



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

DIAGNÓSTICO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

en la cuenca del río Macusani
para la implementación de un
mecanismo de retribución por
servicios ecosistémicos

Dirección General de Economía
y Financiamiento Ambiental



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

DIAGNÓSTICO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

en la cuenca del río Macusani
para la implementación de un
mecanismo de retribución por
servicios ecosistémicos

**Dirección General de Economía
y Financiamiento Ambiental**

**Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la subcuenca del río
Macusani para la implementación de un Mecanismo de Retribución
por Servicios Ecosistémicos**

Autor: Ministerio del Ambiente
Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales
Dirección General de Economía y Financiamiento Ambiental

Editado por:
© Ministerio del Ambiente
Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales
Dirección General de Economía y Financiamiento Ambiental
Av. Antonio Miroquesada n.º 425, Magdalena del Mar, Lima, Perú
Imágenes: © Ministerio del Ambiente
Primera edición, abril 2020

ÍNDICE

I.	Introducción	8
II.	Antecedentes	10
III.	Objetivos	12
	3.1. Objetivo general	12
	3.2. Objetivos específicos	12
IV.	Metodología	13
	4.1. Elaboración del mapa de ecosistemas	13
	4.2. Evaluación del estado de conservación de los ecosistemas	13
	4.2.1. Delimitación de sitios ecológicos	13
	4.2.2. Evaluación del estado de conservación	17
	4.3. Caracterización hidrológica	19
	4.4. Análisis socioeconómico	20
V.	Resultados	21
	5.1. Mapa de ecosistemas	21
	5.2. Caracterización de los ecosistemas altoandinos	24
	5.3. Estado de conservación de los ecosistemas altoandinos	30
	5.3.1. Mapas del estado de conservación	32
	5.3.2. Evaluación del estado de conservación	33
	5.4. Caracterización hidrológica	42
	5.4.1. Propiedades morfométricas de la zona de estudio	42
	5.4.2. Propiedades de la red hídrica	48
	5.4.3. Parámetros generados	50
	5.4.4. Climatología	56
	5.4.5. Descripción del servicio ecosistémico hídrico	57
	5.5. Diagnóstico socioeconómico	58
	5.5.1. Población	58
	5.5.2. Salud	62
	5.5.3. Estructura productiva	63
	5.6. Análisis para la implementación de MERESE	69
	5.6.1. Potenciales beneficiarios y contribuyentes identificados	69
	5.6.2. Análisis para la implementación de un MERESE	71
	5.6.3. Análisis de posibilidades de implementación de un MERESE	75
VI.	Conclusiones y recomendaciones	83
VII.	Bibliografía	87

Resumen ejecutivo

El presente diagnóstico se ha realizado ejecutando las actividades de análisis propias de la propuesta de implementación del Diseño de Mecanismos de Retribución de Servicios Ecosistémicos – MERESE, que en este caso evalúa el uso del recurso hídrico como el elemento demandado por las poblaciones. De acuerdo con el análisis histórico de la oferta hídrica en el distrito de Macusani, este recurso ha disminuido su oferta y calidad año tras año, siendo en la actualidad un factor de preocupación para la sostenibilidad de las actividades económico-productivas en los distritos de Macusani, Ollachea y Corani, de la provincia de Carabaya, en el departamento de Puno. El diagnóstico realizado en la subcuenca del río Macusani, se enfocó en evaluar el estado actual de conservación de los ecosistemas altoandinos proveedores de forraje y del recurso hídrico, así como los aspectos socioeconómicos y su relación con el uso y la conservación de dichos servicios que brindan los ecosistemas, con el fin de aplicar un mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos (MERESE).

El uso de cartografía base y temática, así como de imágenes de satélite SPOT 7, contribuyó a la elaboración del mapa, aplicando los criterios florísticos y ecológicos. Asimismo,

se interpretó el uso actual en la cuenca. De los cinco ecosistemas identificados en la subcuenca de río Macusani, dos fueron considerados prioritarios para su evaluación, tales como el pajonal y el césped de puna. Como resultado de esta evaluación, el 50 % de las áreas evaluadas calificaron como Regular y el otro 50 % como Bueno.

Respecto al recurso hídrico, se han descrito las principales características hidrológicas de la unidad de análisis, en este caso, conformado por la intercuenca del río Macusani. Este componente ayuda a priorizar la intervención donde el eje central es el recurso hídrico y que en esta oportunidad tiene como fuente principal los nevados de Allinccapac y Chichiccapac; fuentes de agua, producto de la desglaciación de estos y que abastece del recurso hídrico para su aplicación mayoritaria en el campo energético y un mínimo empleo para el sector agropecuario.

El empleo principal que se da al recurso hídrico es para uso energético, aprovechando las aguas provenientes de los nevados mediante represamientos de las lagunas de la parte alta, acciones que han sido ejecutadas y son administradas por la empresa privada Generación Eléctrica

San Gabán, que a su vez abastece de agua a la mini-central hidroeléctrica Macusani, la cual genera energía eléctrica para una población reducida de Túpac Amaru, y que es administrada por la Municipalidad Provincial de Carabaya – Macusani.

El recurso hídrico superficial es utilizado en el sector agropecuario, aplicado principalmente en pastizales y para la agricultura de subsistencia, cuyo cultivo principal es la papa de variedad amarga.

El régimen de las precipitaciones indica que existe un periodo seco y que las precipitaciones en la unidad de análisis son mínimas, con valores que fluctúan entre 34 a 75 mm/mes, agua que es desaprovechada, considerando la escasa infraestructura de riego existente y que podría aprovecharse mediante técnicas de regulación hídrica para su uso durante la época de estiaje.

Para el presente caso, las aguas reguladas por el sistema Ttojacocha tienen como beneficiarios directos a los usuarios del agua superficial para uso energético (empresa de generación eléctrica San Gabán y la minicentral Macusani). Como beneficiarios indirectos se encuentran los pobladores de Túpac Amaru, los cuales se benefician con la energía eléctrica generada. Los

contribuyentes del servicio ecosistémico hidrológico (SEH) son los pobladores de la parte alta de la cuenca y son contratados por la empresa privada.

Para el caso de las aguas no reguladas cuyo origen es la nieve del nevado Allinccapac, los beneficiarios directos del agua superficial para el riego de pastizales y bofedales para su ganado, son los miembros del comité de regantes de Pacaje. Como beneficiario indirecto se encuentra la Comunidad Campesina de Pacaje, al obtener un sustento económico por la venta de su ganado. Los contribuyentes del SEH son los pobladores de la parte alta de la Comunidad Campesina de Pacaje.

Según el análisis socioeconómico realizado, existe poco interés respecto a la implementación de un esquema de pago por servicios ecosistémicos hídricos. Sin embargo, se puede incentivar a la población acerca de este mecanismo, desarrollando acciones de rehabilitación de las áreas de pastizales degradados y promoviendo la acumulación de agua en el acuífero mediante el manejo y la conservación de los bofedales y la propagación de especies silvestres e infraestructura verde para la contención del agua superficial en la zona de estudio.

1. Introducción

El Ministerio del Ambiente (MINAM) es el ente rector del sector ambiental; tiene como función desarrollar, dirigir, supervisar y ejecutar la política nacional ambiental, promoviendo así el uso sostenible de la diversidad biológica y de los servicios ecosistémicos del país.

En el marco del Plan Nacional de Acción Ambiental 2011-2021 y del lineamiento 6 de Crecimiento Verde, se vienen impulsando acciones en los ámbitos nacional, regional y local, orientadas a promover el crecimiento económico compatible con la conservación y el uso sostenible del capital natural, con el fin de mantener las funciones clave de los ecosistemas como fuente de servicios ecosistémicos y de diversidad biológica, de forma que se garantice su aprovechamiento por las generaciones presentes y futuras.

En esta línea, en el año 2014 se aprobó Ley n.º 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos y su reglamento, mediante el Decreto Supremo n.º 009-2016-MINAM, con el objetivo de promover, regular y supervisar los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos que se derivan de acuerdos voluntarios, que establecen acciones de conservación, recuperación y uso sostenible de los recursos para asegurar la permanencia de los ecosistemas.

Los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MERESE) son esquemas que buscan que los demandantes o beneficiarios de los servicios ecosistémicos, denominados retribuyentes, generen, canalicen, transfieran o inviertan recursos económicos que se orienten al desarrollo de actividades de conservación, recuperación y uso sostenible de las fuentes de servicios ecosistémicos, generando un aliciente para que se realicen dichas actividades. Las personas que realicen estas acciones serán los contribuyentes del servicio ecosistémico.

Para la implementación de los MERESE, uno de los elementos fundamentales es la situación actual en que se encuentran los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que brindan, para esto es importante la identificación y caracterización tanto del ecosistema, los servicios ecosistémicos y de los diferentes actores socioeconómicos en el ámbito de la cuenca objeto del estudio. En tal sentido, este diagnóstico brindará información estratégica de la cuenca integrada de los ríos Macusani, Corani y Ollachea (provincia de Carabaya, departamento de Puno) para la implementación de los esquemas del MERESE, cuya finalidad es apoyar a la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que brindan a la población.



Foto: Michell León/Merese Fida

2. Antecedentes

El Ministerio del Ambiente (MINAM), es la autoridad ambiental nacional encargada de formular, establecer, ejecutar y supervisar la implementación de la política nacional ambiental, con la finalidad de velar por el ambiente y el patrimonio natural de la Nación, a través de una adecuada gestión ambiental aplicada en todos los niveles de gobierno.

El MINAM busca el cumplimiento de los objetivos de la Política Nacional de Ambiente a través de estrategias de intervención en los proyectos de carácter nacional y regional, con el propósito de lograr un mayor involucramiento y compromiso de los actores clave regionales, locales y de la sociedad civil, buscando resultados concertados y consensuados para el desarrollo sostenible.

En este contexto, el estado peruano y la Corporación Andina de Fomento – CAF, suscribieron el contrato de préstamo para el financiamiento parcial del Programa de inversión pública para el fortalecimiento de la gestión ambiental y social de los impactos indirectos del corredor vial interoceánica sur – II etapa, cuyo

objetivo era mitigar los impactos indirectos que se venían generando en el ámbito del corredor vial interoceánico sur en sus tramos 2, 3 y 4 (departamentos de Cusco, Madre de Dios y Puno).

En tal sentido, se contempló la necesidad de conservar las fuentes del recurso hídrico para asegurar la calidad y cantidad del agua a las poblaciones que viven en el ámbito del mencionado corredor vial, a través de la implementación de los MERESE hidrológicos. Considerando, asimismo, que es de necesidad e interés nacional la promoción del acceso universal a los servicios de saneamiento sostenibles y de calidad.

Previo al inicio de la intervención en el departamento de Puno, la Unidad Ejecutora contratante estableció como área de interés la subcuenca del río Macusani, en la provincia de Carabaya, distritos de Macusani, Corani y Ollachea, e incluyó las microcuencas de los ríos Corani y Ollachea.



3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Elaborar el diagnóstico biofísico y socioeconómico de los ecosistemas y sus servicios ecosistémicos en la intercuenca del río Macusani con la finalidad de proponer acciones de conservación y recuperación de ecosistemas y de sus servicios ecosistémicos, para la implementación de un MERESE.

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el estado de conservación de los principales ecosistemas altoandinos de la intercuenca del río Macusani.

- Contar con información sobre el estado de la población, actores vinculados con el acceso y aprovechamiento del recurso hídrico en la intercuenca del río Macusani y su área de trasvase.
- Realizar una caracterización hidrológica e identificar el servicio ecosistémico hídrico en la intercuenca del río Macusani.
- Proponer acciones orientadas al establecimiento de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos.



Foto: Michell León/Forest trends

4. Metodología

4.1. Elaboración del mapa de ecosistemas

Para la identificación de los tipos de ecosistemas del área estudiada, se tomó como referencia el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal (MINAM, 2015).

A partir de él, se elaboraron dos mapas de ecosistemas, uno de ellos correspondió a toda la cuenca del río Inambari y el otro mapa a la intercuenca del río Macusani, en donde se realizó el estudio.

Los mapas se elaboraron a una escala de 1:25 000 y un área mínima de mapeo de 5 ha. Para el caso de determinados ecosistemas particulares y de reducida superficie, como son los bofedales y bosques relictos altoandinos, la escala de mapeo fue de 1:10 000 y el área mínima de mapeo de 1 ha. Se utilizaron imágenes SPOT 7 ortorrectificadas y con resolución espacial de 2,5 m.

4.2. Evaluación del estado de conservación de los ecosistemas altoandinos

Para la evaluación del estado de conservación de los ecosistemas se priorizaron los altoandinos y, dentro ellos, los tipos pajonal y césped de puna. El proceso de evaluación comprendió el desarrollo de varias etapas que se describen a continuación.

4.2.1. Determinación de sitios ecológicos

Un sitio ecológico es un área que tiene cierto potencial para producir una determinada comunidad de plantas. Los tipos y cantidad de vegetación que crecen dentro de las comunidades de plantas están determinados por la topografía, el clima, la exposición, el nivel de la capa freática, la textura, estructura y salinidad del suelo, características que la

Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la subcuenca del río Macusani para la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos

hacen diferente de áreas adyacentes.

La delimitación de sitios ecológicos involucró la recopilación de información topográfica, geológica, capacidad de uso mayor de las tierras y de estudios previos para la delimitación de pre-sitios ecológicos. La información de campo permitió realizar el ajuste de los pre-sitios ecológicos, obteniéndose luego los sitios ecológicos definitivos.

Cabe mencionar que la vegetación no solo es el criterio principal para diferenciar un sitio ecológico, ya que este atributo puede ser fácilmente manipulado por perturbaciones naturales y antrópicas y por lo tanto es muy variable (Moseley et al., 2010, citado por Zarria, 2015).

A través de la técnica de clasificación supervisada por redes neuronales, basada

en información de pendiente, zonas de vida, vegetación y elevación del terreno, se determinaron los sitios ecológicos o unidades homogéneas dentro de los ecosistemas pajonal y césped de puna (cuadro n.º 1 y figura n.º 1).

La escala de trabajo fue de 1:75 000, con un área mínima de mapeo de 14 ha y, excepcionalmente, de 5 ha en caso del área agrícola. Se utilizaron los siguientes materiales:

- Imágenes satelitales del sensor SENTINEL 2
- Imágenes de Digital Globe
- Computadora
- Modelo de elevación digital ASTER 2011 de una resolución de 30 m
- Mapa de zonas de vida (ONERN, 1972).

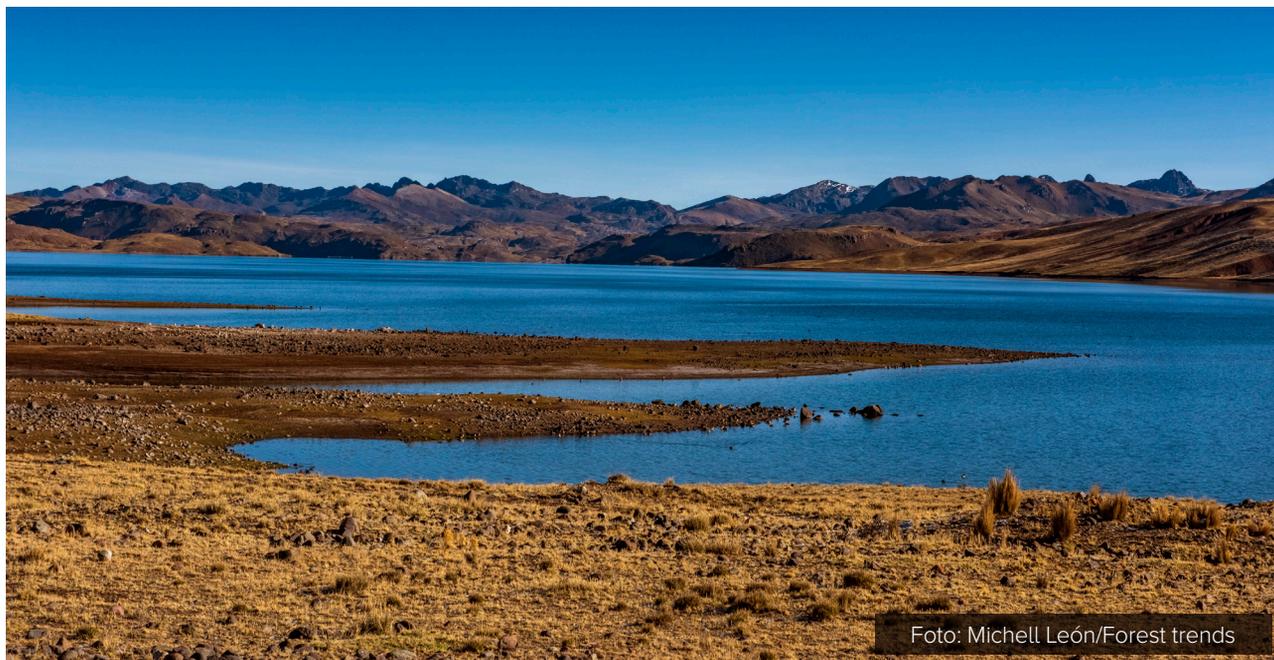


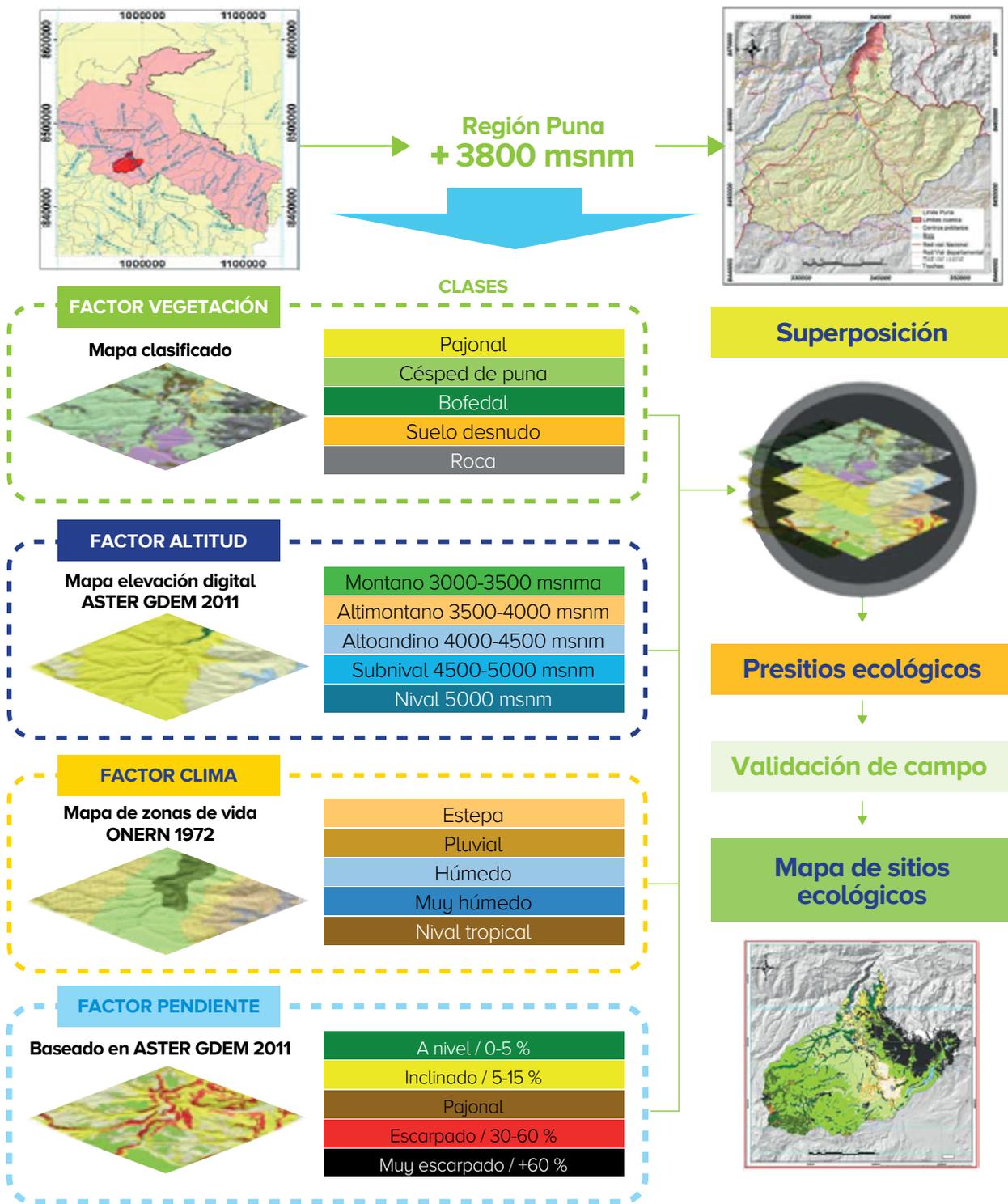
Foto: Michell León/Forest trends

Cuadro n.º 1. Capas temáticas y clases para la determinación de sitios ecológicos

Capa temática	Clases
Cobertura vegetal	Pajonal
	Bofedal
	Césped de Puna
	Lagunas
	Morrenas
	Nieve
	Roca
	Suelo desnudo
	Área agrícola
	Área urbana
Elevación	Altimontano
	Montano
	Altoandino
	Subnival
Zona de vida	Bosque húmedo
	Bosque muy húmedo
	Páramo pluvial
	Tundra pluvial
	Nival tropical
Pendiente	(0-5 %)
	(5-15 %)
	(15-30 %)
	(30-60 %)

Fuente: MINAM, 2017

Figura n.º 1. Esquema del proceso de elaboración del mapa de sitios ecológicos



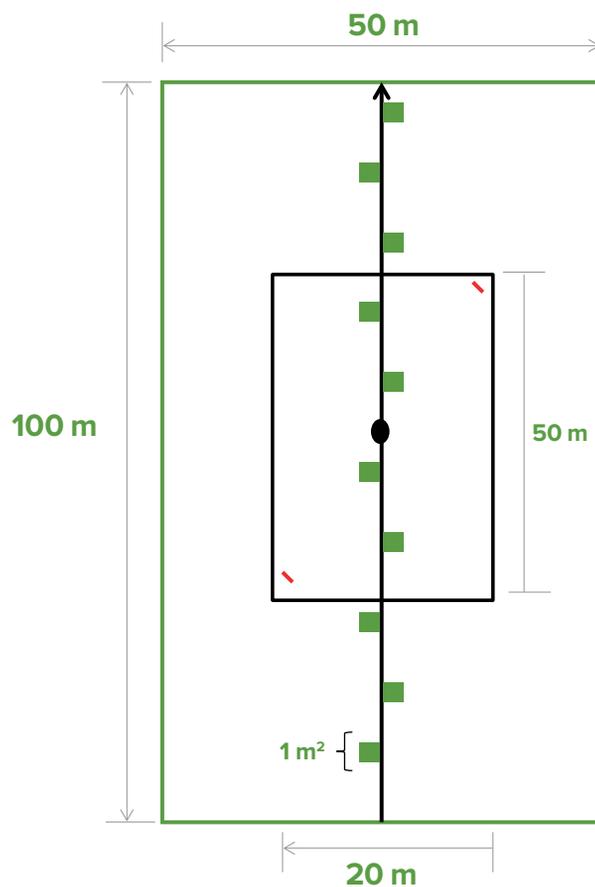
Fuente: MINAM, 2017

4.2.2. Evaluación del estado de conservación

Para la evaluación del estado de conservación de los ecosistemas de la intercuenca del río Macusani, se utilizó la metodología descrita en la Guía complementaria para la compensación ambiental: ecosistemas altoandinos, aprobada por Resolución Ministerial n.º 183-2016-MINAM.

El diseño de muestreo corresponde a lo establecido en la guía antes mencionada. En este caso se evaluó un total de 30 transectos con 100 puntos de observación en cada transecto, más 10 parcelas de 1 m² en los mismos transectos (figura n.º 2).

Figura n.º 2. Diseño de muestreo



Transecta Central 100 m

- Altura de Plantas (cm)
- Cobertura superficial suelo (%)
- Suelo desnudo (%)

Cuadrante 20 x 50 m

- Número de especies
- Numero grupos funcionales

Cuadrante 1 x 1 m

- Cobertura aérea (%)
- Cantidad de Biomasa (g/m²)
- Cantidad de Mantillo (g/m²)

Fuente: Guía complementaria para la compensación ambiental: ecosistemas altoandinos

Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la subcuenca del río Macusani para la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos

La evaluación del estado de conservación o valor ecológico de los ecosistemas se basó en la medición de tres de sus atributos, como son, florística del sitio, estabilidad del suelo e integridad biótica, los cuales están conformados por diez indicadores que brindan información sobre el estado

del ecosistema en cuanto a su estructura y funcionalidad (cuadro n.º 2). En el cuadro n.º 3, se muestra la escala final para estimar el estado de conservación de los ecosistemas evaluados. En el anexo n.º 1, se muestran algunos ejemplos de fichas de evaluación de los sitios evaluados.

Cuadro n.º 2. Atributos e indicadores para estimar el valor ecológico del ecosistema

Atributos del ecosistema	Indicadores
Florística del sitio	Riqueza (número de especies): Gramíneas y graminoides Hierbas Arbustos
	Composición florística (%) Gramíneas y graminoides (nº) Hierbas (nº) Arbustos (nº)
Estabilidad del suelo	Cobertura aérea (%)
	Suelo desnudo superficial (%)
	Pérdida de suelo superficial
	Materia orgánica del horizonte superficial (%)
Integridad biótica	Altura de la canopia de plantas dominantes (cm)
	Cantidad de biomasa aérea (g/m ²)
	Cantidad de mantillo (g/m ²)
	Plantas invasoras (%)

Fuente: Guía complementaria para la compensación ambiental: ecosistemas altoandinos

Cuadro n.º 3. Escala y valor relativo de los estados de conservación de los ecosistemas

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: Guía complementaria para la compensación ambiental: ecosistemas altoandinos

Para el levantamiento de información de campo y procesamiento de datos en gabinete se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Wincha de 100 m y cinta métrica de 5 m
- Pico y pala recta y cuadrante de fierro (1 m x 1 m)
- Tijeras para cortar pasto y estacas
- Bolsas de polietileno y etiquetas
- Formatos de evaluación en campo y tablero de plástico
- Pesolas Lightline Spring Scales de 1 kg y de 300 g y romana de 5 kg
- Equipo de sistema de posicionamiento global (GPS) y cámara fotográfica digital

4.3. Caracterización hidrológica

El río Macusani nace de sus afluentes en la parte alta del distrito de Carabaya y el área de conservación del nevado Allinccapac. Cabe indicar que la zona priorizada para el estudio comprende un 16,95 % de dicho

nevado, cuya razón de conservación es principalmente contener las reservas de agua en sus glaciares, entre otras incidencias en las variables climáticas.

Para la caracterización hidrológica se utilizaron los siguientes materiales:

- Información del modelo de elevación digital de Alaska Satellite Facility
- Datos ráster (pixel 12,5 m x 12, 5m) y TIN (generado a partir del ráster)
- La información cartográfica de la base oficial de cuencas hidrográficas de la ANA
- Información cartográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN)
- Software ArcGIS 10.4.1

Asimismo, se requirió información de datos climáticos globales versión 2 (<http://worldclim.org/version2>) y Nasa Giovanni - Periodo 01/03/2016 a 28/02/2017 - <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> disponible para el ámbito de la intercuenca.

