un valor ecológico igual a 3; entonces, realizando la ecuación de igualdad, se halla que la cantidad de hectáreas netas a compensar, sería de 166,7 ha.

El Valor ecológico a ganar deberá permitir alcanzar como mínimo un valor ecológico igual al delta del valor ecológico perdido; tomar el tiempo requerido para la ejecución

de las medidas del Plan de Compensación Ambiental durante el ciclo de vida del proyecto; y cumplir con los principios de la compensación ambiental, tales como la sostenibilidad, equivalencia ecológica y adicionalidad.

Figura n.º 7. Ejemplo de estimación de pérdidas y ganancias en valor ecológico



Fuente: Elaboración propia

La estimación de pérdidas y ganancias del valor ecológico muestra una relación inversa entre las unidades de compensación del área a impactar y el delta del valor ecológico ganado después que se apliquen las medidas de compensación.

## V. Estimación del Valor Ecológico

El valor ecológico es el resultado o valor que representa el estado de conservación del ecosistema. El estado de conservación refleja la condición del ecosistema en términos de procesos y funciones ecológicas y es medido a través de una escala de valores de sus atributos e indicadores, que expresan la capacidad del ecosistema para cumplir funciones ecológicas claves, tales como: flujo de energía, ciclo de nutrientes, ciclo hidrológico, así como su capacidad para recuperarse de alteraciones causadas por factores perturbadores.

A continuación se definen los atributos e indicadores de los ecosistemas altoandinos (Tolar, pajonal y césped de puna) para la estimación del valor ecológico.

#### 4.1. Determinación de atributos

Los atributos de los ecosistemas, en su conjunto, deben proporcionar información sobre su estado de conservación (Pyke et al., 2002), los cuales se describen a continuación:

1. **Florística del sitio:** la florística nos brinda información sobre la capacidad del ecosistema de albergar especies y, en consecuencia, su potencial para resistir eventuales cambios adversos en su condición. Desde que existe una asociación positiva entre el grado de diversidad y la estabilidad del ecosistema, esta involucra la evaluación de dos indicadores de riqueza de especies y composición florística y refleja la contribución de los diferentes grupos funcionales gramíneas y graminoides, hierbas y arbustos a los procesos ecológicos y la estabilidad del sistema ecológico.
2. **Estabilidad del suelo:** la estabilidad del suelo está relacionada con la capacidad del ecosistema de mantener condiciones estables para el crecimiento de las plantas y resistir la erosión. En ese sentido, se contempla la evaluación de cuatro indicadores: la cobertura aérea del suelo, el suelo desnudo superficial, la pérdida de suelo superficial y la cantidad de materia orgánica en el horizonte superficial; estos indicadores reflejan la capacidad del área para evitar la pérdida de nutrientes y mantener la función hidrológica.
3. **Integridad biótica:** revela la capacidad del área para mantener los procesos ecológicos claves como: el ciclo de nutrientes, la captura de energía, la productividad y la regulación del ciclo hídrico y la resistencia a la pérdida de sus funciones causadas por perturbaciones ambientales en un contexto de variabilidad normal. El estado de este atributo se estima en base a cuatro indicadores: la altura de plantas dominantes, la cantidad de biomasa aérea, el mantillo superficial y la presencia de plantas invasoras.



La cantidad de biomasa acumulada, la variedad de especies presentes y su contribución relativa a la productividad están relacionadas a la captura y flujo de energía; estos datos proporcionan información sobre su integridad biótica, resistencia y estabilidad del sistema ecológico. La estabilidad del suelo y el estado de protección

del mismo es importante para la sostenibilidad de los procesos ecológicos (Eldridge y Koen, 2003).

#### 4.2. Determinación de indicadores

Los indicadores son parámetros o características observables de un ecosistema, fáciles de evaluar, los cuales brindan información sobre el estado del atributo y, en consecuencia, permiten el monitoreo del área. Cada indicador refleja el grado de alejamiento o acercamiento del valor ecológico del área a evaluar, con respecto al valor del área de referencia (cuadro n.º 1).

Los indicadores seleccionados para ecosistemas altoandinos fueron definidos sobre la base de criterios y racionalidad, tales como: la relación ecológica y funcional que existe entre el indicador y su respectivo atributo; la relativa estabilidad en ausencia de perturbaciones ambientales; la transversalidad a los tipos de ecosistemas en estudio; y, facilidad en la medición y de bajo costo. Estos indicadores son:

1. **Riqueza de especies:** se refiere al número de especies perennes por grupo funcional (gramíneas, graminoides, hierbas y arbustos) que existe en el área y es un indicador del grado de estabilidad y resiliencia del ecosistema, puesto que las especies allí presentes son el resultado de un largo proceso de adaptación a las condiciones bióticas y abióticas prevalentes en el ecosistema. En ese sentido, a mayor número de especies, mayor es el rango de posibilidades de respuesta, adaptación y resistencia del ecosistema a las perturbaciones ambientales.
2. **Composición florística:** se refiere a la contribución relativa a la cobertura basal y los grupos funcionales (gramíneas y graminoides, hierbas y arbustos). Su grado de similaridad con el área de referencia y el balance existente entre los grupos funcionales, revela el estado estructural del ecosistema. En ese sentido, los cambios en la composición de especies pueden estar relacionados con cambios en la biomasa radicular e infiltración. Por ejemplo, los pajonales y arbustales difieren en su capacidad de intercepción de lluvia, escorrentía e infiltración.
3. **Cobertura aérea:** está positivamente correlacionada con el grado de protección que brinda la vegetación contra el potencial erosivo de la lluvia cuando impacta directamente sobre el suelo. Por lo tanto, a mayor cobertura, mayor posibilidad de formación de costras de líquenes y musgos. Asimismo, la cobertura aérea es un factor determinante del grado de estabilidad de la superficie del suelo, la resistencia a la erosión y la disponibilidad de nutrientes. A menor cobertura aérea,



