

# SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA PIURAY Y PROPUESTAS PARA SU RECUPERACIÓN

**UN ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN, SUS EFECTOS  
SOBRE LA REGULACIÓN HÍDRICA Y EXPERIENCIAS  
DE REHABILITACIÓN Y CONSERVACIÓN**



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



**INAIGEM**

INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE  
REGULACIÓN HÍDRICA  
EN LA CUENCA PIURAY  
Y PROPUESTAS PARA SU RECUPERACIÓN

---

**UN ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN, SUS EFECTOS  
SOBRE LA REGULACIÓN HÍDRICA Y EXPERIENCIAS  
DE REHABILITACIÓN Y CONSERVACIÓN**



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



## **SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA PIURAY Y PROPUESTAS PARA SU RECUPERACIÓN**

Un análisis de la degradación, sus efectos sobre la regulación hídrica y experiencias de rehabilitación y conservación

### **Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM)**

- Avenida Centenario 2656, Sector Palmira, Independencia, Huaraz, Áncash
- Avenida Industrial manzana N lote 1, Urbanización Residencial Huancaro, Santiago, Cusco

Autores: Ángela María Mendoza Ato, Renny Daniel Díaz Aguilar, Wilfredo Chávez Huamán, Patricia Magaly Barros Pozo, Geydi Geraldine Choquehuayta Alccamari, Nayda Liz García Mallma, Joshua Jonatan Castro Camacho, Efraín Lujano Laura, Víctor Bustínza Urviola.

Fotografías: Renny Daniel Díaz Aguilar, Carlos Alberto Lazo Oscanoa, Joshua Jonatan Castro Camacho, Nayda Liz García Mallma, Angela María Mendoza Ato, Víctor Bustinza, Cristian Gimi Mamani Ramos

Foto de portada: Renny Daniel Díaz Aguilar

Diseño, diagramación e infografías: Mozaiku SAC - Angélica Mori Tamashiro, José Carlos Malásquez Flores

Está permitida la reproducción total o parcial de este documento, siempre que se cite de la siguiente manera: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. (2024). Servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca Piuray y propuestas para su recuperación: Un análisis de la degradación, sus efectos sobre la regulación hídrica y experiencias de rehabilitación y conservación

Se terminó de imprimir en: Tarea Asociación Gráfica Educativa  
Psje. María Auxiliadora 156-164, Breña

Tiraje: 1000 ejemplares

Primera edición, diciembre 2024

Depósito legal: N° 2024-13597

ISBN: 978-612-48999-6-6

Impreso en el Perú

[www.inaigem.gob.pe](http://www.inaigem.gob.pe)



Foto: Renny Díaz

# CONTENIDO

Presentación .....	9
Introducción .....	10

## CAPÍTULO I

### LA CUENCA PIURAY Y EL ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN.....12

1. Características del medio físico.....	16
1.1 Clima .....	16
1.2 Agua.....	19
1.3 Suelo .....	22
2. Características del medio biológico.....	25
2.1 Ecosistemas .....	25
2.2 Cobertura vegetal .....	27
2.3 Flora y aves .....	29
3. Características del medio social.....	31
3.1 Aspectos sociales .....	31
3.2 Aspectos culturales.....	35
3.3 Aspectos económicos.....	37

## CAPÍTULO II

### DEGRADACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS Y LOS SERVICIOS DE REGULACIÓN HÍDRICA.....38

1. Degradación en la cabecera de cuenca Piuray .....	43
1.1 Identificación de zonas degradadas.....	47
2. Efecto de la degradación en el servicio ecosistémico de regulación hídrica de la cuenca Piuray .....	51
2.1 Análisis de los cambios de cobertura vegetal en las quebradas priorizadas .....	52
2.2 Caracterización del servicio de regulación hídrica en las quebradas priorizadas .....	54
2.2.1 Evapotranspiración.....	55
2.2.2 Percolación.....	56
2.2.3 Agua subterránea.....	58
2.2.4 Escorrentía.....	59
2.3 Efecto de la degradación en la regulación hídrica .....	60
3. La degradación desde la percepción local .....	63

## CAPÍTULO III

### PROPUESTA DE RECUPERACIÓN DEL SERVICIO ECOSITÉMICO DE REGULACIÓN HÍDRICA.68

1. Modelo conceptual de rehabilitación .....	71
2. Investigación e intervención en rehabilitación de ecosistemas.....	73
2.1 Selección de sitios para implementar parcelas experimentales.....	73
2.2 Diseño de parcelas experimentales .....	76
2.2.1 Parcela experimental de 20 m x 8 m.....	77
2.2.2 Parcela experimental de 105 m x 90 m .....	80
3. Monitoreo ecohidrológico y gestión adaptativa.....	82
3.1 Gestión adaptativa.....	83
3.2 Variables de monitoreo.....	84
3.3 Resultados preliminares sobre los ensayos de revegetación.....	85
3.3.1 Supervivencia de la <i>Festuca dolichophylla</i> en seis parcelas de 20 m x 8 m.....	85
3.3.2 Sobre la reestructuración de las parcelas P01 y P03 y la dinámica hídrica .....	87
4. Prácticas locales en infraestructura natural basado en el conocimiento ecológico local.....	90
4.1 Conocimiento ecológico con respecto a la infiltración y recarga hídrica.....	90
4.2 Conocimiento sobre el ecosistema Pajonal de Puna Húmeda.....	91
4.3 Conocimiento sobre prácticas locales para la recuperación de funciones hídricas .....	92
5. Acciones para la conservación .....	94
5.1 Guía ecoturística rutas ecosistémicas asociadas al agua.....	94
5.2 Guía de aves de la cuenca Piuray.....	95
Consideraciones finales .....	96
Glosario.....	98
Siglas y acrónimos.....	100
Bibliografía .....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aspectos físico, sociales y biológicos de la cuenca Piuray . . . . .	12	Figura 20 Superficie de áreas degradadas (ha) en la cabecera de la cuenca Piuray . . . . .	49	Figura 35 Causas de degradación de ecosistemas de pastizales según adultos mayores en la Comunidad Indígena de Umasbamba . . . . .	65	Figura 49 Variación de volumen acumulado de los esquejes translocados (cm <sup>3</sup> ) en la parcela P01 . . . . .	89
Figura 2 Ubicación de la cuenca Piuray. . . . .	14	Figura 21 Índice de precipitación Estandarizado para escalas de tiempo de 12 meses (SPI 12) y 24 meses (SPI 24) en la cuenca Piuray. . . . .	51	Figura 36 Causas de degradación de ecosistemas de pastizales según la población adulta de la Comunidad Indígena de Umasbamba . . . . .	66	Figura 50 Especies resistentes a eventos extremos, con mayor consenso entre la población. . . . .	91
Figura 3 Mapa de precipitación media anual en la cuenca Piuray . . . . .	16	Figura 22 Flujograma para análisis de respuesta hidrológica a cambios de la cobertura . . . . .	52	Figura 37 Percepción sobre las causas principales de degradación de pastizales en la Comunidad Indígena de Umasbamba . . . . .	67	Figura 51 Especies que apoyan a componentes del ecosistema . . . . .	92
Figura 4 Variación espacial de la precipitación según estaciones del año . . . . .	17	Figura 23 Variación multitemporal de la cobertura vegetal por zonas de análisis. . . . .	53	Figura 38 Modelo de rehabilitación de ecosistemas en la cuenca Piuray . . . . .	68	Figura 52 Línea de tiempo de las prácticas de adaptación sobre la infraestructura natural . . . . .	93
Figura 5 Mapa de temperatura máxima y mínima media anual en la cuenca Piuray. . . . .	18	Figura 24 Coeficientes de correlación para las variables del modelo SWAT a escala de la cuenca Piuray. . . . .	54	Figura 39 Modelo conceptual de investigación e intervención para la rehabilitación de los ecosistemas en la cuenca Piuray . . . . .	71		
Figura 6 Variación espacial de la temperatura máxima media según estaciones del año . . . . .	18	Figura 25 Comportamiento anual de la evapotranspiración por zonas de análisis. . . . .	55	Figura 40 Metodología para determinar sitios de implementación de parcelas experimentales . . . . .	73		
Figura 7 Variación espacial de la temperatura mínima media según estaciones del año . . . . .	19	Figura 26 Comportamiento anual de evapotranspiración en época de avenidas y estiaje por zona de análisis . . . . .	56	Figura 41 Diseño de los dos tipos de parcelas experimentales de investigación instaladas en la quebrada Umasbamba . . . . .	76		
Figura 8 Delimitación de la zona de cabecera de la cuenca Piuray . . . . .	20	Figura 27 Comportamiento anual de percolación por zona de análisis. . . . .	56	Figura 42 Propuesta inicial de las parcelas experimentales de 20 m x 8 m . . . . .	77		
Figura 9 Balance hídrico anual de la cuenca Piuray mediante el modelamiento hidrológico SWAT . . . . .	21	Figura 28 Comportamiento anual de percolación en época de avenidas y estiaje por zona de análisis . . . . .	57	Figura 43 Diseño de las subparcelas de las parcelas experimentales de 20 m x 8 m . . . . .	78		
Figura 10 Cobertura vegetal de la cuenca Piuray al 2021 . . . . .	27	Figura 29 Comportamiento anual de agua subterránea por zona de análisis . . . . .	58	Figura 44 Proceso de traslocación de esquejes de <i>Festuca dolichophylla</i> para el T5 inicial, cuyo fin es aumentar la cobertura vegetal de las parcelas de 20 m x 8 m . . . . .	80		
Figura 11 Comunidades campesinas en la cuenca Piuray . . . . .	32	Figura 30 Comportamiento anual de agua subterránea en época de avenidas y estiaje por zona de análisis. . . . .	58	Figura 45 Esquema conceptual de gestión adaptativa para la rehabilitación de ecosistemas en la cuenca Piuray . . . . .	83		
Figura 12 Organización de la directiva comunal de Umasbamba . . . . .	33	Figura 31 Comportamiento anual de escorrentía por quebradas de análisis . . . . .	59	Figura 46 Resultados de la evaluación de los esquejes traslocados. . . . .	86		
Figura 13 Efecto de la degradación sobre la regulación hídrica . . . . .	38	Figura 32 Comportamiento anual de escorrentía en época de avenidas y estiaje . . . . .	59	Figura 47 Porcentaje de mortalidad de los esquejes traslocados en la parcela P01 de 20 m x 8 m . . . . .	88		
Figura 14 Cambios proyectados en la precipitación y temperatura - escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. . . . .	41	Figura 33 Coeficientes de correlación de las variables del modelo SWAT en las quebradas priorizadas . . . . .	62	Figura 48 Volumen acumulado de los esquejes translocados (cm <sup>3</sup> ) en la parcela P01 del 20 m x 8 m. . . . .	89		
Figura 15 Esquema conceptual del proceso de degradación de ecosistemas . . . . .	43	Figura 34 Secuencia temporal de los cambios percibidos por la población de la Comunidad Indígena de Umasbamba en los últimos 50 años . . . . .	64				
Figura 16 Cambios por unidad de cobertura vegetal: Análisis de ganancias, pérdidas y cambio neto (1984 – 2020) . . . . .	44						
Figura 17 Dinámica de cambio de la vegetación: análisis temporal 1984 - 2020 . . . . .	45						
Figura 18 Erosión en la cabecera de la cuenca Piuray para el periodo 1984 – 2020. . . . .	47						
Figura 19 Zonas degradadas de la cabecera de la cuenca Piuray . . . . .	48						

## PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) adscrita al Ministerio del Ambiente (MINAM), es el ente rector en investigación científica en glaciares y ecosistemas de montaña y busca promover la gestión sostenible de estos ecosistemas para favorecer a las poblaciones que viven en o se benefician de ellos. La Oficina Desconcentrada Macro Región Sur (ODMRS) del INAIGEM, tiene como uno de sus ámbitos estratégicos de investigaciones a la cuenca Piuray, localizada en el departamento de Cusco cuyo objetivo principal es generar información para la rehabilitación de ecosistemas de montaña en cuencas pequeñas y estratégicas para la seguridad hídrica.

Con el fin de contribuir al logro de este objetivo, entre el 2019 y 2024, la ODMRS ha desarrollado sus investigaciones en distintas disciplinas científicas en la cuenca Piuray, que incluyen la caracterización de ecosistemas de montaña, evaluación de la degradación de ecosistemas, percepción local, el conocimiento ecológico local, y propuestas de recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica (rehabilitación) en beneficio de la población local, estudios que se resumen en este compendio.

La cuenca Piuray destaca por su relevancia en la provisión de agua a las poblaciones locales y a la ciudad del Cusco. Este libro no solo documenta las características del medio físico, biológico y social, sino también los procesos de degradación ambiental y sus impactos sobre los servicios ecosistémicos, particularmente la regulación hídrica. Además, incluyen propuestas innovadoras para la rehabilitación y conservación de estos servicios, basadas en el conocimiento científico y en el saber ecológico local.

El Capítulo I describe el entorno físico y biológico de la cuenca, incluyendo el clima, los ecosistemas, la flora y fauna, así como también describe los aspectos sociales, culturales y económicos de las comunidades locales. Esta visión integral ofrece un contexto completo para comprender las dinámicas ecológicas y sociales que afectan la cuenca.

En el Capítulo II, se profundiza en los factores que impulsan la degradación de los servicios ecosistémicos, como el cambio en la cobertura vegetal y la erosión del suelo. Se analiza el impacto de estos cambios en la disponibilidad hídrica, así como la percepción local sobre los procesos de degradación.

Por último, el Capítulo III presentan modelos conceptuales y acciones de intervención para recuperar los servicios ecosistémicos de la cuenca. Se detallan experimentos locales a través de la implementación de parcelas para el monitoreo con un enfoque de gestión adaptativa. También, destaca el papel del conocimiento ecológico local en la recuperación de las funciones hídricas y la conservación de la biodiversidad, así como la publicación de guías: Rutas Ecoturísticas Ecosistémicas Asociadas al Agua, y Guía de Aves de la cuenca Piuray, como instrumentos que promueven directamente la conservación de ecosistemas.

Este libro es una contribución al estudio y la protección de los ecosistemas de montaña, que busca orientar acciones concretas y responsables en favor del medio ambiente. Además, es el resultado de una colaboración estrecha entre científicos del INAIGEM y las comunidades locales, logrando generar un entendimiento más profundo sobre los retos y oportunidades en la gestión de la cuenca Piuray.

Las propuestas incluidas buscan servir como modelo para la rehabilitación de otras cuencas altoandinas. Por lo que INAIGEM invita a investigadores, académicos, gestores ambientales, tomadores de decisiones y al público en general a explorar estas páginas, que contienen tanto información técnica como soluciones prácticas para fomentar la conservación y rehabilitación de ecosistemas de montaña, protegiendo los recursos hídricos esenciales para las generaciones presentes y futuras.



**Fotografía 1**

EQUIPO DE INAIGEM REALIZANDO TRABAJOS EN LA CUENCA PIURAY

Foto: Renny Díaz

## INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos de regulación hídrica constituyen el enlace más importante entre la naturaleza y el bienestar humano. Si la vegetación y el suelo de un ecosistema se encuentran en buenas condiciones se reduce la escorrentía, se incrementa la recarga de los acuíferos y se proporciona agua a las poblaciones humanas en el periodo de ausencia de lluvias mediante los manantiales, ríos y lagunas.

Sin embargo, este delicado mecanismo actualmente se ve fuertemente afectado por los cambios en los patrones de precipitación producto del calentamiento global, así como por la presión de las actividades humanas, sobre la vegetación y el suelo. Estas presiones generan degradación de los ecosistemas y repercuten directamente sobre la disponibilidad de agua.

Bajo los actuales escenarios de degradación y los cambios en los patrones de precipitación, impulsados por el cambio climático, la cuenca Piuray, fuente de agua potable para un tercio de la población de la ciudad del Cusco, se encuentra cada vez en mayor riesgo de desabastecimiento. Por ello, adaptarse a este nuevo escenario es prioritario, logrando la recuperación de sus servicios ecosistémicos, devolviéndole las características funcionales a través de acciones de manejo y conservación de sus componentes bióticos y abióticos, como son la vegetación, el suelo y el agua.

La cuenca Piuray representa un importante centro de investigación científica para estudiar los flujos de agua y estrategias innovadoras de rehabilitación y conservación. Por ello, es crucial que los tomadores de decisiones y gestores de proyectos comprendan la importancia de esta cuenca y del trabajo colaborativo con las comunidades locales, para implementar políticas y acciones que garanticen la sostenibilidad de este valioso ecosistema para el bienestar de las poblaciones que dependen de él.

El INAIGEM como institución referente en la investigación de los ecosistemas de montaña, aporta a esta tarea generando conocimiento a través de múltiples investigaciones en la cuenca Piuray (ver Fotografía 1). A partir de la información generada, se establecen las estrategias para la recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica, que provee de criterios al Gobierno Regional o Gobiernos Locales para la implementación de acciones de recuperación más efectivas en la cuenca, a través de proyectos de inversión u otras alternativas de intervención.

El presente documento surge de la sistematización y análisis integrado de más de cinco años de investigación en la cuenca Piuray realizada por el INAIGEM (ver Fotografía 2). A partir de la información generada, se tiene caracterizada la cuenca Piuray, así como se ha identificado las zonas de degradación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica y los cambios en la cobertura vegetal, para finalmente establecer acciones de rehabilitación de sus ecosistemas.

El objetivo principal de esta publicación es presentar los resultados de las investigaciones realizadas en rehabilitación de ecosistemas degradados para la recuperación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica en el ámbito de la cuenca Piuray. Para lo cual, se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Presentar la caracterización del medio físico, biológico y social de la cuenca Piuray.
- Analizar la degradación, los cambios de cobertura vegetal y su impacto en los servicios ecosistémicos de regulación hídrica, bajo la mirada de diferentes disciplinas científicas.
- Describir el modelo de rehabilitación propuesto para la cuenca Piuray, basado en experiencias locales del INAIGEM en rehabilitación y conservación de ecosistemas.

**Fotografía 2**  
TRABAJOS DE CAMPO  
EN PARCELAS DE  
INVESTIGACIÓN



La propuesta de rehabilitación se establece a través de un modelo conceptual, que incluye el monitoreo ecohidrológico de intervenciones multiescala, con un enfoque de gestión adaptativa, y que involucra a la población beneficiaria mediante la investigación-acción participativa. Esta última aproximación se ha ido aplicando en las investigaciones sociales ejecutadas en la Comunidad Indígena de Umasbamba.