El procesamiento e interpretación de la información de datos climáticos satelitales

Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la subcuenca del río Macusani para la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos

obtenidos fue realizado a través del procesamiento de ráster de temperatura y precipitación.

Durante el trabajo de campo, se visitaron las siguientes estaciones meteorológicas existentes en los alrededores de la intercuenca del río Macusani (anexo n.º 2):

- Estación Meteorológica Macusani, actualmente funcionando, ubicada en la ciudad de Macusani y administrada por el Senamhi.
- Estación Meteorológica Automatizada San Gabán, actualmente funcionando, ubicada a 1 km de la laguna Chungara y administrada por la Central Hidroeléctrica San Gabán.
- Estación Meteorológica Ollachea, actualmente funcionando, ubicada en el centro poblado Ollachea y administrada por el Senamhi.
- Estación Meteorológica San Gabán, actualmente funcionando, ubicada a 1 km del peaje San Gabán y administrada por el Senamhi.

4.4. Análisis socioeconómico

La etapa de recopilación de la información de campo se inició con la identificación y entrevistas con actores clave, que permitió conocer sus funciones e incidencia en la zona.

El recojo de información también incidió en la identificación de las potenciales acciones, compromisos y posibles acuerdos entre los actores identificados para efectos de la aplicación de un MERESE.

En esta parte se analizó estructural y funcionalmente las condiciones de acceso para la satisfacción de las necesidades básicas de la población, caracterización de la estructura productiva y de servicios locales.

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Mapas de la zona priorizada de la cuenca del río Inambari
- Información cartográfica del INEI
- Censo Nacional de Población y Vivienda 2007
- IV Censo Nacional Económico (2008)
- Computadora y procesador de textos

5. Resultados

5.1. Mapa de ecosistemas

En la figura n.º 3, se muestra el mapa de la cuenca del río Inambari y la ubicación de la intercuenca del río Macusani como área de estudio (polígono con puntos rojos) y, en la figura n.º 4, el mapa de ecosistemas de toda la cuenca.

Se identificaron nueve tipos de ecosistemas en toda la cuenca del río Inambari, tal como se muestra en la figura n.º 4 (bosque tropical, bosque de montaña basimontano, bosque de montaña montano, bosque de montaña altimontano, bosque relicto altoandino, bofedal, césped de puna/pajonal de puna, periglaciario y glaciar).

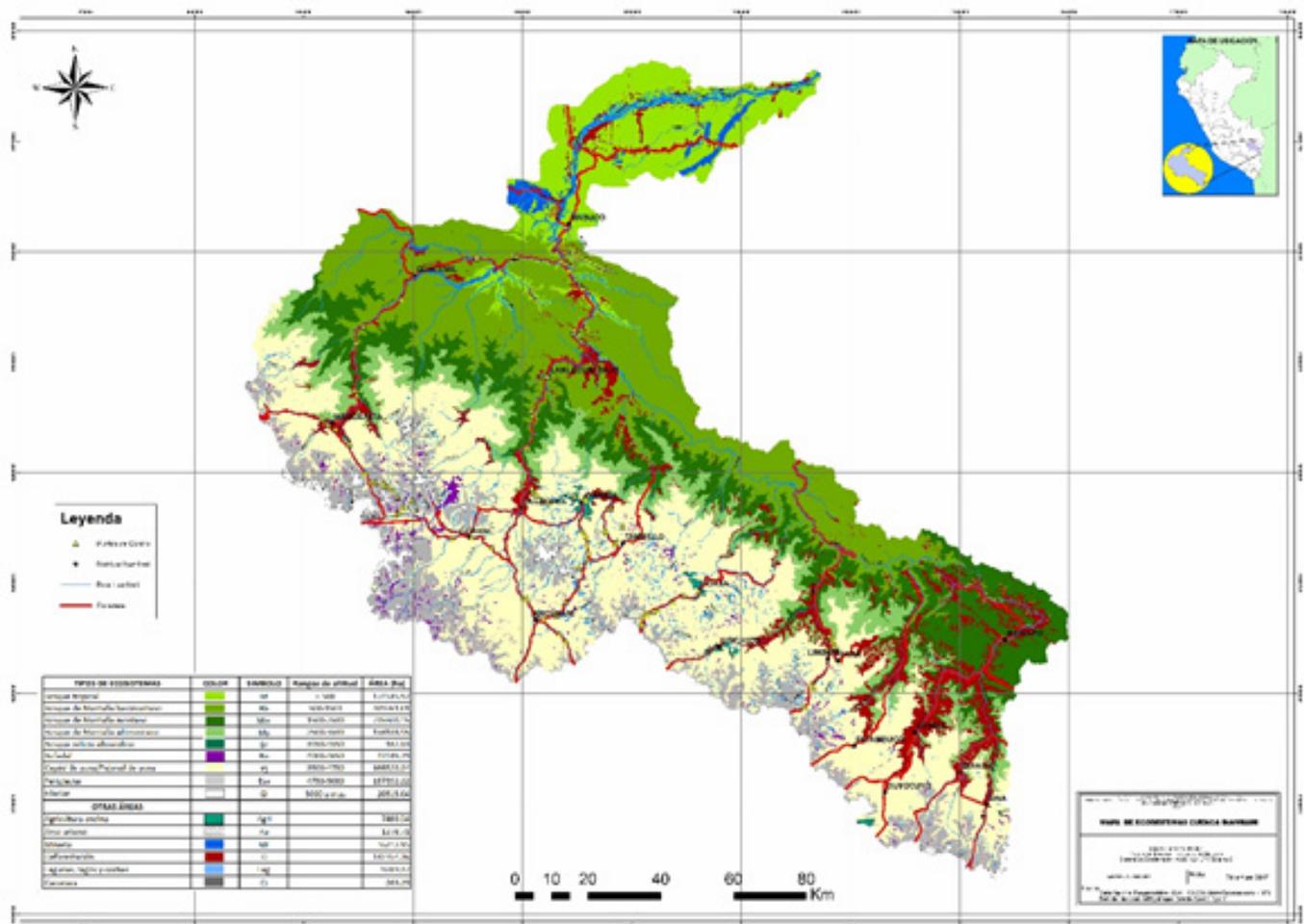


Figura n.º 3. Ubicación del área de estudio: provincia de Carabaya, departamento de Puno



Fuente: MINAM, 2017

Figura n.º 4. Mapa de ecosistemas de la cuenca del río Inambari



Fuente: MINAM, 2017

5.2. Caracterización de los ecosistemas altoandinos

Para fines del presente estudio, se han caracterizado solo los ecosistemas altoandinos comprendidos en el área de estudio (figura n.º 3), los cuales se describen a continuación.

a. Césped de puna/Pajonal de puna

Es el ecosistema de mayor extensión en el ámbito de estudio. Se encuentra ubicado aproximadamente desde los 3500 m hasta los 4750 m de altitud.

Presenta un clima húmedo y frío, con una temperatura media anual que oscila entre 6 y 3 °C; y una precipitación pluvial total anual entre 1000 y 2000 mm. El relieve del terreno es desde plano hasta empinado. Comprende la zona de vida páramo pluvial - Subalpino Subtropical (pp-SAT).

La vegetación se caracteriza por el dominio espacial de herbazales, sobre otras formas de vida vegetal. En esta formación se distinguen dos tipos de herbazales basado en su fisonomía y florística.

El tipo predominante espacialmente es el césped de puna (figura n.º 5 y anexo n.º 1) caracterizado por su porte bajo y hasta muy próximo al suelo, con una altura máxima promedio de 5 cm.

El segundo tipo y con menor superficie es el conocido como pajonal de puna (figura n.º 6 y anexo n.º 1), caracterizado por su aspecto vigoroso que crece en forma de manojos o matas separadas entre sí que alcanzan en promedio hasta 0,60 m de altura, cuyas hojas cuando maduras se lignifican y endurecen volviéndose punzantes, llegando a veces a lastimar al ganado que pastorea.

El tipo césped de puna se extiende en terrenos desde planos hasta colinosos y montañosos con pendientes muy empinadas y el tipo pajonal se encuentra restringido mayormente a las áreas rocosas y de pendientes escarpadas; también se encuentra en algunos sectores planos a ligeramente inclinados y en suelos arenosos a orillas de quebradas. Es frecuente encontrar áreas donde se mezclan estos dos tipos, siendo el de mayor proporción el tipo césped de puna.

Durante el recorrido de campo, se pudo observar, de manera general, en el sector Macusani – Tambillo, la predominancia del césped de puna, siendo frecuente las especies *Calamagrostis vicunarium* (Poaceae), *Lachemilla pinnata* (Rosaceae), *Hipochaeris aculis* (Asteraceae), *Aciachne pulvinata* (Poaceae), *Scirpus rigidus* (Cyperaceae), *Astragalus uniflorus* (Fabaceae), *Geranium* sp., *Perezia multiflora* (Geraniaceae), entre otras.

En el tramo Tambillo – Ayapata – Ollachea, se observaron algunas áreas de pajonal de puna, en donde en algunos sectores se intercalan con parcelas de cultivos. Entre las especies vegetales se mencionan a las siguientes: *Festuca rigescens*, *Muhlenbergia fastigiata*, *Calamagrostis vicunarum*, *Lachemilla pinnata*, *Senecio sp.*, *Geranium sp.*, entre otras.

Uso actual

Este ecosistema, dominado por herbazales, viene siendo utilizado en forma continua e intensiva durante todo el año por la actividad ganadera, principalmente basada en ovinos, alpacas, vicuñas y vacunos; a los vacunos se les encuentra solo estacionalmente, limitado por las temperaturas extremas de la zona.

Este herbazal, debido al pastoreo intensivo y expansivo que soporta durante el año, rebasa su carga animal, observándose a simple vista algunas características clave o indicadores biofísicos que expresan su estado de salud, como, por ejemplo, la presencia de especies invasoras, poco o nada deseables por el ganado, tales como, *Opuntia flocosa* (Cactaceae), *Astragalus uniflorus* (Fabaceae), *Aciachne pulvinata* (Poaceae), *Margiricarpus strictus* (Rosaceae), entre otras.

Por otro lado, este ecosistema, de acuerdo al Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, califica para “pastoreo” (P), sin embargo, viene sufriendo progresivamente el cambio de uso a cultivo en limpio (A), debido a la fuerte presión por ampliar la frontera agrícola, especialmente en las zonas donde se mantiene el suelo con determinada humedad durante el año (drenaje imperfecto). Cuando el drenaje es menos acentuado se acostumbra a drenar el área y a sembrar en camellones, es decir, con surcos profundos donde la humedad no pueda afectar a los cultivos.

Las condiciones extremas del clima, especialmente las bajas temperaturas, limitan el desarrollo de cultivos anuales o permanentes, sin embargo, el agricultor, aun obteniendo bajos rendimientos y a veces pérdida de su cosecha por las heladas muy acentuadas, practica la agricultura por necesidad de tierras. Principalmente se cultiva papa nativa, olluco, mashua, cañihua, entre otros.

Otro cambio de uso de la tierra que se pudo observar fue en la zona de Ayapata, donde se han efectuado plantaciones forestales a base de *Pinus* (Anexo n.º 3.1 y figura n.º 13), contraviniendo al Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, que lo califica para “pastoreo” (P), sin embargo, se le cambia al uso “forestal” (F).

Figura n.º 5. Ecosistema césped de puna y actividad ganadera



Fuente: MINAM, 2017

Figura n.º 6: Ecosistema pajonal y actividad ganadera



Fuente: MINAM, 2017

b. Bofedal

El bofedal u oconal, constituye un ecosistema hidromórfico ubicado en la cuenca alta o cabecera de la cuenca, por encima de los 4000 m hasta los 4650 m de altitud, que corresponde a la zona de vida páramo pluvial - Subalpino Subtropical (pp-SAT).

Este ecosistema se presenta en los fondos de valle fluvio-glacial, planicies lacustres, piedemonte y terrazas fluviales y se mantiene gracias al flujo hídrico que proviene del deshielo de los glaciares y del afloramiento de agua subterránea. Los suelos permanecen inundados permanentemente con ligeras oscilaciones durante el periodo seco. La poca disponibilidad de oxígeno debido al drenaje pobre favorece la acumulación de un grueso colchón orgánico proveniente de las raíces muertas de las plantas y la materia orgánica en el suelo, ayudando así al mantenimiento de humedad (MINAM, 2015).

La vegetación herbácea hidrófila es siempre verde, compacta y de porte almohadillado o en cojín, representada por la especie *Distichia muscoides* (Juncaceae), conocida como “champa”, con un mayor valor de cobertura aérea (%) y en menor proporción por la especie conocida como “champa estrella” *Plantago rigida* (Plantaginaceae), como se muestra en la figura n.º 7.

Luego, con menores valores de cobertura aérea, se encuentran hierbas de porte pequeño y erguido como *Calamagrostis rigescens* (Poaceae), *Lachemilla pinnata* (Rosaceae), *Werneria caespitosa* (Asteraceae), *Hypochoeris* sp. (Asteraceae), *Scirpus rigidus* (Cyperaceae), *Oreobolus obtusangulus* (Cyperaceae), *Gentianella perscurarrosa* (Gentianaceae), *Muhlenbergia fastigiata* (Poaceae), entre otras.

Uso actual

Este ecosistema, considerado por la legislación peruana como frágil, viene siendo afectado por el sobrepastoreo por parte del ganado alpaquero y ovino, principalmente. De manera general, se puede decir que existe un escaso número de especies forrajeras cuyo crecimiento y desarrollo se ve completamente reducido, sobresaliendo las especies almohadilladas o en cojín, como son *Distichia muscoides* y *Plantago rigida*; y, en otros casos, como en las áreas de transición entre el bofedal y la tierra firme, la vegetación es diminuta, tipo césped (figura n.º 7).

Figura n.º 7. Ecosistema bofedal y actividad ganadera



Fuente: MINAM, 2017

c. Periglacial

Este ecosistema se encuentra restringido entre los 4750 y los 5000 m de altitud (figura n.º 8). Se ubica en la zona de vida tundra pluvial - Alpino Tropical (tp-AT); el clima es súper húmedo - muy frío, con una temperatura media anual entre 3 °C y 1,5 °C; y una precipitación pluvial total promedio anual que varía desde 500 hasta 1000 mm.

Está conformado por las cimas del paisaje montañoso, con presencia de superficies rocosas con escasa vegetación conformada por manojos dispersos de poáceas y asteráceas.

d. Lagunas

Comprende la serie de lagunas existentes circundadas por el ecosistema césped de puna/ pajonal de puna y próximas a los bofedales.

Figura n.º 8: Ecosistema periglacial



Fuente: MINAM, 2017

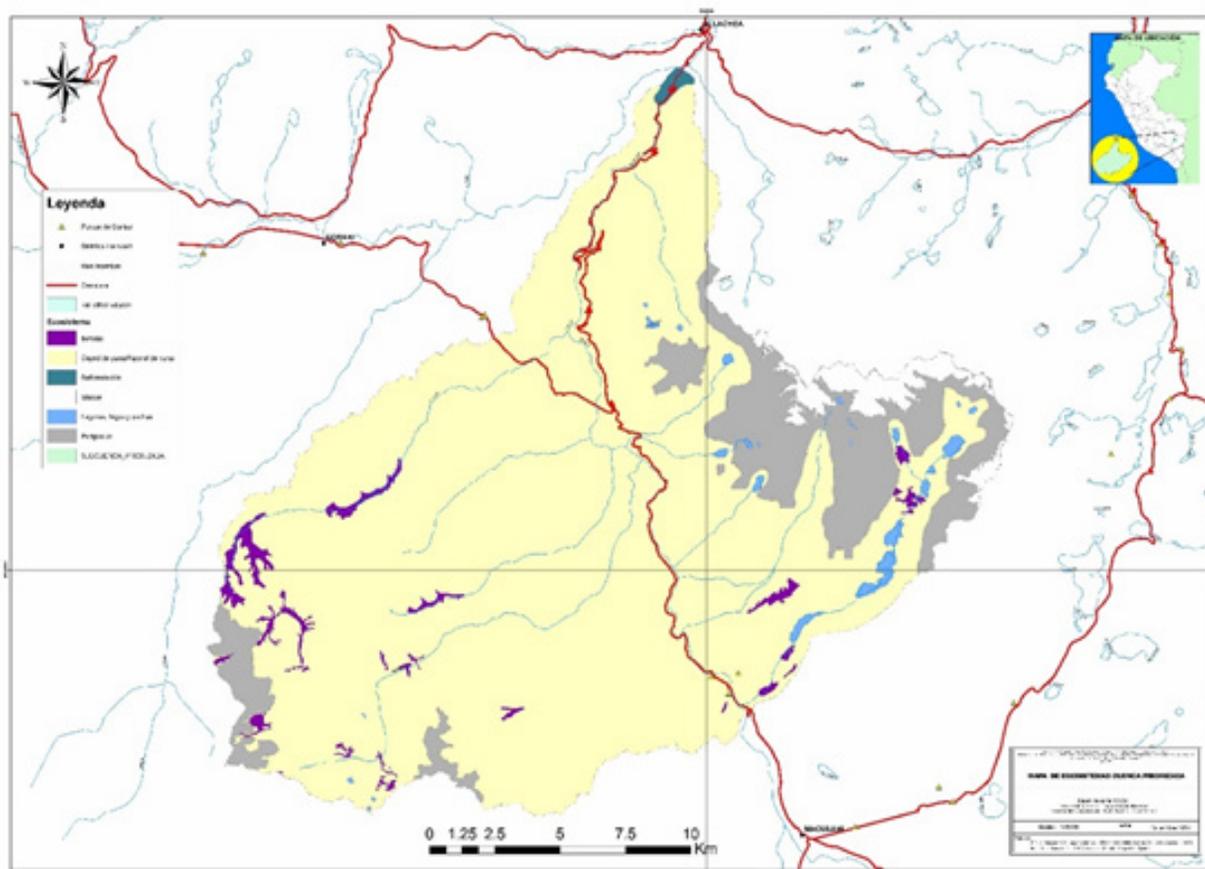
5.3. Estado de conservación de los ecosistemas altoandinos

La intercuenca del río Macusani abarca una superficie de 42 567 ha, en la cual se ha identificado los ecosistemas de césped de puna y pajonal de puna que han sido priorizados para el presente estudio, teniendo una superficie de 23 335 ha (17 664 ha y 5671 ha, respectivamente). Sin embargo,

la intercuenca presenta otras coberturas que representan el 45 % de la cuenca, como roquedales y zonas de protección (9848 ha), bofedales (5340 ha), zonas agrícolas (2456 ha) y otras (1589 ha de morrenas, suelo desnudo, zona urbana, lagunas y nevados).

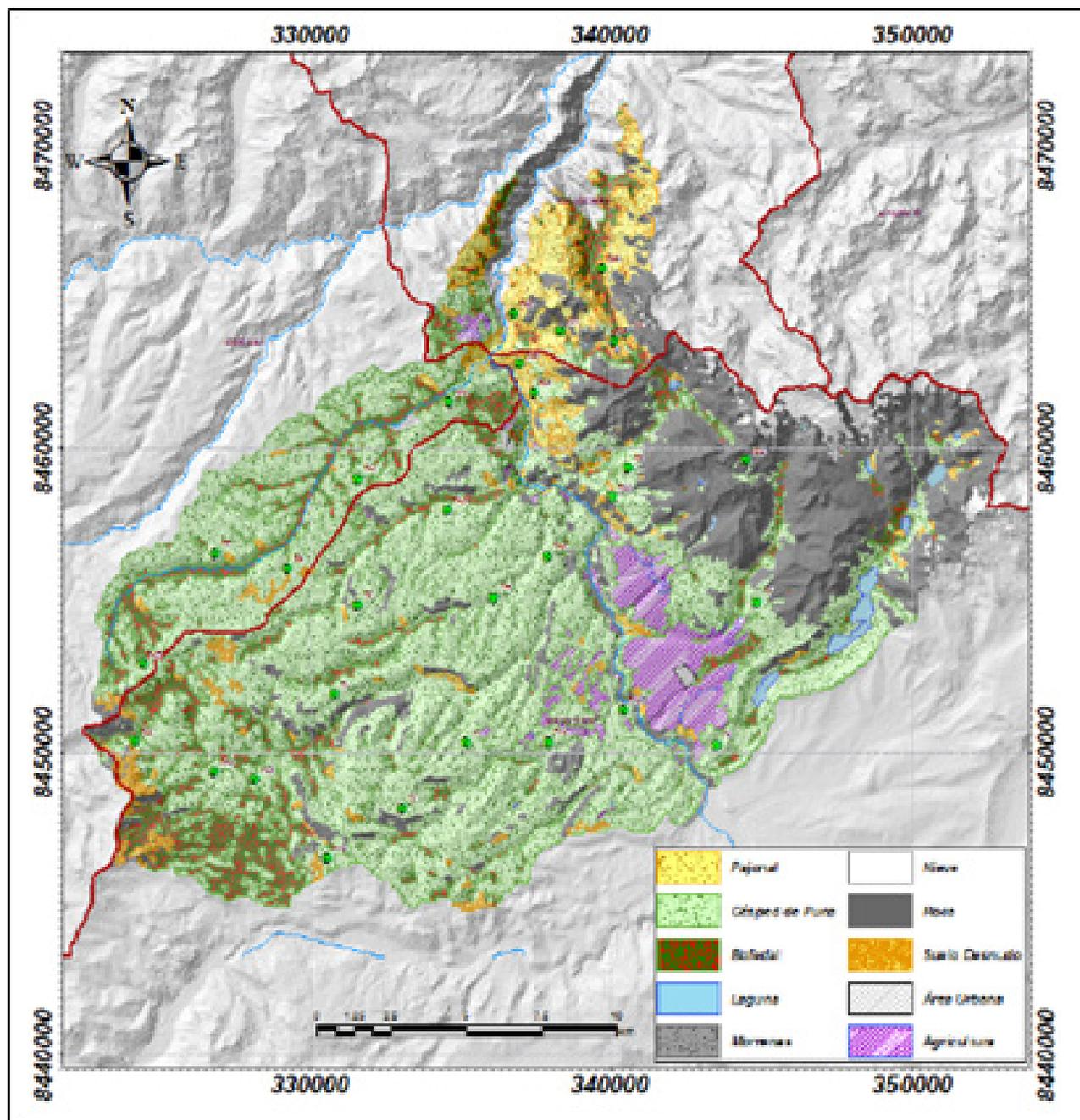
En la figura n.º 9, se muestra el mapa de ecosistemas de la intercuenca del río Macusani y en la figura n.º 10, el mapa de ecosistemas priorizados para la evaluación del estado de conservación, tales como el césped de puna y el pajonal.

Figura n.º 9. Mapa de ecosistemas de la intercuenca del río Macusani



Fuente: MINAM, 2017

Figura n.º 10. Mapa de ecosistemas de la zona de estudio



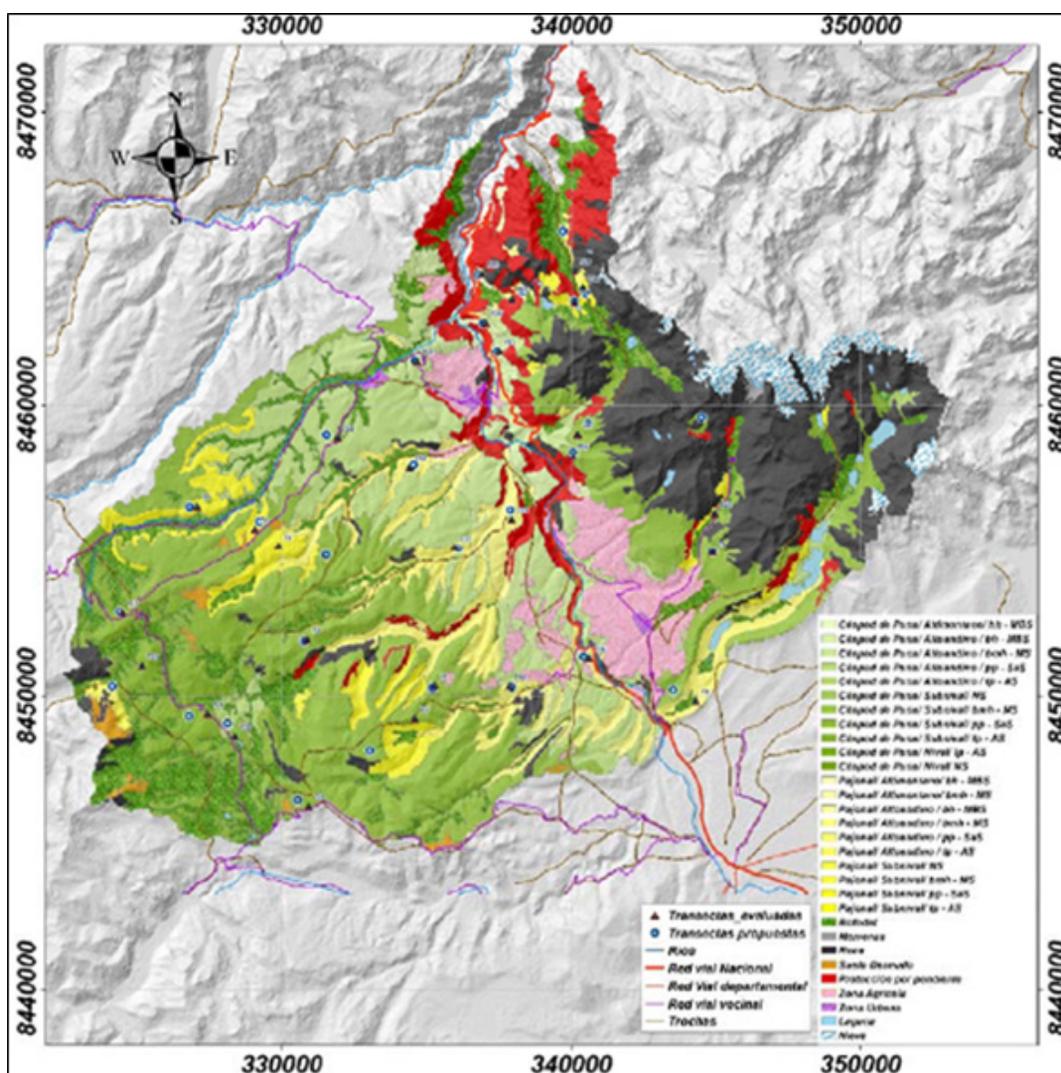
Fuente: MINAM, 2017

5.3.1. Mapa de sitios ecológicos

En la etapa de gabinete inicial se elaboró el mapa de pre-sitios, seleccionando, para el análisis, las áreas que tienen cobertura de pajonal y césped de puna y enmascarando

las restantes. Las áreas con pendientes mayores de 60 % se consideraron de protección, por lo que no fueron evaluadas. Luego, con la información levantada en campo, se ajustó el mapa preliminar y se determinaron 21 unidades homogéneas o sitios ecológicos, tal como se muestra en la figura n.º 11.