mayor la posibilidad de destrucción de la estructura del suelo por impacto directo de las lluvias sobre la superficie del suelo.

4. **Suelo desnudo superficial:** una mayor superficie de suelo cubierto por mantillo, roca, musgos, líquenes, o residuos vegetales está directamente correlacionado con el nivel de escorrentía, grado de erosión y, negativamente, con la tasa de infiltración. El efecto de este indicador sobre la estabilidad del suelo depende del tamaño de espacios vacíos existentes en la canopia de plantas, de modo que espacios vacíos amplios entre éstas, tienen un mayor efecto sobre las funciones ecológicas que en espacios pequeños.
5. **Pérdida de suelo superficial:** a medida que el suelo superficial (horizonte A) se pierde, la estructura del suelo superficial se degrada y el contenido de materia orgánica se reduce, trayendo como consecuencia una pérdida en la capacidad del sitio para proveer nutrientes, así como de almacenar agua de lluvia y liberarla gradualmente para el crecimiento de las plantas.
6. **Materia orgánica en el horizonte superficial:** la materia orgánica acumulada en el horizonte superior refleja la historia y manejo del área, así como el potencial del sitio para proveer nutrientes al ecosistema y brindar condiciones adecuadas para el desarrollo de la vegetación y el funcionamiento del sistema hidrológico.
7. **Altura de la canopia de las plantas dominantes:** Este indicador refleja el vigor de las plantas dominantes y el potencial del sitio para sostener un crecimiento adecuado de las plantas. Existe una relación entre la altura de planta y la longitud del sistema radicular. Raíces profundas y bien ramificadas están asociadas con una buena aireación, grado de porosidad y retención de humedad a lo largo del perfil del suelo.
8. **Cantidad de biomasa:** Este indicador revela la capacidad productiva del sitio y el grado en que éste es capaz de capturar energía, almacenarla y transferir nutrientes vitales a toda la planta.
9. **Cantidad de mantillo:** La cantidad de mantillo refleja la cantidad de materia orgánica disponible para la descomposición y ciclo de nutrientes. El nivel de este indicador por unidad de área refleja también la capacidad del sistema para mantener el adecuado funcionamiento de la cadena del detritus y pastoreo. A mayores niveles de este indicador, mayor infiltración y capacidad para regular el abastecimiento de agua al complejo suelo-planta.



10. **Plantas invasoras:** son plantas que no aparecen en estadios intermedios de conservación y terminan reemplazando a las especies originales cuando el sitio es perturbado por factores ambientales o mal manejo (DeVries, 1979; Mueller-Donbois y Ellenberg, 1974).

Cuadro n.º 1: Atributos e indicadores para evaluar el valor ecológico

Atributos del ecosistema	Indicadores
Florística del sitio	Riqueza (número de especies): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gramíneas y gramínoideas (n.º)</li> <li>- Hierbas (n.º)</li> <li>- Arbustos (n.º)</li> </ul>
	Composición florística (%) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gramíneas y gramínoideas (n.º)</li> <li>- Hierbas (n.º)</li> <li>- Arbustos (n.º)</li> </ul>
Estabilidad del suelo	Cobertura aérea (%)
	Suelo desnudo superficial (%)
	Pérdida de suelo superficial
	Materia orgánica de horizonte superficial (%)
Integridad biótica	Altura de la canopia de plantas dominantes (cm)
	Cantidad de biomasa aérea (g/m <sup>2</sup> )
	Cantidad de mantillo (g/m <sup>2</sup> )
	Plantas invasoras (%)

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. Cálculo del valor relativo de atributos e indicadores

Para el cálculo del valor relativo de los atributos e indicadores se utilizaron matrices multicriterio, las cuales se basaron en un análisis jerárquico (Eakin y Bojórquez 2008, Saaty, 1980). El desarrollo de las matrices permitió realizar comparaciones entre pares de atributos o indicadores y su contribución relativa o importancia, para establecer el estado de conservación de los ecosistemas altoandinos. Los criterios utilizados para realizar las comparaciones en pares se basan en principios teóricos desarrollados por investigadores y por la Sociedad de Manejo de Pastizales, de los Estados Unidos de Norteamérica, así como en evidencia científica e investigaciones realizadas por el Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria de La Molina (UNALM), Lima, Perú, en los últimos veinte años.