Este modelo combina la investigación científica con el conocimiento local y aborda de manera efectiva los desafíos relacionados con la degradación de los ecosistemas y la disminución de la disponibilidad hídrica en la cuenca Piuray. Al proponer soluciones basadas en evidencia y adaptadas al contexto local, se espera contribuir a la rehabilitación y conservación de los ecosistemas vitales para las comunidades que dependen de ellos.

La información sintetizada del presente documento se ha elaborado a partir de los resultados de investigaciones realizadas por INAIGEM en la cuenca Piuray entre los años 2019 y 2024.

## CAPÍTULO I

# LA CUENCA PIURAY Y EL ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN

**Figura 1**  
ASPECTOS FÍSICO, SOCIALES Y BIOLÓGICOS DE LA CUENCA PIURAY

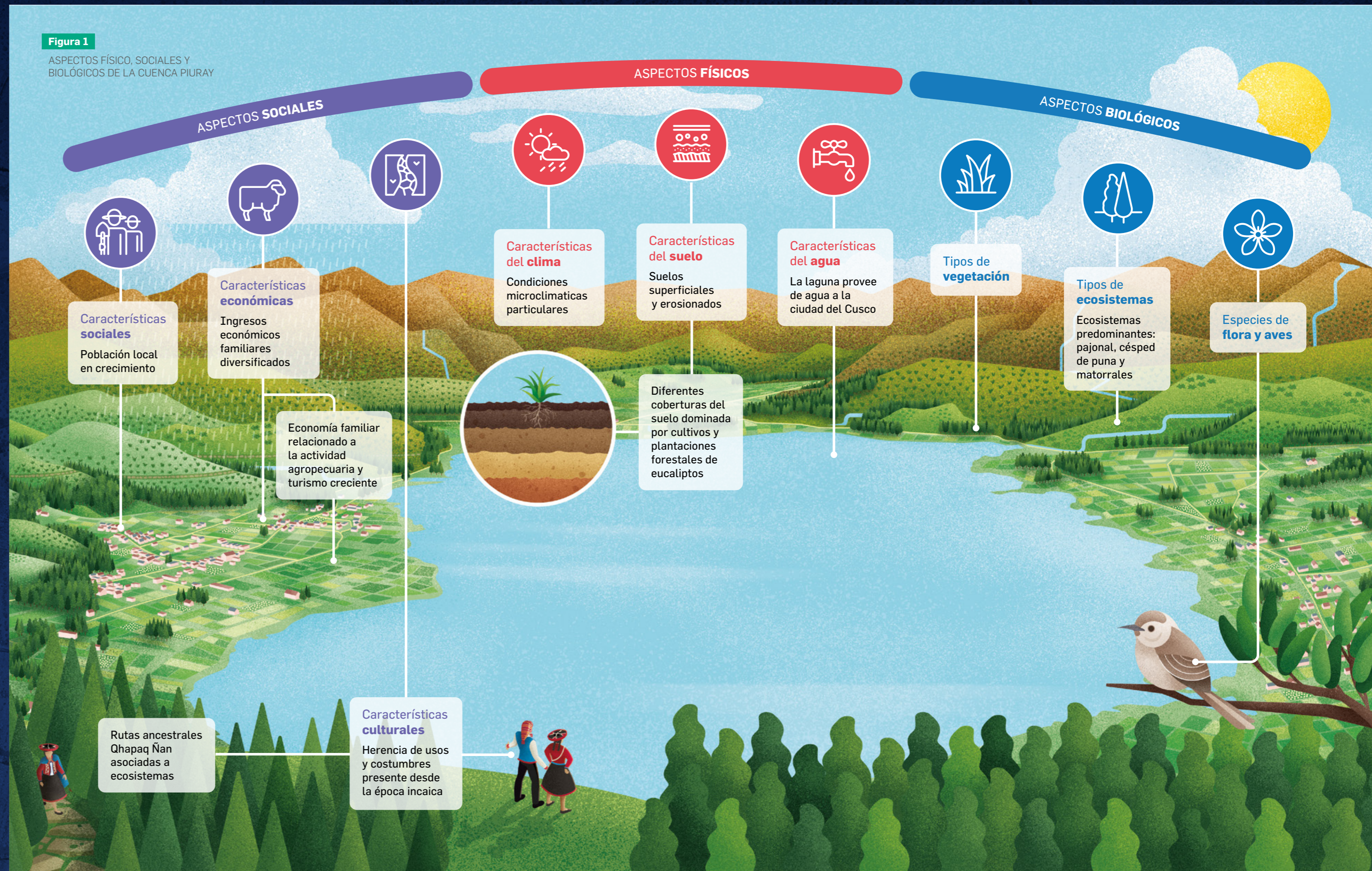
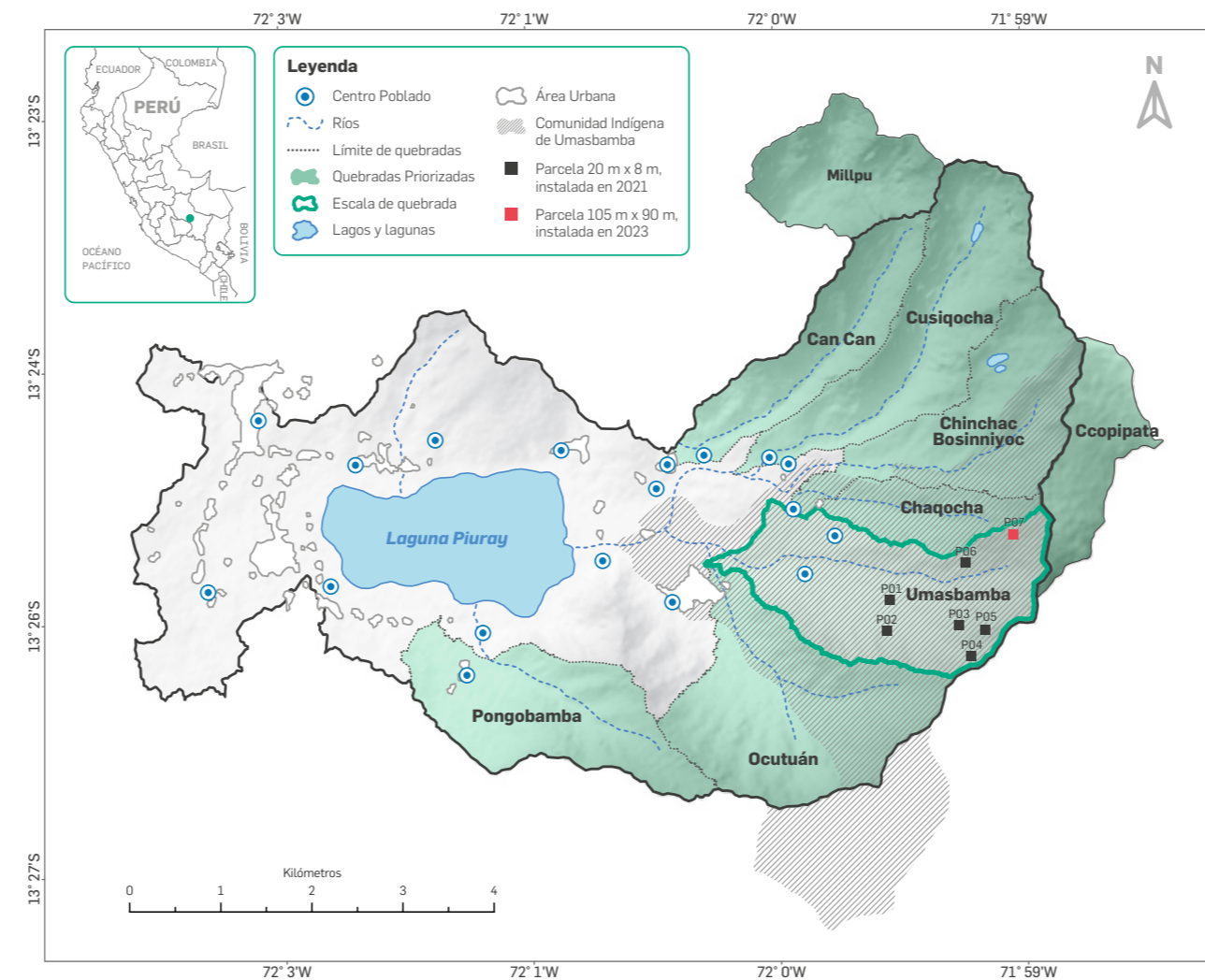




Foto: Renny Díaz

La cuenca Piuray es un sistema conformado principalmente por la laguna del mismo nombre y varias quebradas contribuyentes a la laguna. Se localiza políticamente en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, región Cusco (ver Figura 2). Geográficamente, se ubica entre las coordenadas 13° 25' 10" latitud sur y 72° 01' 01" longitud oeste (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013).

**Figura 2**  
UBICACIÓN DE LA CUENCA PIURAY



Fuente: Elaboración propia

La cuenca cuenta con una extensión de 46.39 km<sup>2</sup> y un perímetro de 39.82 km con altitudes que oscilan entre los 3 575 y los 4 550 m s.n.m. El cuerpo de agua más importante es la laguna Piuray ubicada a una altitud aproximada de 3 700 m s.n.m. (ver Fotografía 3). Las quebradas y manantiales de las partes altas de su cuenca alimentan a la laguna, y a partir de ella nace el río Ccorimarca, que recibe durante su recorrido aportes de otras unidades hidrográficas hasta desembocar en el río Cachimayo (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013).

Las investigaciones realizadas, por INAIGEM, en esta cuenca se enfoca principalmente en las zonas de cabecera de cuenca (ver Figura 2), es decir donde se originan los cursos de agua que alimentan a la laguna Piuray, siendo la quebrada Umasbamba la más investigada dentro de este ámbito de intervención.

**Fotografía 3**  
VISTA PANORÁMICA DE LA CUENCA PIURAY



Foto: Renny Díaz

Cabe señalar la cuenca Piuray Ccorimarca incluye a las quebradas Ccoopipata y Millpu. Estas son zonas de cabecera de cuenca, hidrológicamente no alimentan a la cuenca pero en términos territoriales y políticos se han incluyen en la gestión. En el presente estudio, algunos análisis se realizan incluyendo a estas quebradas indistintamente.

Las condiciones climáticas, topográficas, entre otras, han condicionado los hábitats y ecosistemas de la cuenca Piuray, predominando los pajonales y matorrales. Estos ecosistemas son el sustento de las comunidades campesinas y pueblos originarios de la zona, quienes dependen de los recursos naturales, siendo la agricultura y la ganadería sus principales actividades económicas.

La calidad de vida de la población de la ciudad del Cusco también depende de esta cuenca pues, después del Vilcanota, es la segunda fuente que provee mayor cantidad de agua para el abastecimiento de agua potable. De acuerdo a la Empresa Prestadora de Servicios (EPS) SEDACUSCO (2022), en el año 2021, aportó un 37.7 % del total de la producción de agua potable con un volumen de 9 033 450 m<sup>3</sup>.

Esta cuenca enfrenta grandes desafíos como el cambio climático, la globalización y la creciente demanda de recursos. Por ello, se hace necesario abordar estos desafíos de manera integral, considerando tanto los aspectos físicos (abióticos) y biológicos (bióticos), como los aspectos sociales para contribuir hacia el desarrollo sostenible del Perú.

Hay que recordar que los ecosistemas dependen de la interacción entre estos aspectos (ver Figura 1). Las características físicas y biológicas condicionan los medios y formas de vida de la sociedad humana, mientras que esta última, a su vez, origina un impacto en las características abióticas y bióticas de su entorno.

Por tanto, caracterizar estos aspectos de la cuenca Piuray es esencial para las investigaciones del INAIGEM ya que condicionan los servicios ecosistémicos de los ecosistemas de montaña y brinda información relevante para proponer estrategias de recuperación.

# 1. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

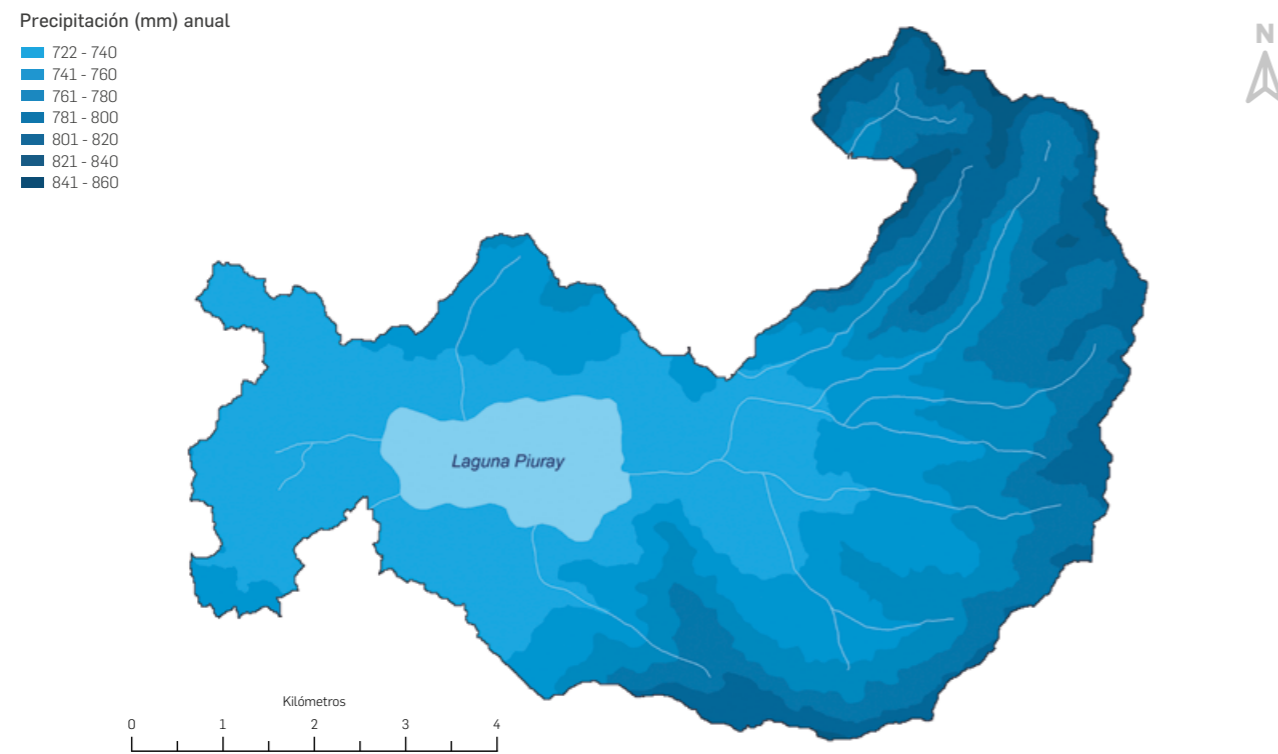
La descripción del medio físico comprende a aquellos componentes del ambiente que se caracterizan por ser inertes pero que condicionan la presencia de los seres vivos. Entre estos se tiene al clima, agua y suelo. Cabe señalar que, si bien existen otros componentes que describen los aspectos físicos de un lugar, a continuación, se desarrollan estos tres componentes por presentar información para la cuenca Piuray y/o específicamente para la microcuenca de la quebrada Umasbamba, zona de cabecera aportante de Piuray.

## 1.1 Clima

El mapa climático del Perú (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2021), identifica que la cuenca Piuray presenta un clima lluvioso con deficiencia de humedad en otoño e invierno frío B (o , i) C'. Está influenciado por la cordillera Oriental de los Andes, que impide el paso de la humedad que proviene de la Amazonía.

De acuerdo a la caracterización climática espacial y temporal, realizada a una escala de trabajo de 12.5 m x 12.5 m en la cuenca Piuray, se tuvieron series temporales de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para el periodo 1961 al 1990. La precipitación promedio anual varía en un rango de 722 mm a 860 mm (ver Figura 3). Los valores más altos se presentan en la parte alta de la cuenca, en las cabeceras de cuenca, siendo visible un gradiente de oeste a este, de menor a mayor precipitación.