Figura n.º 11. Mapa de sitios ecológicos



Fuente: MINAM, 2017

5.3.2. Evaluación del estado de conservación

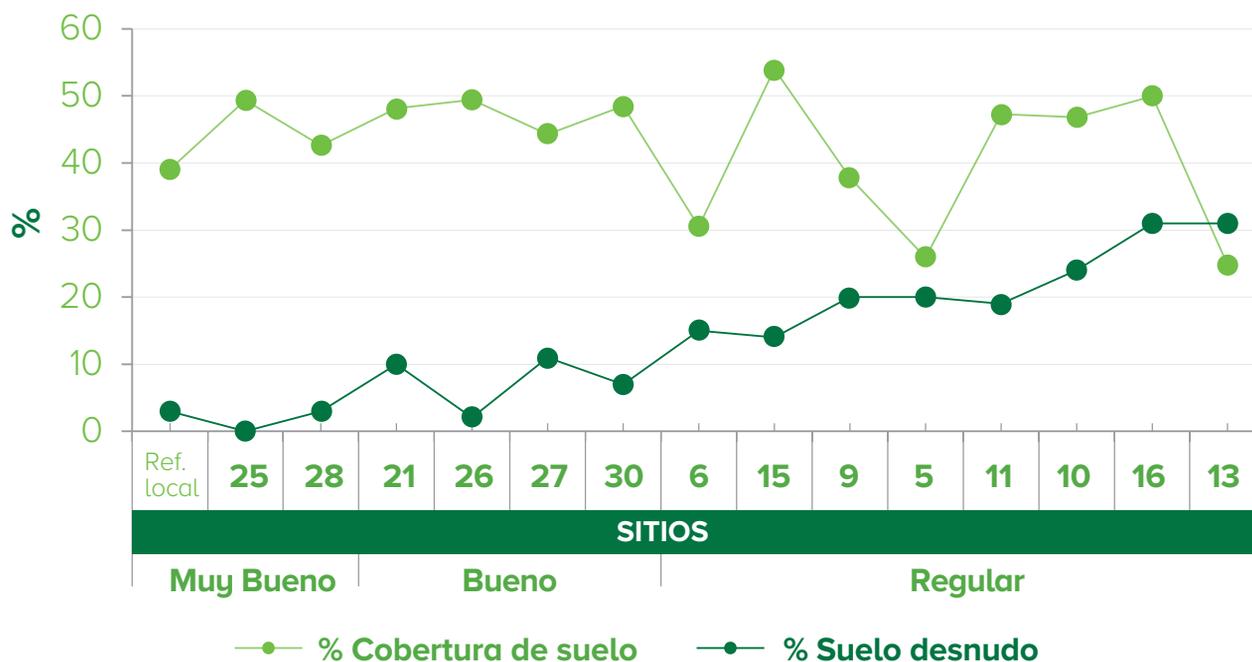
A continuación, se muestran los resultados de la evaluación del estado de conservación de los ecosistemas pajonal y césped de puna a nivel de cada sitio.

Por ejemplo, la figura n.º 12 muestra la tendencia de los indicadores de cobertura y de suelo desnudo, obtenido de las 14

muestras evaluadas en el pajonal, y la figura n.º 13 muestra la tendencia de los indicadores de cobertura y de suelo desnudo, obtenido de las 12 muestras evaluadas en el césped de puna.

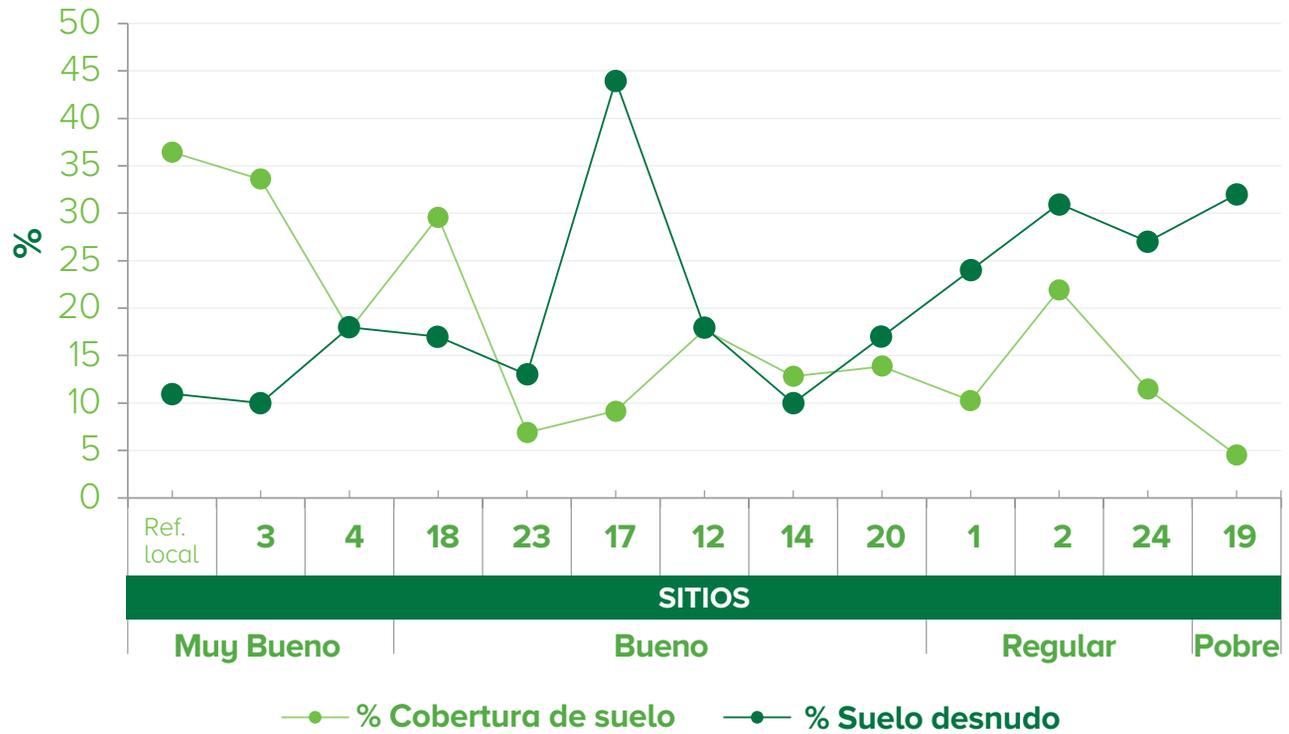
En los cuadros n.º 4 y n.º 5, se muestran los resultados de la evaluación del ecosistema pajonal a nivel de cada sitio. Asimismo, en los cuadros n.º 6 y n.º 7, se muestran los resultados de la evaluación del ecosistema césped de puna a nivel de cada sitio evaluado.

Figura n.º 12. Tendencia de los indicadores de cobertura de suelo y de suelo desnudo, pajonal



Fuente: MINAM, 2017.

Figura n.º 13. Tendencia de los indicadores de cobertura de suelo y de suelo desnudo, césped de puna



Fuente: MINAM, 2017.

Cuadro n.º 4. Valor de indicadores en áreas de referencia y sitios de evaluación en el ecosistema pajonal

Indicadores	Referencia local (1)	Sitios de evaluación(2)													
		25	28	21	26	27	30	6	15	9	5	11	10	16	13
1. Riqueza (Número de especies)															
Gramíneas y graminoides	12,00	6,00	10,00	9,00	7,00	6,00	3,00	7,00	13,00	14,00	10,00	5,00	14,00	9,00	5,00
Hierbas	17,00	10,00	17,00	17,00	15,00	19,00	10,00	14,00	9,00	5,00	17,00	8,00	8,00	4,00	9,00
Arbustos	5,00	4,00	2,00	2,00	4,00	3,00	1,00	5,00	1,00	1,00	5,00	1,00	1,00	3,00	3,00
2. Composición florística (%)															
Gramíneas y graminoides	86,30	59,42	54,41	79,71	69,44	62,69	88,68	80,82	98,68	96,88	73,24	97,18	83,61	88,14	78,43
Hierbas	9,59	4,35	42,65	20,29	26,39	34,33	11,32	13,70	-	3,13	14,08	1,41	4,92	-	11,76
Arbustos	4,11	36,23	2,94	-	4,17	2,99	-	5,48	1,32	-	12,68	1,41	11,48	11,86	9,80
3. Cobertura del suelo (%)	39,10	49,35	42,60	48,15	49,40	44,30	48,50	30,50	54,03	37,82	25,89	47,30	46,80	49,95	24,78
4. Suelo desnudo (%)	3,00	-	3,00	10,00	2,00	11,00	7,00	15,00	14,00	20,00	20,00	19,00	24,00	31,00	31,00
5. Pérdida del suelo superficial	Leve	Leve	Leve	Mode	Mode	Mode	Severo	Mode	Mode	Mode	Mode	Mode	Mode	Mode	Severo
6. Materia orgánica del horizonte superficial (%)	2,60	7,52	3,79	8,28	8,70	4,71	1,21	1,78	1,98	1,86	3,77	1,98	1,52	1,09	1,56
7. Altura de la canopia de plantas importantes (cm)	19,84	17,30	41,67	14,18	9,50	31,10	32,60	15,65	14,98	23,81	14,33	22,90	12,81	12,63	10,22
8. Cantidad de biomasa aérea (g/m ²)	276,19	298,55	304,30	288,63	210,31	278,40	296,00	196,27	236,38	181,11	91,06	191,00	96,90	78,45	72,15
9. Cantidad de mantillo (g/m ²)	258,30	213,41	104,81	193,18	93,43	95,95	225,94	174,26	88,40	136,40	69,39	115,05	76,42	56,44	62,86
10. Plantas invasoras (%)	5,48	-	1,47	4,35	6,94	8,96	-	-	-	1,56	5,63	-	1,64	-	-

(1) Estado de referencia local | (2) En base a apreciación visual
Mode: Moderado

Fuente: MINAM, 2017

Cuadro n.º 5. Valoración del estado de conservación de los sitios evaluados en el ecosistema pajonal

Indicadores	Referencia local (1)	Sitios de evaluación(2)													
		25	28	21	26	27	30	6	15	9	5	11	10	16	13
1. Riqueza (Número de especies)															
Gramíneas y graminoides	7	3	7	5	5	3	3	5	7	7	7	3	7	5	3
Hierbas	1	0,5	1	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Arbustos	2	2	1	1	2	1	0	2	0	0	2	0	0	1	1
2. Composición florística (%)															
Gramíneas y graminoides	7	5	5	7	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Hierbas	1	0,5	1	1	1	1	1	1	0	0,5	1	0,5	0,5	0	1
Arbustos	2	2	2	0	2	2	0	2	1	0	2	1	2	2	2
3. Cobertura del suelo (%)	8	8	8	8	8	8	8	6	8	8	6	8	8	8	6
4. Suelo desnudo (%)	8	8	8	0	8	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Pérdida del suelo superficial	20	15	15	5	5	5	0	5	5	5	5	5	5	5	0
6. Materia orgánica del horizonte superficial (%)	4	4	4	4	4	4	2	3	4	4	4	4	3	2	3
7. Altura de la canopia de plantas importantes (cm)	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
8. Cantidad de biomasa aérea (g/m ²)	19	19	19	19	12	19	19	12	12	12	6	12	6	6	6
9. Cantidad de mantillo (g/m ²)	13	8	4	8	4	4	8	8	4	4	4	4	4	4	4
10. Plantas invasoras (%)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Valor relativo (%)	100	83	83	67	64	61	60,5	60	56,5	56	53	53	50	47,5	40,5
Escala	10,0	8,3	8,3	6,7	6,4	6,1	6,05	6	5,65	5,6	5,3	5,3	5	4,75	4,05
Estado de conservación	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Regular							

(1) Puntaje ajustado al máximo valor | (2) En base a apreciación visual

Fuente: MINAM, 2017

Cuadro n.º 6. Valor de indicadores en áreas de referencia y sitios de evaluación en el ecosistema césped de puna

Indicadores	Referencia local (1)	Sitios de evaluación(2)											
		3	4	18	23	17	12	14	20	1	2	24	19
1. Riqueza (Número de especies)													
Gramíneas y graminoides	15,00	13,00	13,00	9,00	15,00	10,00	6,00	10,00	13,00	11,00	11,00	8,00	13,00
Hierbas	11,00	14,00	10,00	17,00	17,00	12,00	17,00	15,00	11,00	11,00	16,00	10,00	12,00
Arbustos	-	7,00	3,00	-	6,00	4,00	2,00	3,00	4,00	1,00	4,00	2,00	4,00
2. Composición florística (%)													
Gramíneas y graminoides	79,73	64,10	61,84	77,59	67,57	63,41	64,81	54,41	47,54	71,41	53,45	63,08	39,22
Hierbas	20,27	20,51	22,37	22,41	28,38	34,15	24,07	19,12	52,46	25,52	41,38	30,77	52,94
Arbustos	-	15,38	5,79	-	4,05	2,44	11,11	26,47	-	3,08	5,17	6,15	7,84
3. Cobertura del suelo (%)	36,44	33,58	17,70	29,63	6,90	9,20	17,70	12,80	13,86	10,25	21,95	11,48	4,50
4. Suelo desnudo (%)	11,00	10,00	18,00	17,00	13,00	44,00	18,00	10,00	17,00	24,00	31,00	27,00	32,00
5. Pérdida del suelo superficial	Moderado	Moderado	Leve	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Severo	Severo	Severo	Severo
6. Materia orgánica del horizonte superficial (%)	2,76	2,40	1,62	1,93	3,26	1,68	1,79	4,05	1,60	2,45	1,86	3,32	2,70
7. Altura de la canopia de plantas importantes (cm)	2,48	6,58	6,15	4,03	4,00	10,40	2,25	2,58	3,88	2,55	5,73	2,61	3,89
8. Cantidad de biomasa aérea (g/m ²)	19,35	102,00	35,08	20,53	28,19	26,01	20,59	17,18	15,39	14,44	31,07	9,52	8,03
9. Cantidad de mantillo (g/m ²)	13,17	84,98	17,89	10,38	8,37	16,00	4,18	11,69	9,15	10,10	11,48	7,02	5,13
10. Plantas invasoras (%)	1,35	5,13	9,21	-	25,68	17,07	7,41	14,71	8,20	7,60	5,17	13,85	5,88

(1) Puntaje ajustado al máximo valor | (2) En base a apreciación visual

Fuente: MINAM, 2017

Cuadro n.º 7. Valoración del estado de conservación de los sitios evaluados en el ecosistema césped de puna

Indicadores	Referencia local (1)	Sitios de evaluación(2)											
		3	4	18	23	17	12	14	20	1	2	24	19
1. Riqueza (Número de especies)													
Gramíneas y graminoides	7	7	7	5	7	8	3	5	7	5	5	5	7
Hierbas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Arbustos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2. Composición florística (%)													
Gramíneas y graminoides	7	5	5	7	7	5	7	5	5	7	7	5	3
Hierbas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Arbustos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3. Cobertura del suelo (%)	8	8	3	6	0	3	3	3	3	3	3	3	0
4. Suelo desnudo (%)	8	8	4	4	8	0	4	8	4	4	4	4	0
5. Pérdida del suelo superficial	20	5	15	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0
6. Materia orgánica del horizonte superficial (%)	4	4	3	3	4	3	3	4	3	4	4	4	4
7. Altura de la canopia de plantas importantes (cm)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8. Cantidad de biomasa aérea (g/m ²)	19	19	19	19	19	19	19	12	12	12	12	6	6
9. Cantidad de mantillo (g/m ²)	13	13	13	8	8	13	4	8	8	8	8	4	4
10. Plantas invasoras (%)	6	6	6	6	3	3	6	3	6	6	6	3	6
Valor relativo (%)	100	83	83	71	69	64	62	61	61	57	57	42	38
Escala	10,0	8,3	8,3	7,1	6,9	6,4	6,2	6,1	6,1	5,7	5,7	4,2	3,8
Estado de conservación	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Regular	Regular	Regular	Pobre						

(1) Puntaje ajustado al máximo valor | (2) En base a apreciación visual

Fuente: MINAM, 2017

En el cuadro n.º 8, se muestra el estado de conservación de los sitios evaluados y su respectiva superficie. En este análisis no se toma en cuenta la proporción de las áreas de lagunas y de protección, debido a que no fue objetivo de evaluación.

Cuadro n.º 8. Estados de conservación de los ecosistemas a nivel de sitio ecológico y superficie

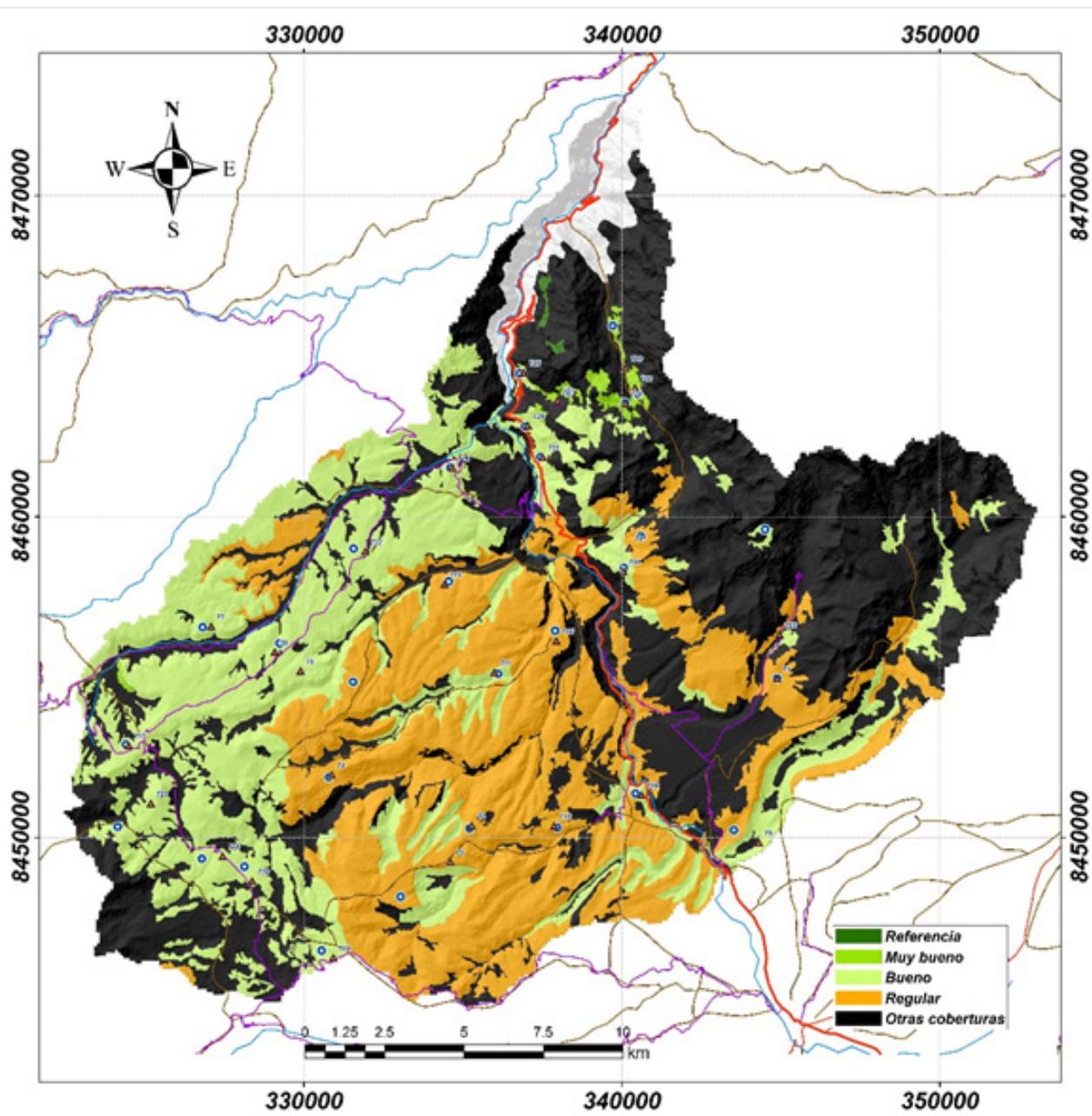
Sitios ecológicos	Estado de conservación				Otras coberturas	Total (ha)
	Referencia	Muy bueno	Bueno	Regular		
Césped de puna/ Altimontano/ bh - MBS			84,69			84,69
Césped de puna/ Altoandino / bh - MBS			246,40	263,98		510,38
Césped de puna/ Altoandino / bmh - MS			916,72	1 066,32		1 983,04
Césped de puna/ Altoandino / pp - SaS			1 465,85	1 980,09		3 445,94
Césped de puna/ Altoandino / tp - AS			93,43			93,43
Césped de puna/ Nival/ NS			14,42			14,42
Césped de puna/ Nival/ tp - AS			12,12			12,12
Césped de puna/ Subnival/ bmh - MS			357,28	79,00		436,28
Césped de puna/ Subnival/ NS			48,55			48,55
Césped de puna/ Subnival/ pp - SaS			1 501,18	6 480,10		7 981,28
Césped de puna/ Subnival/ tp - AS			2 907,74	145,81		3 053,54
Pajonal/ Altimontano/ bh - MBS	14,96					14,96
Pajonal/ Altimontano/ bmh - MS	11,90					11,90
Pajonal/ Altoandino / bh - MBS			112,45			112,45
Pajonal/ Altoandino / bmh - MS	13,33	46,25	616,38	556,97		1 232,94

Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la subcuenca del río Macusani para la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos

Sitios ecológicos	Estado de conservación				Otras coberturas	Total (ha)
	Referencia	Muy bueno	Bueno	Regular		
Pajonal/ Altoandino / pp - SaS			1165,21	1094,29		2 259,50
Pajonal/ Altoandino / tp - AS		48,70				48,70
Pajonal/ Subnival/ bmh - MS			18,45			18,45
Pajonal/ Subnival/ NS			89,59			89,59
Pajonal/ Subnival/ pp - SaS		73,62	1 604,31	85,76		1 763,68
Pajonal/ Subnival/ tp - AS		58,78	59,93			118,72
Subtotal	40,19	227,36	11 314,70	11 752,30	-	23 334,55
Otras coberturas						
Bofedal					5 340,99	5 340,99
Morrenas					32,31	32,31
Roca					7 045,94	7 045,94
Suelo desnudo					289,47	289,47
Protección por pendiente					2 802,80	2 802,80
Zona agrícola					2 456,34	2 456,34
Zona urbana					106,04	106,04
Laguna					312,55	312,55
Nieve					846,72	846,72
Total	40,19	227,36	11 314,70	11 752,30	19 233,17	42 567,72

Fuente: MINAM, 2017

Figura n.º 14. Mapa de estados de conservación de la intercuenca del río Macusani



Fuente: MINAM, 2017

5.4. Caracterización hidrológica

5.4.1. Propiedades morfométricas de la zona de estudio

- **Área:**

es la superficie de la cuenca comprendida dentro de la curva cerrada del divortium aquarum. Dependiendo de la ubicación de la cuenca, su tamaño influye en mayor o menor grado en el aporte de escorrentía, tanto directa como de flujo base o flujo sostenido. El área de la zona priorizada es 440,50 km², la cual comprende el 76 % al distrito de Macusani, el 13 % al distrito de Corani y el 11 % al distrito de Ollachea. Todos estos distritos se ubican en la provincia de Carabaya y en el departamento de Puno. Según Vásquez (2016), de acuerdo al valor del área, le corresponde la denominación de subcuenca.

- **Perímetro:**

está definido por la longitud de la línea divisoria de aguas, el cual se obtiene después de delimitar la cuenca. En este caso, el perímetro de la intercuenca priorizada es de 119,27 km.

- **Cotas altitudinales:**

los parámetros de las cotas (máximo, mínimo) y el centroide de la subcuenca priorizada de la cuenca pertenecientes al río Inambari,

se han obtenido teniendo como base la información del modelo de elevación digital de Alaska Satellite Facility (mapas n.º 9 y n.º 10). Luego de haberse trabajado el ráster correspondiente al ámbito de la intercuenca priorizada, se obtuvo la información mostrada en la figura n.º 15.

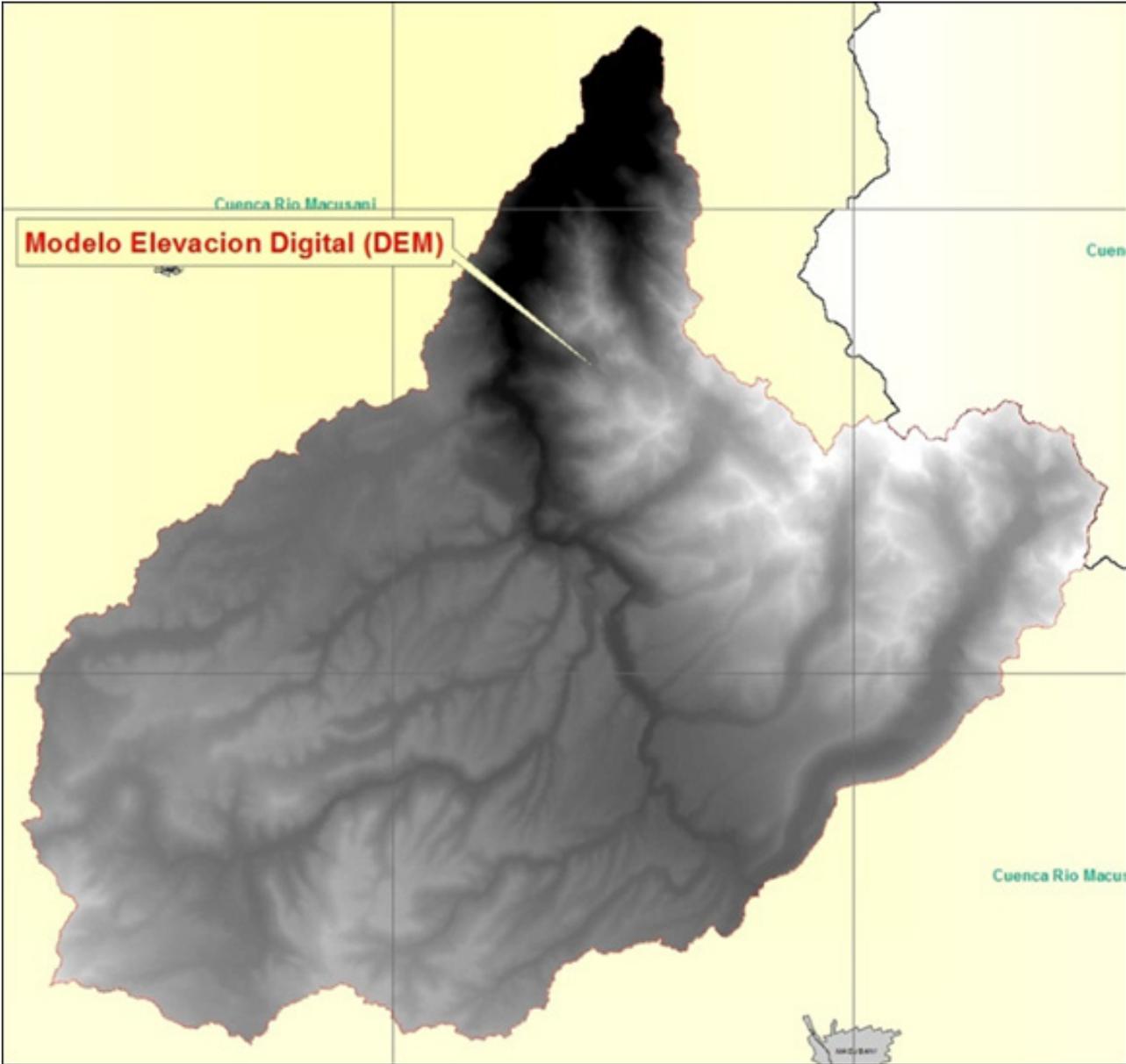
La altitud de la zona priorizada varía desde 2802 m hasta 5843 m. Las principales coberturas en las partes altas son vegetación geliturbada subnival de la puna húmeda, en las partes medias se tienen los pajonales altoandinos y en las zonas bajas, los pajonales arbustivos altoandinos.