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

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

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

Las comparaciones entre los elementos de la matriz se inician por fila respondiendo a las preguntas: ¿es el atributo 1 más importante que el atributo 2? y ¿Es el atributo 1 más importante que el atributo 3? En caso el atributo 1 es más importante que el atributo 2, el elemento de la matriz correspondería a un valor  $a_{12}$  y su elemento recíproco sería igual a su inversa  $1/a_{21}$ , tal como se muestra en el Cuadro N° 2.

Cuadro N° 2: Matriz de importancia relativa y cálculo de pesos relativos

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

Fuente: Elaboración propia

La comparación de la importancia relativa entre la florística del sitio y la estabilidad del suelo resultó en un menor valor de importancia del primero respecto al segundo (Cuadro n.º 3). La florística está principalmente relacionada con la estructura y la capacidad el sistema de albergar especies, mientras que la estabilidad del sitio refleja la capacidad del área para evitar pérdidas de nutrientes, mantener condiciones estables para el crecimiento de las plantas y resistir la erosión. Cuando se compara florística del sitio e integridad biótica, se destaca la importancia de la capacidad del



área para mantener procesos ecológicos claves (integridad biótica) respecto al grado de diversidad (florística del sitio). La estabilidad del sitio y la integridad biótica reflejan procesos y funciones ecológicas diferentes, pero ambos son igualmente importantes en la conservación de los ecosistemas.

Cuadro n.º 3: Asignación de valores relativos para atributos del ecosistema

	Florística del sitio	Estabilidad del sitio	Integridad biótica	Total	Peso (%)	Valor relativo
Florística del sitio	1	½	½	2	20	20
Estabilidad del suelo	2	1	1	4	40	40
Integridad biótica	2	1	1	4	40	40
<b>Total</b>				<b>10</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es calcular los pesos de cada atributo o indicador. Los valores totales de cada fila se suman para luego expresar el peso de cada atributo en porcentaje, redondeándose al valor entero más cercano (Cuadro n.º3). Para los indicadores de cada atributo se sigue los mismos pasos y los porcentajes obtenidos se ajustan al valor de cada atributo (Cuadro n.º 4). Es decir, si el atributo florística del sitio tiene un peso final igual a 20, el porcentaje obtenido por cada indicador se ajusta a este peso.

El análisis jerárquico de los indicadores del atributo riqueza se realizó en dos jerarquías adicionales, a diferencia de los indicadores de los otros dos atributos. El segundo nivel jerárquico, luego del atributo florística del sitio, corresponde a riqueza (número de especies) y composición florística (%). Se consideró que ambos indicadores tienen el mismo peso por su aporte a la estructura del ecosistema (Cuadro n.º 4).

Cuadro n.º 4: Matriz de valores relativos para riqueza y composición florística

	Riqueza	Composición florística	Total	Peso (%)	Valor relativo
Riqueza	1	1	2	50	10
Composición florística	1	1	2	50	10
<b>Total</b>				<b>100</b>	<b>20</b>

Fuente: Elaboración propia



El tercer nivel del análisis jerárquico del atributo florística del sitio corresponde a la presencia de gramíneas, hierbas y arbustos dentro de los indicadores riqueza y composición florística (Cuadro N° 5). Como resultado de la comparación de pares, se estimó que el valor relativo de las gramíneas y graminoides es mucho más alta que los arbustos y que, tanto el valor relativo de gramíneas como arbustos, es mayor que el de las hierbas. La mayoría de especies de la familia gramíneas son generalmente perennes y contribuyen a la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas, así como a las funciones claves, tales como la infiltración y la productividad. Los arbustos tienen una importancia relativa mayor que las hierbas, debido a su rol en la intercepción de lluvia e infiltración. Las hierbas obtienen un menor valor debido a que la gran mayoría de éstas son anuales y están presentes sólo en la época de lluvias.

Cuadro n.º 5: Matriz de valores relativos para gramíneas, hierbas y arbustos

	Gramíneas y graminoides	Hierba	Arbusto	Total	Peso (%)	Valor relativo
Gramíneas y graminoides	1	6	3	10	67	7
Hierbas	1/6	1	½	1.7	11	1
Arbustos	1/3	2	1	3.3	22	2
Total				15	100	10

Fuente: Elaboración propia

La matriz para analizar el valor relativo de los indicadores de estabilidad del suelo, revela que el indicador pérdida de suelo superficial tiene el valor relativo más alto, respecto a los otros tres indicadores (Cuadro n.º 6). La pérdida de la capa superficial del suelo trae como consecuencia la reducción de materia orgánica y la pérdida de la capacidad del suelo para almacenar agua y mantener la vegetación permanentemente saludable. Este indicador por tanto, genera mayor información de estabilidad del suelo respecto a los otros indicadores. La cobertura aérea del suelo y el porcentaje de suelo desnudo superficial tienen el mismo valor relativo, pero no necesariamente generan la misma información. La canopia o dosel de arbustales cubren el suelo, mejorando por tanto, la intercepción de gotas de lluvia. Sin embargo, en muchos casos debajo de estos arbustales, puede existir suelo desnudo, por lo que el agua interceptada se perdería por escorrentía y no se incorporaría al suelo por infiltración (Thurow y col, 1988). La presencia de materia orgánica en el horizonte superficial puede estimarse subjetivamente, a partir de la coloración del suelo, pero puede conducir a errores por contenido de humedad o procesos químicos. Por ello, es importante la toma de



muestras de suelo y su análisis en el laboratorio, para determinar el porcentaje de materia orgánica en el horizonte superficial.