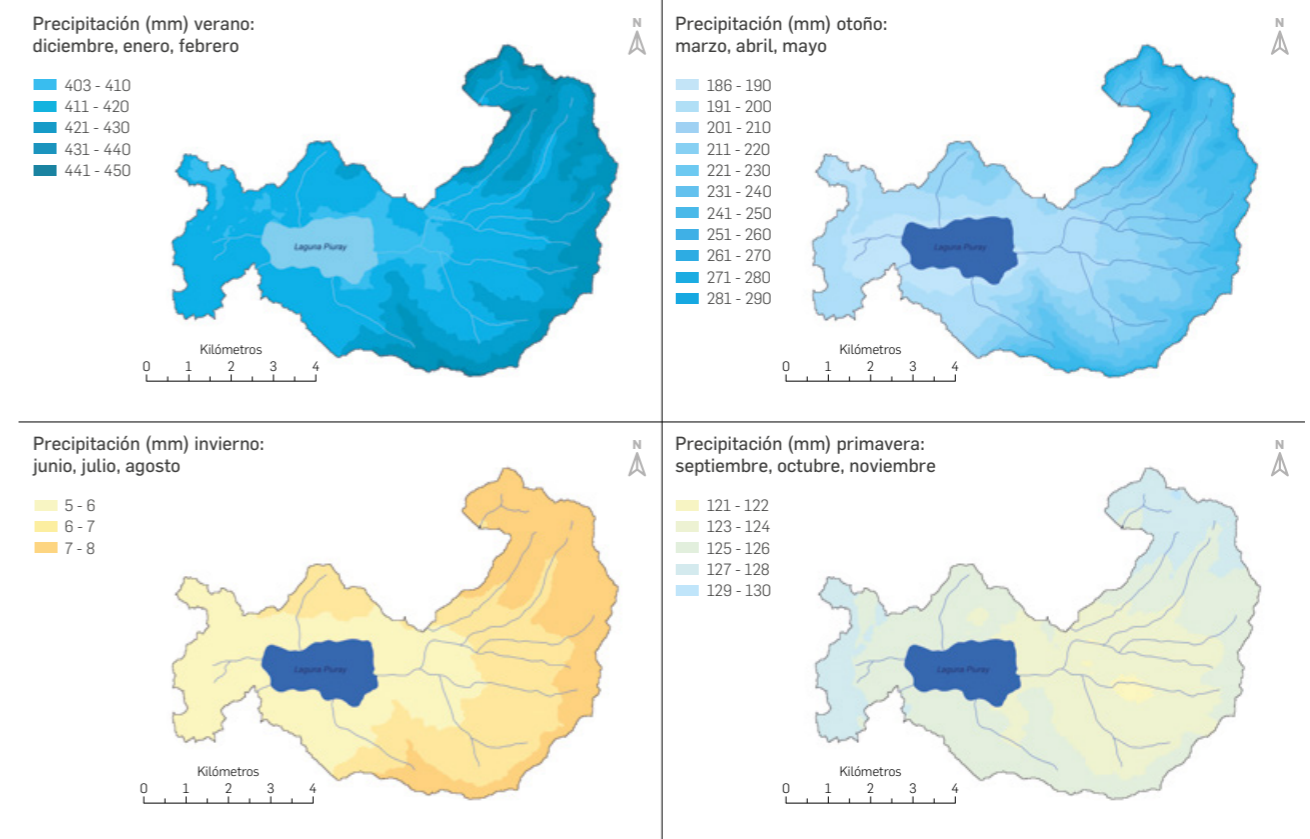
**Figura 3**  
MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL EN LA CUENCA PIURAY



Fuente: Elaboración propia

Los meses de verano son los más lluviosos concentrando el 54 % de la precipitación anual, en un rango de precipitación acumulada promedio que va de 403 mm hasta 450 mm entre diciembre y febrero. En los meses de otoño, de marzo a mayo, la precipitación acumulada promedio disminuye entre los 186 mm a 290 mm anuales. En invierno, durante junio y agosto, se presentan los valores más bajos con un rango de 5 mm a 8 mm. Los meses siguientes de setiembre a noviembre, en primavera, la precipitación acumulada promedio se incrementa oscilando entre 121 mm y 130 mm. En todas las estaciones del año, la cabecera de cuenca presenta una mayor precipitación acumulada promedio que la parte baja, tal como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4**  
VARIACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN SEGÚN ESTACIONES DEL AÑO

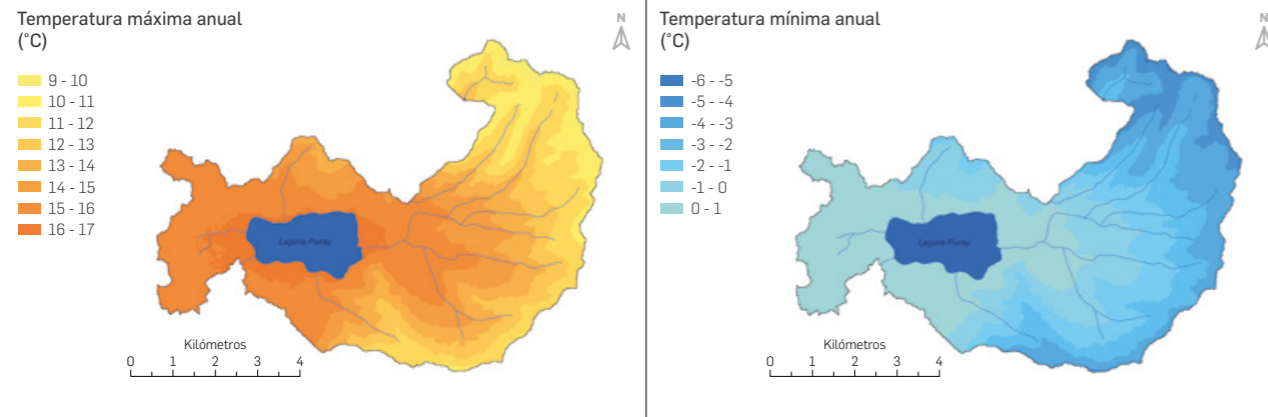


Fuente: Elaboración propia

Se caracterizó la temperatura media anual en la cuenca Piuray, para un periodo de análisis de 1984 a 2020. Espacialmente, las temperaturas más altas se encuentran en los alrededores de la laguna Piuray descendiendo conforme se aproxima a la zona de cabecera de cuenca. El valor medio anual de la cuenca es de 13.7°C, evidenciándose una tendencia al aumento durante los últimos años del periodo analizado.

La temperatura máxima media anual oscila en el rango de los 9 °C a 17 °C, mientras que la mínima varía entre -6 °C a 1 °C. Se observa, además, que la cabecera de la cuenca tiene los valores más bajos de la temperatura máxima anual y de la temperatura mínima anual (ver Figura 5), similar a la temperatura media anual.

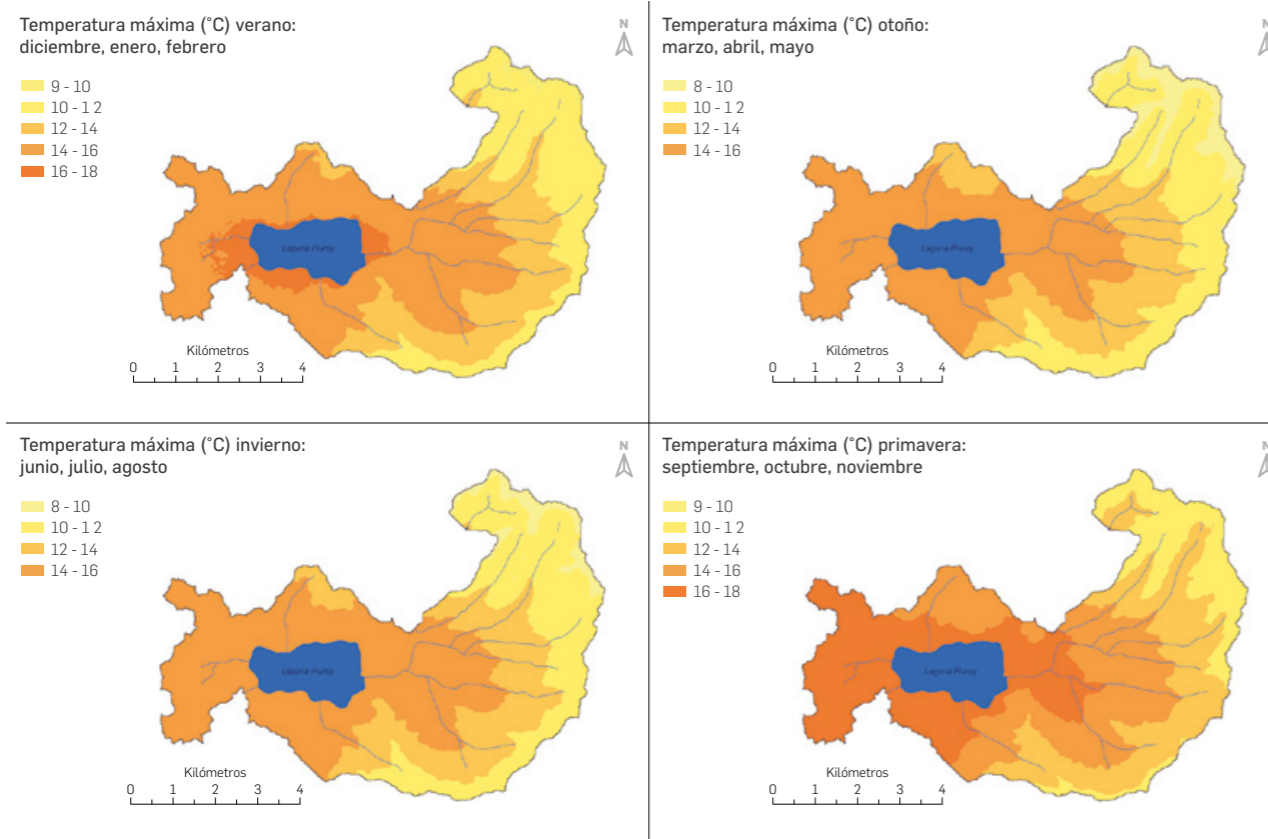
**Figura 5.**  
MAPA DE TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA MEDIA ANUAL EN LA CUENCA PIURAY



Fuente: Elaboración propia

Durante la primavera, de setiembre a noviembre, se presentan las temperaturas más cálidas, con máximas promedios que varían entre 9 °C y 18 °C. Si bien los meses de diciembre, enero y febrero tienen los mismos rangos de temperatura, en la mayor parte de la cuenca en verano predominan valores entre los 10 °C a 14 °C, mientras que en primavera se tiene más zonas con temperaturas máximas en el rango de 14 °C a 18 °C (ver Figura 6). En otoño e invierno, la temperatura máxima media alcanza sus valores más bajos del año, con rangos y distribución espacial similar entre 9 °C a 16 °C, donde las temperaturas más bajas se localizan en las zonas de cabeceras incrementándose conforme se aproximan a la laguna Piuray.

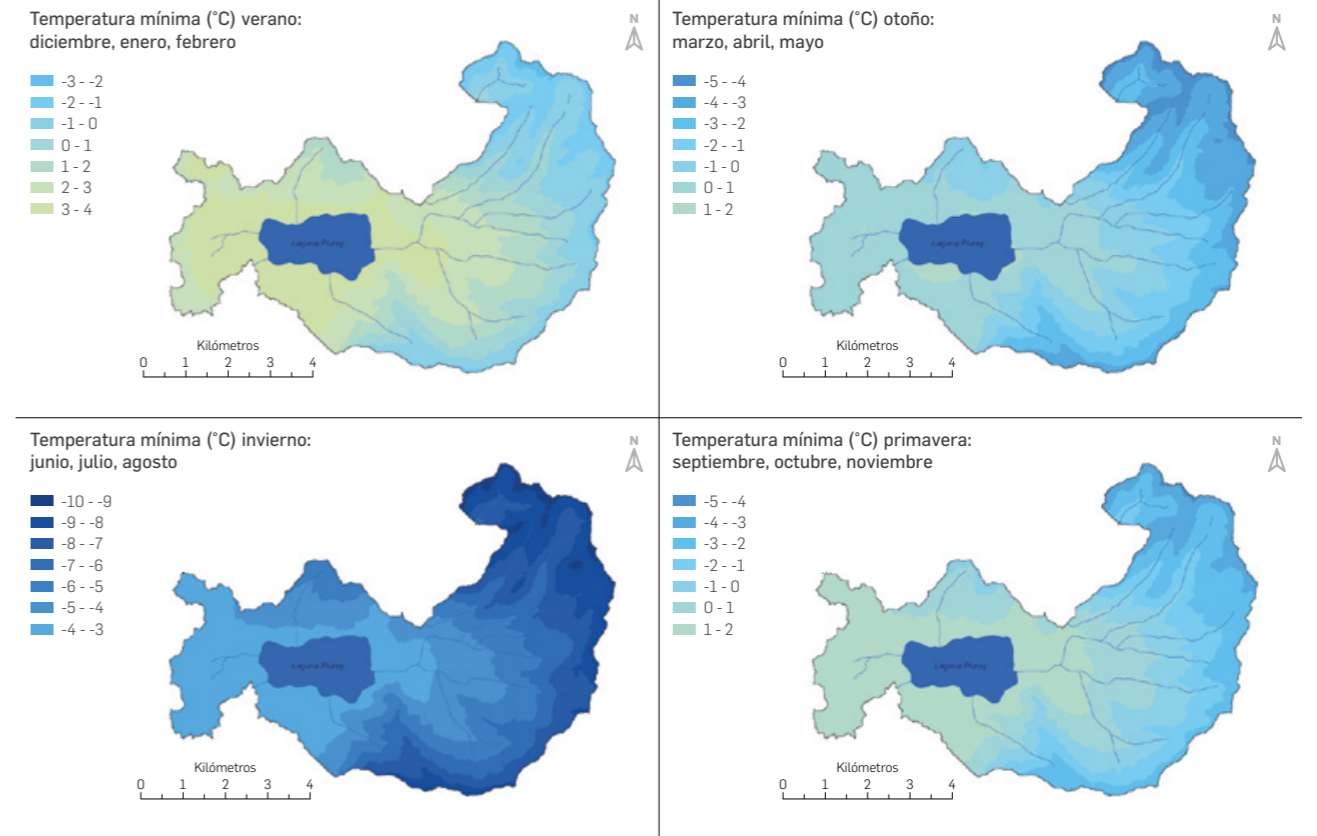
**Figura 6.**  
VARIACIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA SEGÚN ESTACIONES DEL AÑO



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la temperatura mínima, en los meses de invierno se presentan las temperaturas más bajas del año con valores que varían entre -10 °C a -3 °C. En primavera, estos valores se incrementan abarcando un rango que va desde -5 °C a 2 °C. Posteriormente en verano, la temperatura mínima alcanza sus mayores valores, siendo los meses con menos frío, en un rango que va de -3 °C a 4 °C. Finalmente, durante marzo a mayo, es decir otoño, la temperatura mínima descende con un rango y distribución muy similar a la primavera (ver Figura 7).

**Figura 7.**  
VARIACIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA SEGÚN ESTACIONES DEL AÑO



Fuente: Elaboración propia

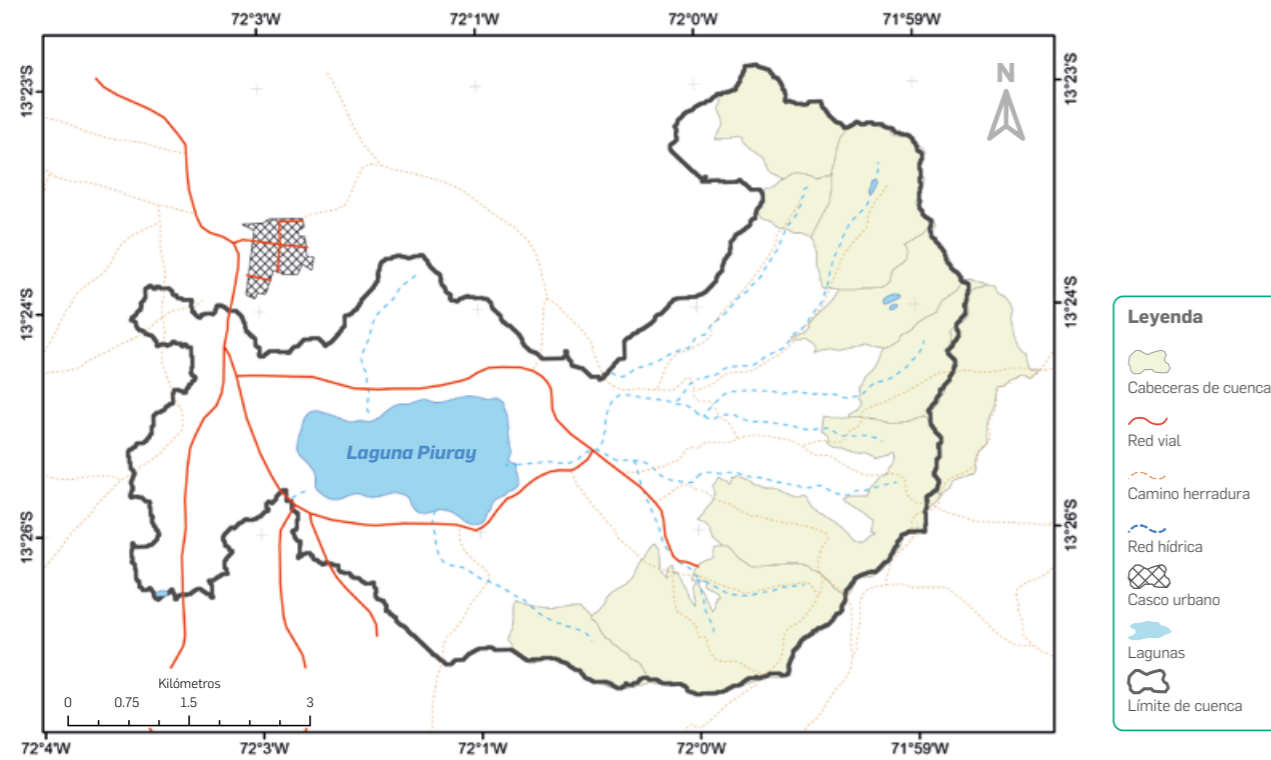
## 1.2 Agua

La cuenca Piuray es parte de la cuenca del río Vilcanota-Urubamba que pertenece a la región hidrográfica del Amazonas, por lo que sus aguas terminan desembocando al océano Atlántico. Se localiza en la parte alta del río Ccorimarca, que nace en las cabeceras de la laguna Piuray a más de 4 000 m s.n.m., en las alturas de las quebradas Oscollo-Canchahuaycco, Cusiuhaycco, T'incocmayo, Concacha Punta y Hatunmayo (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013).

Según el Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala (2013), las principales fuentes hídricas de la cuenca Piuray son los manantiales, lagunas, quebradas y ríos, alimentados por la precipitación estacional y la infiltración proveniente de la cabecera de la cuenca.

La zona alta de la cuenca Piuray, es decir la cabecera de cuenca, comprende 31 microcuencas pequeñas de orden uno (ver Figura 8), y cubre una extensión de 1 603.04 ha. Estas microcuencas se agrupan en las quebradas Millpu, Chaqocha-Ccopipata, Can Can, Cusiyoqcha, Chinchaycocha, Ocutuán, Pongobamba y Umasbamba (ver Cuadro 1); siendo esta última la microcuenca más investigada por INAIGEM.