- **Altitud media:**

corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella, el 50 % del área de la cuenca está situado por encima de esa altitud y el 50 % está situado por debajo de ella. Bajo dicho criterio, a la intercuenca priorizada le corresponde una altitud media de 4546 m.

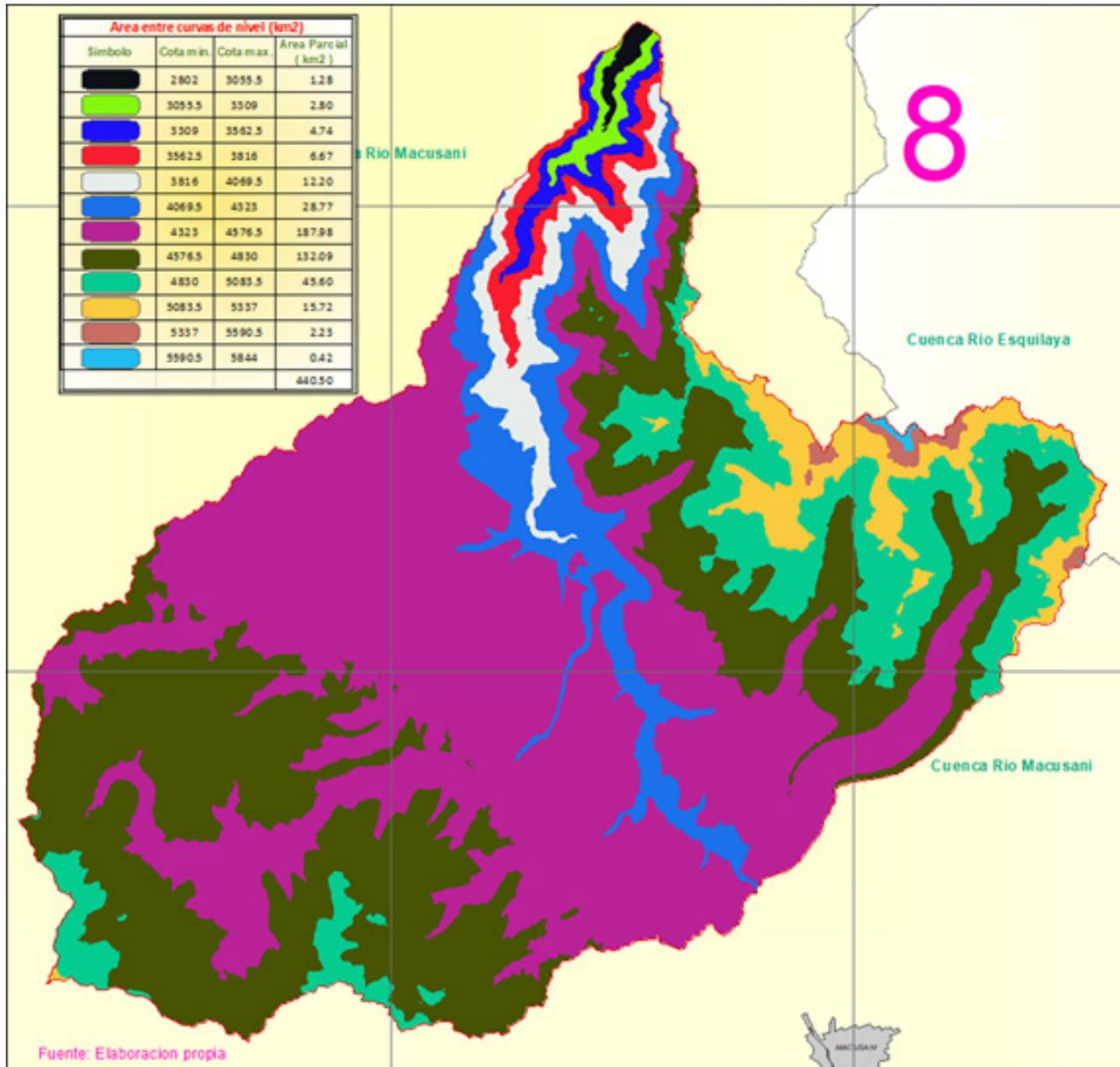
El cálculo consistió en medir el área entre los contornos de las diferentes altitudes consecutivas de la zona priorizada. La altitud o elevación media tiene importancia principalmente en zonas montañosas, porque influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, temperatura, entre otros. Para su cálculo, se procedió a hallar las áreas que existen entre las curvas de nivel de la intercuenca priorizada, tal como se muestra en la figura n.º 16.

Figura n.º 15. Modelo elevación digital, intercuenca priorizada



Fuente: MINAM, 2017

Figura n.º 16. Mapa de variación altitudinal, área entre curvas de nivel



Fuente: MINAM, 2017

• **Altitud más frecuente:**

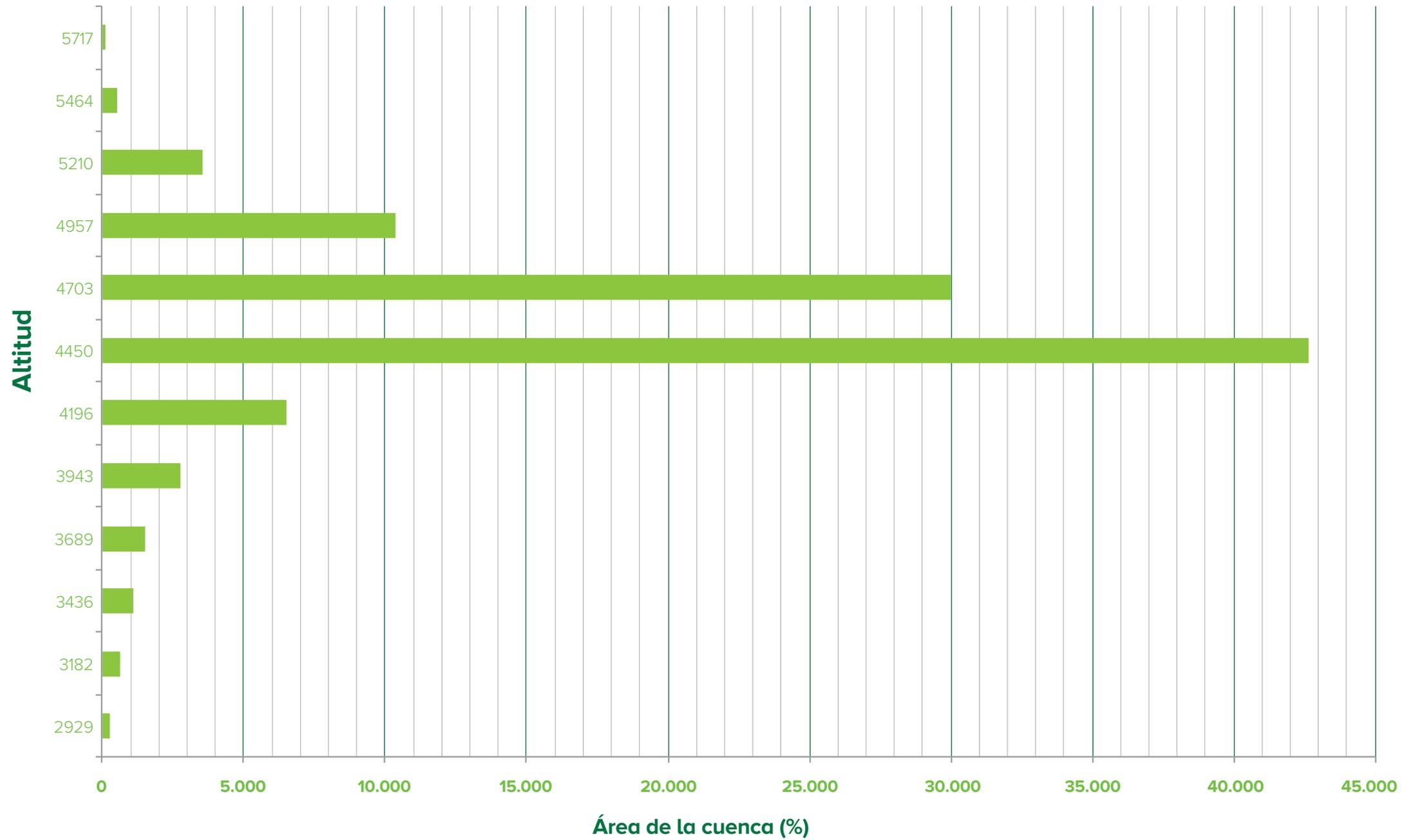
es la altitud predominante con mayor porcentaje de área de la zona priorizada. Para la intercuenca priorizada, la altitud predominante se encontró en el intervalo de las cotas altitudinales de 4450 y 4703 m, en donde se halló un mayor porcentaje de área equivalente al 42,62 %. Este valor se obtuvo de la curva hipsométrica representada en la figura n.º 17 y el histograma de frecuencias altimétricas representado en la figura n.º 18.

Figura n.º 17. Curva hipsométrica de la zona priorizada



Fuente: MINAM, 2017

Figura n.º 18. Histograma de frecuencias altimétricas de la zona priorizada

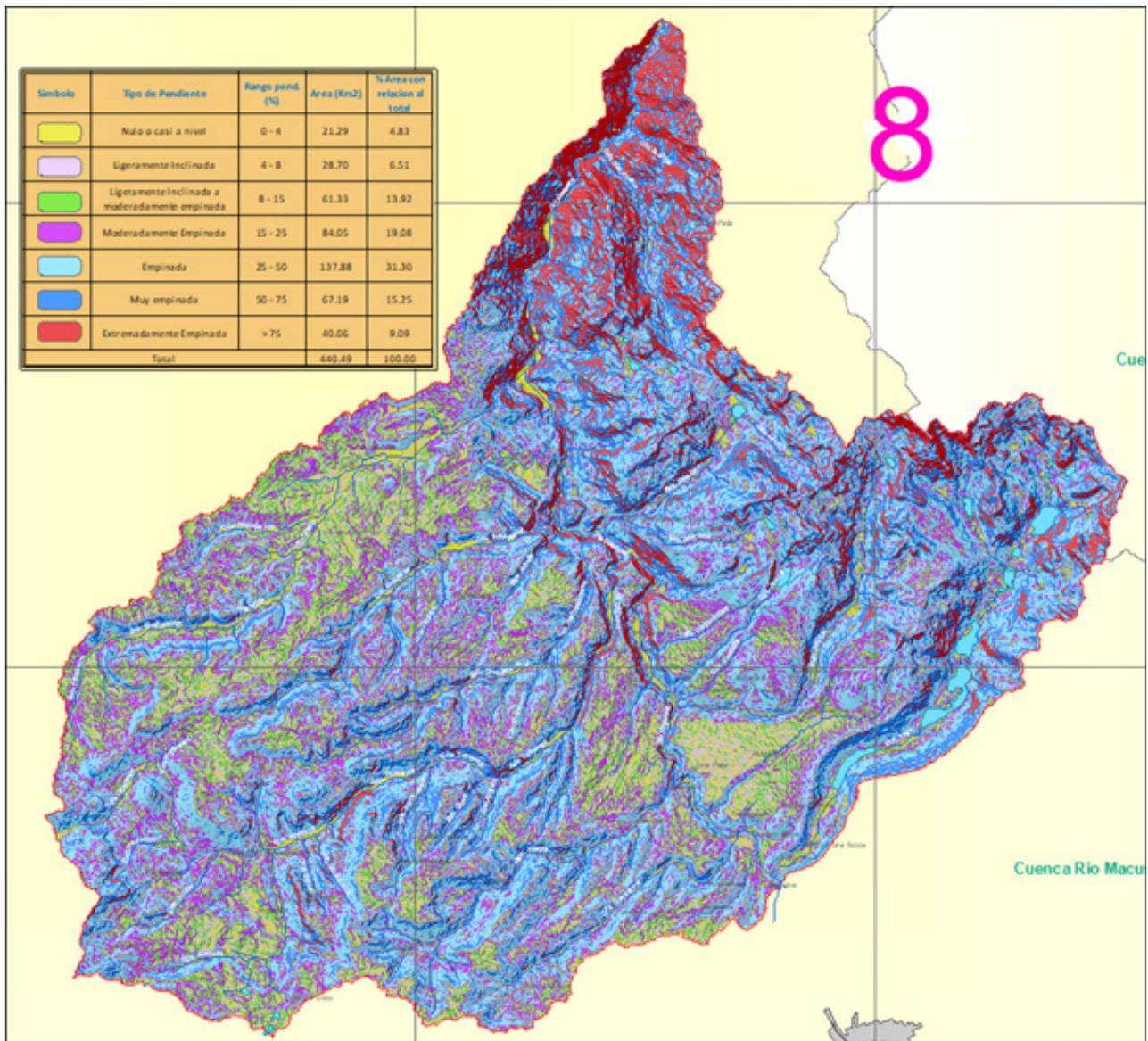


Fuente: MINAM, 2017

• **Pendiente promedio:**

para la determinación de este parámetro se requirió de dos insumos: el ráster de la zona priorizada (archivo TIN) y la zona priorizada como vector (archivo SHP), y con el software ArcGIS 10.4.1 se obtuvo el ráster de pendientes; una vez procesado se encontró la pendiente promedio para la intercuenca priorizada, de 57,81 % (figura n.º 19).

Figura n.º 19. Pendiente promedio de la zona priorizada

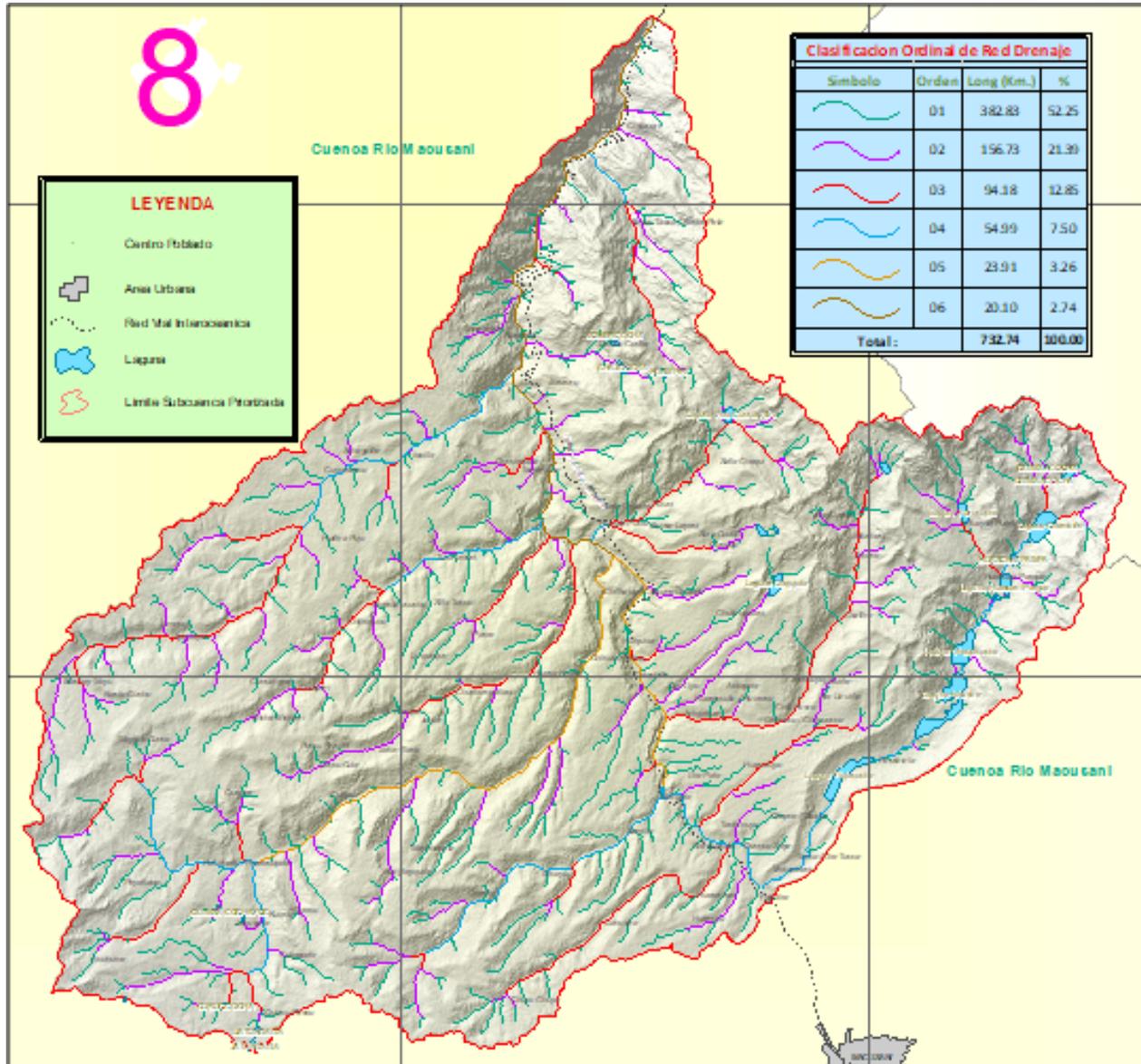


Fuente: MINAM, 2017

5.4.2. Propiedades de la red hídrica

En la figura n.º 20 se muestra el mapa de la red hídrica de la intercuenca.

Figura n.º 20. Mapa de la red hídrica de la zona priorizada



Fuente: MINAM, 2017

Procesada la información ráster mostrada en la figura n.º 20, se obtuvo la siguiente información:

- **Longitud del cauce principal: 46,53 km**
- **Orden de la red hídrica: 6**
- **Longitud total de la red hídrica: 732,74 km**

La pendiente promedio de la red hídrica generada para la intercuencia priorizada es 1,96 %, la cual se obtuvo tabulando y multiplicando la pendiente promedio de las redes hídricas de diferente orden por su respectivo número de ocurrencia, tal como se muestra en el cuadro n.º 9.

Cuadro n.º 9. Pendiente promedio de la red hídrica

Orden	Número ocurrencia (A)	Pendiente promedio (%) (B)	(A) X (B)
1	26027	1,01	26287,27
2	10625	2,01	21356,25
3	6332	3,00	18996,00
4	3650	3,96	14454,00
5	1594	5,00	7970,00
6	1369	6,00	8214,00
Total	49597		97277,52
Pendiente promedio. R.H= 97277,52/49597= 1,96 %			

Fuente: MINAM, 2017

5.4.3. Parámetros generados

A partir de los datos obtenidos de las propiedades de superficie y red hídrica, se generaron los siguientes parámetros:

• Factor de forma (Ff)

El factor de forma es adimensional, y es otro índice numérico con el que se puede expresar la forma y la mayor o menor tendencia a crecientes de una intercuenca, en tanto la forma de la intercuenca hidrográfica afecta los hidrogramas de escorrentía y las tasas de flujo máximo. El factor de forma tiene la siguiente expresión:

$$Ff = Am/L = A/L^2$$

Donde:

Ff = Factor de forma

Am = Ancho medio de la cuenca (km)

L = Longitud del curso más largo (km)

Una cuenca sería alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda en la medida que el factor de forma tiende a uno. Este factor, como los otros que se utilizan en este trabajo, es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una intercuenca, teniendo en cuenta que aquellas intercuenas con formas alargadas, tienden a presentar un flujo de agua más veloz, en comparación con las cuencas redondeadas, logrando una evacuación de la cuenca más rápida y un mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base.

De manera general, una cuenca con factor de forma bajo, está sujeta a menos crecientes que otra del mismo tamaño, pero con un factor de forma mayor.

Se determinó el factor de forma para la intercuenca del río Macusani, resultando el valor 0,2 y, de acuerdo a la clasificación, según el cuadro n.º 10, le corresponde una forma de intercuenca muy alargada.

Cuadro n.º 10. Forma de la intercuenca

Valores aproximados	Forma de la cuenca
0,22 <	Muy alargada
0,22-0,30	Alargada
0,30-0,37	Ligeramente alargada
0,37-0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45-0,60	ligeramente ensanchada
0,60-0,80	Ensanchada
0,80-1,2	Muy ensanchada
> 1,2	Rodeando el desagüe

Fuente: <http://www.cersaingenieros.com/>

• Densidad de drenaje (Dd)

La densidad de drenaje (Dd) indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes o perennes de una cuenca (Lt) y el área total de la misma (A). La densidad de drenaje tiende a uno en ciertas regiones desérticas de topografía plana y terrenos arenosos, y a un valor alto en regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables. Esta última situación es la más favorable, pues si una cuenca posee una red de drenaje bien desarrollada, la extensión media de los terrenos a través de los cuales se produce el escurrimiento superficial es corto y el tiempo en alcanzar los cursos de agua también será corto; por consiguiente, la intensidad de las precipitaciones influirá inmediatamente sobre el volumen de las descargas de los ríos.

Se define:

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (\text{Km} / \text{Km}^2)$$

Donde:

Lt = Suma de longitudes de todos los tributarios, incluye el cauce principal (km)

A = Área de la cuenca (km²)

El valor calculado de la densidad de drenaje fue de 1,66, que representa una categoría moderada, según la clasificación mostrada en cuadro n.º 11.

Cuadro n.º 11. Densidad de drenaje

Densidad de drenaje (km/km ²)	Categoría
< 1	Baja
1,0-2,0	Moderada
2,0-3,0	Alta
> 3,0	Muy alta

Fuente: <https://www.cersaingenieros.com>

• Tiempo de concentración (T_c)

Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde un punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la intercuenca Macusani, resultando en este caso un tiempo de concentración de 0,08 horas, calculado con la fórmula de Kirpich que se muestra a continuación:

$$T_c = 0,0195 \times (L^3/H)^{0,0385}$$

Donde:

T_c = Tiempo concentración (horas)

L = Máxima longitud de recorrido (km)

H = Diferencia de elevaciones entre los puntos extremos del cauce principal (m)

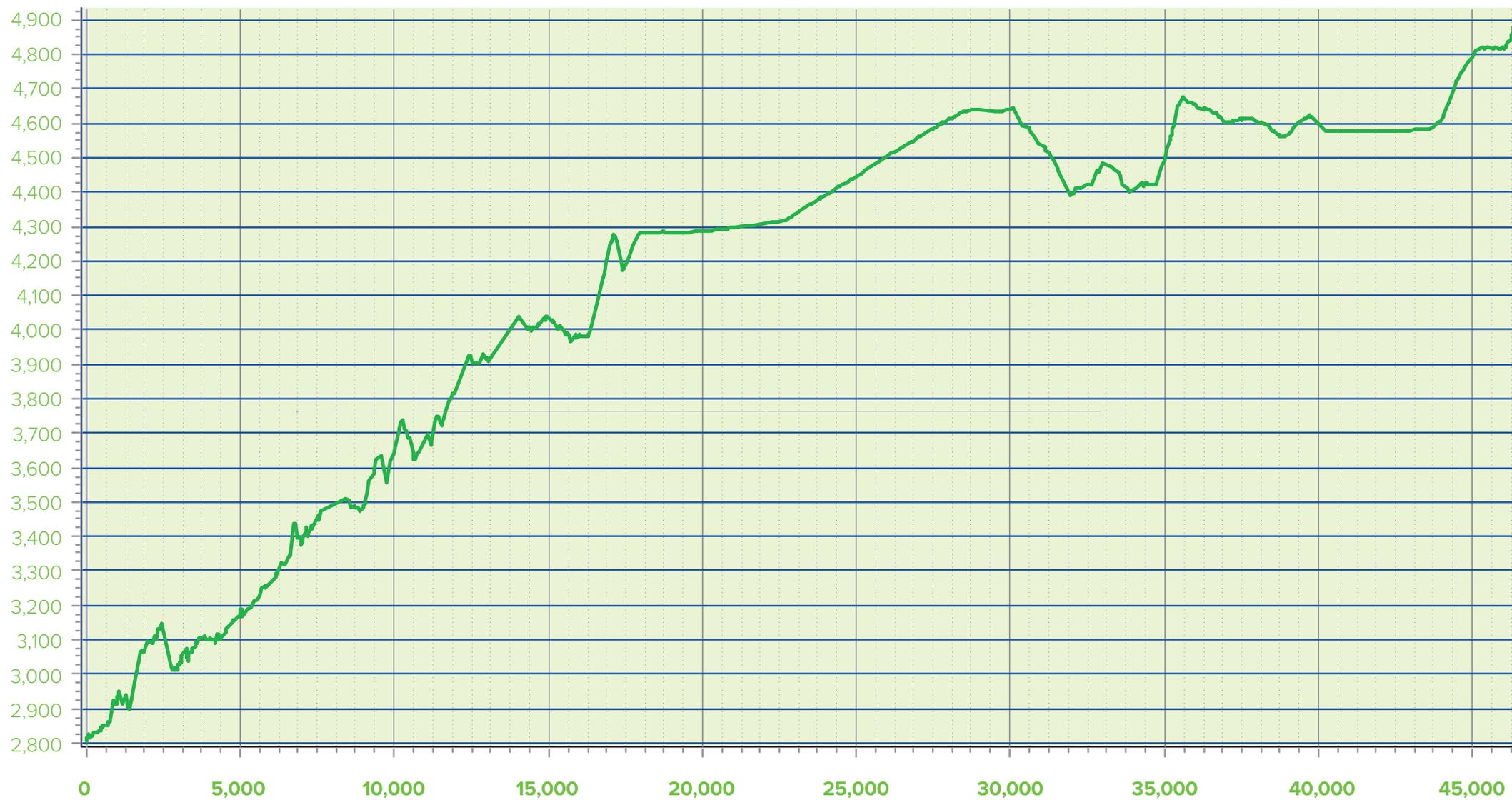
El tiempo real de concentración depende de muchos factores: (1) de la geometría en planta de la intercuenca Macusani (una intercuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), (2) de la pendiente, pues una mayor pendiente produce flujos más veloces y en consecuencia el tiempo de concentración es menor, (3) del área, (4) de las características del suelo, (5) de la cobertura vegetal, entre otros. Las fórmulas más comunes solo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor y el área.

• Relieve y pendiente del cauce principal (S)

El relieve del cauce principal se representa mediante el perfil longitudinal y puede ser cuantificado mediante parámetros que relacionan la altitud con la longitud del cauce principal. La figura n.º 21 muestra el perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca.