Cuadro n.º 6: Valor relativo de indicadores del atributo estabilidad del suelo

	Cobertura aérea del suelo	Suelo desnudo superficial	Pérdida de suelo superficial	Materia orgánica horizonte superficial	Total	Peso (%)	Valor relativo
Cobertura aérea del suelo	1	1	1/3	2	4.3	20	8
Suelo desnudo superficial	1	1	1/3	2	4.3	20	8
Pérdida de suelo superficial	3	3	1	4	11.0	50	20
Materia orgánica horizonte superficial	½	½	¼	1	2.4	11	4
Total					22.83	100	40

Fuente: Elaboración propia

El valor relativo del indicador cantidad de biomasa aérea es mayor que el de los otros indicadores del atributo integridad biótica, por la mayor información generada sobre el estado de conservación (Cuadro n.º 7). La capacidad productiva del sitio para capturar y almacenar energía en forma de tejido vegetal es principalmente definida por la cantidad de biomasa sobre la superficie del suelo. Por tanto, a mayor biomasa, mayor cantidad de mantillo; sin embargo, ambos reflejan procesos y funciones diferentes. La biomasa refleja el stock de energía y el potencial para interceptar lluvia, mientras que el mantillo se incorpora al stock de materia orgánica en la superficie del suelo para mejorar el ciclo de nutrientes, el cual será utilizado posteriormente para incrementar la biomasa aérea. Por esta razón, ambos indicadores reflejan procesos ecológicos diferentes, a pesar que tienen los más altos valores relativos.

El indicador plantas invasoras tiene un valor relativo mayor que el indicador altura de canopia de las plantas dominantes (Cuadro n.º 7). La presencia de plantas invasoras,



mayormente anuales, brindan menor protección al suelo, disminuyendo la estabilidad y la resiliencia de los ecosistemas, por lo que su ausencia tendría un mayor valor relativo. La altura de canopia de plantas dominantes brinda información del vigor de las plantas claves y del potencial del suelo para sostener un crecimiento adecuado de las plantas.

Cuadro n° 7: Matriz de valores relativos de indicadores de integridad biótica

	Altura de plantas importantes	Cantidad biomasa	Cantidad mantillo	Plantas invasoras	Total	Peso (%)	Valor relativo
Altura de las plantas importantes	1	¼	¼	1/3	1.8	5.8	2
Cantidad biomasa	4	1	5	5	15.0	47.7	19
Cantidad mantillo	4	1/5	1	5	10.2	32.4	13
Plantas invasoras	3	1/5	1/5	1	4.4	14.0	6
Total					31.4	100	40

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, el valor relativo de cada atributo y de cada indicador corresponde al máximo valor en la escala de calificación de la conservación del ecosistema que se usará para evaluar áreas a impactar, respecto al sitio de referencia. Asimismo, se espera que los sitios de referencia obtengan los más altos puntajes (Cuadro n.º 8).



Cuadro n.º 8: Valor relativo por atributo e indicador del ecosistema

Atributo	Indicador	Valor relativo
Florística del sitio (20)	Riqueza (número de especies):	
	- Gramíneas y graminoides	7
	- Hierbas	1
	- Arbustos	2
Estabilidad del suelo (40)	Composición florística (%):	
	- Gramíneas y graminoides	7
	- Hierbas	1
	- Arbustos	2
Integridad biótica (40)	Cobertura aérea del suelo (%)	8
	Suelo desnudo superficial (%)	8
	Pérdida de suelo superficial	20
	Materia orgánica del horizonte superficial	4
Total	Altura de Canopia plantas dominantes (cm)	2
	Cantidad de biomasa aérea (g/m <sup>2</sup> )	19
	Cantidad de mantillo (g/m <sup>2</sup> )	13
	Plantas invasoras (%)	6
<b>Total</b>		<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Determinación de la escala de valoración de los indicadores

A partir de los valores relativos asignados a cada indicador se establecieron escalas de puntuación que permiten una evaluación eficiente y rápida del valor ecológico del ecosistema. La generación de las escalas (número de clases y rangos) se basó en las características de cada indicador y en su valor relativo. Esta escala de calificación contempla como referencia, los valores que alcanzan los diferentes indicadores del ecosistema definido o descrito como el ecosistema de referencia.

Cada escala no debe tener más de 3 o 5 clases, para evitar complejidad al momento de la evaluación, y en lo posible, la definición de los valores extremos (máximos y mínimos) se debe basar en la presencia de umbrales donde un ecosistema, en estado deseable, pasa a otro menos deseable (Briske et al 2005). Ecosistemas con un mayor valor de conservación son más resilientes y el valor de sus indicadores se mantiene alejado de los umbrales que los conducirían a estados ecológicos menos deseables (Elmqvist et al. 2003).

La escala de riqueza y composición de gramíneas y graminoides se dividió en cuatro clases de puntaje 7, 5, 3 y 0 y tres umbrales 80%, 50% y 20% (Cuadro n.º 9), donde la escala más baja respecto al sitio de referencia corresponde al umbral más bajo (20%).