**Figura 8**  
DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE CABECERA DE LA CUENCA PIURAY



Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 1**  
CABECERAS DE CUENCA DE LAS QUEBRADAS PRIORIZADAS DE LA CUENCA PIURAY

Quebrada	Cabeceras de cuenca	Superficie (ha)	Porcentaje
Can Can	2	51.06	3.18 %
Chaqocha-Ccopipata	2	254.69	15.89 %
Chinchayqocha	2	139.08	8.68 %
Cusiqocha	2	214.73	13.40 %
Millpu	2	134.17	8.37 %
Ocutuán	7	237.94	14.84 %
Pongobamba	3	104.57	6.52 %
Umasbamba	11	466.80	29.12 %
<b>Total (cabecera de cuenca)</b>	<b>31</b>	<b>1 603.04</b>	<b>100.00 %</b>

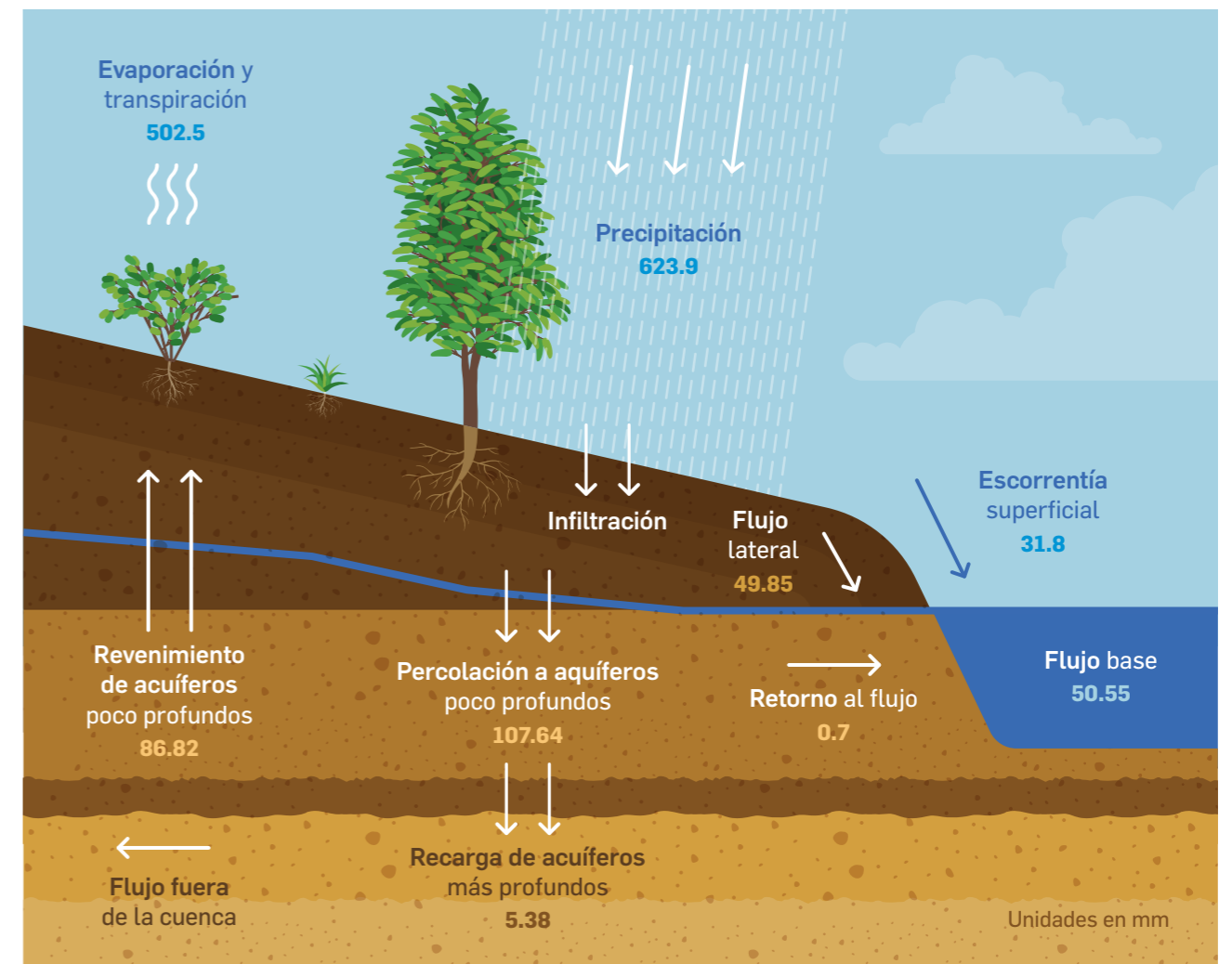
Fuente: Elaboración propia

La quebrada Umasbamba, con 466.80 ha, tiene la mayor extensión y comprende 11 microcuencas de orden uno que representan el 29.12 % de la zona de cabecera de la cuenca Piuray. La quebrada Chaqocha-Ccopipata ocupa el segundo lugar en extensión con 254.69 ha (15.89 %) que abarcan dos microcuencas de orden uno. Otras quebradas significativas incluyen Ocutuán, con siete microcuencas de orden uno en una extensión de 237.94 ha, y Cusiqocha, que comprende 214.73 ha con dos microcuencas de orden uno, representando el 14.84 % y 13.40 % de la cabecera de cuenca, respectivamente.

La cuenca Piuray presenta características hidrogeomorfológicas que influyen en su hidrología y en la dinámica de los procesos erosivos. Su forma oval redonda a oval oblonga, le provee una capacidad moderada para concentrar la escorrentía durante las precipitaciones. La red de drenaje, de orden tres y con una densidad moderada de 0.774 km/km<sup>2</sup>, sugiere una desarrollada red hídrica que favorece la evacuación eficiente del agua y sedimentos. Con una pendiente media del 23.74 %, la cuenca tiene un relieve moderadamente inclinado. En conjunto, estos parámetros indican una respuesta rápida de la cuenca a las precipitaciones, con una capacidad moderada para generar escorrentía y erosión.

Para estimar la disponibilidad de agua de la cuenca, el INAGEM empleó el modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), durante el periodo 1984 – 2020, con la finalidad de simular el ciclo hidrológico en la cuenca Piuray (ver Figura 9). Este modelo reveló un balance hídrico anual con una precipitación de 623.9 mm, una evapotranspiración de 502.5 mm y una escorrentía superficial de 31.8 mm. Un flujo base de 50.55 mm, un flujo lateral de 49.85 mm y un flujo de retorno igual a 0.7 mm. La recarga del acuífero profundo fue de 5.38 mm, con una recarga total de 107.64 mm y número de curva de 79.

**Figura 9**  
BALANCE HÍDRICO ANUAL DE LA CUENCA PIURAY MEDIANTE EL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO SWAT



Fuente: Elaboración propia

## 1.3 Suelo

La cuenca Piuray está formada principalmente por rocas sedimentarias, y escasas rocas intrusivas, depósitos cuaternarios de origen glaciar, lacustre, eluviales, coluviales, y aluviales. Parte de estas rocas son de características mecánicas consideradas malas, lo que las hace vulnerables ante la erosión, produciendo deslizamientos y cárcavas, y contribuyen a la degradación de la cuenca. No obstante, también existen rocas favorables, como las de la formación de Kayra (ver Cuadro 2), predominante en la cuenca, que por sus características pueden ser explotadas como sal, yeso o material de construcción (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013).

### Cuadro 2

#### GEOLOGÍA DE LA CUENCA PIURAY

Geología	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Depósitos aluviales	6.5417	14.10
Depósitos coluviales	1.4591	3.15 %
Depósitos eluviales	3.6880	7.95 %
Depósitos lacustres	1.5552	3.35 %
Depósitos morrénicos	2.1948	4.73 %
Depósitos palustres	0.5138	1.11 %
Formación chincheros	0.0000	0.00 %
Formación kayra	14.2867	30.80 %
Formación maras	2.2597	4.87 %
Formación puquin	4.7351	10.21 %
Formación quilque	1.4818	3.19 %
Formación yuncaypata	0.1254	0.27 %
Lagunas	3.7279	8.04 %
No data	3.8210	8.24 %
<b>Total</b>	<b>46.3903</b>	<b>100.00 %</b>

Fuente: Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013.

Además, la cuenca también posee fallas geológicas activas con el potencial de producir sismos locales o regionales. Esta característica se debe tener en cuenta para la construcción de obras de gran infraestructura y en la gestión de riesgo por parte de las autoridades (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013).

Geomorfológicamente, se tienen montañas, lomas, cerros, planicies y valles quebradas con sus laderas que rodean la laguna Piuray. De estos, resaltan las quebradas que nacen en las zonas con cárcavas y terminan en conos aluviales, formando aluviones. Estas unidades geomorfológicas han condicionado la formación del suelo, la cobertura vegetal y su uso actual (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013). Ver Cuadro 3.

### Cuadro 3

#### GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA PIURAY

Geomorfología	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Cerro Ladera Alta	3.2606	7.03 %
Cerro Ladera Baja	0.8228	1.77 %
Cono Aluvial Distal	2.1521	4.64 %
Cono Aluvial Proximal	4.3896	9.46 %
Cumbre de la montaña intermedia	0.3377	0.73 %
Cumbre de la Montaña Norte	2.9366	6.33 %
Cumbre de la Montaña Sur	0.3306	0.71 %
Ladera de Planicie	0.6687	1.44 %
Laguna	3.7279	8.04 %
Loma	0.5397	1.16 %
Montaña Intermedia Ladera Alta	1.5736	3.39 %
Montaña Intermedia Ladera Baja	2.3418	5.05 %
Montaña Norte Ladera Alta	1.8668	4.02 %
Montaña Norte Ladera Baja	1.0365	2.23 %
Montaña Sur Ladera Alta	3.6917	7.96 %
Montaña Sur Ladera Baja	4.8969	10.56 %
Morrena	2.7618	5.95 %
Planicie	3.2087	6.92 %
Planicie Lacustre	2.0250	4.37 %
No Data	3.8210	8.24 %
<b>Total</b>	<b>46.3903</b>	<b>100.00 %</b>

Fuente: Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013

En la cuenca, predominan las pendientes entre 14° a 27° principalmente ubicadas en las zonas medias a altas de las quebradas de la cuenca Piuray (ver Cuadro 4).

**Cuadro 4**

PENDIENTE DE LA CUENCA PIURAY

Pendiente	Área (km²)	Porcentaje (%)
0° a 2°	4.9291	10.63 %
2° a 4°	4.5939	9.90 %
4° a 7°	4.9768	10.73 %
7° a 14°	10.5623	22.77 %
14° a 27°	15.1604	32.68 %
27° a 37°	4.9796	10.73 %
> 37°	1.1865	2.56 %
<b>Total</b>	<b>46.3885</b>	<b>100.00 %</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Los suelos son predominantemente franco-arcillosos (ver Cuadro 5). Este tipo de suelo comprende el 81 % de la cuenca, y de manera general, el porcentaje restante corresponde a suelo franco (19 %) (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003).

**Cuadro 5**

SUELOS FAO DE LA CUENCA PIURAY

Textura de suelo	Símbolo	Código FAO	Área (km²)
Franco arcilloso	KL3-3a	5572	37.5439
Franco	I-Kh-J-c	5531	8.8465

Fuente: FAO, 2003

En el caso específico de la quebrada Umasbamba, localizada en la zona de cabecera de la cuenca Piuray, se tomaron muestras de suelos para su análisis físico-químico obteniéndose los siguientes resultados:

- Todas las muestras de suelos analizadas pertenecen a la clase textural franco, con variaciones entre arenoso y limoso. Los parámetros del suelo que están dentro de lo normal (Gardi et al., 2014; United State Department of Agriculture, 1999, 2008; Wilson, 2017), en todos los sitios son: conductividad eléctrica (CE), pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>+++</sup>, y densidad aparente.
- La materia orgánica y el nitrógeno fueron los parámetros que figuran como altos (Gardi et al., 2014; Wilson, 2017) en todos los sitios evaluados, lo cual es un buen indicio sobre el estado del suelo. Por el contrario, el fósforo se registra bajo en todos los sitios y es muy variable, reflejando una limitante para el crecimiento de las plantas.
- Ningún sitio ha presentado valores mayores a cero en el contenido de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) en suelo, lo cual indica que la evapotranspiración es más baja que la precipitación, y que por el contrario la falta de carbonatos no contribuye con la buena estructuración del suelo y amortiguar el pH.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO BIOLÓGICO

La descripción del medio biológico de la cuenca Piuray comprende a aquellos componentes del ambiente que se caracterizan por encontrarse vivos y que su presencia está condicionada por las características del medio físico. A continuación, se describen los ecosistemas, los tipos de cobertura vegetal y la fauna que se han identificado en la zona.

### 2.1 Ecosistemas

Según el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2018), en la cuenca Piuray se encuentran tres tipos: ecosistemas de la región Andina (Pajonal de Puna Húmeda y Matorral Andino), ecosistemas acuáticos (lagunas, ríos y totorales), y zonas inter-venidas (zonas urbanas, agrícolas y forestales).

El Cuadro 6 resume los hábitats de la cuenca Piuray, tomando como referencia el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2018), el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal (MINAM, 2015b) y el Estudio del Plan de Gestión Integral de Recursos Hídricos de la Microcuenca de la Laguna Piuray (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013). Cabe indicar que se entiende como hábitat al espacio donde determinada especie puede encontrar todos los recursos necesarios para su supervivencia y reproducción (INAIGEM, 2023).

Ecosistemas de la cabecera de la cuenca Piuray.

Foto: Renny Díaz



**Cuadro 6**

HÁBITATS DE LA CUENCA PIURAY

Tipo	Hábitat	Descripción
Región andina	Matorral Arbustivo Húmedo	Se distribuye en la parte media de la cuenca. Exhibe vegetación compuesta mayormente por arbustos de variada composición y estructura. Follaje siempre perenne. Algunas de las especies comunes son: <i>Baccharis tricuneata</i> ("tayanco") <i>Bidens andicola</i> , <i>Lupinus spp.</i> , y <i>Senecio spp.</i>
	Pajonal de Puna Húmeda	Se localiza en la cabecera de la cuenca. Tiene presencia de flora herbácea predominantemente compuesta por césped dominados por gramíneas de estatura baja y áreas de pajonales, de los géneros: <i>Festuca</i> , <i>Calamagrostis</i> y <i>Poa</i> . Se observan algunos arbustos dispersos. La cobertura vegetal oscila entre el 40 % y el 80 %. Este hábitat está asociado con matorrales y roquedales.
	Roquedal	Dominado, en algunos casos, por bloques de tamaño pequeño y mediano. Estas rocas son principalmente sedimentarias de tipo areniscas feldespáticas con lutitas fluviales y limoarcillitas. Además, se encuentran generalmente por encima de los 3 700 m s.n.m., con vegetación saxícola creciendo intercaladas.
Ecosistemas acuáticos	Lagunas	La principal fuente de abastecimiento proviene de la precipitación estacional en la cabecera de la cuenca. Específicamente para la laguna Piuray, proviene del flujo de las quebradas y los ojos de agua. En la laguna Piuray, se ha observado la presencia de algas bentónicas como <i>Chara foetida</i> y algas planctónicas de las taxas de Chlorophytas. En cuanto a plantas sumergidas y plantas emergentes, hay representantes de las familias Halorrhagaceae, Hydrocharitaceae, Juncaceae y Cyperaceae en los riachuelos que ingresan por el lado de Pongobamba.
	Playa lacustre	Está constituida por pequeñas franjas de arena seguido de campos de cultivo. En las zonas arenosas, se encuentra vegetación de pastos naturales, hierbas y arbustos postrados. Se tienen especies como: <i>Baccharis caepitosa</i> , <i>Juncus arcticus</i> var. <i>Andicola</i> , <i>Azolla filiculooides</i> , entre otras. Las zonas de cultivo están ganando espacio a las playas de arena, por lo que también es común que especies de aves playeras frecuenten estas zonas.
	Totoral	Importantes para las aves acuáticas altoandinas. Se encuentran principalmente en la laguna Piuray, siendo espacio de refugio, alimentación y reproducción de la avifauna y otras especies circundantes. Está constituido por vegetación emergente, principalmente por totora ( <i>Scirpus californicus</i> ).
	Ríos y quebradas	La cuenca tiene dos ríos principales de muy bajo caudal en la época de estiaje que desembocan en la laguna Piuray: río Umasbamba y río Ccorimarca. En cuanto a las quebradas estas son estacionales, y no presentan flujo de agua la mayor parte del año.
Zonas intervenidas	Área agrícola	Constituida por cultivos temporales de tubérculos, cereales, legumbres y hortalizas, así como pastos para ganado. Además, también comprende las zonas agrícolas de rotación que usualmente se les conoce como muyus.
	Plantación forestal	Constituido por grupos de árboles establecidos por forestación, con el propósito de producción maderera y agrícola. Se pueden observar plantaciones de especies introducidas como el eucalipto ( <i>Eucalyptus sp.</i> ) y plantaciones de pino ( <i>Pinus sp.</i> ).
	Área urbana	Constituido por superficie de viviendas de los pobladores de la cuenca Piuray, que se concentran en centros poblados. Estas zonas pueden estar acompañadas de espacios ajardinados, de huertos, y vías asociadas por donde circulan vehículos.

Fuente: Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013; INAIGEM, 2023; MINAM, 2015, 2018

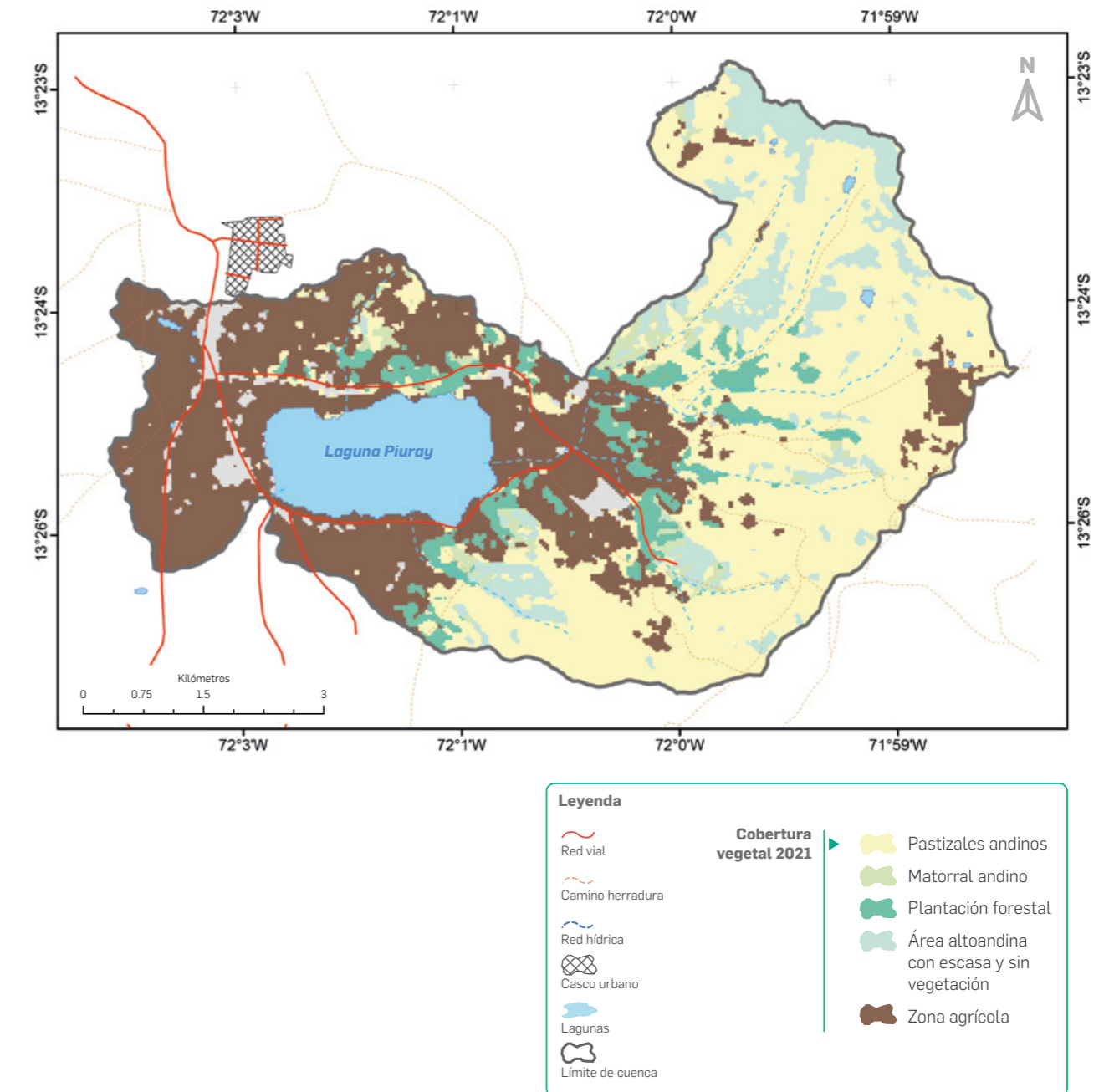
En la parte baja de la cuenca, se encuentra la laguna Piuray con zonas de totorales y ríos intermitentes o estacionales, además de zonas urbanas y áreas agrícolas. En la parte media, se tienen plantaciones forestales de pino y eucalipto. A una mayor altitud, se encuentran los matorrales andinos. En la zona alta de la cuenca predomina el Pajonal de Puna Húmeda y pequeñas lagunas (INAIGEM, 2023).