Figura n.º 21. Perfil longitudinal de cauce principal de la zona priorizada

Perfil longitudinal de cauce principal



Fuente: MINAM, 2017

La pendiente es la relación entre la diferencia de altitudes del cauce principal y la proyección horizontal del mismo. Su influencia en el comportamiento hidrológico se refleja en la velocidad de las aguas en el cauce, lo que a su vez determina la rapidez de respuesta de la intercuenca ante eventos pluviales intensos y la capacidad erosiva de las aguas como consecuencia de su energía cinética.

$$S = (\Delta V / \Delta H) \times 100$$

Donde:

S = Pendiente del cauce principal

ΔV = Desnivel altitudinal del cauce (m)

ΔH = Longitud del cauce (m)

Se determinó la pendiente del cauce principal de la intercuenca del río Macusani expresada en porcentaje (%), obteniendo como valor calculado 4,49 %.

• Drenaje

Es otra característica importante en el estudio de la intercuenca del río Macusani, ya que manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir, la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe. La forma de drenaje, proporciona también indicios de las condiciones del suelo y de la superficie de la intercuenca.

El sistema o red de drenaje de la intercuenca está conformado por un curso de agua principal y sus tributarios; observándose, por lo general, que cuanto más largo sea el curso de agua principal, más bifurcaciones existirán en esta red.

La definición de los parámetros de drenaje se presenta a continuación:

a. Orden de ríos

El orden de corrientes se determina de la siguiente manera: una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 2 forman una de orden 3, y así sucesivamente (cuadro n.º 12).

Entre más corrientes tributarias tenga la intercuenca, mayor es el grado de bifurcación de su sistema de drenaje y más rápida será su respuesta a la precipitación.

Cuadro n.º 12. Red hídrica generada para la zona priorizada

Clasificación ordinal de red drenaje

Red hídrica	Longitud (km)	%
Primer orden: 01	382,83	52,25
Segundo orden: 02	156,73	21,39
Tercer orden: 03	94,18	12,85
Cuarto orden: 04	54,99	7,51
Quinto orden 05	23,91	3,26
Sexto orden: 06	20,10	2,74
Total	732,74	100,00

Los resultados de la clasificación de la red de drenaje de la intercuenca Macusani fueron los siguientes:

- **Longitud del cauce principal: 46,53 km**
- **Orden de la red hídrica: 6**
- **Longitud total de la red hídrica: 732,74 km.**

b. Pendiente promedio de la red de drenaje.

La pendiente de la cuenca hidrográfica posee una compleja dinámica relacionada con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y el aporte de los

cauces en la recarga del agua subterránea. Conocer estos factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno, y la influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas, es de vital importancia para la toma de decisiones en procesos de planificación.

La pendiente promedio calculada de la red hídrica generada para la intercuenca del río Macusani fue de 1,96 %, la cual se obtuvo en forma tabular multiplicando la pendiente promedio de las redes hídricas de diferente orden por su respectivo número de ocurrencia, tal como se muestra en el cuadro n.º 13.

Cuadro n.º 13. Pendiente promedio de la red hídrica

Orden	Número ocurrencia (A)	Pendiente promedio (%) (B)	(A) X (B)
1	26027	1,01	26287,27
2	10625	2,01	21356,25
3	6332	3,00	18996,00
4	3650	3,96	14454,00
5	1594	5,00	7970,00
6	1369	6,00	8214,00
Total	49597		97277,52
Pendiente promedio. R.H= 97277,52/49597= 1,96 %			

Fuente: MINAM, 2017

5.4.4. Climatología

• Temperatura

En el anexo n.º 2, se muestran los mapas de variación de las temperaturas máximas, mínimas y promedio mensual para la intercuenca Macusani. En ellos se observa que las mayores temperaturas se encuentran en la parte baja de la intercuenca, donde los valores oscilan entre 19 y 21 °C. Los meses de mayor temperatura se encuentran entre octubre y abril. Los menores valores se encuentran en la parte alta, específicamente en las estribaciones de la sierra de Carabaya. Los nevados Allinccapac y la Huaña tienen -12 °C y -11 °C respectivamente, siendo julio el mes más frío.

• Precipitación

Se realizó una evaluación a grandes rasgos que permitió tener una idea de la variación de la precipitación a nivel mensual y anual para el ámbito de la intercuenca Macusani. La precipitación considerada fue la registrada en la estimación combinada de precipitación satelital (GPM _ 3IMERGM versión 04) - Nasa Giovanni - periodo 2016 a 2017 - <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>.

En la parte alta de la intercuenca las precipitaciones son estacionales, empezando a mediados de la primavera en el mes de diciembre, prolongándose hasta el otoño en el mes de abril, existiendo una época de estiaje durante los meses de mayo a noviembre.

En el anexo n.º 2, se muestran las variaciones de precipitación a nivel mensual, anual y periodo seco – lluvioso en el período 2016 y 2017 para el ámbito de la intercuenca Macusani.

Se observa que las mayores precipitaciones se encuentran en la parte baja de la intercuenca, donde los valores oscilan entre 140 y 260 mm/mes. Los meses de mayor precipitación se encuentran entre diciembre y abril. Las menores precipitaciones se encuentran en la parte alta, cuyos valores oscilan entre 34 y 75 mm/mes, los cuales ocurren en el periodo entre mayo a noviembre.

En este caso se realizó una evaluación a grandes rasgos, que permite tener una idea de la variación de la precipitación a nivel mensual y anual para el ámbito de la intercuenca Macusani.

5.4.5. Descripción del servicio ecosistémico hídrico

El recurso hídrico superficial que llega a la intercuenca Macusani, proviene de un sistema de lagunas reguladas y no reguladas. Dentro de las lagunas reguladas figuran Chungara y Parinajota, que están ubicadas fuera del ámbito de la unidad de análisis, cuyas aguas fluyen por la intercuenca Macusani y son administradas por la Central Hidroeléctrica San Gabán, cuyas aguas represadas tienen un uso exclusivamente energético y cuyo centro de operación se ubica en el distrito de Ollachea.

Por otro lado, se cuenta con una laguna regulada ubicada dentro del ámbito de la unidad de análisis de nombre Ttojacocho administrada también por la Central Hidroeléctrica San Gabán, cuyas aguas represadas son para uso exclusivo de ella y de la Minicentral Hidroeléctrica Macusani.

Dentro de las no reguladas se puede mencionar al recurso hídrico proveniente de la desglaciación del nevado Allinccapac (anexo n.º 2).

La escasa precipitación anual que existe en la intercuenca del río Macusani indica que uno de los servicios ecosistémicos hidrológicos de interés es la regulación hídrica en la unidad de análisis, pero que para concretar el aprovechamiento del recurso hídrico superficial es primordial la construcción de infraestructura de riego de la cual actualmente se adolece en la intercuenca del río Macusani.

En época de estiaje, el único comité de regantes identificado es el de la localidad de Pacaje, identificado en el ámbito de la unidad de análisis, que riega sus pastizales y bofedales a través de un canal semirústico, y cuyas aguas se infiltran en el trayecto bajo los tramos sin revestir, alimentando al acuífero.

En la intercuenca del río Macusani, los ecosistemas como el césped de puna, los bofedales y los pajonales ubicados en la parte alta, presentan características que ayudan a brindar el servicio de regulación hídrica. Bajo este contexto, conservar,

recuperar o brindar el uso sostenible de dichos ecosistemas, contribuye con la disminución de la escorrentía superficial, mejorando la infiltración con la retención del agua en el acuífero. Asimismo, contribuye con la disminución de la erosión de los suelos y en consecuencia con la conservación de los ecosistemas que esperan que se incremente el caudal base de los cursos de agua.

La intercuenca del río Macusani está clasificada con factor de forma alargada; esto quiere decir que presenta un flujo de agua más veloz con relación a las cuencas redondeadas. En consecuencia, se logra una evacuación de agua en menor tiempo y con mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el punto de desagüe o punto de cierre del sistema hidrográfico.

Tiene un valor adimensional de 1,6 como índice de compacidad y por estar más próximo a 2, la intercuenca es de forma irregular y está expuesta a moderadas crecientes.

La pendiente se ha clasificado como empinada, por representar el 31,3 % (137,88 km²) del área total con este tipo de pendiente, por lo que se deduce que el tiempo de concentración de las aguas de escorrentía será menor en la red de drenaje y en los afluentes del curso principal (figura n.º 19).

El 55,64 % (245,13 km²) del área tiene una pendiente de empinada a extremadamente empinada, por lo cual la infiltración es

mínima, el escurrimiento superficial es alto y la magnitud de las crecidas y avenidas se incrementan considerablemente.

De la curva hipsométrica generada (figura n.º 17) se deduce que la cuenca refleja un gran potencial erosivo y con un grado de madurez que se encontraría en la fase de juventud.

Según la forma en que está conectada la red hídrica en la intercuenca, es dendrítica, lo cual influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación y escorrentía superficial directa.

La pendiente del cauce principal para la intercuenca es elevada, con un valor de 4,49 %, lo cual genera que la capacidad de arrastre de sedimentos y velocidad del caudal se incremente, causando picos de crecida violentos.

5.5. Diagnóstico socioeconómico

5.5.1. Población

Conforme al censo poblacional del año 2007, la población en la zona de estudio fue de 20 248 personas, predominando la población masculina. Al año 2017 la población se proyectó en 22 636 personas (cuadro n.º 14).

Cuadro n.º 14. Población censada (año 2007) y estimada (años 2015 y 2017) por distrito en la zona de estudio de la provincia de Carabaya

Provincia	Censada (2007)			Estimada (2015 y 2017)*		
	Femenina	Masculina	Total	Femenina	Masculina	Total
Macusani	5 862	5 845	11 707	6 447	6 422	13 163
Corani	1 780	1 842	3 622	1 847	1 917	3 764
Ollachea	2 360	2 559	4 919	2 666	2 900	5 709
Total	10 002	10 246	20 248	10 960	11 239	22 636

Fuente: MINAM, 2017; en base a INEI (2017a)

*Los datos disponibles para la población estimada por género pertenecen al año 2015, sin embargo, el total pertenece al año 2017.

Según el cuadro n.º 15, en la zona priorizada, la población en edad laboral abarca 12 008 personas (54 % de la población total). La mayor parte de esta PEA se encontró

ocupada en el año 2007, principalmente en actividades vinculadas a la agricultura, ganadería y silvicultura (cuadro n.º 16)

Cuadro n.º 15. Población por grupos de edad (año 2015) por distrito

Distrito	Edad		
	0 - 14	15 - 64	65 a más
Macusani	5 268	7 014	587
Corani	1 659	2 050	207
Ollachea	2 308	2 944	314
Total	9 235	12 008	1 108

Fuente: MINAM, 2017; en base a INEI (2017c)

Cuadro n.º 16. Población según actividad productiva por distritos

Actividad	Total	Macusani		Corani		Ollachea	
		Total	%	Total	%	Total	%
Agricultura, ganadería y silvicultura	4 202	1 507	36 %	691	16 %	2 004	48 %
Explotación de minas y canteras	122	47	39 %	33	27 %	42	34 %
Industrias manufactureras	124	105	85 %	5	4 %	14	11 %
Suministro electricidad, gas y agua	38	4	11 %	0	0 %	34	89 %
Construcción	474	394	83 %	11	2 %	69	15 %
Mantenimiento y reparación vehicular	47	38	81 %	1	2 %	8	17 %
Comercio por mayor	25	19	76 %	0	0 %	6	24 %
Comercio por menor	507	433	85 %	12	2 %	62	12 %
Hoteles y restaurantes	142	118	83 %	7	5 %	17	12 %
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	192	152	79 %	2	1 %	38	20 %
Intermediación financiera	3	2	67 %	0	0 %	1	33 %
Actividad inmobiliaria, empresas	108	85	79 %	8	7 %	15	14 %
Administración pública	252	197	78 %	11	4 %	44	17 %
Enseñanza	335	240	72 %	37	11 %	58	17 %
Servicios sociales y de salud	109	95	87 %	6	6 %	8	7 %
Otros servicios y contratos personales	75	64	85 %	2	3 %	9	12 %
Hogares privados con servicios domésticos	60	38	63 %	8	13 %	14	23 %
Actividades económicas no especificadas	115	85	74 %	22	19 %	8	7 %
Total	6 930	3 623	52 %	856	12 %	2 451	35 %

Fuente: MINAM, 2017; en base a INEI (2017j)

Necesidades básicas insatisfechas de la población

Al año 2007, el abastecimiento de agua potable en la zona de estudio es principalmente por río, acequia, manantial o similar. En los distritos de Macusani el abastecimiento era por red pública, dada

su condición de zona urbana. Asimismo, la mayoría de las viviendas de la zona priorizada (42,1 %) no disponía de servicios higiénicos (cuadro n.º 17), solo el 27 % contaba con desagüe (cuadro n.º 18) y el 46 % no tuvo acceso al servicio eléctrico. Se prevé que estos porcentajes se hayan reducido en los últimos años.

Cuadro n.º 17. Abastecimiento de agua potable por zona de estudio (año 2007)

Distrito	Por red pública dentro de la vivienda	Por red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación	Por pilón de uso público	Por camión cisterna u otro similar	Viviendas que se abastecen de agua por pozos	Por río, acequia, manantial o similar	Por vecino	Por otro tipo
Macusani	1368	949	28	0	61	598	101	19
Corani	93	33	114	9	76	570	18	31
Ollachea	6	20	9	2	2	1156	32	6
Total	1467	1002	151	11	139	2324	151	56

Fuente: MINAM, 2017; en base a INEI (2017f)

Cuadro n.º 18. Tipo de conexión por servicios higiénicos por zona de estudio de la provincia de Carabaya (año 2007)

Distrito	Por red pública de desagüe dentro de la vivienda	Por red pública de desagüe (fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación)	Por pozo séptico	Por pozo ciego o negro / letrina	Por río, acequia o canal	Sin servicio higiénico
Macusani	861	558	54	414	64	1173
Corani	8	4	25	211	136	560
Ollachea	13	2	9	406	305	498
Total	882	564	88	1031	505	2231

Fuente: MINAM, 2017; en base a INEI (2017g)

5.5.2. Salud

Los servicios de salud que se brindan en la provincia Carabaya, en cierta medida, resultan deficientes puesto que los establecimientos de salud no cuentan con personal especializado que cubra los requerimientos de la población. Asimismo, existen limitaciones en el equipamiento e infraestructura adecuada.

La cobertura de atención de salud que brinda el Ministerio de Salud en la provincia Carabaya es a través de dos REDESS: Macusani y Melgar, que a su vez se organizan en 1 Hospital de Apoyo de Macusani, 7 Centros de Salud y 21 Puestos de Salud.

La principal causa de morbilidad general en la provincia Carabaya es la infección aguda a las vías respiratorias. Otros problemas de salud, lo constituyen las altas tasas de

morbilidad y mortalidad infantil, mortalidad materna y presencia de enfermedades transmisibles, así como un alto grado de índice de desnutrición en los niños de edad escolar del medio rural. Este problema se explica por la carencia de servicios sanitarios en el medio rural, ausencia de botiquines comunales y medicamentos, atención deficiente en los puestos de salud de la provincia, escasez de profesionales de salud en las zonas rurales y problemas de saneamiento ambiental (GRP, 2011).

En la capital provincial de Macusani se cuenta con un Hospital de Apoyo IV. Sin embargo, la falta de disponibilidad de más médicos de especialidad, odontólogos, entre otros (cuadro n.º 19), conlleva a que los pacientes de mayor riesgo y graves sean transferidos al hospital Manuel Núñez Butrón de la ciudad de Juliaca, para los tratamientos especializados e intervenciones quirúrgicas (GRP, 2011).

Cuadro n.º 19. Recursos humanos por centros de salud, según zona de estudio de la provincia de Carabaya, (año 2008)

Distrito	Médico	Enfermera	Obstetra	Otro. Prof.	Técnico	Total
Macusani	5	9	5	26	53	98
Corani	2	1	1	1	2	7
Ollachea	1	1	1	1	2	6
Total	8	11	7	28	57	111

Fuente: MINAM, 2017; en base a DRSP (2008)

5.5.2. Estructura productiva

a. Agricultura

La provincia de Carabaya cuenta con productos altoandinos potenciales de alto nivel nutritivo, tales como quinua, cañihua, habas, oca, papa, cebada grano y otros. Los principales problemas que enfrentan

estos cultivos son los bajos niveles de productividad, calidad y producción de volúmenes sostenidos en el mercado regional para la agroindustria de transformación, la cual exige alta calidad de materia prima.

Los productos que aportaron en mayores niveles al valor bruto del subsector agrícola son: papa, avena forrajera, café y quinua (GRP, 2011), como se muestra en el cuadro n.º 20.

Cuadro n.º 20. Producción agrícola en el periodo 2008 – 2009, en la provincia de Carabaya

Cultivo	Siembra (ha)	Cosecha (ha)	Rendimiento (Kg/ha)	Producción (t)	Precio chacra promedio (S./Kg)
Arroz	321	321	4 232	509	1,3
Arveja grano seco	157	157	24 692	2 623	1,1
Avena forrajera	773	771	147 450	14 151	0,5
Cañahua o cañihua	418	410	7 249	347	2,0
Cebada forrajera	42	41	117 102	685	0,3
Cebada grano	121	118	9 924	124	1,0
Cebolla	89	89	59 504	236	0,6
Chocho o tarwi grano seco	185	184	9 391	285	1,3
Frijol grano seco	30	30	2 267	34	1,2
Haba grano seco	649	649	10 196	899	1,4
Maca	6	6	7 750	23	4,1
Maíz amarillo duro	1 308	1 308	16 684	2 308	1,1
Maíz amiláceo	1 475	1 475	16 540	2 918	1,4
Mashua o izano	143	140	70 747	1 151	1,0
Oca	1 908	1 872	75 046	17 670	1,1
Olluco	192	181	58 862	1 327	1,3
Papa	6 896	5 541	90 180	70 129	1,1
Yuca	646	646	21 470	6 953	0,9

Fuente: DRP y DIA (2009)

b. Ganadería

Es la segunda actividad en importancia en la provincia de Carabaya. La economía en áreas rurales de la provincia se sustenta en esta actividad, complementariamente con la agricultura. La actividad pecuaria constituye una fuente de alimento para la familia (carne, leche y sus derivados), fuente de ingresos monetarios (venta de animales en pie, carne, fibra, derivados lácteos, entre otros), como tracción animal para actividades agrícolas y fuente de fertilizante natural. Carabaya tiene un gran potencial de pastos naturales, y un área de pastos mejorados de 455 200 ha, que comparte con la provincia de Sandia. El distrito Macusani ocupa el primer lugar en pastos naturales en la provincia de

Carabaya y es el que posee la mayor población de alpacas (88 450 cabezas). Los distritos Ayapata y Ollachea destacan en la crianza de vacunos y Macusani en camélidos sudamericanos.

El destino de la producción pecuaria y sus derivados (carne, queso charqui, chalonga, entre otros) es el mercado interno de la provincia, principalmente para el consumo de la población minera asentada en los valles del río Inambari. La lana y fibra son ofertadas a los acopiadores provenientes principalmente de la ciudad de Juliaca y, finalmente, la crianza de animales menores son destinados para el autoconsumo (GRP, 2011), como se muestra en el cuadro n.º 21.

Cuadro n.º 21. Producción pecuaria por especies en la provincia de Carabaya (año 2008)

Distrito	Vacunos	Ovinos	Alpacas	Llamas	Porcinos	Aves
Macusani	1 740	37 200	88 450	9 720	50	1 550
Corani	1 230	12 420	51 850	9 650	0	5 140
Ollachea	2 780	7 900	8 450	2 520	200	21 710
Total	5 750	57 520	148 750	21 890	250	28 400

Fuente: DRP y DIA (2008)

La actividad pecuaria tiene como su producción principal la fibra de alpaca y lana de ovino; las cuales, a nivel provincial, representan 317 t y 652 t, respectivamente. El mayor volumen de fibra de alpaca lo produce el distrito Macusani, cuyo destino en su mayor parte fue el mercado de la ciudad de Juliaca.

c. Hidroenergía

El mayor aprovechamiento hídrico en la cuenca en análisis se destinó para la generación de energía eléctrica por parte de la Central Hidroeléctrica de San Gabán; sin embargo, solo los hogares ubicados en las capitales de los distritos y algunos centros poblados disponen de este servicio.

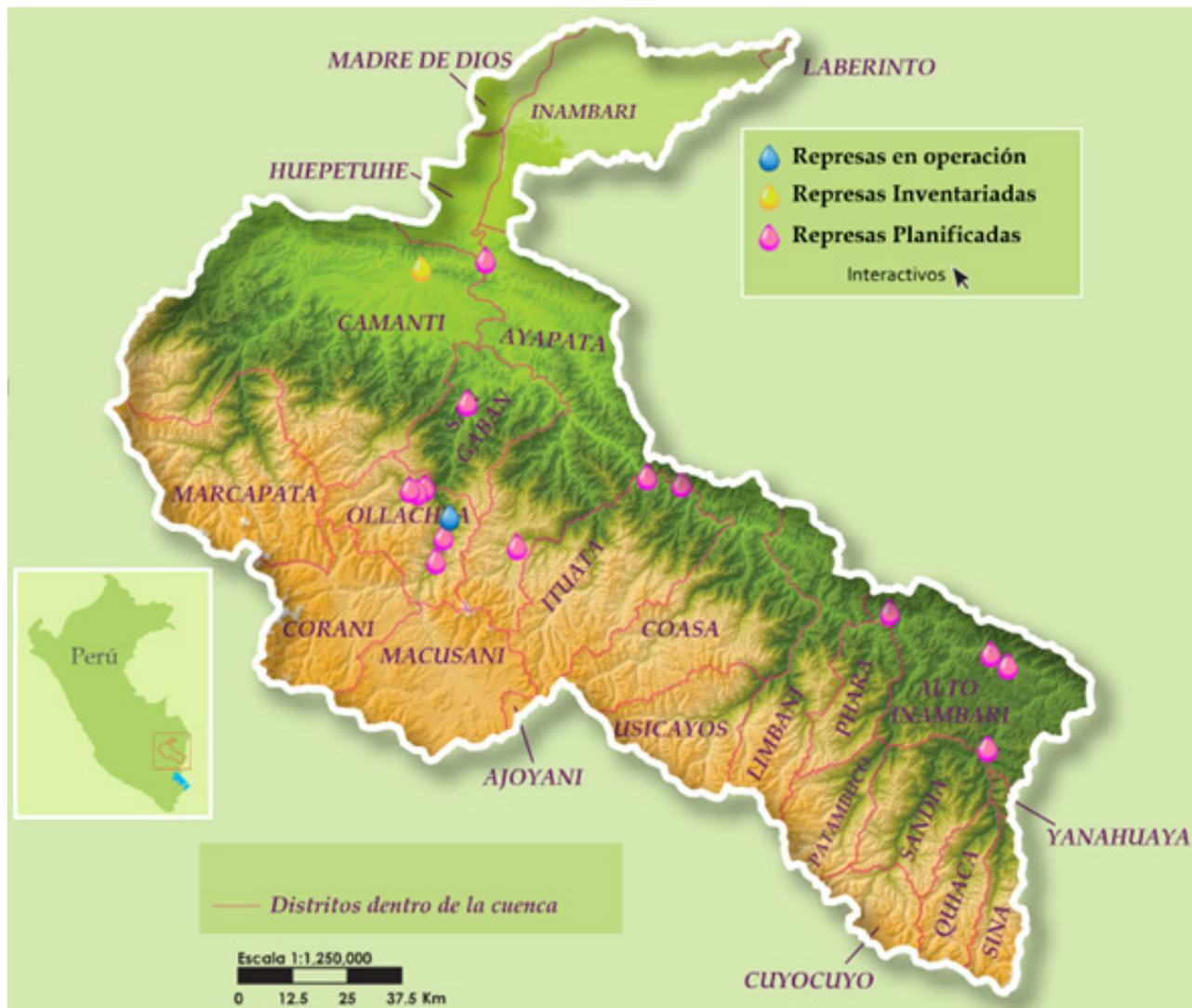
Esta central capta el recurso hídrico mediante tres cursos de agua: Macusani, Corani y San Gabán, siendo este último el que aporta la mayor potencia (455 MW), generando 3240 GWH/año (GRP, 2011). Existen seis centrales hidroeléctricas en el área de estudio (cuadro n.º 22 y figura n.º 22):

Cuadro n.º 22. Centrales hidroeléctricas en el área de estudios de la cuenca Inambari

Distrito	Central Hidroeléctrica	Estado	Potencia Efectiva (MW)
Ollachea	San Gabán IV	Planificado	256
	San Gabán I	Planificado	150
	San Gabán II	En operación	110
	Ángel I	Planificado	119
	Ángel II	Planificado	124
	Ángel III	Planificado	125

Fuente: MINEM, (2016a y 2016b)

Figura n.º 22. Centrales hidroeléctricas en el área de estudio de la cuenca del río Inambari



Fuente: GRP, 2011

Central hidroeléctrica San Gabán II:

Es la primera represa construida en la cuenca Inambari y la única actualmente operativa. Tiene una potencia instalada de 110 MW, un caudal de diseño de 19 m³ por segundo y un salto neto de 664 m.

La energía que San Gabán II produce tiene tres líneas de transmisión que se conectan a la red nacional, provee energía a las localidades andinas más cercanas como Quincemil, Macusani y Ollachea dentro de la cuenca Inambari, y también a la localidad de Azángaro fuera de la cuenca amazónica, desde donde se redistribuye hacia otros pueblos y ciudades del sur de Puno. Se ha estimado que la cuenca del río San Gabán tiene un potencial hidroeléctrico aproximado de 900 MW, sin embargo, en la actualidad, esta represa produce menos de 125 MW, a partir de un valor de descarga de 19 m³ por segundo.

El proyecto San Gabán I (150 MW), que tiene estudios completos, participó exitosamente en el año 2011 en una subasta de Proinversión para obtener la concesión definitiva, pero debido a que no se realizó ningún trabajo esa concesión caducó en julio del 2014.

d. Minería

La actividad minera está referida mayormente a la explotación aurífera que se realiza de manera artesanal por pequeños mineros informales en la subcuenca de los ríos San Gabán, Piquitiri, Loromayo, San Trifón, Esquilaya e Inambari, en las comunidades de Mucumayo y la Comunidad Minera Ollachea, aunque no se ha determinado el

volumen de producción.

Según el MINEM (2016a y 2016b), en el departamento de Puno se localizan reservas de cobre, zinc, plata, oro, plomo, hierro, estaño, cobre y petróleo, las cuales podrían representar un futuro promisorio, al menos para este departamento.

Además, en Ollachea, distrito que forma parte del estudio, se está ejecutando el proyecto Ollachea.

En junio de 2014 se autorizó la construcción del mencionado proyecto (Resolución Directoral n.º 235-2014-MEMDGMN). Este proyecto producirá alrededor de 930 000 oz de oro durante una vida útil de nueve años en una etapa inicial, a un costo operativo promedio de USD 507 por onza de oro producido.