El valor máximo del puntaje de este indicador permite también dividir su puntaje en cuatro clases. Las escalas intermedias recibieron valores equidistantes de la escala mínima y máxima del indicador (Cuadro n.º 9). Para el caso de hierbas y arbustos el puntaje máximo sólo permite obtener tres clases y dos umbrales.

Cuadro n.º 9: Escalas de valoración de florística del sitio

Indicador	Descripción	Puntaje
<b>Riqueza (número de especies)</b>		
Gramíneas y graminoides	< 20% del área de referencia	0
	20 – 50% del área de referencia	3
	51 – 80% del área de referencia	5
	>80% del área de referencia	7
Hierbas	< 20% del área de referencia	0
	20 – 70% del área de referencia	0.5
	>70% del área de referencia	1
Arbustos	< 20% del área de referencia	0
	20 – 70% del área de referencia	1
	>70% del área de referencia	2
<b>Composición florística (%)</b>		
Gramíneas y graminoides (%)	< 20% del área de referencia	0
	20 – 50% del área de referencia	3
	51 – 80% del área de referencia	5
	>80% del área de referencia	7
Hierbas (%)	< 20% del área de referencia	0
	20 – 70% del área de referencia	0.5
	>70% del área de referencia	1
Arbustos (%)	< 20% del área de referencia	0
	20 – 70% del área de referencia	1
	>70% del área de referencia	2

Fuente: Elaboración propia

El cuadro n.º. 10 muestra la evaluación de las escalas de los indicadores de estabilidad del suelo (también se evalúa respecto al sitio de referencia). La escala del indicador cobertura de suelo se dividió en cuatro clases y tres umbrales. Las áreas a impactar que tengan cobertura aérea del suelo con más del 90% del sitio de referencia obtienen el valor máximo ocho (8) y las áreas con una cobertura del suelo menor al 20% obtienen el valor mínimo cero (0). Las escalas intermedias con valores 6 y 3 corresponden a valores equidistantes de la escala mínima y máxima (56 a 90% y 20 a 55%, respectivamente).



Las áreas evaluadas que tengan un porcentaje de suelo desnudo igual o menor que el sitio de referencia obtienen el máximo puntaje de la escala. Para este indicador no se determinaron umbrales que permitan establecer cambios de un estado deseable a otro menos deseable. Sin embargo, si el área evaluada tiene mayor cantidad de áreas de suelo desnudo (dos veces o tres veces más que el sitio de referencia) deberían tener un menor puntaje (Cuadro n.º 10). De igual forma, no existe evidencia científica para establecer umbrales de cambios de estado para el indicador pérdida del horizonte superficial, horizonte A, a una profundidad de aproximadamente 30 cm. En consecuencia, la determinación de las escalas para este indicador sólo se haría en forma cualitativa.

La escala del indicador materia orgánica se dividió en cuatro clases y tres umbrales (Cuadro n.º 10), donde la escala más baja respecto al sitio de referencia corresponde al umbral más bajo (20%). Es decir, el puntaje se establece luego de enviar las muestras de suelo de las áreas de estudio al laboratorio (área a Impactar y área de compensación) y compararse sus resultados con los niveles presentes en el sitio de referencia. Las áreas con muy bajo porcentaje de materia orgánica tienen poca capacidad para retener agua y liberar nutrientes al suelo.

Cuadro n.º 10: Escalas de valoración de la estabilidad del suelo

Indicador	Descripción	Puntaje
Cobertura aérea del suelo (%)	< 20% del sitio de referencia	0
	20 – 55% del sitio de referencia	3
	56 – 90% del sitio de referencia	6
	>90% del sitio de referencia	8
Suelo desnudo superficial (%)	tres veces más que el sitio de referencia	0
	dos veces más que el sitio de referencia	4
	Igual o menos que el sitio de referencia	8
Pérdida de suelo de horizonte superficial	Severo	0
	Moderado	5
	Leve	15
	Nulo	20
Materia orgánica de horizonte superficial	< 20% del sitio de referencia	0
	20 – 50% del sitio de referencia	2
	51 – 70% del sitio de referencia	3
	>70% del sitio de referencia	4

Fuente: Elaboración propia



Las escalas para tres indicadores de integridad biótica se establecieron en base a comparaciones respecto al sitio de referencia (Cuadro n.º 11). Las escalas para los indicadores cantidad de biomasa aérea y cantidad de mantillo se dividieron en cuatro clases y tres umbrales similares, respectivamente. En ambos indicadores se estableció como umbral más bajo 20%, debido a que un menor valor de estos indicadores significan sitios menos resilientes y estables. Las escalas intermedias recibieron valores equidistantes de la escala mínima y máxima del indicado. La escala de la altura de canopia de plantas dominantes se dividió en tres clases, donde el umbral más bajo corresponde a altura de canopia de plantas dominantes que representan menos del 25% de la altura de plantas en el sitio de referencia. Una menor altura de estas plantas significa una menor área foliar y menor presencia de cabezas florales y de desarrollo de hojas.

La presencia de plantas invasoras en la cobertura aérea del sitio evaluado se castiga con un menor puntaje, obteniéndose el más bajo puntaje en áreas con más del 50% de cobertura, correspondiente al umbral más bajo. Mientras que aquellas que presentan plantas invasoras por debajo del 5%, obtienen el máximo puntaje de la escala (Cuadro n.º 11).