## 2.2 Cobertura vegetal

El mapa actual de cobertura vegetal de la cuenca Piuray ha sido elaborado en base a la información de una colección de imágenes satelitales Landsat del año 2021. Los resultados de su clasificación se presentan en la Figura 10.

**Figura 10**

COBERTURA VEGETAL DE LA CUENCA PIURAY AL 2021



Fuente: Elaboración propia

Son siete los tipos de cobertura identificados en la cuenca Piuray, tal como se indican en el Cuadro 7. La vegetación natural cubre menos del 50 % de la cuenca, mientras que la cobertura vegetal (incluyendo la zona agrícola) no supera al 80 %. Las áreas con escasa o nula vegetación constituyen el 9 %.

### Cuadro 7

#### COBERTURA VEGETAL DE LA CUENCA PIURAY

Cobertura	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Lagos y lagunas	3.78	8 %
Pastizales andinos	19.03	41 %
Plantación forestal	2.73	6 %
Matorral Andino	1.14	2 %
Zona agrícola	14.48	31 %
Área urbana	1.23	3 %
Área altoandina con escasa y sin vegetación	4.01	9 %

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe cada una de las coberturas vegetales identificadas:

- **Lagos y lagunas:** Coberturas de agua en extensiones de gran tamaño y profundidad (lagos) o de menor profundidad y de estacionalidad permanente o temporal (lagunas) (MINAM, 2018).
- **Zona agrícola:** Zonas dedicadas a la actividad agropecuaria o zonas de cultivos transitorios o permanentes (MINAM, 2018).
- **Matorral Andino:** Cobertura de vegetación leñosa arbustiva con una altura menor a cuatro metros. Son regiones andinas con fisiografía montañosa, que por lo general limitan con zonas de pajonales naturales (MINAM, 2015b, 2018).
- **Pastizales andinos:** Cobertura vegetal conformada por céspedes y pajonales (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013; MINAM, 2018).
- **Plantación forestal:** Cobertura compuesta por especies forestales implementadas de manera directa por el hombre mediante forestación o reforestación, con fines productivos. Pueden contener diversas especies forestales nativas (queña, sauco, otros) o introducidas (eucalipto o pino) (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013; MINAM, 2015b, 2018).
- **Área urbana:** Cobertura identificada dentro del concepto de área urbana, que considera el casco urbano, parques y huertos, áreas suburbanas (zonas de huertos, chacras y corrales) y grandes áreas sin construir (MINAM, 2018).
- **Área altoandina con escasa y sin vegetación:** Coberturas que poseen poca o nula cantidad de cobertura vegetal la mayor parte del año (MINAM, 2015b), o tener presencia de herbáceas esporádicas (Cruz et al., 2010). En regiones andinas, esta clasificación también es identificada por la distribución heterogénea de plantas arbustivas y herbáceas, debido a la presencia de afloramiento rocoso o por el clima extremo de la Puna altoandina (Cortés et al., 2002) relacionadas a los procesos degradación de ecosistemas (Loza-Del-Carpio & Taype-Huamán, 2021).

## 2.3 Flora y aves

La información sobre la flora y avifauna presente en la cuenca Piuray es limitada por lo que se describe aquella identificada específicamente en la quebrada Umasbamba y en los alrededores de la laguna Piuray.

En la quebrada Umasbamba, INAIGEM ha instalado parcelas experimentales de investigación y se ha realizado una caracterización para la identificación de las formaciones vegetales a escala de quebrada. En estos sitios, se han identificado al menos 100 especies de flora distribuidas en 33 familias, siendo las familias Asteraceae y Poaceae las más abundantes. El Cuadro 8 muestra algunas de las especies de vegetación identificadas.

### Cuadro 8

#### ESPECIES DE FLORA MÁS ABUNDANTES EN LA QUEBRADA UMASBAMBA SEGÚN FORMACIÓN VEGETAL

Formación vegetal	Especies más abundantes	
Césped de Puna	<i>Nassella inconspicua</i> (J. Presl) Barkworth	<i>Muhlenbergia peruviana</i> (P.Beauv.) Steud.
	<i>Hypochaeris meyeniana</i> (Walp.) Griseb.	<i>Anatherostipa hans-meyeri</i> (Pilg.) Peñail.
	<i>Aciachne pulvinata</i> Benth.	<i>Paspalum pygmaeum</i> Hack.
	<i>Azorella biloba</i> (Schtdl.) Wedd.	<i>Rockhausenia nubigena</i> (Kunth) D.J.N.Hind
	<i>Plantago sericea</i> Ruiz & Pav.	<i>Geranium sessiliflorum</i> Cav.
Pajonal	<i>Anatherostipa obtusa</i> (Nees & Meyen) Peñail.	<i>Anatherostipa hans-meyeri</i> (Pilg.) Peñail.
	<i>Festuca dolichophylla</i> J.Presl	<i>Alchemilla pinnata</i> Ruiz & Pav.
	<i>Nassella inconspicua</i> (J. Presl) Barkworth	<i>Lupinus microphyllus</i> Desr.
	<i>Paspalum pygmaeum</i> Hack.	<i>Hypericum caespitosum</i> Cham. & Schtdl.
	<i>Aciachne pulvinata</i> Benth.	<i>Muhlenbergia peruviana</i> (P.Beauv.) Steud.
Pajonal arbustivo	<i>Anatherostipa obtusa</i> (Nees & Meyen) Peñail.	<i>Baccharis odorata</i> Kunth
	<i>Piptochaetium panicoides</i> (Lam.) E. Desv.	<i>Lupinus microphyllus</i> Desr.
	<i>Paspalum pygmaeum</i> Hack.	<i>Ageratina sternbergiana</i> (DC.) R.M.King & H.Rob.
	<i>Hypericum caespitosum</i> Cham. & Schtdl.	<i>Oxalis oreocharis</i> Diels
	<i>Aciachne pulvinata</i> Benth.	<i>Paranephelium uniflorum</i> Poepp. & Endl.
Pajonal con pino	<i>Festuca dolichophylla</i> J.Presl	<i>Lupinus microphyllus</i> Desr.
	<i>Anatherostipa hans-meyeri</i> (Pilg.) Peñail.	<i>Oxalis oreocharis</i> Diels
	<i>Paranephelium uniflorum</i> Poepp. & Endl.	<i>Paspalum pygmaeum</i> Hack.
	<i>Cyperus andinus</i> Palla ex Kük.	<i>Peperomia verruculosa</i> Dahlst. ex A.W.Hill
	<i>Plantago sericea</i> Ruiz & Pav.	<i>Senecio spinosus</i> DC.

Fuente: Elaboración propia

Se tienen registros de aves en los alrededores de la laguna Piuray; a través de censos, encuentros ocasionales, recorridos nocturnos y de información secundaria

**147** en **36** y **18**  
especies familias órdenes

**6**  
especies son endémicas del Perú

- *Oreonympha nobilis*
- *Elliomyia viridicauda*
- *Aglaeactis castelnaudii*
- *Poospizopsis caesar*
- *Asthenes ottonis*
- *Cranioleuca albicapilla*



**Canastero de Frente Rojiza**  
*Asthenes ottonis*

**30**  
aves son migratorias, de las cuales 25 son boreales y cinco australes

**Falaropo Tricolor**  
*Phalaropus tricolor*



**Playero de Pata Larga**  
*Calidris himantopus*

**Especies amenazadas residentes**

**Flamenco Chileno**  
*Phoenicopterus chilensis*



**Bandurria Andina**  
*Theristicus branickii*

Fuente: INAIGEM, 2023.

Fotos: Carlos Lazo Oscanoa

### 3. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO SOCIAL

La descripción del medio social de la cuenca Piuray comprende a aquellos aspectos socio culturales y económicos de la población que reside en la zona, cuya presencia y formas de vida ha sido y está condicionada por las características del medio físico y biológico. Cabe señalar, que la información presentada es limitada por encontrarse en un ámbito de comunidades campesinas, escala que usualmente no cuenta con información disponible.

#### 3.1 Aspectos sociales

Según el censo nacional del 2017, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el distrito de Chinchero cuenta con una población de 11 652 personas, de las cuales 7 169 (61.52 %) reside en zonas rurales. La mayor parte de la población es infantil y joven representando el 54.09 % del total (ver Cuadro 9). Teniendo como principales actividades económicas a la agricultura, la ganadería y el turismo (INEI, 2017).

**Cuadro 9**

POBLACIÓN TOTAL POR GRUPOS ESPECIALES DE EDAD EN EL DISTRITO DE CHINCHERO

Grupo especial de edad	Rango de edad	Porcentaje de la población (%)
Infantil	0 – 14	28.27
Joven	15 – 29	25.82
Adulta joven	30 – 44	20.15
Adulta	45 – 59	14.78
Adulta mayor	60 a más	10.98

Fuente: INEI, 2017.

La cuenca Piuray, que como se mencionó previamente se localiza en el distrito de Chinchero, se encuentra integrada por 24 unidades territoriales conformadas por comunidades campesinas, asociaciones de viviendas y sectores comunales asentadas alrededor de la laguna Piuray y del río Ccorimarca. Según el INEI (2017), citado por el INAIGEM (2023), la cuenca tiene una población aproximada de 3 721 habitantes.

La gestión de la cuenca Piuray, de la cual Umasbamba forma parte, involucra una colaboración activa entre actores gubernamentales y sociedad civil. Esta colaboración es esencial para el éxito de las iniciativas en la región. Según INAIGEM (2022), los principales actores incluyen a la Municipalidad Provincial del Cusco, a la EPS SEDACUSCO S.A., a la Municipalidad Distrital de Chinchero, al comité de gestión de la cuenca Piuray, a la Asociación de jóvenes de la cuenca Piuray (AJOMPICC) y al propio INAIGEM.

Por otra parte, la sociedad civil organizada en directivas comunales y comités organizacionales, también juega un rol clave en esta gestión. Uno de los principales grupos es el Comité de Gestión de la Cuenca Piuray Ccorimarca (CGMPCC) cuyo objetivo es promover el desarrollo socio-económico y la gestión adecuada de los recursos naturales, en sinergia con entidades públicas y privadas para mejorar el bienestar de su población (INAIGEM 2023). Ver Cuadro 10.

**Cuadro 10**

**ORGANIZACIONES DEL COMITÉ DE GESTIÓN DE LA CUENCA PIURAY CCORIMARCA**

**Comunidades campesinas e indígenas:**

Cuper, Umasbamba, Ayllupongo, Valle Chosica, Taucca, Pongobamba, Simataucca, Ccorimarca, Ramosqaqa, Huila Huila y Tangabamba.

**Sector comunal:**

Cuper Pueblo, Cuper Bajo, Cuper Alto, Pucamarca, Ccorccor, Ichucancho, Tambomachay, Huitapujio.

**Asociaciones de viviendas y de productores:**

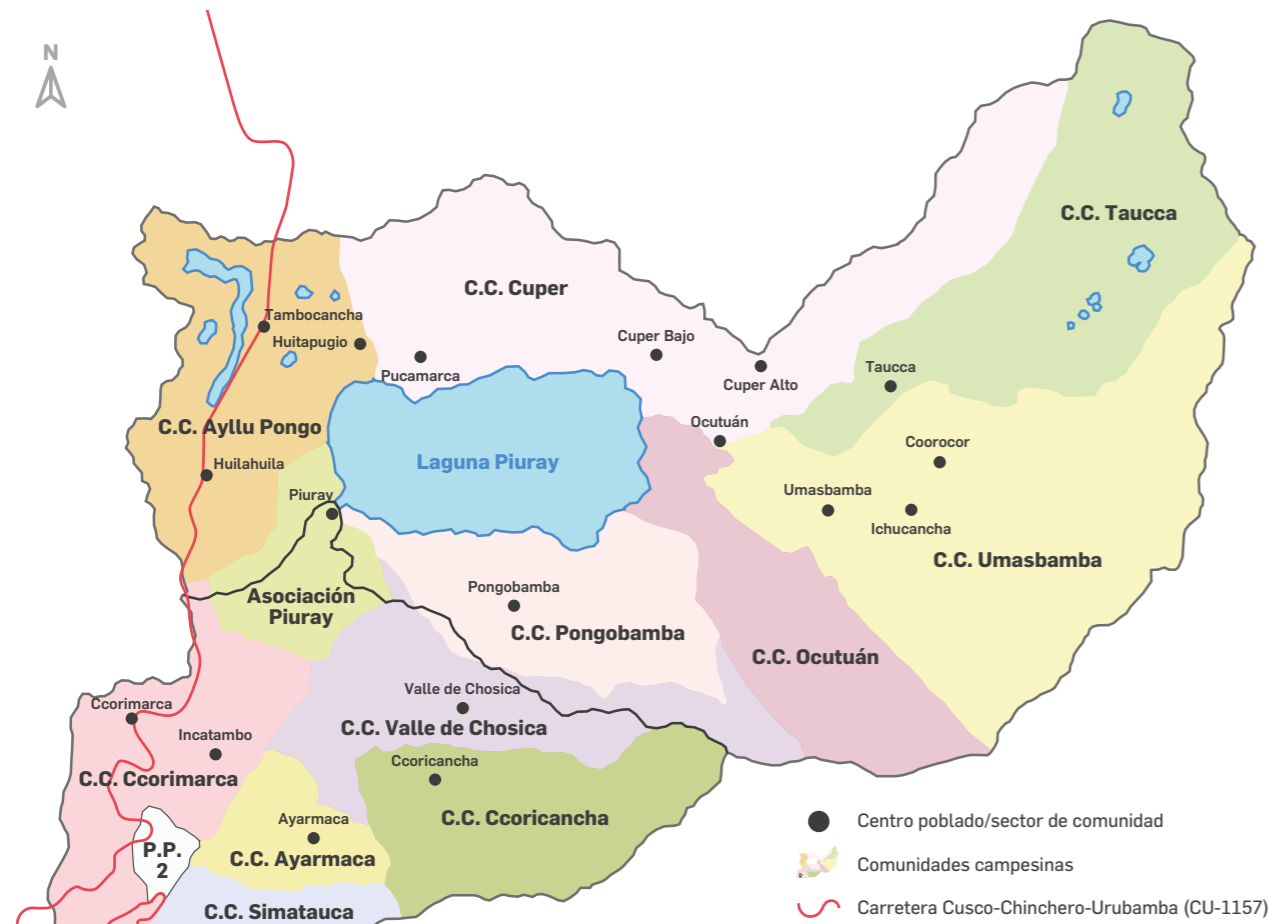
Virgen de las Mercedes de Paclacocho, Piuray, Ocutuán, Ccoricancho y Ayamarca.

Nota: Información recogida en los talleres ejecutados para la actualización del estatuto del CGMPCC en el último trimestre del año 2022  
Fuente: Elaboración propia

Se tienen 11 centros poblados circundantes a la laguna Piuray: Cuper Alto, Cuper Bajo, Pucamarca, Ccorccor, Huila Huila, Umasbamba, Pongobamba, Piuray, Ocutuán, Taucca y Huitapujio. Además, la cuenca se ubica sobre los terrenos de seis comunidades campesinas (ver Figura 11): Taucca, Ayllupongo, Ocutuán, Cuper, Pongobamba y Umasbamba (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013).

**Figura 11**

**COMUNIDADES CAMPESINAS EN LA CUENCA PIURAY**



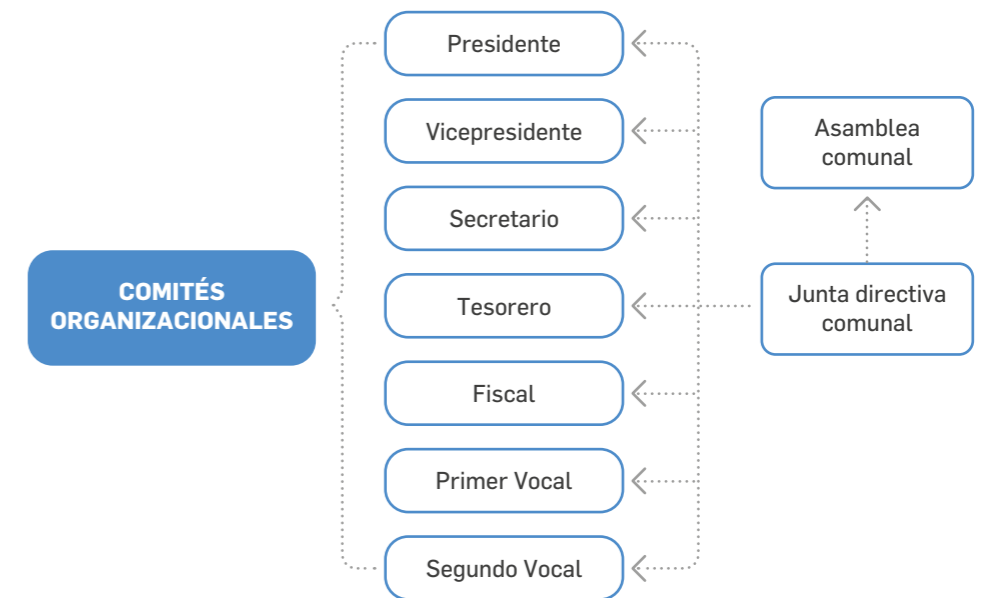
Fuente: Basado en el mapa desarrollado por el Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013

La comunidad indígena de Umasbamba<sup>1</sup> está conformada por un centro poblado y dos sectores comunales: Umasbamba pueblo, Ccorccor e Ichucancho, y tiene una población total de 376 habitantes (INEI, 2017). De los cuales el 51 % (190 habitantes) son varones y el 49 % (186 habitantes) mujeres. Sin embargo, el padrón comunal del año 2023, registra 179 comuneros lo que indica que no todos los habitantes de la comunidad se encuentran registrados en el padrón.