El EIA del proyecto fue aprobado por el Minem en el año 2013. La empresa ha firmado un convenio para entregar el 5 % de acciones a la comunidad de Ollachea cuando entre en operación. Recientemente se obtuvo un crédito estructurado de US\$ 70 millones de COFIDE y sindicada a través de Goldman Sachs Bank USA, para financiar la construcción del proyecto que costará en total US\$ 240 millones. Ollachea iniciará producción en el cuarto trimestre del 2018 (Minem, 2016a).

e. Turismo

La actividad turística, pese a contar con potencial, no está desarrollada debido a limitaciones de infraestructura destinada para este fin, falta de promoción, carencia

Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la subcuenca del río Macusani para la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos

de cultura turística y servicios conexos.

En la actualidad, la afluencia turística es limitada, efectuándose principalmente el turismo de aventura y deportivo por turistas extranjeros, en determinadas épocas de año.

Asimismo, los pocos hospedajes en la capital de la provincia, solo registran la llegada de pasajeros con motivo de actividades administrativas. En las fiestas patronales o religiosas se registra escasa visitas de turistas.

Los nevados ubicados en la zona de sierra de Carabaya están enclavados en la Cordillera de los Andes; su relieve es muy disímil, con altas montañas y picos nevados como el Allincápac, Chichicápac, Lloquesa, Kenamari, Achasiri y Aricoma, con quebradas profundas e inmensos llanos como en el que se encuentra la capital junto al río que lleva su nombre.

Existen también aguas termales que tienen propiedades medicinales, como las de Ollachea, de Tambillo, de Yurac Unu y de Uchuhuma.

En las lagunas de Phauchinta y Chungara, que es una sucesión de nueve lagunas de aguas frías, producto de los deshielos de los nevados Allincapac y Chichicapac, se puede practicar deportes acuáticos como la pesca, el remo, la motonáutica y el canotaje, entre otros.

Las pinturas rupestres, ubicadas entre los distritos Macusani y Corani, a una altura entre 4300 y 4500 m, también constituyen un recurso turístico.

Parte del potencial turístico está conformado por los 30 restos arqueológicos y paisajes que se constituyen en recursos disponibles de la provincia de Carabaya (cuadro n.º 23).

Cuadro n.º 23. Inventario de restos arqueológicos en la provincia de Carabaya

Restos arqueológicos	Localidad	Distrito	Estado	Unidad
Chullpas	Tantamaco, Quilla Quilla, Lacayo, Condokaka, Yauricancha	Macusani	Regular	5
Andenes	Collquepichu, Juru Juru	Macusani	Regular	3
Restos de hornos	Corani	Corani	Regular	1
Molino de piedra	Corani	Corani	Deteriorado	1
Pinturas rupestres	Corani	Corani	Deteriorado	1
Chullpas	Chichacori, Soccostacs, Illingalla, Moyopampa y Acuña	Ollachea	Deteriorado	5
Total				30

Fuente: MPC (2010)

5.6. Análisis para la implementación de MERESE

5.6.1. Potenciales beneficiarios y contribuyentes identificados

El servicio ecosistémico de regulación hídrica tendrá como potencial beneficiario directo al Comité de Regantes de Pacaje (riego de pastizales y bofedales para alimento del ganado) en el distrito de Macusani; a través del desarrollo de dicha actividad se beneficiaría indirectamente la población rural de la intercuenca.

Otro beneficiario directo es la Minicentral Hidroeléctrica Macusani y la Central Hidroeléctrica San Gabán en el distrito de Macusani; a través del desarrollo de esta actividad se beneficia la población rural de Túpac Amaru.

Como beneficiario indirecto se tiene principalmente a la Comunidad Campesina de Pacaje, sobre todo los comuneros ganaderos y a una parte de la población de Túpac Amaru, la que es abastecida con energía eléctrica proveniente de la Minicentral Hidroeléctrica de Macusani, cuya capacidad es limitada e insuficiente para toda la población (cuadro n.º 24).

Cuadro n.º 24. Servicio de regulación hídrica identificada.

Análisis	Servicio ecosistémico	Beneficiario directo del SEH	Beneficiario indirecto del SEH	Contribuyentes del SEH identificado
Para el caso de las aguas no reguladas cuyo origen es la nieve del nevado Allinccapac	Regulación hídrica	Comité de regantes Pacaje, riego de pastizales y bofedales para ganado	Población de Comunidad Campesina Pacaje	Comunidad Campesina Pacaje
Para el caso de las aguas reguladas del sistema Ttojacocha, para uso energético	Regulación hídrica	Minicentral Hidroeléctrica Macusani y Central Hidroeléctrica San Gabán	Parte población Túpac Amaru	Personal empresa privada San Gabán

Fuente: MINAM, 2017

Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la subcuenca del río Macusani para la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos

Diversos actores e instituciones tienen injerencia directa y/o indirecta en el uso y manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Inambari en el departamento de Puno.

En la parte alta de esta cuenca, los usuarios son aquellos vinculados a la actividad ganadera y minera, mientras que en la parte baja son los que se dedican al sector hidroenergético (represas Inambari y San Gabán).

A continuación, se presenta una breve relación de las principales instituciones y actores vinculados al uso y administración del recurso hídrico.

• Empresas hidroeléctricas

La Central Hidroeléctrica San Gabán no acumula ni el 50 % de volumen de agua que se pensaba abastecer (suele llegar de 12 000 a 13 000 m³) por lo que su necesidad o prioridad no sería una mayor oferta hídrica.

La hidroeléctrica Inambari no está en funcionamiento, por lo que actualmente no constituye un actor en el uso del recurso hídrico. Entonces, todo esto pondría en duda la participación de ambas centrales hidroeléctricas en un potencial MERESE hídrico.

• Productores pecuarios

La Asociación Alpaquera Macusani es una de las principales asociaciones que agrupa a los criadores de alpacas y productores de lana en Macusani. Estos agentes son los principales demandantes del recurso hídrico en la parte alta de la cuenca.

Básicamente, estos agentes obtienen el recurso hídrico directamente de los bofedales u otros cuerpos de agua.

Existe una gran cantidad de criadores de alpaca a nivel local, lo cual significa una mayor dificultad para lograr potenciales acuerdos a priori; sin embargo, ellos estarían interesados en algún mecanismo (MERESE) que pueda generar una mayor disponibilidad hídrica a nivel local.

Otro aspecto relevante es que existen algunos indicios que la población de alpacas excedería su capacidad de carga, por lo que una mayor oferta hídrica (por sí sola) pudiera ser contraproducente para fines de conservación de la cobertura vegetal en la cuenca alta. Esto sugeriría que cualquier acuerdo con este tipo de asociaciones debería ir de la mano con algún esquema de capacitación y fortalecimiento de capacidades en el manejo pecuario y de los pastizales.

• Productores agrícolas

La agricultura en la parte alta de la cuenca del río Inambari posee un régimen de secano. En la parte baja, se cultivan frutales (piña y plátano), algunos de los cuales dependen del riego; no obstante, el volumen de estos cultivos es reducido. Esto sugiere que un potencial MERESE hidrológico no debería ser enfocado para garantizar la oferta hídrica para fines agrícolas.

• Empresas mineras

Todas las empresas mineras requieren el uso del recurso hídrico para sus operaciones. Se tiene conocimiento que algunas empresas

mineras ofrecen periódicamente apoyo a los criadores de alpaca en determinadas zonas.

En teoría, no se ha identificado alguna empresa minera que utilice el recurso hídrico de la parte alta del río Inambari.

La unidad minera San Rafael (propiedad de Minsur) opera en otra cuenca distinta a Macusani, pero según manifiestan algunos entrevistados, esta unidad estaría utilizando informalmente el agua de la cuenca en análisis. Se requeriría más información para aseverar el uso del recurso hídrico por parte de algún agente minero en la cuenca estudiada.

• Estado peruano: Agro Rural

Su participación se limita como uno de los agentes que ha canalizado recursos para la implementación de obras destinadas a acciones de conservación a nivel local.

Para una potencial implementación del MERESE hidrológico, sería un aporte disponer con instituciones locales con experiencia en la canalización de fondos para acciones de conservación, objetivo principal de tales mecanismos.

Administración de la provisión del recurso hídrico

• ALA Inambari

Esta institución tiene por objetivo realizar las acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica Inambari a nivel local, la cual incluye a la zona de estudio. La ALA Inambari tiene entre sus funciones, capacitaciones,

acciones de sensibilización y campañas de comunicación orientadas a promover la cultura del agua a nivel nacional. Todo uso del recurso hídrico ya sea en la provisión, captación o derivación debe ser controlado por esta institución.

En la entrevista al Administrador del ALA Inambari (Ing. Ronald Isidro Alcos Pacheco) se constató que no hay estudios hidrológicos en la zona, lo cual limitaría la adecuada gestión del recurso hídrico puesto que a la fecha no es posible construir un balance hídrico, que es una herramienta básica de gestión.

• Municipalidad Provincial: Gerencia de Desarrollo Ambiental y Servicios

Su importancia radica en que constituye un punto focal de encuentro de todos los agentes formales que ejercen actividades económicas en la parte alta de la cuenca del río Inambari. De esta forma, cualquier búsqueda de consenso o agrupación de actores e instituciones podría ser canalizada por esta gerencia.

5.6.2. Análisis para la implementación de un MERESE

Se espera que la principal fuente de financiamiento del MERESE hidrológico provenga de las dos centrales hidroeléctricas que utilizan el recurso hídrico proveniente de la cuenca en estudio, sin embargo, una de estas centrales (Inambari) no está en funcionamiento, de manera que no puede inferirse su interés a priori.

Como indica la ANA (2011), los usuarios de

agua deben cumplir con el pago de las retribuciones económicas, tarifas de agua, aportes voluntarios y demás disposiciones jurídicas vigentes vinculadas a los recursos hídricos.

En la cuenca de Inambari, como mayor usuario de agua, está la Central Hidroeléctrica San Gabán II de 110 Mw y 19 m³/s, por tal motivo debería financiar el MERESE hidrológico, como se señaló anteriormente.

Con respecto a la segunda central (San Gabán II) no hay seguridad de que esté interesada en participar, debido a que una mejora en la oferta hídrica (como consecuencia de posibles condiciones de conservación en la parte alta de la cuenca del río Inambari) no le garantizaría significativamente la mejora del potencial en la oferta hídrica, de manera que pueda incrementar de forma relevante sus beneficios económicos. Debido a que no hay estudios hidrológicos que demuestren de forma concreta la mejora potencial señalada, no habrá una herramienta que permita generar algún interés por parte de esta central.

De otro lado, si bien los ganaderos de la parte alta de la cuenca, preliminarmente están interesados en acciones que les permita obtener un mayor recurso hídrico y mejora en la calidad de los pastizales que sirven de alimento para su ganado alpaquero, no necesariamente implica que estén en condiciones de pagar o retribuir por el recurso hídrico. La numerosa cantidad de agentes y debilidades en su asociatividad puede conllevar a una falta de acuerdos internos, lo cual debilitaría la estructura y funcionamiento de un MERESE. Además,

las comunidades campesinas, aun cuando puedan percibir escasez del recurso hídrico, pueden no estar interesadas en retribuir por este recurso.

No hay información que permita inferir si los agentes mineros enfrentan escasez del recurso hídrico de manera que –a priori– podrían estar interesados en un MERESE hidrológico. Presumiblemente, podrían no estar interesados en este mecanismo de retribución debido a la aparente ilegalidad en parte de sus operaciones.

Además, en la parte social, es posible que algunas comunidades estén favoreciendo la minería informal, lo cual dificultaría la obtención de acuerdos e incrementaría la cantidad de agentes.

Según el paso 4, para el diseño de los MERESE, deberían establecerse acuerdos entre los contribuyentes y retribuyentes por el servicio ecosistémico, donde se determinan las actividades de conservación, recuperación y uso sostenible, los beneficios económicos, sociales y ambientales esperados, las modalidades de retribución y sus estrategias de financiamiento. Sin embargo, hay problemas identificados, tales como:

• Problemas económicos

La falta de estudios y planes estratégicos de desarrollo integral de la cuenca impide sustentar las necesidades de inversiones en el corto, mediano y largo plazo.

Las pequeñas recaudaciones debido a las bajas tarifas y a la alta morosidad, el desperdicio del agua y los pocos trabajos

de mantenimiento de la infraestructura especialmente en los predios localizados en las partes más bajas del llano amazónico, son problemas que merman el desarrollo de acuerdos.

- **Problemas financieros**

Los pagos económicos por el uso del agua no incluyen recursos para el manejo y la conservación de las cuencas.

- **Problemas ambientales**

En todas las Unidades Hidrográficas de la zona de estudio se detectó que, en diferente grado, los cuerpos de agua son

afectados por descargas y vertimientos de diferente origen: doméstico, industrial, pecuario y fundamentalmente vertidos y descargas producto de la actividad minera. En la entrevista con el administrador del ALA Inambari, se indicó que el principal problema ambiental en la gestión de recursos hídricos en la cuenca Inambari, es la contaminación de los cuerpos de agua por efectos de la actividad minera.

En el cuadro n.º 25 se muestran las condiciones para una potencial implementación de un MERESE hidrológico en la cuenca del Inambari.

Cuadro n.º 25. Condiciones para la potencial implementación de un MERESE hidrológico

Tipo de condición	Condición	Comentario
Institucional	1. ¿Qué institución podría promover o liderar el MERESE?	MINAM-CAF debería ser la institución que promueva inicialmente la creación de grupos de gestión
	2. ¿Hay instituciones que podrían apoyar el mecanismo?	Al menos las instituciones que serían las más interesadas, tales como la Municipalidad de Carabaya, Junta de Alpaqueros, Autoridad Administradora del Agua Inambari (AAA-Inambari), Junta de Usuarios Inambari, y potencialmente otras vinculadas
	3. ¿El MERESE involucra alguna ANP?	No hay ANP vinculadas
	4. A priori, ¿habría algún agente que podría encargarse de la recaudación, administración y ejecución de los fondos aportados por los contribuyentes?	Aún no se ha identificado. Debería ser una institución que genere confianza en la sociedad local
	5. ¿Existe alguna plataforma de buena gobernanza relacionada al MERESE?	No, por ahora.
Técnica	6. ¿Hay estudios técnicos para diseñar un MERESE?	No hay estudios de monitoreo, estudios hidrológicos y biológicos. Esto es una limitación importante
	7. ¿Se ha identificado alguna zona de mayor probabilidad de recarga hídrica y de los servicios hídricos que provee?	No. Sin embargo, se tiene conocimiento que hay diversas subcuencas que abastecen a la cuenca Inambari
	8. ¿Se ha priorizado quienes serían los contribuyentes?	Tentativamente, los contribuyentes serían las empresas hidroeléctricas, propietarios de alpacas en la parte alta, y empresas mineras. Estos últimos aún no son plenamente identificados dadas las condiciones de ilegalidad en sus operaciones.
	9. ¿Se han identificado posibles acciones que contribuyan a la conservación?	No, pero se presume que serían los ganaderos de la parte alta de la cuenca
Social	10. ¿Existen comunidades campesinas o nativas involucradas en el MERESE?	Sí. Por ejemplo, hay comunidades campesinas que se benefician del recurso hídrico pero que no necesariamente estarían dispuestas a pagar u ofrecer alguna retribución por este recurso
Económica	11. ¿Los retribuyentes han manifestado su disposición a retribuir en el MERESE?	No. La hidroeléctrica Inambari no está en funcionamiento y no puede ser evaluada, mientras que la Central Hidroeléctrica San Gabán no ha manifestado su interés.

Fuente: MINAM, 2017.

5.6.3. Análisis de posibilidades de implementación de MERESE

Como resultado de las evaluaciones realizadas en todas las temáticas desarrolladas en el presente estudio, se puede inferir de manera general que, si bien el área presenta niveles de pobreza económica, la población generadora de riqueza no está al tanto de las posibilidades de mejora productiva.

Debido a las condiciones sociales y económicas actuales, la implementación de un MERESE hidrológico en la cuenca del río Inambari, requiere de mayores estudios hidrológicos que permitan determinar si la eventual mejora en la oferta hídrica generará mayores beneficios y por ende, un incentivo económico para las centrales hidroeléctricas.

Fuente: Milton et al. (1994).

En cuanto a los niveles de degradación de los pastizales, éstos se describen a continuación:

En el nivel cero (0) o en ausencia de degradación, la composición de los pastizales varía en respuesta a oscilaciones climáticas y los eventos estocásticos tales como la sequía, el granizo, la helada y el fuego (George et al., 1992). Ante esta situación,

la opción de gestión implicaría un manejo adaptativo que involucra manipulaciones oportunas de las densidades de ganado y presión de pastoreo (Westoby et al., 1989).

En el nivel uno (1), la degradación de las tierras de pastoreo se puede estimar a través de los cambios en la estructura de edad de las poblaciones de plantas. Dependiendo de los objetivos de gestión (por ejemplo, observación de animales salvajes o producción animal) y el tipo de vegetación (anual o perenne, praderas, matorral o sabana), el ecosistema podría ser restaurado mediante controles estrictos de pastoreo a través de la alteración de la temporada de pastoreo, intensidad, o tipo de animal (Acocks, 1964). Asimismo, la implementación de sistemas de pastoreo rotacional en épocas del año y el descanso durante todo el año se utilizan con éxito para la mejora del pastizal (Westoby et al., 1989).

En el nivel dos (2), el proceso de degradación implica una disminución en la diversidad florística de los pastizales y su productividad. Es poco probable que la reversión a la degradación en esta etapa sea rentable, ya que implicaría la eliminación del ganado doméstico y la exclusión de otros herbívoros silvestres, así como la manipulación de la vegetación a través del control mecánico. Dentro de las prácticas recomendadas se tiene la revegetación combinada con el majadeo, el uso de semilleros, la quema prescrita, el control integrado de plantas indeseables y el uso de herbicidas (Passera et al., 1992).

En el nivel tres (3), la degradación se manifiesta a través de la reducción de la cobertura vegetal, la vegetación palatable se encuentra reducida y existe una mayor exposición de suelo desnudo que favorece una erosión acelerada y fluctuaciones extremas de temperatura a nivel de la superficie del suelo (Milton et al., 1994).

Las tierras de pastoreo en esta condición no pueden manejarse de manera rentable, debido a que requieren tiempo para recuperarse y en este estado, el ecosistema puede restaurarse actuando a un nivel del entorno físico, como prácticas que permitan reducir la erosión, aumentar la infiltración, mejorar la capacidad de retención de agua del suelo, la protección de la superficie del suelo del sol y las heladas y la creación de micrositios adecuados para el establecimiento de las plántulas de plantas perennes (Barrow, 1991).

Finalmente, **en el nivel cuatro (4)**, la degradación es tan severa que la cubierta vegetal se ha perdido por completo y los suelos son altamente salinos con una erosión acelerada. Los pastizales en este estado de degradación son a menudo abandonados a causa de los altos costos de restauración o rehabilitación, por lo que la opción de gestión económicamente viable en esta etapa podría ser el no uso de la zona (Barrow, 1991).

En cuanto a las opciones de gestión, estas se describen a continuación:

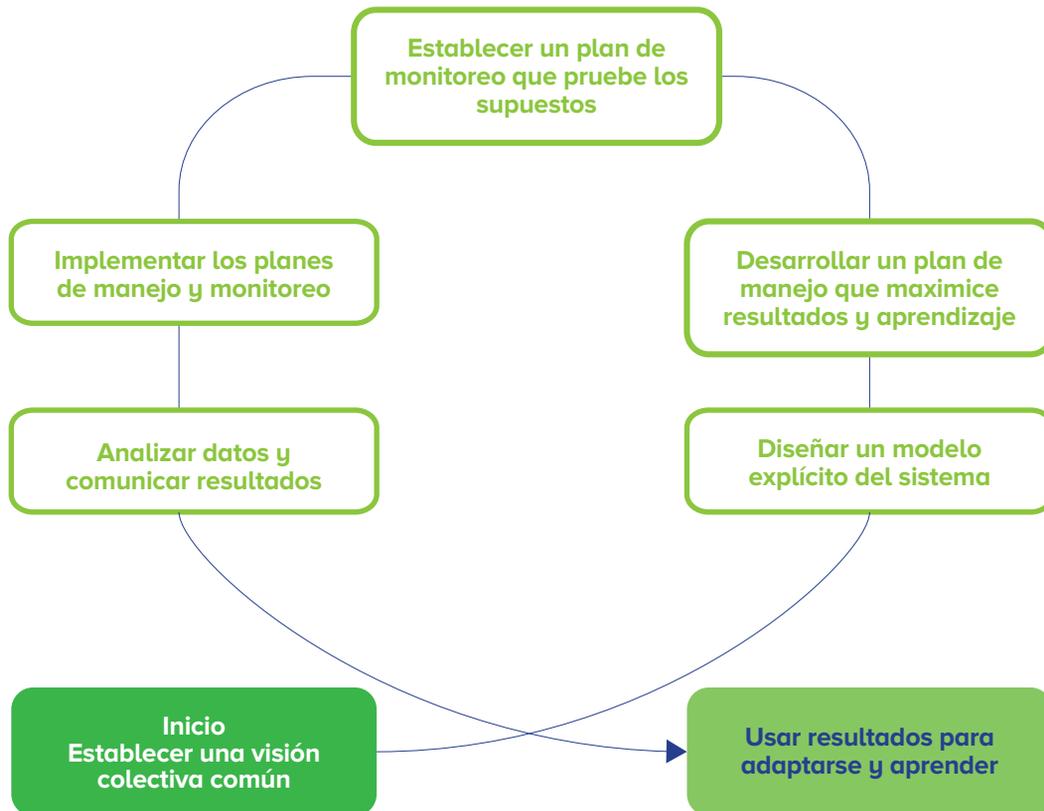
a. Manejo adaptativo

El manejo adaptativo incorpora la investigación en las acciones de conservación, específicamente, es la integración de diseño, manejo y monitoreo, para probar sistemáticamente ciertos supuestos, para poderse adaptar y aprender. Al probar supuestos se trata de identificar y aplicar diferentes acciones para lograr un resultado deseado.

No se trata de un proceso al azar de ensayo y error, por el contrario, el proceso involucra primero pensar sobre la situación del proyecto, desarrollar una serie de supuestos sobre lo que está ocurriendo y cuáles acciones puede utilizar para afectar estos eventos (Nyberg, 1998).

Luego, la organización implementa estas acciones y monitorea los resultados reales para compararlos con los supuestos y para ello la clave es desarrollar un entendimiento no solo de cuáles acciones funcionan y cuáles no, sino también porqué se deberían aplicar (Stuth et al., 1991), como se muestra en la figura n.º 23.

Figura n.º 23. Manejo adaptativo, una herramienta para profesionales de la conservación.



Fuente: Foundation of Success (FOS) http://www.fosonline.org/Adaptive_Management1.cfm

Por ejemplo, el énfasis tradicional en el diseño de programas de pastoreo se ha centrado en la manipulación del descanso y la intensidad de pastoreo para la producción máxima de ganado por unidad de área. Sin embargo, existe poca aceptación y aplicación del conjunto limitado de sistemas de pastoreo que se han desarrollado en diferentes investigaciones (Danckwerts et al., 1993).

Por lo tanto, el manejo adaptativo debe tener en cuenta todos estos elementos del proceso de planificación, de los cuales la elección del

método de pastoreo (continuo, rotacional, diferido) es solo una consideración (Foran y Howden, 1999).

Algunas motivaciones comunes para diseñar e implementar un manejo adaptativo en los ecosistemas pastoriles, impulsan el proceso de decisión, siendo muchos de estos interdependientes (Walker y Hodgkinson, 1999):

- **Mejorar la rentabilidad**
- **Mantener las operaciones**
- **Conducir el cambio de sucesión en la dirección deseada**

- **Facilitar la aplicación de otras prácticas de manejo**
- **Facilitar otras empresas (centros de beneficio)**
- **Mejorar el hábitat de la fauna o la experiencia recreativa**
- **Responder a las cuestiones ambientales (calidad y cantidad del agua, biodiversidad)**
- **Proporcionar servicios ecológicos para la sociedad**

b. Control estricto del pastoreo

Se dice que se está aplicando un sistema de pastoreo cuando se rota de manera sistemática y recurrente un tratamiento de diferir y dejar descansar un área de pastoreo. Los sistemas de pastoreo se utilizan con la finalidad de mejorar la condición y la capacidad de carga del pastizal. Los incrementos en el nivel de producción de forraje pueden llegar hasta un 200 % (Herbel 1983).

Rotar significa mover a los animales de una cancha a otra, en base a un programa destinado a evitar el pastoreo (exclusión) de las especies clave durante períodos fenológicos críticos.

Diferir significa retrasar la entrada de los animales a un área de pastoreo hasta que las semillas de las especies clave hayan madurado.

Descansar es prevenir el pastoreo durante el período de crecimiento y dormancia; es decir, todo el año.

Dos de los métodos de pastoreo más utilizados en áreas de conservación son el descanso-rotación y el pastoreo diferido.

Descanso – rotación del campo

El descanso de pastizales puede definirse como el no uso o utilización de un área destinada al pastoreo durante un año, proporcionando un mayor periodo de recuperación de las plantas y fomentando la vida silvestre en el pastizal sin ganado durante el periodo crítico dormante (Holechek, 1989).

Esto se traduce en una mejora de la producción de forraje, el valor estético, las propiedades del suelo y la calidad del agua. El descanso – rotación como estrategia de recuperación resulta ideal para mejorar la condición de pastizales pobres y favorecer la conservación de ecosistemas (Flores, 1999).

Sin embargo, aspectos como el tipo de suelo, la composición florística y el clima local son determinantes, ya que mientras mejor es el balance entre estos tres componentes, mayor será la posibilidad de obtener mejor respuesta y por ende resultados económicos.

Pastoreo diferido

El sistema de pastoreo diferido es una de las estrategias más importantes para la mejora de los pastos y se define como la postergación o el retraso del pastoreo hasta que las plantas clave se hayan diseminado a través del semilleo (Skovlin et al., 1976).

Consiste en la combinación de periodos de pastoreo y no pastoreo aplicados a un grupo de plantas basados en el conocimiento cabal de su respuesta a la defoliación (Flores, 1999) y para lo cual el sistema consiste en dividir el campo de pastoreo en dos potreros, de modo que cada uno reciba un pastoreo diferido cada dos años.

Sin embargo, existen modificaciones de este sistema para la recuperación de campos degradados, en donde la característica clave sigue siendo que periódicamente (cada 2 a 4 años), cada potrero recibirá diferimiento dependiendo de la cantidad de pasto (Holechek et al., 1998).

Los beneficios de este sistema consisten en la mejora de la condición de los campos, logrando una utilización uniforme del pastizal, minimizando la destrucción de áreas deterioradas, manteniendo los pastizales de elevada calidad y reduciendo las áreas de sacrificio. El fundamento del sistema de pastoreo es la combinación de tratamientos de descanso y diferimiento que evite, en la misma época y con la misma especie animal, todos los años, el pastoreo de las canchas cuando las plantas son más susceptibles al pastoreo (Flores, 1999).

c. Manejo de la vegetación y cobertura vegetal

Las especies nativas de pastizales son más eficientes utilizando la energía solar, y más tolerantes a los estreses ambientales de temperatura y humedad, que les impone la zona altoandina, que las especies exóticas (Hartmann et al., 1990). Estas diferencias a favor de los pastizales se hacen más notorias a medida que la altitud aumenta y la topografía se hace más difícil (Herbel, 1983).