Cuadro n.º 11: Escalas de valoración de integridad biótica

Indicador	Descripción	Puntaje
Altura de la canopia de plantas dominantes (cm)	< 25% del área de referencia	0
	25 – 70% del área de referencia	1
	>70% del área de referencia	2
Cantidad de biomasa (g/m <sup>2</sup> )	< 20% del área de referencia	0
	20 – 55% del área de referencia	6
	56 – 90% del área de referencia	12
	>90% del área de referencia	19
Cantidad de mantillo (g/m <sup>2</sup> )	< 20% del área de referencia	0
	20 – 55% del área de referencia	4
	56 – 90% del área de referencia	8
	>90% del área de referencia	13
Plantas invasoras	> 30% cobertura basal	0
	10– 30% cobertura basal	3
	< 10% cobertura basal	6

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5. Escala y valor relativo para estimar el valor ecológico

Para la calificación final del valor ecológico se considera cinco niveles, según su valor relativo y su escala (cuadro n.º12).

Cuadro n.º 12: Escala y valor relativo para estimar el Valor Ecológico

Escala	Valor relativo (%)	Estado de conservación
0 - 2 >	00 - 20 >	Muy pobre
[ 2 - 4 >	[ 20 - 40 >	Pobre
[ 4 - 6 >	[ 40 - 60 >	Regular
[ 6 - 8 >	[ 60 - 80 >	Bueno
[ 8 - 10	[ 80 - 100	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia



## VI. Glosario

- **Arbustos:** son plantas leñosas de cierto porte que, a diferencia de un árbol, no se yergue sobre un solo tronco o fuste, sino que se ramifica desde la misma base.
- **Área a compensar:** es el área o sitio donde se ejecutarán las medidas y acciones de compensación, la cual ha sido determinada en aplicación de los principios de compensación ambiental y los criterios de selección.
- **Área antes del impacto:** es el área donde se producirá el impacto ambiental residual, cuyas características representan el estado del ecosistema en términos de diversidad y funcionalidad antes del impacto.
- **Área después del impacto:** es el área en donde se produjo el impacto ambiental residual, cuyas características representa el estado del ecosistema luego de ser impactado, habiendo perdido su biodiversidad y funcionalidad.
- **Canopia:** es la corona o porción superior de las plantas que es característica propia de cada especie. Su tamaño relativo depende de las condiciones ambientales prevalentes y del estado del manejo.
- **Estado de conservación del ecosistema:** es el estado que refleja la condición del ecosistema en términos de procesos y funciones ecológicas.
- **Ecosistemas altoandinos:** son los ecosistemas ubicados geográficamente arriba de los 3 800 m. s. n. m.
- **Ecosistema césped de puna:** es el ecosistema altoandino caracterizado por la presencia de vegetación herbácea de porte bajo (tipo grass), dominado mayormente por gramíneas.
- **Ecosistema pajonal de puna:** es el ecosistema altoandino caracterizado por la presencia de vegetación herbácea con dos estratos: una superior, dominado por manojos de gramíneas de porte alto mayormente perennes; y uno inferior dominado por herbáceas de porte bajo al ras del suelo, mayormente de carácter estacional.
- **Ecosistema tolar:** es el ecosistema altoandino caracterizado por la presencia de vegetación arbustiva con follaje resinoso y de carácter permanente, asociado con herbáceas.
- **Detritus:** es el material orgánico muerto que, por lo general, incluye los cuerpos o fragmentos de los organismos muertos y materia fecal. El detritus está típicamente colonizada por comunidades de microorganismos que actúan para descomponer o remineralizar el material. En los ecosistemas terrestres, el detritus se encuentra como hojarasca y otras materias orgánicas entremezcladas con el suelo, conocido como humus.



- **Hierbas:** son las especies que se caracterizan por ser dicotiledóneas de porte bajo (las gramíneas, juncáceas y ciperáceas son monocotiledóneas), de crecimiento erecto o rastrero, de hojas anchas de venación a manera de red (no son paralelas como en las gramíneas o pseudogramíneas), de hojas alternas u opuestas pudiendo ser simples o compuestas, de tallos sólidos y flores de colores vivos.

Entre estas especies tenemos a las familias Asteráceas (*Hypochoeris taraxacoides*), Rosáceas (*Alchemilla pinnata*), Plantagináceas (*Plantago sericea*), Fabaceas (*Trifolium amabile*). Estas especies no incluyen a las poáceas (familia Poaceae) ni gramínoideas (familias Cyperaceae y Juncaceae).