La Figura 12 muestra el esquema de organización que maneja la comunidad indígena de Umasbamba. En la parte baja de la cuenca, cada comunero es poseedor de un mosaico de tierras agrícolas de secano y de riego (tierras privadas). Mientras que en las zonas de ladera, se localizan las tierras comunales donde se desarrollan actividades de pastoreo. Las actividades agrícolas o de pastoreo son manejadas de forma privada o por familia mientras que las actividades de construcción o mantenimiento de zanjas de infiltración son gestionadas a nivel comunitario (Ver Fotografía 5).

**Figura 12**

**ORGANIZACIÓN DE LA DIRECTIVA COMUNAL DE UMASBAMBA**



Fuente: Elaboración propia en base a entrevistas en la Comunidad Indígena de Umasbamba

<sup>1</sup> Se reconoce a Umasbamba como comunidad indígena en 1927. Al principio, su extensión territorial fue de 1 249 ha tierra originaria del ayllu, en el año 1988 se le adjudicaría 178 ha de la Hacienda Fortaleza de la provincia de Calca y 483.45 ha de la Hacienda Queser Grande de la provincia de Cusco, ascendiendo entonces la extensión territorial de Umasbamba a 1 910.45 ha. La adjudicación la reconocería entonces como comunidad campesina, así como la participación de sus comuneros en las labores productivas de las desintegradas haciendas y por tanto de su derecho a "heredar" las tierras.

**Fotografía 5**

**ACTIVIDAD AGRÍCOLA Y GANADERA DE LA COMUNIDAD INDÍGENA DE UMASBAMBA**



Áreas agrícolas de gestión privada o familiar en tierras privadas localizadas en la cuenca baja.

Foto: Renny Díaz



Pastoreo de gestión privada o familiar en tierras comunales localizadas en zonas de ladera.

Foto: Renny Díaz

En la comunidad de Umasbamba, cada vez más viviendas tienen acceso a una red pública de agua, proveniente de los manantes de Ccorccor, que son compartidos con las comunidades campesinas de Taucca y los sectores comunales de Cuper Alto y Ccorccor. La distribución del agua se mantiene de acuerdo al tamaño de la población.

Entrevistas realizadas en Umasbamba revelan que los pastizales, aparte de ser una fuente de alimento para el ganado, eran usados como fuente de energía tras ser secados, debido a la escasez de leña en la zona. También se usaban para la elaboración de adobes, techado de viviendas y para conservar adecuadamente la papa (truji) luego de ser cosechadas y seleccionadas.

Los entrevistados señalaron que su territorio era usado principalmente para el pastoreo de ganado nativo (llamas) y foráneo (ovejas, y en menor proporción ganado vacuno y equino). Los principales beneficios que obtenían era la lana para la elaboración de prendas de vestir y frazadas, así como el transporte de cargas, carne, guano, leche y fuente de energía.

El Cuadro 11 presenta los usos que le dan los habitantes de la Comunidad Indígena Umasbamba a algunas especies pecuarias y de vegetación.

**Cuadro 11**

**PRINCIPALES USOS DE VEGETACIÓN Y ESPECIES PECUARIAS POR LA COMUNIDAD DE UMASBAMBA**

Especie (nombre local)	Usos
Ccoya	En la elaboración de montera (sombbrero tradicional en Chinchero) y como escoba
Orqo ichu	Techado de viviendas y en la elaboración de adobes
China ichu	Preparación de barro para adobe o tarrajeo de muros en su mayoría
Iru ichu	Fuente de energía
Kanlli	Fuente de energía
Kichca ichu	Fuente de energía
Llama	Transporte, carga, fibra, carne, taquí y guano para combustible
Oveja	Lana, carne y guano para la época de sembrío y como combustible
Vaca	Leche y bosta
Toro	Animal de labranza en época de sembrío y bosta
Caballo y burro	Transporte y carga

Fuente: Elaboración propia

Aparte del pastoreo de ganado, en algunas zonas de la comunidad Umasbamba, como alrededores de la laguna Queullacocha y en las lomas de las estancias, sólo se sembraba papa haciendo uso de la tacla y el guano de oveja.

**3.2 Aspectos culturales**

La cosmovisión andina se basa en una profunda relación del hombre con la naturaleza, desarrollando un diálogo con el entorno natural a través de señas que se han mantenido a lo largo del tiempo. Basan su conocimiento en el comportamiento de las plantas y los animales porque estos "señaleros" o "avisadores" ofrecen información sobre la ocurrencia de los eventos climáticos (Kessel & Salas, 2002). Por ejemplo, la aparición del Leqecho (Avefría Andina) anuncia la llegada de heladas, mientras que el desplazamiento del Mayusonso (Huaco Común) hacia los manantes indica la inminencia de lluvias (INAIGEM 2023). Estas señas, aunque aún relevantes, están perdiendo vigencia, especialmente entre las nuevas generaciones.

Todavía se mantiene la organización de los varayocs (envarados o alcaldes de vara). Actualmente, los alcaldes del pueblo cumplen la función de comunicar el bando, es decir, avisan y convocan a la población a las faenas y las asambleas comunales con voz de mando (pututo). Cumplen funciones de apoyo a la directiva comunal. Son elegidos mediante votación por los comuneros por el periodo de un año, y asumen el cargo el primer día del año<sup>2</sup> (INAIGEM 2023).

<sup>2</sup> Entrevista a Wilfredo Mancco Año, varayoc de la comunidad indígena de Umasbamba, 24 de septiembre del 2023

La laguna Piuray, rica en leyendas y con una importancia histórica desde la época incaica, continúa siendo vital para la región, abasteciendo de agua a la ciudad del Cusco. Relatos como la leyenda de Mama Piuray (ver Cuadro 12), en la que dos hijos de Manco Capac se transformaron en las lagunas Huaypo y Piuray, subrayan la relevancia mítica y práctica de este cuerpo de agua en la cultura andina (INAIGEM 2022).

**Cuadro 12**

**LEYENDA DE LA LAGUNA PIURAY DE LA ÉPOCA INCAICA POR CONSTANTINO SALLO PUMACCAHUA**

“Cuenta la leyenda que a Manco Capac, antes de fundar la ciudad del Qosqo, se le presentó un problema grande dentro la planificación. Para la fundación de la ciudad se requería agua. Cuando estuvieron preocupados, pensativos y entristecidos sobre el problema del agua y de cómo solucionarlo para abastecer agua al Cusco, el dios Sol le reveló a Manco Capac: que sus hijos mellizos varón y mujer, que tenía con Mama Ocllo, acompañen al Sol en su ocaso y, al perderse estos en el horizonte, tendrían agua para su ciudad.

En efecto, cuando fueron a buscar a sus mellizos, el hijo que anduvo más lejos se había convertido en la laguna Huaypo, y la hija que anduvo menos, en la laguna Piuray, hoy más conocida como Mama Piuray. Ambas lagunas forman parte hoy del bello paisaje de Chinchero.”

Tal como cuenta la leyenda, la laguna Piuray abastece de agua a la ciudad del Cusco desde el tiempo de los incas. Fueron ellos quienes llevaron sus límpidas aguas por acueductos subterráneos hasta la ciudad imperial.

Fuente: INAIGEM 2022

De acuerdo a INAIGEM (2022), el calendario festivo que se celebra en el ámbito de la cuenca comprende las siguientes fiestas:

<b>ENE</b> 6	Bajada de Reyes	<b>JUN</b>	Señor de Qoylluritt'i	<b>AGO</b> 1	Día de la Pachamama
<b>FEBRERO O MARZO</b> (movible)	Carnaval Cusqueño	<b>JUN</b> Primera quincena	Corpus Christi	<b>SEP</b> 14	Señor de Huanca
<b>MARZO O ABRIL</b> (movible)	Semana Santa	<b>JUN</b> 24	Inti Raymi	<b>NOV</b> 1 y 2	Todos los Santos
<b>MAY</b> 2 y 3	Cruz Velakuy	<b>JUL</b> 16	Virgen del Carmen	<b>DIC</b> 24	Santurantikuy

### 3.3 Aspectos económicos

Desde la época preincaica, las poblaciones asentadas en la cuenca estaban conformadas por ayllus y se dedicaban al pastoreo de llamas con una agricultura incipiente (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013). Con la llegada de los españoles, se constituyeron sistemas de haciendas en varios niveles ecológicos adecuados para el cultivo de papa y el pastoreo de camélidos. No obstante, a partir del siglo XVI, la población de camélidos comenzó a disminuir por la política fiscal española, que promovía la venta de alpacas y llamas para reemplazarlas por ovinos (Tapia & Ochoa, 1984). Posteriormente, con la reforma agraria, las tierras fueron adjudicadas a las comunidades.

Actualmente, la población se dedica principalmente a la agricultura, la crianza de animales, los trabajos de construcción, los servicios turísticos y la artesanía. La papa, la avena, el haba, la cebada y el olluco, principalmente destinados al autoconsumo, son los cultivos más comunes, registrados entre los años 2011 y 2012 (INEI, 2012). Respecto a la crianza de animales, la población se dedica sobre todo a la crianza de animales menores y en menor grado a la crianza de ganado porcino, ovino y vacuno (INAIGEM 2023).

En el distrito de Chinchero se encuentran más de cincuenta lugares que ofrecen productos artesanales a turistas procedentes del Valle Sagrado o la ciudad del Cusco. Se trata de una variada colección artesanal, desde los clásicos ponchos, chullos y mantas, hasta una artesanía utilitaria —bolsos, carteras, mochilas, etc.—, con iconos y diseños asociados a las costumbres y tradiciones locales y al entorno de la laguna Piuray (INAIGEM 2022).

El turismo vivencial es una actividad que se desarrolla actualmente en las comunidades de Umasbamba, Ocutuán, Tauca y Cuper. Los turistas, que llegan a pie desde Tambomachay o Sacsayhuamán, se quedan varios días para compartir con las familias del lugar, participar en sus tareas diarias y, según la temporada, involucrarse en la siembra o cosecha de cultivos (INAIGEM 2022).

Actividad económica de siembra en parcelas familiares.

Foto: Angela Mendoza



CAPÍTULO II

DEGRADACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS Y LOS SERVICIOS DE REGULACIÓN HÍDRICA

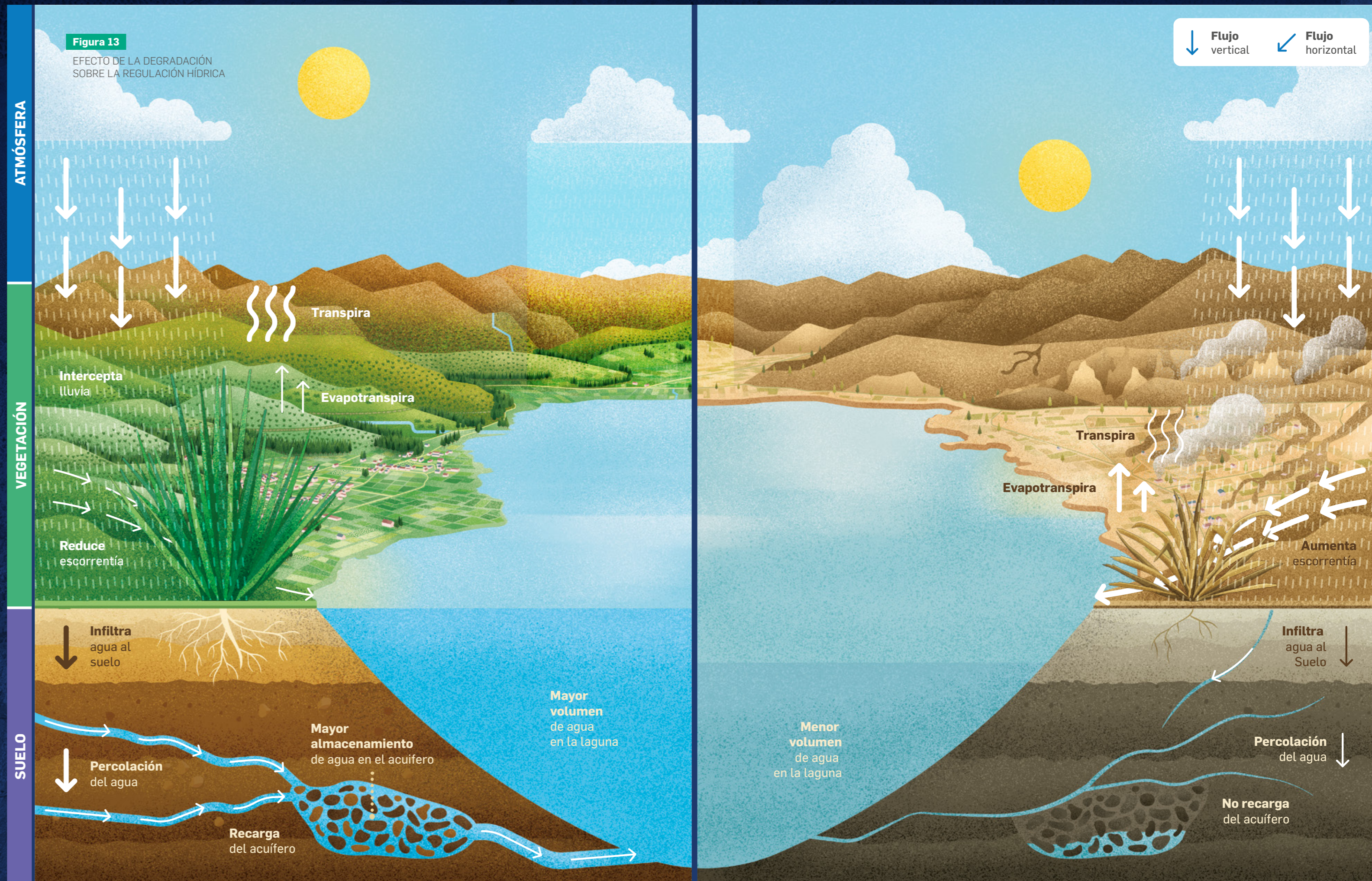




Foto: Renny Díaz

La regulación hídrica es uno de los servicios ecosistémicos más importantes para el hombre por su contribución con el servicio de provisión de agua. Este servicio de regulación se encuentra relacionado con el almacenamiento de agua, por lo que una adecuada capacidad de esta "proporciona, en mayor o menor grado, un caudal relativamente constante, a pesar de la entrada irregular de la precipitación" (CIES, 2015, citado por MINAM, 2021).

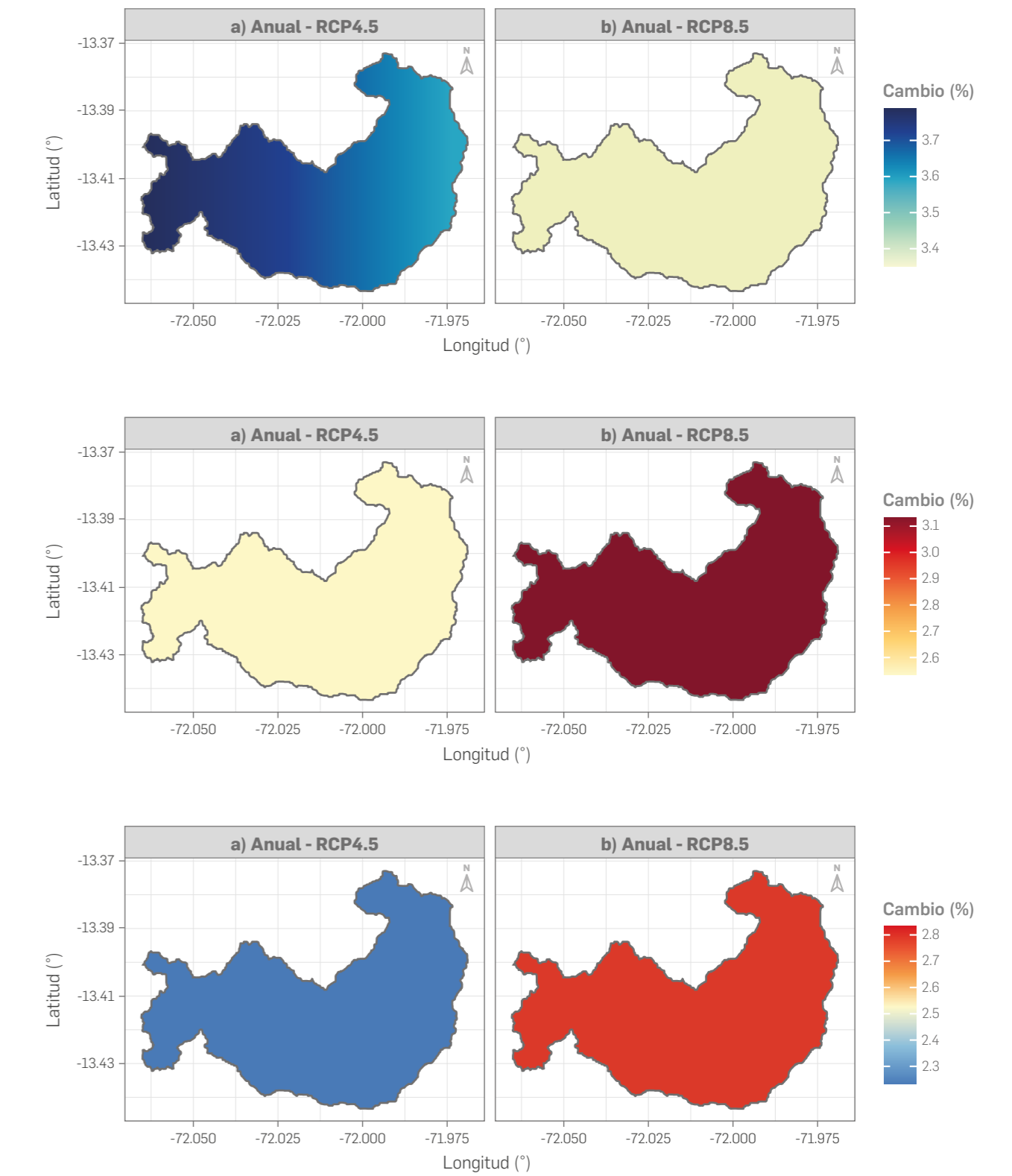
Depende de varios componentes del ambiente, como el suelo, la vegetación y la biodiversidad (ver Figura 13). Los suelos controlan la infiltración y almacenamiento del agua, mientras que la vegetación actúa como una esponja, reteniendo y liberando el agua de manera gradual, contribuyendo a reducir la erosión del suelo (Ibarra, 2017; Montgomery, 2007). La biodiversidad es esencial para mantener los procesos y funciones ecosistémicas que permiten la provisión de servicios como la regulación hídrica (WWAP, 2018; citado en Cobo & Piñeros, 2020). Sin embargo, esta capacidad de regulación se ve amenazada por el cambio climático y la degradación de los ecosistemas.