Dentro de las prácticas destinadas al manejo de la vegetación y cobertura vegetal se encuentra el control integrado, la revegetación de esquejes de plantas nativas y las enmiendas orgánicas y fertilización.

• Control integrado

El control integrado tiene como objetivo eliminar y reducir la población de especies indeseables, las cuales pueden ser tóxicas o no palatables (Janick, 1979). El control de estas especies se puede lograr descansando el campo por el período de un año o pastoreando después de que las plantas deseables hayan madurado y diseminado sus semillas, o combinando ambas técnicas, a pesar de que existen malezas que no responden a estas prácticas. Cuando esto sucede se debe recurrir al uso de herbicidas, el cual tiene una serie de ventajas entre las que cabe mencionar el empleo de muy poca mano de obra, mayor velocidad de trabajo y el retardo considerable del rebrote (Pettit, 1999).

Herbel (1983) reporta que, al combatir estas plantas, la producción forrajera puede aumentar hasta en un 700 %, por lo que es indispensable controlar la proliferación de estas especies indeseables. El impacto ambiental positivo de esta estrategia se refleja en la mejora de la condición de los pastos y en un incremento en la cantidad y calidad de forraje. El impacto ambiental negativo se traduce en la posibilidad de que algunas semillas o partes vegetativas

puedan quedar después del control de estas plantas, generándose así un nuevo rebrote que afecte la pastura; muchos de los herbicidas pueden dañar a las plantas deseables y de buen valor forrajero, disminuyéndolas progresivamente.

• Revegetación con especies nativas

La revegetación con especies nativas es recomendable en canchas que han sido fuertemente sobrepastoreadas, donde es casi imposible mejorarlas con sistemas de rotación de canchas, debido a la poca cubierta vegetal existente que limita el pastoreo y por lo que es propensa a sufrir los efectos negativos del pastoreo por efecto del pisoteo (CIPEJ, 1991).

La revegetación con especies nativas debe restringirse a aquellos lugares con topografía plana a ligeramente inclinada, con altitudes menores a 4200 m, de suelos moderadamente profundos a profundos y pH mayor a 4,5, siendo más recomendable emplear una enmienda previa con abonamiento o materia orgánica para asegurar el éxito de esta práctica (Herbel, 1983). La revegetación con especies nativas no tiene restricciones excepto por la falta de información documentada, por lo que de forma práctica se recomienda llevarse a cabo una vez establecido el periodo de lluvias (setiembre a octubre) para asegurar una buena humedad del suelo durante la época crítica del establecimiento de las plantas. Esta resiembra debe realizarse

con material vegetativo bajo la forma de esquejes, pues el poder germinativo de las especies nativas es muy pobre (Flores, 1999). La selección de especies forrajeras a utilizar para una revegetación estará basada en la adaptación de las mismas a las características del clima y del suelo.

• Enmiendas orgánicas y fertilización

El uso de enmiendas orgánicas o aplicación de materia orgánica es una práctica agrícola muy difundida, la cual es conocida como majadeo o redileo y consiste en mantener encerrado al ganado para hacerlo dormir en una parcela acotada por una red, cerco o dispositivo fácilmente reubicable (Rodríguez, 2006). El majadeo es una práctica que condiciona el manejo ecológico del sistema, debido a la manipulación del componente biótico para que el ciclo de nutrientes ocurra de modo uniforme, aprovechando los beneficios que tienen sobre el suelo las deyecciones sólidas y líquidas del ganado para estimular la producción de humus, enriquecer la composición de las plantas de alta productividad y ejercer un efecto estimulante sobre la población microbiana del suelo (Rodríguez, 2006). El impacto del majadeo depende de factores como el nivel de consumo, la digestibilidad del pasto, el tipo y edad del animal, la carga animal y el régimen de explotación (Langer, 1973).

Normalmente se emplea ganado ovino para realizar esta práctica debido a su menor impacto sobre la compactación del suelo,

en la que si se considera una densidad de 1 unidad ovino/m², permitirá obtener hasta una cantidad de estiércol de 8 t/ha depositado en una noche, sin embargo, no hay demasiadas cifras relativas a los aportes reales de materia orgánica que representa esta práctica (Urbano, 1985).

Otra práctica de mejora de la cobertura vegetal muy difundida en nuestro medio es la fertilización o abonamiento, la cual demanda la presencia de niveles de agua adecuados y forraje disponible, que no están presentes en pastizales de condición muy pobre (Flórez y Malpartida, 1987).

d. Manejo de la cobertura del suelo

El manejo de la cobertura del suelo es la estrategia más viable para recuperar el ecosistema degradado, debido a que sus exigencias en comparación, son necesariamente intensivas y contempla el estado pobre o muy pobre del pastizal, con una tendencia negativa y alejado de una fuente de agua principal (Flores, 1999).

Dentro de las estrategias de mejora se tienen las prácticas de conservación de suelos, como son las zanjas, los surcos y los hoyos de infiltración. Estas prácticas se aplican sobre la base que la conservación del suelo es la medida más adecuada para el control de la erosión, integrando todo lo relacionado con el uso racional del suelo y su tratamiento (Carlson, 1990). Por otra parte, las obras de conservación de suelos permiten la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión y

desertificación (Suárez de Castro, 1980).

• Zanjas de infiltración

Son canales sin desnivel construidos en laderas, los cuales tienen por objetivo captar el agua que escurre, disminuyendo los procesos erosivos, al aumentar la infiltración del agua en el suelo. Estas obras de recuperación de suelos pueden ser construidas de forma manual o mecanizada, y se sitúan en la parte superior o media de una ladera, para capturar y almacenar la escorrentía proveniente de las cotas superiores (Suárez de Castro, 1980). La justificación principal de las zanjas de infiltración es el efecto que producen sobre la estabilización del suelo; es decir, son agentes propiciadores de almacenamiento de humedad para las plantas, a través del almacenamiento temporal de escorrentías superficiales. Debe señalarse que un sistema de zanjas de infiltración por sí solo, no controlaría totalmente el fenómeno erosivo, siendo necesario revegetar con pastos o forestar los espacios intermedios entre zanjas, o adoptar otras prácticas conservacionistas como la aradura, el subsolado y la siembra en contorno (Carlson, 1990).

• Surcos de infiltración

Es una práctica que consiste en establecer pequeños surcos o canaletas lineales de 15 cm de profundidad, elaborados con el mismo suelo y rocas, con un distanciamiento mínimo de 3 a 5 m, los cuales siguen las curvas de nivel del terreno (Suárez de Castro, 1980). Esta práctica reduce la escorrentía superficial,

protege a los suelos ubicados más abajo de sufrir por salinidad y la erosión, y permite una mayor infiltración del agua, condición que mejora el contenido de humedad del suelo y consecuentemente la productividad. La duración promedio de los surcos es de 25 años pero puede ser menor en suelos inestables y se recomienda aplicarlo en campos cuyo estado de conservación es de 6 años o menos (Lemus, 2003).

• Hoyos de infiltración

Es otra práctica que consiste en construir hoyos de 15 cm de profundidad y 10 cm de diámetro, con un distanciamiento mínimo

de dos metros sobre el tapiz natural en áreas con pendientes moderadas a fuertes y constituyen bases de captación de agua en el suelo (Lemus, 2003). Su contribución y diseño tienen como objetivo capturar y almacenar agua dentro del hoyo y su alrededor para el uso de las plantas, controlando de este modo la escorrentía superficial.

Tiene un impacto positivo por la menor perturbación sobre el tapiz natural y algunos reportes señalan que mejora la productividad de las plantas existentes y la cobertura vegetal (Pavez, 2004).

6.

Conclusiones y recomendaciones

- El 50 % del área correspondiente a los ecosistemas pajonal y césped de puna resultaron tener un estado de conservación Regular y el otro 50 % del área corresponde

a un estado de conservación Bueno.

- Se requiere implementar estrategias y acciones de manejo de los pastizales evaluados para elevar los estados de conservación de Regular a Bueno y de Bueno a Muy bueno. De esta manera se lograría elevar la rentabilidad de la tierra y, por tanto, conseguir mejores ingresos económicos por parte de los ganaderos.
- Aún falta profundizar la socialización de las ventajas que ofrecería la implementación de un MERESE hidrológico en la zona estudiada. Existe poco interés de la población en otorgar retribuciones orientadas al establecimiento de acciones de conservación o incremento de servicios ecosistémicos.
- Debe realizarse estudios hidrológicos más detallados que permitan determinar si la eventual mejora en la oferta hídrica constituiría un incentivo

económico para las centrales hidroeléctricas.

- Los ganaderos de alpacas de la parte alta, si bien manifiestan su interés preliminar en un MERESE, ello no implica que puedan retribuir adecuadamente por el recurso hídrico. Sería necesario un estudio de rentabilidad y productividad para evaluar en qué medida una mejora en la disponibilidad hídrica repercutiría en mayores beneficios económicos y con esta información poder inferir su futura capacidad de pago o retribución.
- En el caso de los alpaqueros, se debe considerar que una mayor disponibilidad hídrica podría incentivar el pastoreo intensivo y con ello una mayor carga animal y, en consecuencia, se generaría nuevamente la degradación del pastizal, con lo cual podría desvirtuarse el sentido de los MERESE.

- Sería necesario acciones de monitoreo o acuerdos, para mantener la producción de alpacas. Esto, a su vez, implica que deben implementarse no solo acciones de conservación sino también de mejora en la productividad.
 - Un diseño de MERESE hidrológico en la intercuenca del río Macusani debe incorporar, en primer lugar, el incremento de la productividad de las tierras agrícolas y de pastoreo con la finalidad de elevar los recursos financieros de las poblaciones locales y que a su vez se pueda estimar la demanda real de agua, en cada una de sus fuentes utilizadas para sus labores productivas como agricultura, ganadería, minería, generación hidroeléctrica, entre otras.
 - Las políticas públicas ligadas al desarrollo de la sostenibilidad productiva de la cuenca deberían ser impulsadas por la municipalidad provincial y el gobierno regional con el fin de asegurar el apoyo financiero y el acompañamiento técnico a los cambios necesarios para mejorar las actividades agropecuarias y forestales, con un enfoque de cuenca, participativo, de desarrollo sostenible y de género, que involucre a las poblaciones vulnerables para incluirlas en la ola del desarrollo.
- Se deberá acompañar el proceso de fortalecimiento de las organizaciones de regantes y de las JASS, articulando los esfuerzos con el AAA Tambopata – Inambari y la Municipalidad Provincial de Carabaya.
 - El análisis del potencial productivo de la zona priorizada debería iniciar un proceso de planificación y ordenamiento territorial con la finalidad de iniciar el proceso de reconocimiento de los contribuyentes y retribuyentes de un MERESE.
 - Se deberá fortalecer las capacidades institucionales del organismo o entidad que se sugiera como administrador del MERESE, con el fin de encaminar al éxito la gestión participativa de los procesos de acuerdo voluntario entre los contribuyentes y retribuyentes.
 - La presencia de suelos erosionados y de plantas invasoras que compiten por el suelo, pueden ser rehabilitados mediante la aplicación de técnicas de manejo adaptativo, el control del pastoreo y el manejo de la cobertura del suelo.
 - La preservación de los glaciares como fuente de agua por deshielos y atractivos turísticos, se desarrolla mediante la propuesta de ACR Allinccapac , el nevado con mayor

representatividad en la zona y que sirve de fuente hídrica no solo para el río Macusani sino también para las cabeceras del río Inambari.

- Los potenciales contribuyentes identificados son aquellos que habitan las localidades de la cuenca alta y donde la preservación de los ecosistemas, tanto en calidad como cantidad, pueden caminar de la mano con las labores de rehabilitación de la cobertura vegetal con especies resistentes a las características físicas del lugar.
- Los beneficiarios son los productores alpaqueros, los dueños de pastizales y propietarios de terrenos cubiertos de bofedales y césped de puna, cuya labor de preservación así como la posible ampliación de su frontera puede ser de interés para incrementar los servicios ecosistémicos hídricos de regulación.
- Los potenciales retribuyentes pueden ser las empresas mineras o de generación hidroeléctrica, así como algún productor forestal o agrícola con deseos de incrementar una mayor productividad en sus campos, posiblemente con dos cosechas por año u otros productos de mayor demanda de riego pero que presten un mejor precio en el mercado.

- Si bien la estimación de costos para mantener el flujo del servicio hídrico no ha sido calculada en este diagnóstico, se ha identificado que existe una brecha significativa por cubrir, entre el agua provisionada por el sistema y el agua demandada por la población y ecosistemas.
- Se ha logrado determinar en el análisis del componente socioeconómico, la disponibilidad para pagar por el incremento del servicio ecosistémico hídrico de los potenciales retribuyentes.
- Las hidroeléctricas han cubierto su demanda, debido a que solo una de ellas está operando, pero aún faltan entrar en funcionamiento cinco, y quizás sea posible incluirlas como retribuyentes.
- La actividad minera de la compañía minera Minsur (Mina San Rafael) no se realiza dentro de la cuenca, pero se menciona que en cierta forma hace uso de los recursos hídricos de este sector, lo cual implica una investigación mayor en un sector no cubierto de la subcuenca, que pertenece a la cuenca colindante pero que estaría incurriendo en una infracción de no ser autorizada por el Minem.
- Se ha notado un gran interés del

Gobierno Regional de Puno y de la Municipalidad Provincial de Carabaya por la iniciativa de mecanismos de retribución, pues evidencian un registro de disponibilidad hídrica que ha venido disminuyendo a lo largo de los años y que cuentan con experiencia para administrar sus servicios de agua potable y de energía eléctrica provista de la Minicentral de Macusani.

- La administración de los servicios de la red hídrica por el ALA Inambari ha demostrado su interés en elevar la disponibilidad del recurso y de

prevenir las consecuencias del cambio climático.

- Las dos instituciones antes mencionadas pueden dar seguimiento técnico adecuado a las actividades de contribución y retribución por el servicio hídrico en la aplicación de un MERESE.

7.

Bibliografía

- **Acocks, P.H. 1964.** *Karoo vegetation in relation to the development of deserts.* En: D.

H. S. Davis. *Ecological Studies in Southern Africa.* W. Junk, The Hague, The Netherlands. Pp. 100-112.

- **Acocks J. P .H. 1964.** *Karoo vegetation in relation to the development of deserts.* En: **D. H. S. Davis,** ed. *Ecological Studies in Southern Africa.* **Dr. W. Junk,** The Hague, The Netherlands. Pp. 100-112
- **ALA – Tambopata Inambari. Macusani. 2006.** Inventario de infraestructura de riego y drenaje y vías de comunicación del distrito de riego Inambari.
- **Alaska Satellite Facility. 2017.** Datos de teledetección a usuarios científicos de todo el mundo. Disponible: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>
- **Autoridad Nacional del Agua (ANA). 2010.** Diagnóstico hidrológico de la cuenca Madre de Dios. Lima, Perú.
- **Barrow C. J. 1991.** *Land degradation.* Cambridge University Press, New York.
- **Bausch, W. C., & Neale, C. M. 1987.** Crop coefficients derived from reflected canopy radiation: a concept. *Transactions of the ASAE.* 30(3): 703-0709.
- **Berrú, D., Fasanando, J. & Widerman, U. 2016.** Primeros pasos para la implementación del Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hídricos en la microcuenca del río Cumbaza - San Martín. Reflexiones. Obtenido de [http://www.pehcbm.gob.pe/dma/ media/Proceso MRSE-H Cumbaza.pdf](http://www.pehcbm.gob.pe/dma/media/Proceso_MRSE-H_Cumbaza.pdf)
- **Carlson, P. 1990.** Establecimiento y manejo de prácticas agroforestales en la sierra ecuatoriana. Editorial Cormen, Quito - Ecuador. pp. 24-111.
- **Centro de Investigaciones Pecuarias del Estado de Jalisco (CIPEJ). 1991.**

Artículo en línea disponible en: http://www.ugrj.org.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=453&Itemid=376.

- CORBIDI, CANDES, 2009. Caracterización biofísica en el bosque húmedo tropical, Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata. Consorcio CORBIDI-CANDES. Lima, 82 pp.
- Danckwerts J. E., O'Reagain P. J. & O'Connor T. G. 1993. Range management in a changing environment: a southern African perspective. *Australian Rangeland Journal* 15: 133-144.
- Dirección Regional de Carabaya y Unidad de Información Estadística (DRC y UEI). 2008a. Morbilidad en la provincia de Carabaya. Disponible en <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/09/EDZ-CARABAYA.pdf>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Dirección Regional de Carabaya y Unidad de Información Estadística. 2008b. Morbilidad en la capital de Carabaya: Macusani. DRC, UIE. Disponible en <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/09/EDZ-CARABAYA.pdf>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Dirección Regional de Puno y Dirección de Información Agraria (DRP y DIA). 2009. Producción agrícola a nivel provincial y producción pecuaria de la provincia de Carabaya. Disponible en <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/09/EDZ-CARABAYA.pdf>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Dirección Regional de Salud de Puno (DRSP). 2008. Estadística básica. Disponible en <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/09/EDZ-CARABAYA.pdf>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- DRP y DIA. 2009. Producción agrícola a nivel provincial de la provincia de Carabaya. Disponible en <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/09/EDZ-CARABAYA.pdf>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Flores, E. R. 1999. Tambos alpaqueros y pastizales II: Mejoramiento de praderas naturales. Proyecto Especial Tambos Alpaqueros. Boletín técnico LUP n.º 12. Lima, Perú.
- Florez, A. & Malpartida E. 1987. Manejo de praderas nativas y pasturas en la región altoandina del Perú. Tomo I. Fondo del libro del Banco Agrario. Lima, Perú.
- Foran, B. & Howden M. 1999. Nine drives of rangeland change. In: people and rangelands: building the future. Proceedings of VIth International Rangeland Congress. Pp 7-13.

- George M. R., Brown J. R. & Glawson W. J. 1992. Application of non-equilibrium ecology to management of Mediterranean grassland. *Journal of Range Management* 45: 436-440.
- Giovanni. 2017. Estimación combinada de precipitación satelital (GPM _ 3IMERGM Versión 04) – Nasa. Disponible: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>
- Gobierno Regional de Puno. 2011. Estudio de diagnóstico y zonificación de la provincia de Carabaya. Disponible en <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/09/EDZ-CARABAYA.pdf>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Gobierno Regional de Puno. 2011. Estudio de diagnóstico y zonificación de la provincia Carabaya. Tomo I. PE. 459 p.
- Goulding, M.; Barthem, R.; Cañas, C.; Hidalgo, M. & Ortega, H. 2010. La cuenca del río Inambari: ambientes acuáticos, biodiversidad y represas. PE. 73 p.
- Hartmann, H. T., Kester, D. E. & Davies, F. T. 1990. Plant propagation. 5th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 647 p.
- Herbe, C. H. 1983. Principles of intensive range improvements. *Journal of Range Management*. 36(2): 140-144.
- Holechek, J. L., Pieper, R.D. & Herbel, C. H. 1998. Range management principles and practices. 3rd edition. Prentice Hall. 542pp.
- Holechek, J. L. 1989. Range inventory and monitoring. Range management principles. University of New Mexico, USA. Pp. 1-22.
- Inambari.org. 2017a. Mapa interactivo: Departamentos dentro de la cuenca del Inambari. Disponible en <http://inambari.org/mapas/Inambari-Departamentos/>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Inambari.org. 2017b. Mapa interactivo: Distritos dentro de la cuenca del Inambari. Disponible en <http://inambari.org/mapas/Inambari-Distritos/>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2017a. Censo Nacional de Población y Vivienda. Estimaciones y proyecciones de población: Población distrital censada y estimada. Disponible en <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/#punto>. Fecha de actualización 11/12/2017.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2017b. Censo Nacional de Población y Vivienda. Estimaciones y Proyecciones de Población: Población distrital urbana y rural censada. Disponible en <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/#punto>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2017c. Censo Nacional de Población y Vivienda. Población por grupo de edad. Disponible en <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/#punto>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2017d. Censo Nacional de Población y Vivienda. Población económicamente activa. Disponible en <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/#punto>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2017e. Censo Nacional de Población y Vivienda. Población estimada y tasa de crecimiento poblacional. Disponible en <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/#punto>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2017f. Censo Nacional de Población y Vivienda. Vivienda y hogar: Abastecimiento de agua potable. Disponible en <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/#punto>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2017g. Censo Nacional de Población y Vivienda. Vivienda y hogar: Tipo de conexión por servicio higiénico. Disponible en <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/#punto>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2017h. Censo Nacional de Población y Vivienda. Vivienda y hogar: alumbrado eléctrico. Disponible en <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/#punto>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2017i. Censo Nacional de Población y Vivienda. Recursos: Infraestructura a nivel distrital. Disponible en <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/#punto>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2017j. Censo Nacional de Población y Vivienda: Población según actividad productiva. Disponible en <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/09/EDZ-CARABAYA.pdf>. Fecha de actualización 11/12/2017.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). 2000. Base de datos de los recursos naturales del Perú.

- Intersur Concesiones S.A. s/f. Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú-Brasil, Tramo 4: Azángaro –Puente Inambari. 35 pg.
- Janick, J. 1979. Horticultural Science. 3a. ed. San Francisco, CA: W. H. Freeman and Company. 608 p.
- Krogh, S. N., Zeisset, M. S. Jackson E. & Whitford, W. G. 2002. Presence/absence of a keystone species as an indicator of rangeland health. *Journal of Arid Environments* 50: 513-519.
- Langer, R. H. M. 1973. Growth of grasses and clovers. En: R. H. M. Langer, editor. *Pastures and pasture plants*. New Zealand Consolidated Press, Ltd., Auckland, New Zealand. Pp. 41-63
- Lemus, M. 2003. MAUCO, Programa para el diseño de obras de conservación de suelos. En Seminario Internacional: Restauración hidrológico-forestal para conservación y aprovechamiento de aguas y suelos. 20 y 21 de noviembre. Santiago, Chile. (http://eias.utralca.cl/seminario_internacional.htm).
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. & Chipman J. W. 2004. Remote sensing and image interpretation. New York, USA. Wiley.763 p.
- Mena, A.; Rubio, H.; Yagui, H., Vergel, C. & Kanashiro, L. 2016. Servicios ecosistémicos que brindan las Áreas Naturales Protegidas.
- Milton, S. J., Dean, W. R. J. Du Plessis, M. A. & Siegfried, W. R. 1994. A conceptual model of arid rangeland degradation. The escalating cost of declining productivity. *BioScience* 44(2): 70-76.
- MINAM – CAF. 2017. Mapa con la división política de la zona de estudio. Unidad Ejecutora 004 - Gestión de los Recursos Naturales. Documento no publicado.
- MINEM. 2016a. Anuario Minero 2016. Ministerio de Energía y Minas. Disponible en <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/ANUARIOS/2016/anuario2016.pdf>. Fecha de actualización 23/12/2017.
- MINEM. 2016b. Anuario estadístico de hidrocarburos 2016. Ministerio de Energía y Minas. Disponible en http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/5_%20CAP%202%20-%20EXPLORACION%20DE%20HC.pdf. Fecha de actualización 23/12/2017.
- Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). 2009. Mejorando la inversión municipal. Disponible en <http://www.noticiasser.pe/07/10/2009/altiplano-politico/altiplano-politico-paul-chata/presupuestos-y-recursos-de-los-distritos>. Fecha de actualización 11/12/2017.

- **Ministerio del Ambiente (MINAM). 2015. Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. Memoria descriptiva. 105 pg.**
- **Municipalidad Provincial de Carabaya. 2010. Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia Carabaya. 2010-2021. Disponible en <http://sdot.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/09/EDZ-CARABAYA.pdf>. Fecha de actualización 11/12/2017.**
- **Municipalidad Provincial de Carabaya. 2013. Mejoramiento y ampliación de los servicios de agua potable y desagüe, en la ciudad de Macusani, distrito Macusani, provincia de Carabaya – Puno. Proyecto a nivel de perfil con código SNIP 246531.**
- **Nyberg, J. B. 1998. Statistics and the practice of adaptive management. En: Statistical methods for adaptive management studies, V. Sit and B. Taylor, (editors). Land Manage. Handbook 42, B.C. Ministry of Forests, Victoria, BC. Pp. 1-7.**
- **Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). 1985. Inventario y evaluación de los recursos naturales de la zona altoandina del Perú-Cusco. 585 p.**
- **Palacios, V. & Ortega, H. 2009. Diversidad ictiológica del río Inambari, Madre de Dios, Perú. Revista Peruana de Biología 15(2): 59-64. Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Nacional Mayor de San Marcos.**
- **Passera, C. B., Borsetto, O.; Candia, R. J. & Stasi, C. R. 1992. Shrub control and seedling influences on grazing capacity in Argentina. Journal of Range Management: 45: 480-482.**
- **Pavez, A. 2004. Análisis del comportamiento temporal del contenido de humedad, en suelos sometidos a obras de conservación (zanjas de infiltración y subsolado), en áreas de las regiones VI, VIII y VIII. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Chile. 86 p.**
- **Petersen, S. & Stringham, T. 2008. Infiltration, runoff, and sediment yield in response to western juniper encroachment in southeast Oregon. Journal of Rangeland Ecology and Management 61: 74-81.**
- **Pettit, E. 1999. Mejoramiento de la pradera natural. En: Curso corto de manejo y mejoramiento de pastizales. Texas, Tech.**
- **Purevdorj, T.; Tateishi, R.; Ishiyama, T. & Honda Y. 1998. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. International Journal of Remote Sensing 19(18): 3519-3535.**

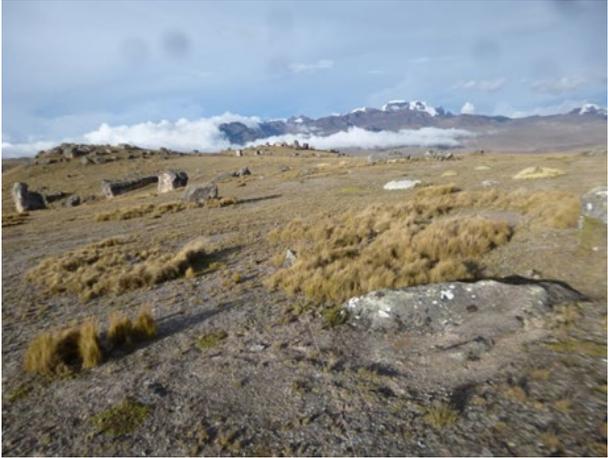
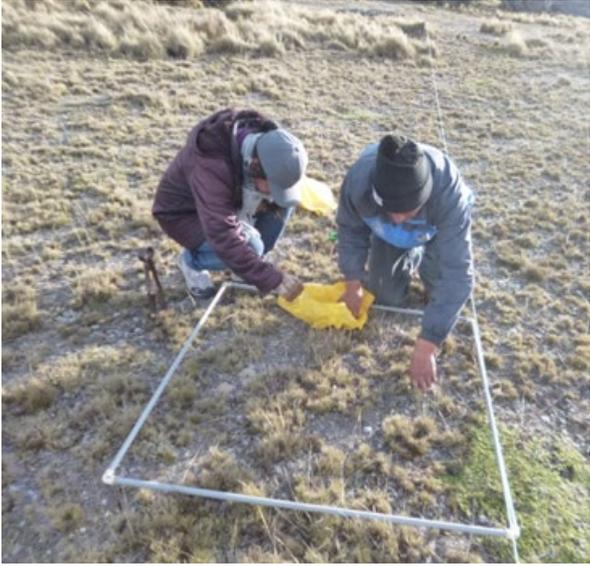
- Pyke, D. A.; Herrick, J. E.; Shaver, P. & Pellant, M. 2002. Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management* 55: 584-297.
- Rodríguez, V. 2006. El majadeo o redileo. *Revista Fertilidad de la Tierra* (23): 63-66.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A. & Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. En: 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I. Pp. 309-317.
- Skovlin, J. M.; Harris, R. W.; Strickler, G. S. & Garrison, G. A. 1976. Effects of cattle grazing methods on ponderosa pine-bunchgrass range in the Pacific Northwest. U.S. Dep. Agr. Tech. Bull. N.º 531. 40 p.
- Stuth, J.; Jama, A. & Tolleson, D. 1991. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. *Field Crops Research* 84: 45-56.
- Suárez de Castro, F. 1980. Conservación de suelos. San José, CR, IICA. 315 p.
- Urbano, P. 1985. Tratado de fitotecnia general. 2a. Ed. Grupo Mundi-Prensa, España. Pp. 384-398.
- Vásquez, A. 2000. Manejo de cuencas altoandinas. Lima. 25 p.
- Walker, J. W. & Hodgkinson, K. C. 1999. Grazing management: new technologies for old problems. *Proceeding of the sixth international rangeland congress*. Pp. 424-430.
- Westoby, M.; Walker, B. & Noy-Meir, I. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management* 42: 266-274.
- Whitford, W. G. 1995. Desertification: implications and limitations of the ecosystem health metaphor. En: Rapport, D. J., Gaudet, C. L. & Calow, P. (Eds), *Evaluating and monitoring the health of large-scale ecosystems*. NATO ASI Series. Berlin: Springer-Verlag. Pp. 257-166.
- WorldClim. 2000. Datos climáticos globales versión 2. Información satelital para el periodo 1970 - 2000. Disponible: <http://worldclim.org/version2>

8.