- **Gramíneas:** son todas las especies de la familia de las poáceas, tanto del estrato superior como inferior. Las plantas son de tallos articulados vacíos o huecos, con venación paralela. Flores o flósculos distribuidos en espiguillas unifloras o plurifloras. Algunas especies encontradas en pajonales y césped de puna son *Festuca inarticulata*, *Festuca dolichophylla*, *Stipa ichu*, *Calamagrostis vicunarum*, *Calamagrostis antoniana*, *Calamagrostis vicunarum*.
- **Gramínoideas o pseudogramíneas:** incluye a la familia Ciperaceae y Juncaceae. Las ciperáceas se caracterizan por presentar tallo sólido triastado (tres lados), hojas basales o agrupadas en la parte inferior, sin lígula y de limbo angosto. La inflorescencia es sostenida por uno o más hojas o brácteas. Entre las ciperáceas tenemos a *Scirpus rigidus* y *Carex ecuadorica*. Las juncáceas son gramínoideas de tallo redondeado y sólido, con hojas basales. Entre las juncáceas tenemos a la *Luzula peruviana*.
- **Grupos funcionales:** es una forma de clasificar las plantas como alternativa a la clasificación científica ordinaria especie-género-familia. El uso científico de los grupos funcionales hace hincapié en la función central en el ecosistema y la adaptabilidad con el medio ambiente, que puede ser lograda de varias formas, es decir, las especies de plantas que están estrechamente relacionados filogenéticamente pueden pertenecer a diferentes grupos funcionales y ser de la misma familia.
- **Mantillo:** es la hojarasca existente sobre la superficie del suelo y refleja la cantidad de material vegetal que potencialmente está disponible para ser incorporada por la acción de micro-herbívoros y otros procesos destinados a formar parte de la materia orgánica. Esta interface planta – suelo es muy importante, pues forma parte de la cadena del detritus y del ciclo de nutrientes del ecosistema (Riser, 1984).
- **Plantas dominantes:** son aquellas especies de plantas que se encuentran en mayor proporción sobre la cobertura vegetal del área. Estas especies juegan un papel clave en la conformación de la estructura, pero su comportamiento no siempre es uniforme. Los diferentes comportamientos podrían ser un indicador de la condición de las comunidades vegetales.
- **Sitio de referencia:** es el sitio de un ecosistema natural considerado como el de mejor estado de conservación.



- **Unidades de compensación:** es aquel valor determinado en base a la cantidad de ecosistema afectado, que permite ponderar el valor ecológico de un área y obtener el valor ecológico total.
- **Valor ecológico:** es el valor y/o ponderación que representa el estado de conservación de un ecosistema.
- **Valor ecológico total:** es el valor y/o ponderación que representa el estado de conservación de un ecosistema multiplicado por las unidades de compensación.



## VII. Referencia bibliográfica

- Elmqvist D.D., S.D. Fuhlendorf and F.E Smeins. 2005. State-and-transition models, Thresholds, and Rangeland health: A synthesis of ecological concepts and perspectives. *Rangeland Ecology and Management* 58:1-10
- DeVries, P.G. 1979. Line intersect sampling-statistical theory, applications, and suggestions for extended use in ecological inventory. In: R.M. Cormack, G.P. Patil and D.S. Robson, eds., *Sampling Biological Populations, Vol. 5: Statistical Ecology*, pp. 1-70. International Cooperative Publishing House, Fairland, MD.
- Eakin H. and L.A. Bojórquez-Tapia. 2008. Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change* 18: 112-127.
- Eldridge and Koen, 2003. 2003. Detecting environmental change in eastern Australia: rangeland health in the semi-arid woods. *Sci Total Environ*, 310 (2003), pp. 211–219.
- Elmqvist, T, C. Folke, M. Nyström, G. Peterson, J. Bengtsson, B. Walker and J. Norberg. 2003. Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 1:488-494
- Hudson, N. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- Josse C., F. Cuesta, G. Navarro, V. Barrena, E. Cabrera, E. Chacón-Moreo, M. Meralvo, J. Saita y A. Tovar. 2009. Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro de Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Secretaria de la Comunidad Andina. Lima – Perú.
- Karlen, D.L. and D.E. Stott. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. p. 53-72. In: J.W.Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicsek, and B.A. Stewart (eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, Soil Sci. Soc.Amer. Spec. Pub. Number 35. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisc.
- Kennedy, K.A. and P.A. Addison. 1987. Some considerations for the use of visual estimates of plant cover in biomonitoring. *J. Ecology* 75: 151-157.
- Mueller-Donbois, D. and H. Ellenberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. New York: Wiley
- Pyke D.A., J.E. Herrick, P. Shave and M. Pellant. 2002. Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management* 55: 584 – 597.
- Riser, P. G. 1984. *Methods for Inventory and Monitoring of Vegetation, Litter, and Soil Surface Condition. Developing Strategies for Rangeland Monitoring*. National Research Council National Academy of Sciences.



- Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw Hill, New York.
- Thurow, T.L., W.H. Blackburn, and C.A. Taylor, Jr. 1988. Infiltration and interrill erosion responses to selected livestock grazing strategies, Edwards Plateau, Texas. Journal of Range Management 41:296-302



## VIII. Anexos

### Anexo N° 01

#### Estimación del valor ecológico de un área de referencia

A continuación se muestran valores de los indicadores obtenidos de sitios de referencia para los ecosistemas césped de puna, pajonal de puna y tolar.