El cambio climático altera los patrones de precipitación y temperatura, afectando la capacidad de los ecosistemas para manejar el agua de manera eficiente. Por su parte, la degradación de los suelos y la pérdida de vegetación reducen la capacidad de infiltración y retención del agua provocando un aumento de la escorrentía superficial y una menor recarga de acuíferos (Grizetti et al., 2016). Estos factores combinados afectan la disponibilidad de agua para el consumo humano, la agricultura y otros usos, incrementando la vulnerabilidad de las comunidades locales frente a sequías e inundaciones.

El INAIGEM ha generado información de alta resolución espacial (12.5 m x 12.5 m.) sobre las futuras tendencias de temperatura y precipitación hacia el 2050 para la cuenca Piuray. Se ha considerado dos escenarios de cambio climático: uno de estabilización del forzamiento radiativo (RCP<sup>3</sup> 4.5) y otro con un nivel muy alto de gases de efecto invernadero (RCP 8.5).

Las proyecciones realizadas al 2050 indican cambios significativos en la distribución espacio-temporal de estos parámetros (ver Figura 14). Bajo el escenario más severo (RCP 8.5), las temperaturas máximas podrían aumentar entre 2.5 °C y 3.5 °C, mientras que las mínimas se elevarían entre 2.5 °C a 3.0 °C. Este incremento de temperatura se espera tanto en la estación húmeda como en la seca, con un mayor aumento durante la estación seca. Estas proyecciones también señalan un incremento en la precipitación anual de hasta un 3.4 % bajo el escenario RCP 8.5. A nivel estacional, se espera un aumento de la precipitación durante los meses de lluvia y se proyectan disminuciones significativas (-19 % a -41 %) en la estación seca.

**Figura 14**  
CAMBIOS PROYECTADOS EN LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA - ESCENARIOS RCP 4.5 Y RCP 8.5



Fuente: Elaboración propia

<sup>3</sup> RCP corresponde a las siglas en inglés de "trayectorias de concentración representativas" y representan el cálculo del forzamiento radioactivo total para el 2100, con respecto al 1750 (SENAMHI, 2015).



*Bidens andicola* prosperando en el ecosistema de Césped de Puna, que presenta indicios de degradación.

Foto: Renny Díaz

La reducción de la precipitación y el aumento de las temperaturas durante la estación seca pueden conducir a una mayor evapotranspiración y desecación de la vegetación, alterando la composición de las comunidades vegetales y aumentando el riesgo de incendios (Halofsky et al., 2020). Estos cambios en la precipitación y la temperatura tendrán efectos significativos en los ecosistemas de la cabecera de la cuenca Piuray, exacerbando los procesos de degradación.

La degradación de ecosistemas es una problemática reconocida por diversas organizaciones y acuerdos internacionales, de los que el Perú forma parte. Un ecosistema degradado es aquel que ha sufrido la alteración de su estructura y funcionamiento debido a la pérdida total o parcial de sus componentes esenciales; disminuyendo su capacidad de proveer bienes y servicios (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2018a), y en consecuencia afectando la resiliencia y la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos (Gann et al., 2019).

Según la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (UNCCD) (2022), la degradación de la tierra se refiere al deterioro de la calidad y productividad del suelo debido a diversos factores, que disminuyen su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos y sostener la biodiversidad. Además, contribuye al calentamiento global, ya que influye en las condiciones del clima como la temperatura, así como en la generación de gases de efecto invernadero por la reducción de la cobertura vegetal, por lo que es necesario implementar estrategias integradas para abordar la degradación del suelo (UNCCD, 2022).

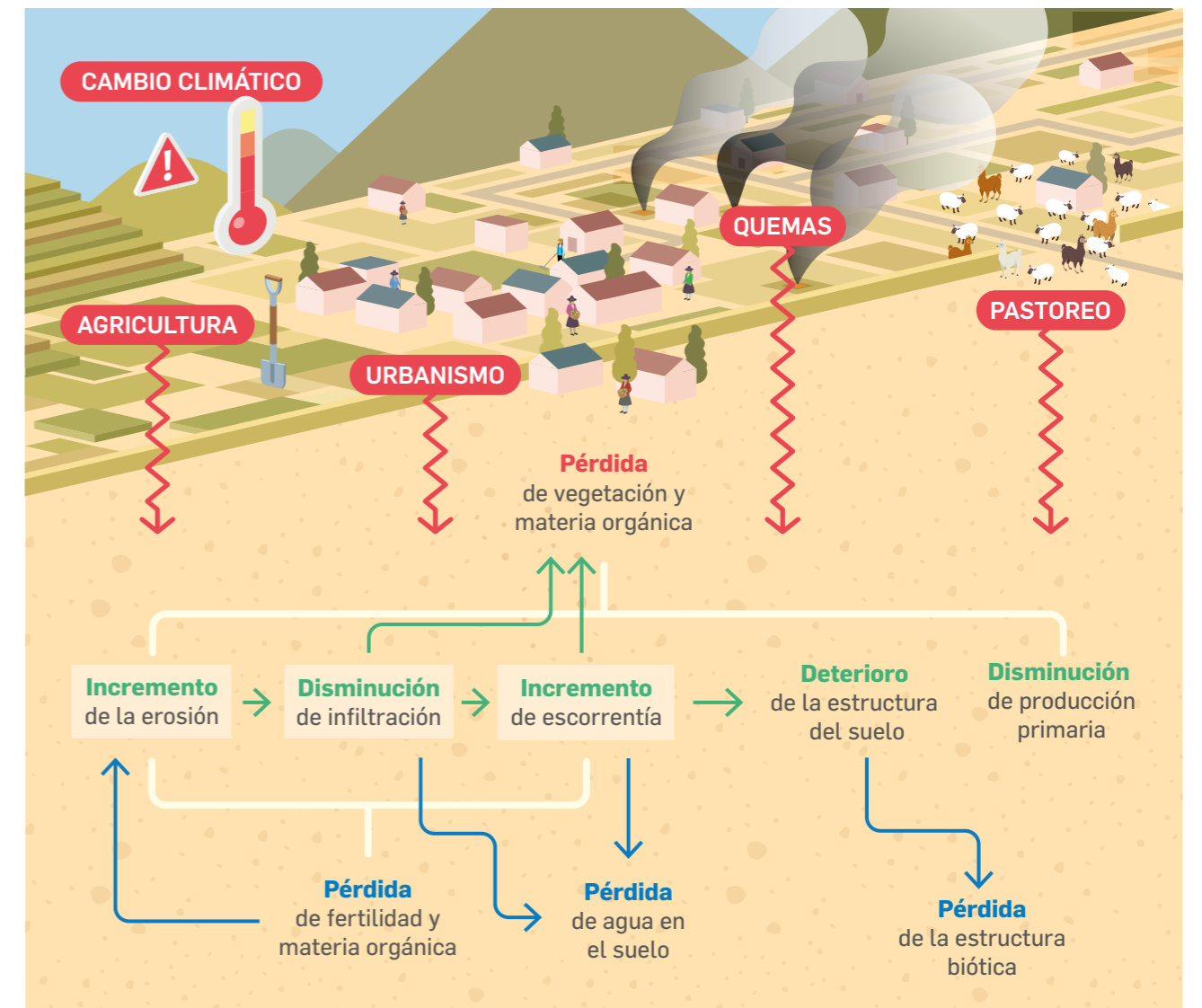
En la cuenca Piuray, diversos estudios plantean que la cabecera de cuenca viene sufriendo un fuerte proceso de erosión (laminar, surcos y cárcavas), y que sus ecosistemas se encuentran degradados (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013; EPS SEDA-CUSCO, 2017). Ello repercute en el servicio ecosistémico de regulación hídrica, es decir en la cantidad de precipitación interceptada e infiltrada en el suelo y contribuyen con la escorrentía superficial (Jullian et al., 2018).

# 1. DEGRADACIÓN EN LA CABECERA DE CUENCA PIURAY

Existen diferentes factores impulsores de degradación que causan una serie de efectos en cascada en los ecosistemas (ver Figura 15). Estos impulsores pueden ser una acción o proceso, natural o antrópico, que genera la disminución o pérdida de vegetación, los cuales influyen en la disminución de la infiltración y por tanto incrementa la escorrentía superficial. Ello, a su vez, ocasiona la pérdida prolongada de plantas y materia orgánica en la superficie del suelo, propiciando el incremento de su erosión (pérdida de nutrientes y retención de agua) hasta finalmente generar un ecosistema degradado (King & Hobbs, 2006; MINAM, 2020; Whisenant, 1999).

Figura 15

ESQUEMA CONCEPTUAL DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS

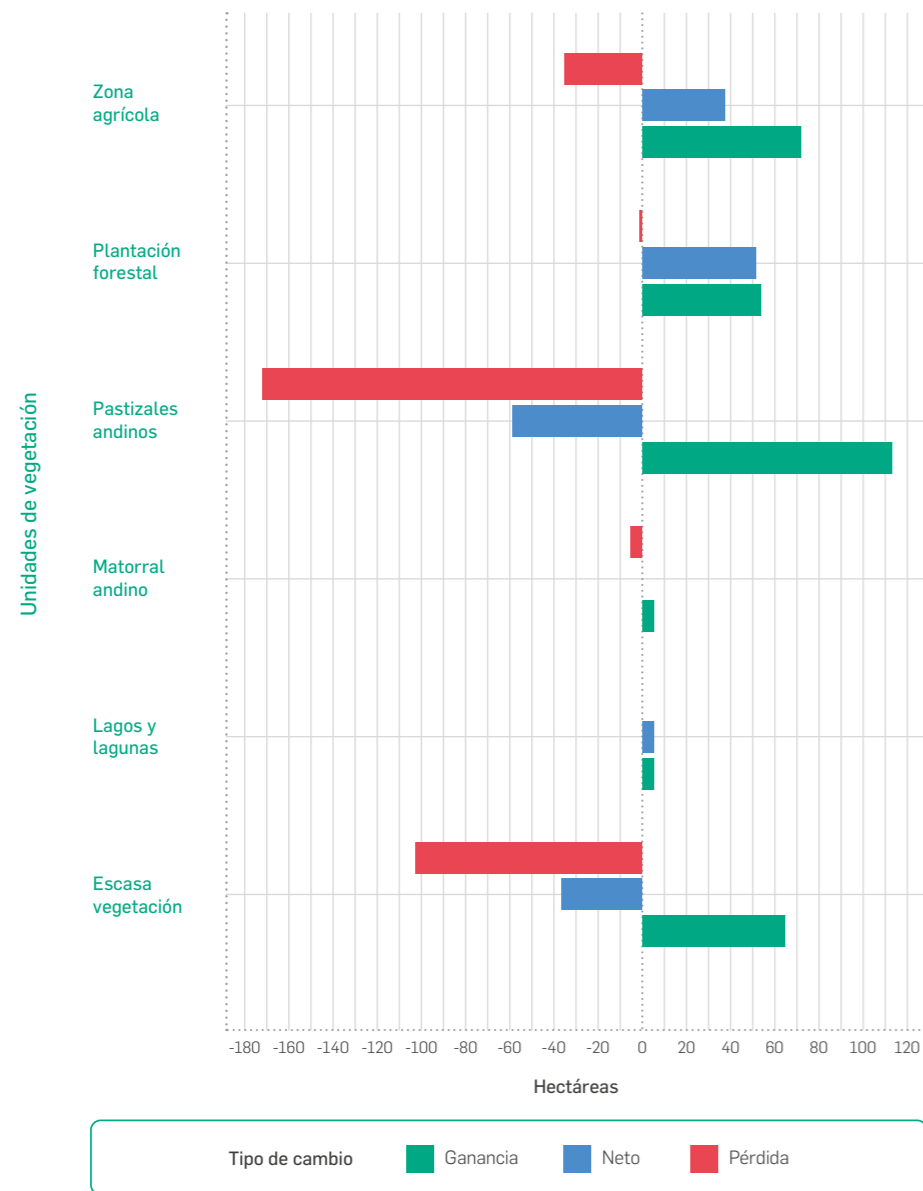


Fuente: elaboración propia

Cambios en la cobertura vegetal y zonas con evidencia de erosión. El análisis de imágenes satelitales, de 1984 a 2020, reveló cambios significativos en la cobertura vegetal de la cabecera de la cuenca Piuray. La unidad de vegetación más afectada es el pastizal andino (ver Figura 16) con una pérdida neta de 58 ha.

Estas pérdidas están asociadas con la apertura de infraestructuras viales y la expansión de áreas de cultivo. En contraste, las plantaciones forestales y las áreas agrícolas experimentaron ganancias netas, de 36 ha y 52 ha, respectivamente, debido a la creciente ocupación y cambio de uso del suelo impulsados por las actividades humanas.

**Figura 16**  
CAMBIOS POR UNIDAD DE COBERTURA VEGETAL: ANÁLISIS DE GANANCIAS, PÉRDIDAS Y CAMBIO NETO (1984 – 2020)



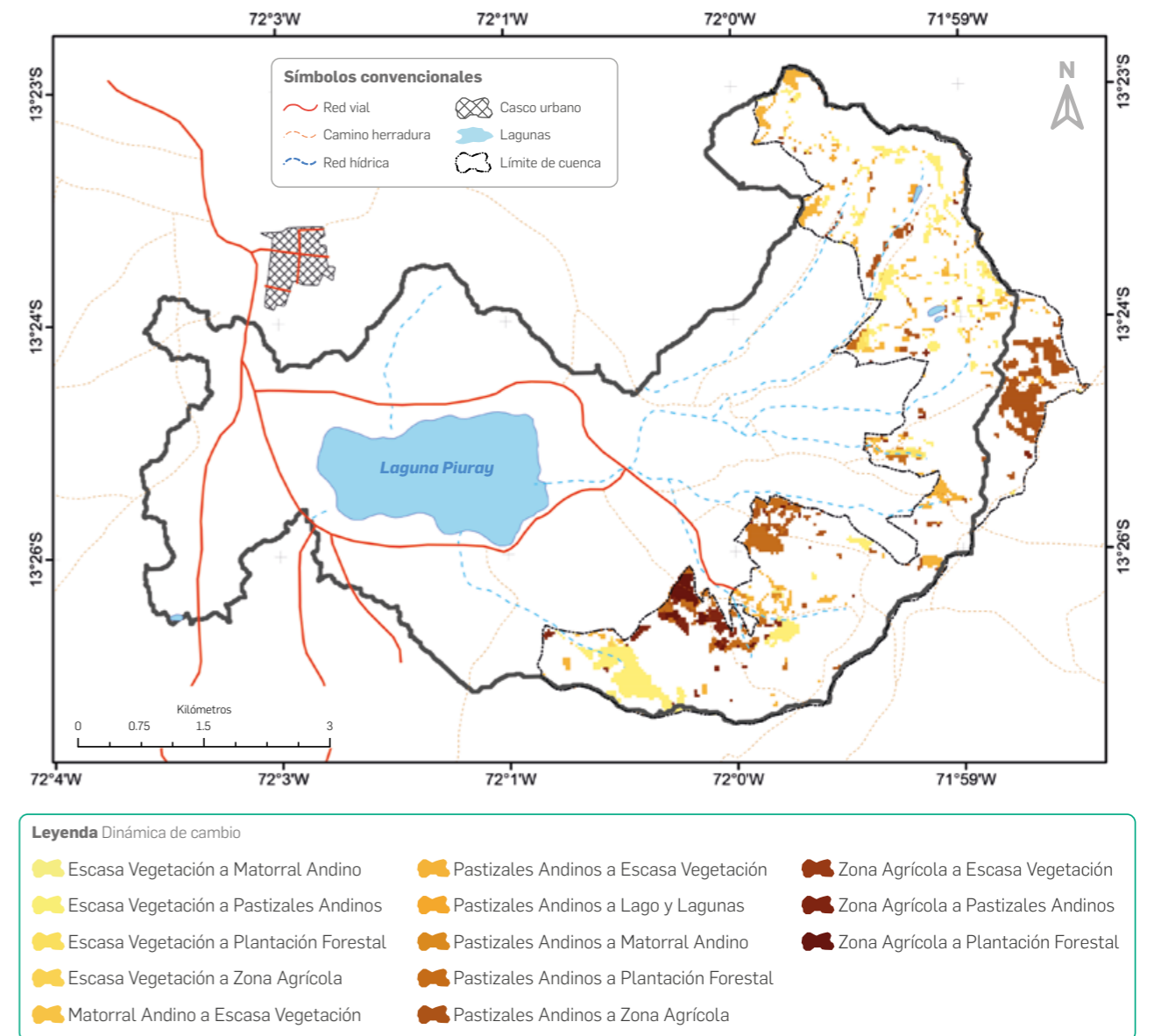
Fuente: Elaboración propia

El análisis también muestra que la escasa vegetación tiene un cambio neto de 36 ha atribuida a la construcción de vías y en menor medida por el uso agrícola. Sin embargo, la recuperación de espacios dentro de los pajonales mediante acciones de control de erosión y revegetación (implementación de inversiones en infraestructura natural), así como la reforestación han contribuido a una ganancia parcial de esta cobertura.

También se observa un incremento neto en la cobertura de lagos y lagunas, con la aparición de nuevos cuerpos de agua artificiales, y en las zonas agrícolas debido al uso constante del suelo para cultivos, mientras que el Matorral Andino casi no registra variación.

La Figura 17 muestra espacialmente las variaciones en los tipos de cobertura terrestre de la cabecera de la cuenca Piuray, mientras que el Cuadro 13 presenta los cambios más significativos, en extensión.