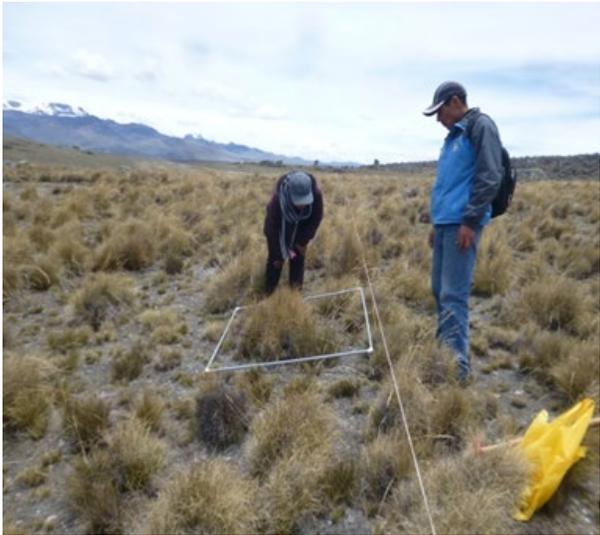
Anexos

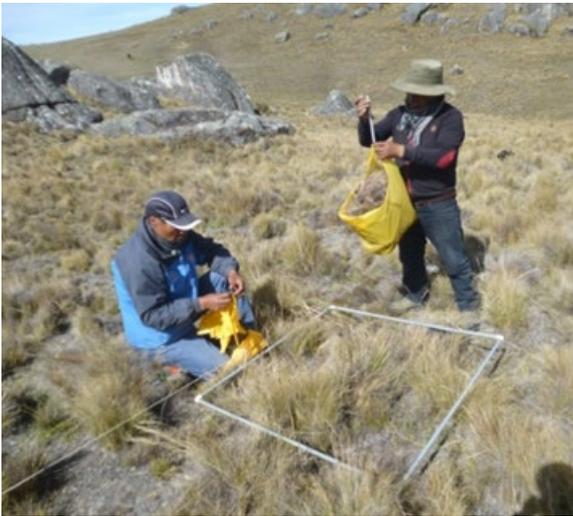
Anexo n.º 1.

Fichas de resultados de la evaluación del estado de conservación de los ecosistemas y estrategias de conservación.

Transecto	T2	Estado de conservación	Regular	2
Altitud (m)	4593	Foto panorámica		
Vegetación	Césped de Puna			
Cobertura vegetal (%)	57			
Especies dominantes	<i>Nassella brachyphylla</i>			
Posición topográfica	Cima			
Paisaje circundante	Ondulado suave			
Pendiente (%)	Moderadamente inclinada (5 a 10 %)			
Pedregosidad superficial (%)	3 a 15 %			
Afloramiento (%)	Menor a 2 %			
Profundidad	Muy superficial, menor a 25 cm			
Fuente de agua	Lluvia			
Ganadería				
1	Vacunos			
2	Llamas			
3	Alpacas			
4	Ovinos			
Estrategias				
1	Descanso rotativo			
2	Pastoreo diferido			
3	Fertilización (abonamiento)			
4	Fertilización (majadeo)			
Observaciones	No recomienda cultivo			
Cultivos presentes	Papa amarga, cañihua			

Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la subcuenca del río Macusani para la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos

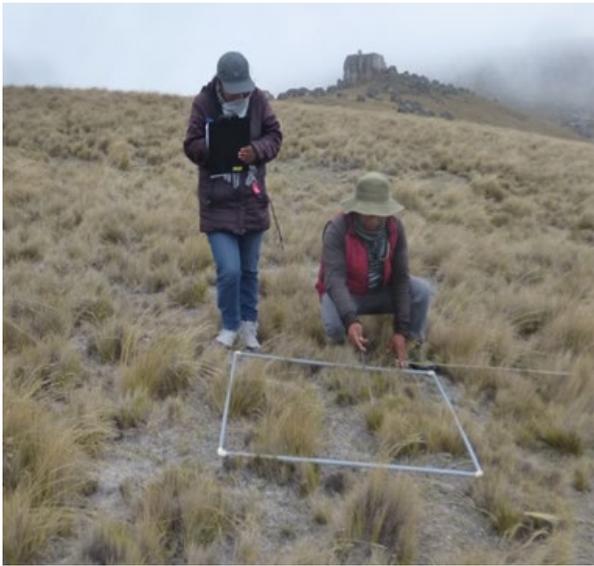
Transecto	T6	Estado de conservación	Regular	2
Altitud (m)	4523	Foto panorámica		
Vegetación	Pajonal			
Cobertura vegetal (%)	85			
Especies dominantes	<i>Calamagrostis tarmensis</i>			
Posición topográfica	Planicie			
Paisaje circundante	Colinado			
Pendiente (%)	Fuertemente inclinada (10 a 15 %)			
Pedregosidad superficial (%)	0 a 3 %			
Afloramiento (%)	2 a 15 %			
Profundidad	Muy superficial, menor a 25 cm			
Fuente de agua	Lluvia			
Ganadería				
1	Vacunos			
2	Alpacas			
3	Llamas			
4				
Estrategias				
1	Descanso rotativo			
2	Pastoreo diferido			
3				
4				
Observaciones	No recomienda cultivo			
Cultivos presentes	No			

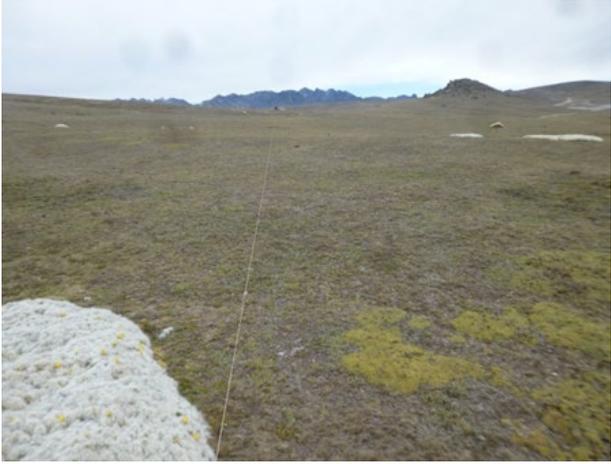
Transecto	T7	Estado de conservación	Referencia	5			
Altitud (m)	4497	Foto panorámica					
Vegetación	Pajonal						
Cobertura vegetal (%)	95						
Especies dominantes	<i>Calamagrostis tarmensis</i>						
Posición topográfica	Pendiente cóncava						
Paisaje circundante	Collinado						
Pendiente	Fuertemente inclinada (10 a 15 %)						
Pedregosidad superficial (%)	0 a 3 %						
Afloramiento rocoso	15 a 50 %						
Profundidad	Muy superficial, menor a 25 cm						
Fuente de agua	Lluvia						
Ganadería					Foto cercana		
1	Alpacas						
2	Ovinos						
3	Llamas						
4	Equinos						
Estrategias							
1	Descanso rotativo						
2	Fertilización (abonamiento)						
3	Fertilización (majadeo)						
4							
Observaciones	Bosques de piedra, pajonal bueno						
Cultivos presentes	No						

Transecto	T8	Estado de conservación	Referencia	5			
Altitud (m)	4509	Foto panorámica					
Vegetación	Césped de Puna						
Cobertura vegetal (%)	87						
Especies dominantes	<i>Nassella brachyphylla</i>						
Posición topográfica	Terraza						
Paisaje circundante	Montañoso						
Pendiente (%)	Moderadamente empinada (15 a 30 %)						
Pedregosidad superficial (%)	3 a 15 %						
Afloramiento (%)	2 a 15 %						
Profundidad	Muy superficial, menor a 25 cm						
Fuente de agua	Lluvia						
Ganadería					Foto cercana		
1	Alpacas						
2	Ovinos						
3							
4							
Estrategias							
1	Descanso rotativo						
2	Fertilización (abonamiento)						
3	Fertilización (majadeo)						
4							
Observaciones	No recomienda cultivo						
Cultivos presentes	No						

Transecto	T10	Estado de conservación	Regular	2
Altitud (m)	4441	Foto panorámica		
Vegetación	Pajonal			
Cobertura vegetal (%)	73			
Especies dominantes	<i>Calamagrostis tarmensis</i>			
Posición topográfica	Pendiente cóncava			
Paisaje circundante	Ondulado suave			
Pendiente (%)	Moderadamente empinada (15 a 30 %)			
Pedregosidad superficial (%)	0 a 3 %			
Afloramiento (%)	15 a 50 %			
Profundidad	Muy superficial, menor a 25 cm			
Fuente de agua	Lluvia			
Ganadería				
1	Llamas			
2	Ovinos			
3	Vacunos			
4				
Estrategias				
1	Descanso rotativo			
2	Fertilización (abonamiento)			
3	Fertilización (majadeo)			
4				
Observaciones	Cultivo de avena zona baja			
Cultivos presentes	Papa amarga, cañihua, avena forrajera			

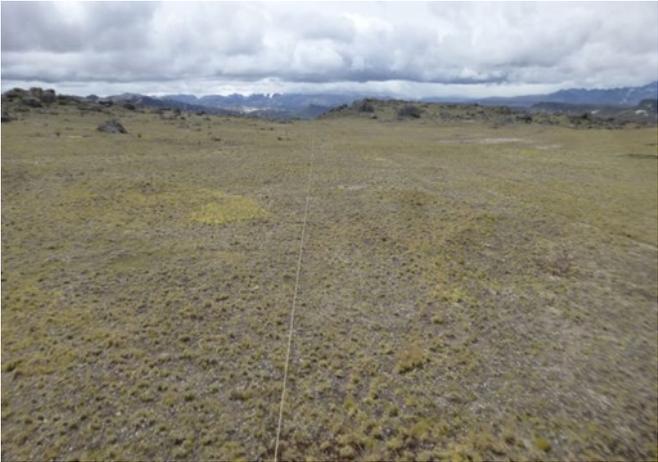
Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la subcuenca del río Macusani para la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos

Transecto	T11	Estado de conservación	Regular	2
Altitud (m)	4411	Foto panorámica		
Vegetación	Pajonal			
Cobertura vegetal (%)	81			
Especies dominantes	<i>Calamagrostis tarmensis</i>			
Posición topográfica	Pendiente ó ladera convexa			
Paisaje circundante	Colinado			
Pendiente (%)	Empinada (30 a 50 %)			
Pedregosidad superficial (%)	0 a 3 %			
Afloramiento (%)	2 a 15 %			
Profundidad	Muy superficial, menor a 25 cm			
Fuente de agua	Lluvia			
Ganadería				
1	Llamas			
2	Ovinos			
3	Vacunos			
4				
Estrategias				
1	Descanso rotativo			
2	Fertilizacion (abonamiento)			
3	Fertilizacion (majadeo)			
4				
Observaciones	Sí hay posibilidad de sembrar avena forrajera			
Cultivos presentes	Papa amarga			

Transecto	T12	Estado de conservación	Bueno	3			
Altitud (m)	4428	Foto panorámica					
Vegetación	Césped de puna						
Cobertura vegetal (%)	80						
Especies dominantes	<i>Nassella brachyphylla</i>						
Posición topográfica	Pendiente cóncava						
Paisaje circundante	Colinado						
Pendiente (%)	Moderadamente empinada (15 a 30 %)						
Pedregosidad superficial (%)	0 a 3 %						
Afloramiento (%)	2 a 15 %						
Profundidad	Muy superficial, menor a 25 cm						
Fuente de agua	Lluvia						
Ganadería					Foto cercana		
1	Alpacas						
2	Llamas						
3	Ovinos						
4							
Estrategias							
1	Descanso rotativo						
2	Fertilizacion (abonamiento)						
3	Fertilizacion (majadeo)						
4							
Observaciones	Sí hay posibilidad de sembrar avena forrajera						
Cultivos presentes	Papa amarga, cañihua						

Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la subcuenca del río Macusani para la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos

Transecto	T15	Estado de conservación	Regular	2
Altitud (m)	4443	Foto panorámica		
Vegetación	Pajonal			
Cobertura vegetal (%)	86			
Especies dominantes	<i>Calamagrostis tarmensis</i>			
Posición topográfica	Pendiente cóncava			
Paisaje circundante	Ondulado suave			
Pendiente (%)	Moderadamente empinada (15 a 30 %)			
Pedregosidad superficial (%)	3 a 15 %			
Afloramiento (%)	2 a 15 %			
Profundidad	Muy superficial, menor a 25 cm			
Fuente de agua	Lluvia			
Ganadería				
1	Alpacas			
2	Llamas			
3				
4				
Estrategias				
1	Descanso rotativo			
2	Fertilización (majadeo)			
3				
4				
Observaciones	Sí hay posibilidad de sembrar avena forrajera			
Cultivos presentes	Papa amarga, cañihua, avena forrajera			

Transecto	T19	Estado de conservación	Pobre	1
Altitud (m)	4847	Foto panorámica		
Vegetación	Césped de puna			
Cobertura vegetal (%)	55			
Especies dominantes	<i>Werneria pectinata</i>			
Posición topográfica	Cima			
Paisaje circundante	Colinado			
Pendiente (%)	Ligeramente inclinada (2 a 5 %)			
Pedregosidad superficial (%)	0 a 3 %			
Afloramiento (%)	Menor a 2 %			
Profundidad	Muy superficial, menor a 25 cm			
Fuente de agua	Lluvia			
Ganadería				
1	Alpacas			
2	Vicuñas			
3				
4				
Estrategias				
1	Descanso rotativo			
2	Fertilización (abonamiento)			
3	Fertilización (majadeo)			
4				
Observaciones	No se recomienda cultivos			
Cultivos presentes	No			

Anexo n.º 2. Panel fotográfico de la evaluación hídrica en campo



Foto n.º 1. La actividad principal es la ganadería



Foto n.º 2. Río Macusani a la altura del puente Huichisa



Foto n.º 3. Quebrada Ttoja principal tributario del río Macusani



Foto n.º 4. Represamiento de la laguna Chungara a cargo de la empresa privada San Gabán



Foto n.º 5. Represamiento de la laguna Parinajota a cargo de empresa privada San Gabán



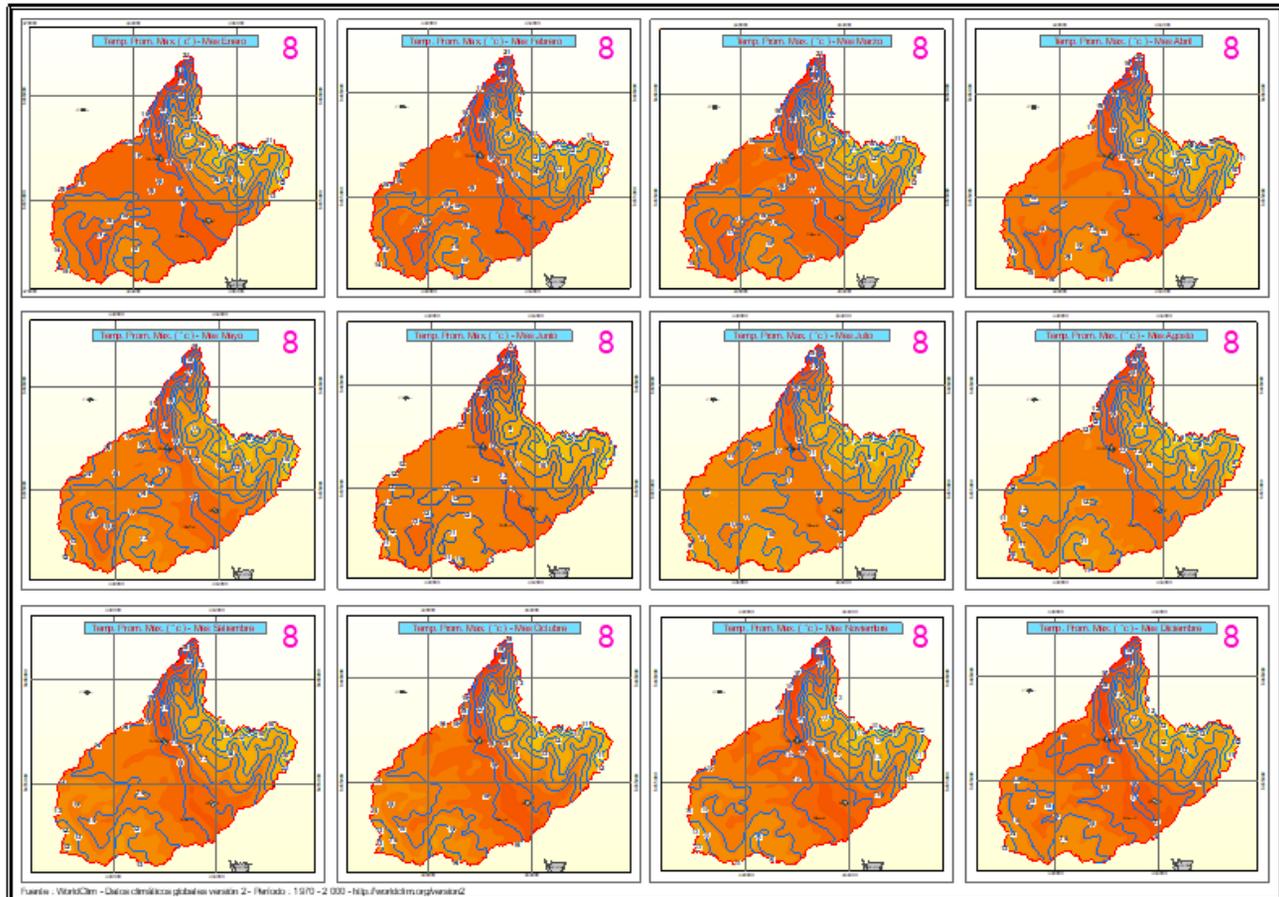
Foto n.º 6. Estructura de la salida de flujo de represamiento de la laguna Parinajota - Empresa privada San Gabán (central hidroeléctrica)

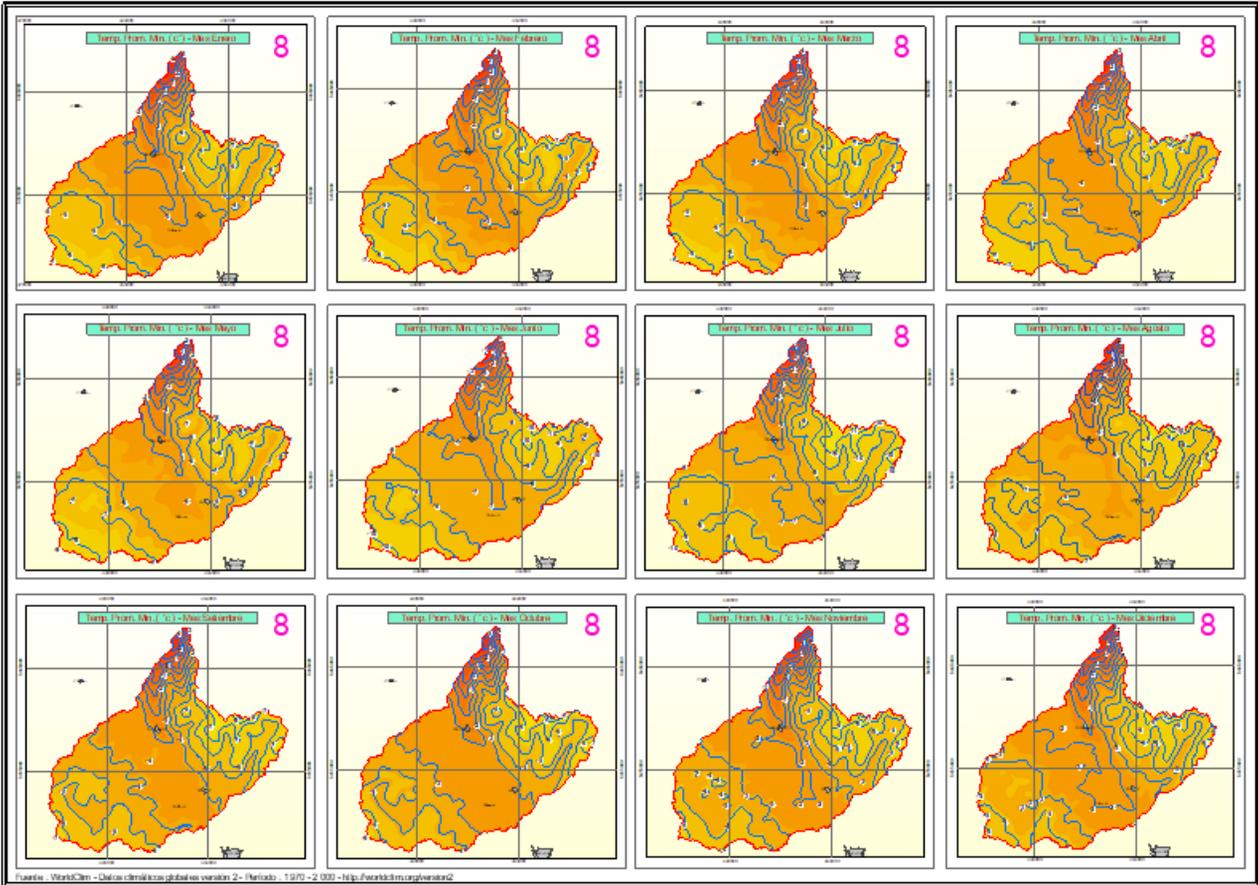


Foto n.º 7. Bocatoma Surapampa – Comunidad Campesina Pacaje



Foto n.º 8. Aforo realizado en el río Macusani





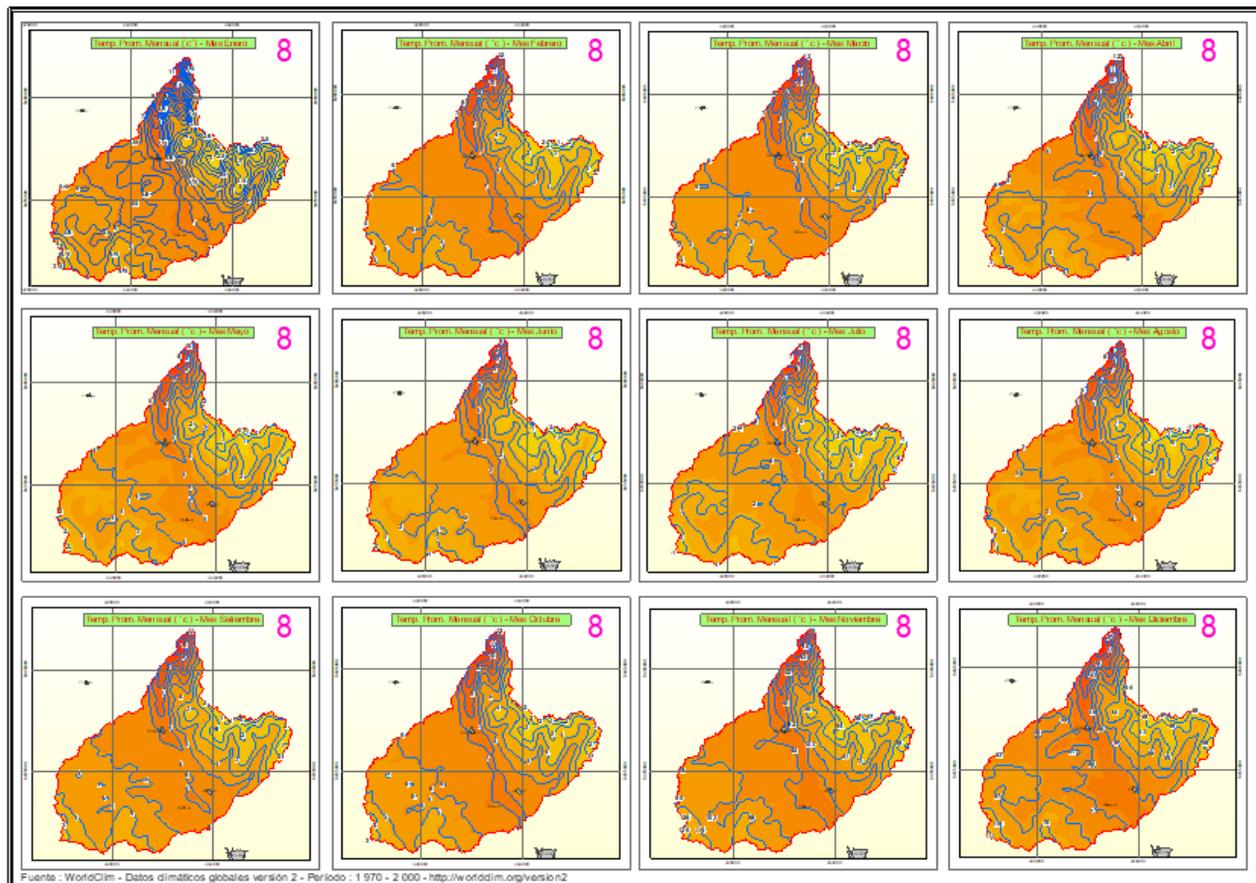




Foto: Michel León / Forest Trends



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

EL PERÚ PRIMERO

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