**Tabla n.º 01: Valores de indicadores en áreas de referencia para tres tipos de cobertura vegetal de los ecosistemas altoandinos**

Atributos	Indicadores	Césped de puna	Pajonal de puna	Tolar
Florística del sitio	Riqueza (número de especies)			
	Gramíneas y graminoides	19	23	05
	Hierbas	11	13	03
	Arbustos	00	02	05
	Composición florística (%)			
	Gramíneas y graminoides	50	70	43
	Hierbas	50	29	04
	Arbustos	00	01	53
Estabilidad del suelo	Cobertura aérea (%)	90	85	80
	Suelo desnudo superficial (%)	00	02	10
	Pérdida de suelo superficial	Nula	Nula	Escasa
	Materia orgánica de horizonte superficial	8	8	3
Integridad biótica	Altura de la canopia de plantas importantes (cm)	15	61	60
	Cantidad de biomasa aérea (g/m <sup>2</sup> )	58	426	800
	Cantidad de mantillo (g/m <sup>2</sup> )	10	62	130
	Plantas invasoras (%)	00	02	00

Fuente: Elaboración propia

Los sitios de referencia para los ecosistemas altoandinos tolar, pajonal y césped de puna fueron determinados en base a los siguientes criterios:



1. Existencia de información de sitios en buen estado de conservación, en una base nacional de datos del laboratorio de Manejo de Pastizales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
2. Identificación a través de imágenes satelitales.
3. Ubicación directa en campo: se realizó la verificación en campo mediante la observación directa de los siguientes indicadores detectable a simple vista:
  - Vigor (altura de las plantas dominantes).
  - Cobertura aérea (tamaño de la canopia).
  - Evidencia de pérdida del suelo superficial.
  - Presencia de estratos (dominante e inferior) - Evidencia de prácticas de aprovechamiento del recurso.



## Anexo N° 02

### Ejemplo sobre el cálculo del Valor ecológico con datos reales para el caso de un ecosistema de pajonal de puna

Para calcular el Valor ecológico de un área se utiliza la escala relativa de los indicadores correspondientes a cada atributo consignado en los Cuadros n.° 09, 10 y 11 de la presente guía.

El procedimiento consiste en comparar el valor de los indicadores de interés, de un área a evaluar, con el estado de los indicadores del área de referencia. En el caso del ejemplo que se ilustra en el cuadro n.° 01 del presente anexo, el área de referencia registra un valor de 23 o más para el grupo funcional de gramíneas y gramínoideas, correspondiéndole un puntaje máximo de 7. Para el caso de hierbas, el área de referencia registra un valor de 13 o más, correspondiéndole el puntaje de 1 en la escala del 0 al 1 (Cuadro n.° 9 de la presente guía).

En el área evaluada existen 6 especies de gramíneas, 5 de hierbas y 1 de arbustos. Para calcular el puntaje es necesario llevarlo, previamente, a porcentaje, con respecto a los valores que registra el área de referencia. Así, 6 especies de gramíneas representan 26 % del número existente en el área de referencia. Este valor se coteja con el Cuadro n.° 09 de la presente guía, correspondiéndole un puntaje de 3 puntos. Este mismo procedimiento de cálculo porcentual se aplica para el resto de indicadores.

Asimismo, para la estimación del indicador pérdida del suelo superficial, se utiliza el método visual directo en campo cuyos valores van de 0 a 20, tal como se muestra en el Cuadro n.° 10 de la presente guía. Por ejemplo, se coloca el valor de 20 cuando la superficie del suelo no muestra evidencia de remoción mínima del suelo superficial y se coloca el valor 0 cuando se evidencia remoción del suelo superficial.

Los puntajes parciales para cada indicador se suman para obtener el puntaje total. En este caso 36.5 puntos sobre 100 o bien 3.65 en la escala 1 al 10 significa que se encuentra en un estado pobre, considerando los rangos que se describen en Cuadro n.° 12 de la presente guía.



Cuadro n.º 01: Ejemplo de cálculo del valor ecológico de un pajonal de puna

Indicadores	Área Referencia (AR)		Área a evaluar*		
	Valor	Puntaje	Valor	(%) AR	Puntaje
Riqueza (número de especies)					
- Gramíneas y graminoides	23	7	6	26	3
- Hierbas	13	1	5	38	0.5
- Arbustos	2	2	1	50	1
Composición florística (%)					
- Gramíneas y graminoides	70	7	48	69	5
- Hierbas	29	1	51	176	1
- Arbustos	1	2	01	100	2
- Cobertura aérea (%)	85	8	50	59	6
Suelo desnudo superficial (%)	02	8	08	400>AR	0
Pérdida suelo superficial	Nula	20	Moderada	--	5
Materia orgánica de horizonte superficial (%)	8	4	05	63	3
Altura de la canopia de plantas importantes (cm)	61	2	14	23	0
Cantidad de biomasa aérea (g/m <sup>2</sup> )	426	19	150	35	6
Cantidad de mantillo (g/m <sup>2</sup> )	62	13	30	48	4
Plantas invasoras (%)	2	6	60	3000>AR	0
Puntaje Relativo (%)	---	100	---	---	36.5
Escala 1-10	---	10	---	----	3.65
Estado de Conservación		Muy Bueno			Pobre

\*Sirve para evaluar el área antes del impacto y el área a compensar

Fuente: Elaboración propia



DIRECCIÓN GENERAL DE EVALUACIÓN, VALORACIÓN  
Y FINANCIAMIENTO DEL PATRIMONIO NATURAL

LIMA, PERÚ  
2016



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