**Figura 17**  
DINÁMICA DE CAMBIO DE LA VEGETACIÓN: ANÁLISIS TEMPORAL 1984 - 2020



Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 13**

CUANTIFICACIÓN DE CAMBIOS POR TIPO DE COBERTURA VEGETAL EN LA CABECERA DE LA CUENCA PIURAY (1984-2020)

Tipo de cambio	Superficie (ha)
Zona agrícola a Pastizales andinos	21.33
Escasa vegetación a Pastizales andinos	90.81
Pastizales andinos a Plantación forestal	34.83
Zona agrícola a Plantación forestal	12.60
Pastizales andinos a Zona agrícola	69.39
Pastizales andinos a Escasa vegetación	61.11

Fuente: Elaboración propia

Las 21.33 ha de zona agrícola que se convirtieron en pastizales andinos, durante el periodo 1984 – 2020, sugieren un posible proceso de abandono o recuperación de tierras, probablemente influenciado por cambios en las prácticas agrícolas, políticas de conservación o en las condiciones socioeconómicas que han reducido la actividad agrícola. De manera similar, la transformación de las 90.81 ha de escasa vegetación en pastizales andinos indican un proceso de regeneración, ya sea por procesos naturales por sucesión ecológica o por esfuerzos de restauración destinados a mejorar la cobertura vegetal en zonas degradadas.

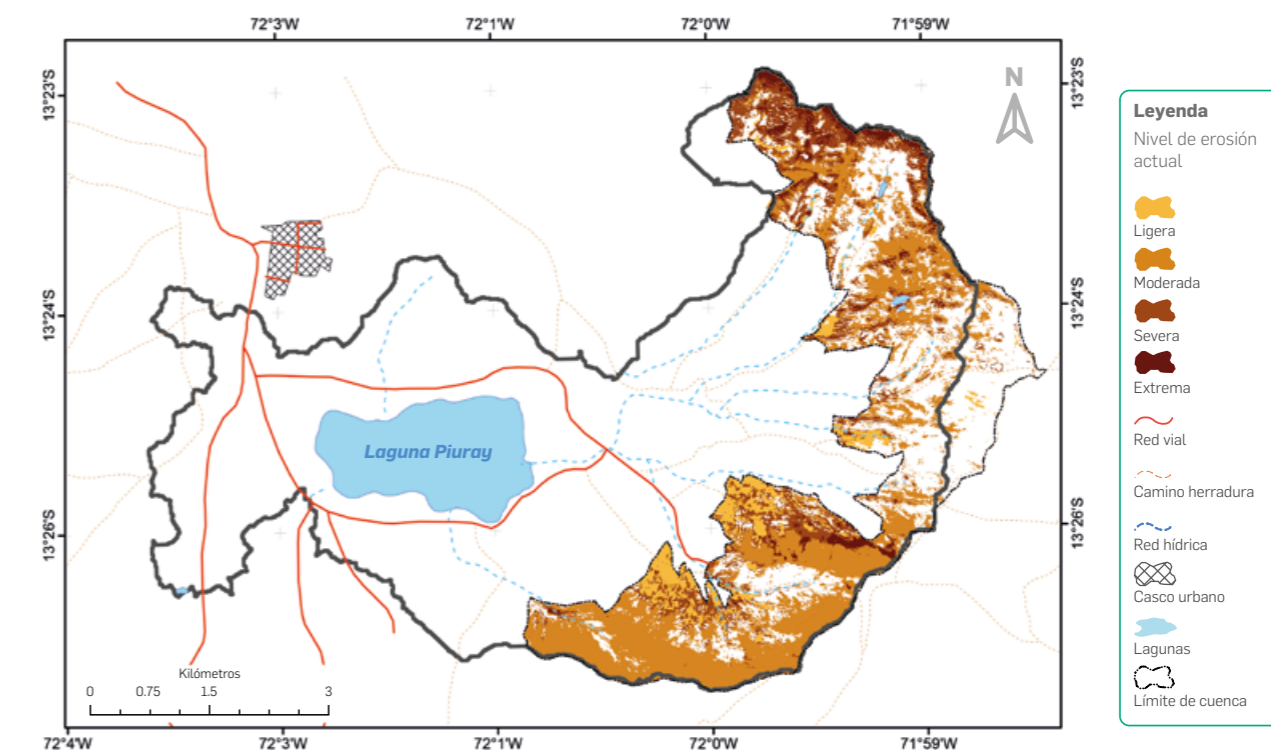
La intervención humana en el paisaje, durante el periodo analizado, es evidente en las 34.83 ha de pastizales andinos que se convirtieron en plantación forestal posiblemente motivado por la producción maderera, recuperación de suelos, captura de carbono y/o conservación de la biodiversidad. Asimismo, la conversión de 12.60 ha de zona agrícola en plantación forestal podría relacionarse con políticas de reforestación o incentivos económicos para la silvicultura. Sin embargo, la expansión agrícola es notable, con 69.39 ha de pastizales andinos convertidos en tierra agrícola reflejando una creciente demanda de productos agrícolas y cambios en las prácticas de uso del suelo. En contraste, las 61.11 ha de pastizales andinos que se transformaron en escasa vegetación indican una degradación o pérdida de cobertura vegetal, probablemente como resultado del sobrepastoreo, la erosión del suelo, los cambios climáticos o las actividades humanas no sostenibles.

Estos cambios reflejan dinámicas complejas en el uso del suelo y la cobertura vegetal, que pueden estar influenciados por una combinación de factores ecológicos, socioeconómicos y de gestión del territorio. Para comprender completamente las causas y las implicaciones de estos cambios, es necesario un análisis más detallado que considere el contexto local, las políticas vigentes y las tendencias a largo plazo en la región.

Como se ha observado, en la zona de cabecera de la cuenca Piuray, la pérdida de la cobertura vegetal se atribuye a actividades antrópicas como el sobrepastoreo, las quemadas y la construcción de infraestructuras viales, que, junto con los cambios en la intensidad de la precipitación, están acelerando los procesos erosivos en la cuenca. A través de un mapeo de imágenes satelitales, se ha determinado que en la cabecera de cuenca existen aproximadamente 2 345 ha con evidencias de erosión laminar y cárcavas (ver Figura 18).

**Figura 18**

EROSIÓN EN LA CABECERA DE LA CUENCA PIURAY PARA EL PERIODO 1984 – 2020



Fuente: Elaboración propia

La erosión del suelo es considerada la última etapa de degradación de los ecosistemas, donde la cobertura vegetal ha sido completamente eliminada y la precipitación arrastra las partículas más finas del suelo. Este proceso tiene graves consecuencias en la estructura y funcionalidad de los ecosistemas, afectando la biodiversidad, la calidad del agua y la productividad agrícola (Montagnini et al., 2006). Además, también puede provocar la sedimentación de los cuerpos de agua, alterando la calidad del agua a la fauna acuática.

### 1.1 Identificación de zonas degradadas

Para identificar las áreas de degradación en la cabecera de la cuenca Piuray, se delimitó la zona de cabecera, sobre una base cartográfica de 1/25 000, aplicando la metodología sugerida por la Autoridad Nacional del Agua (2021). La delimitación se realizó mediante la lectura de las curvas de nivel, apoyada por un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) de 30 m de resolución. Para ello, se consideraron todos los cursos de agua de orden uno, basándose en la información topográfica de la Carta Nacional a escala 1:100 000, tal como se aprecia en la Figura 8 de la sección 1.2 del Capítulo I.

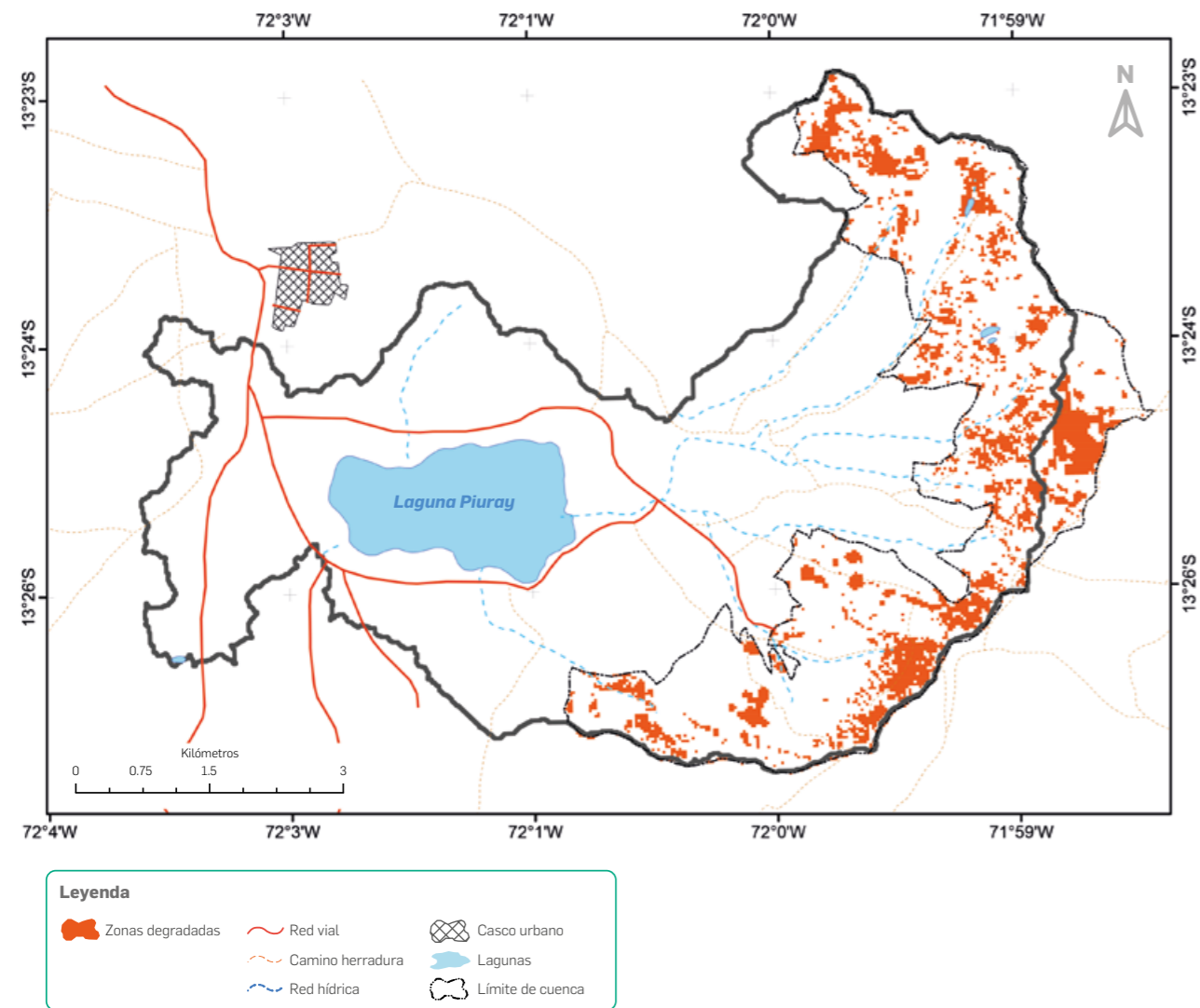
Una vez delimitada la cabecera de cuenca, se llevó a cabo el análisis de la degradación utilizando el enfoque de Neutralidad de la Tierra, propuesto por la UNCCD, para medir el indicador de desarrollo sostenible 15.3.1, según lo propuesto por Sims et al. (2021). Se empleó la metodología propuesta por Trends.Earth para identificar la degradación basada en tres aspectos principales:

- Cambios en la cobertura terrestre: Se analizaron los cambios en la productividad de la vegetación y los cambios en la vegetación misma, en la zona de cabecera de cuenca.
- La productividad del suelo: Se centró en las zonas con baja productividad medida a partir de los valores temporales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) obtenidos de imágenes Landsat. Se consideraron aquellas áreas con un cambio tendencial negativo en el NDVI, así como aquellas que experimentaron una reducción en su valor entre el periodo de medición de línea base (promedio para el periodo 1985 a 2015) y el valor de referencia (promedio para el periodo 2015 a 2023).

Cambio en el carbono del suelo: Indica una alteración, tanto en la vegetación como en el suelo, con la iniciación de procesos de erosión y degradación del suelo. Se revisó datos de series temporales, se realizó la interpretación de imágenes satelitales para calcular la extensión de la degradación durante un periodo de tiempo específico (1985 a 2015) y se comparó con un periodo de referencia (2015 a 2023) para determinar el grado de cambio experimentado.

La integración de estos tres resultados permitió generar el mapa de degradación para la cabecera de la cuenca de Piuray durante el periodo 1985 a 2023 (ver Figura 19), que evidencia conjuntamente las zonas con cambios en la productividad, degradación de la vegetación y del suelo.

**Figura 19**  
ZONAS DEGRADADAS DE LA CABECERA DE LA CUENCA PIURAY



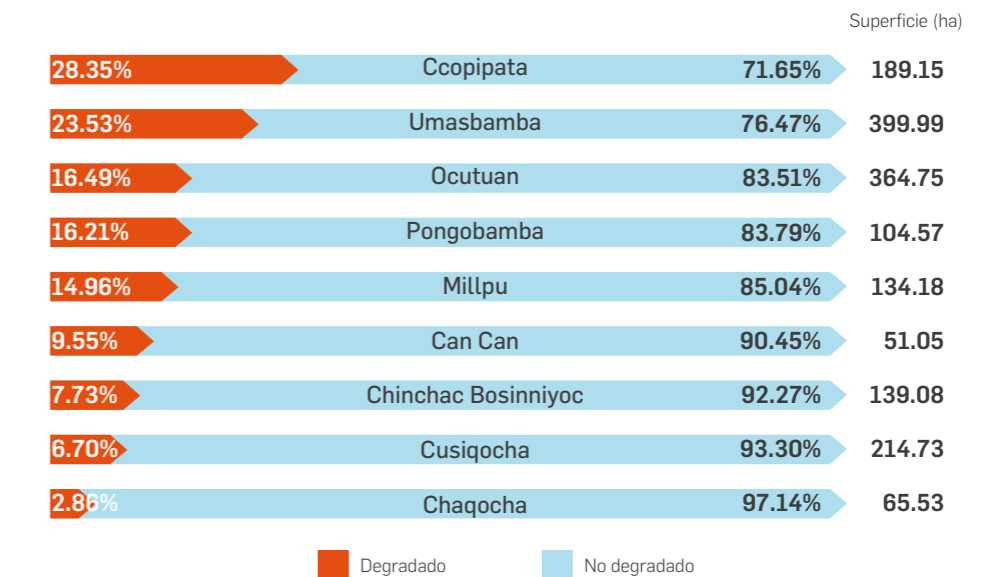
Fuente: Elaboración propia

El análisis basado en la evaluación de imágenes satelitales durante un período de más de 30 años (1985 al 2023) evidencia que la pérdida de productividad de la vegetación es el principal indicador de degradación. Los cambios en la cobertura terrestre indican que la mayor superficie degradada ocurre por la transformación de pastizales andinos en zonas agrícolas. Por otra parte, el cambio de carbono en el suelo ha experimentado pérdidas debido a la transformación de los pastizales andinos a zonas agrícolas y áreas de escasa o sin vegetación.

El análisis integrado de estos cambios en la cabecera de la cuenca Piuray permitió establecer que 262.68 ha (16.39 %) de la superficie total (1 603.04 ha) se encuentra degradada, con cambios evidentes en la cobertura terrestre, disminución de la productividad de la tierra y cambios significativos en las reservas de carbono en el suelo.

La Figura 20 muestra que la quebrada con mayor porcentaje degradación es Ccopipata con un 28.35 % de su área total afectada, seguida por Umasbamba con un 23.53 % y Ocutuán con un 16.49 % de superficie degradada. Por otro lado, la cuenca con menor porcentaje de degradación es Chaqocha, con solo un 2.86 % de su superficie afectada, seguida por Cusiqocha con un 6.70 % y Chinchayqocha con un 7.73 %.

**Figura 20**  
SUPERFICIE DE ÁREAS DEGRADADAS (HA) EN LA CABECERA DE LA CUENCA PIURAY



Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que, si bien algunas quebradas de la zona de cabecera tienen un alto porcentaje de superficie no degradada, como Chaqocha con un 97.14 % y Cusiqocha con un 93.30 %, otras cuencas como Ccopipata y Umasbamba presentan niveles preocupantes de degradación (ver Fotografía 6), con más del 20 % de su superficie afectada. Esto sugiere, la necesidad de implementar medidas de conservación y rehabilitación en estas zonas para evitar un mayor deterioro de los ecosistemas y los recursos hídricos de la cuenca Piuray.

**Fotografía 6**

ÁREAS DEGRADAS EN LA CABECERA DE CUENCA DE LA CUENCA PIURAY



Área con escasa vegetación.

Foto: Joshua Castro



Área con costra de suelo y poca vegetación.

Foto: Joshua Castro



Vista de la interacción entre zonas con escasa y sin vegetación y zonas pastizales.

Foto: Joshua Castro

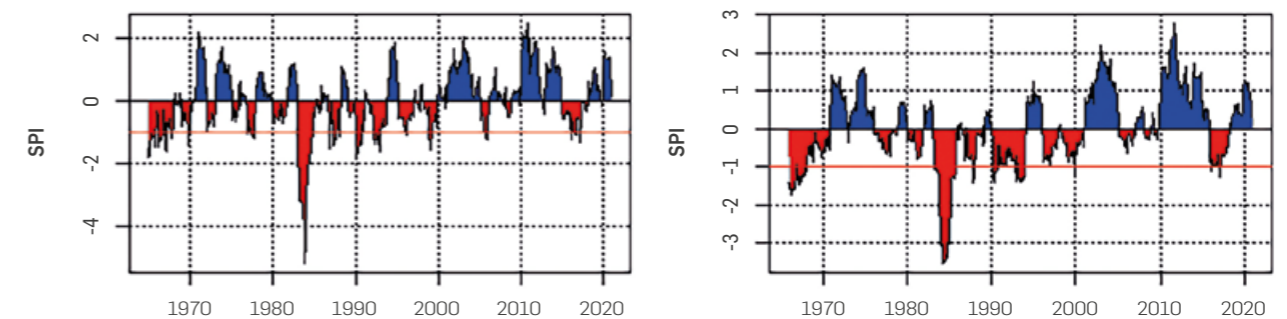
## 2. EFECTO DE LA DEGRADACIÓN EN EL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN HÍDRICA DE LA CUENCA PIURAY

La regulación del agua está condicionada por los tipos de vegetación y las características del suelo, que determinan propiedades como la evapotranspiración e infiltración (Grizzetti et al., 2016). En base a modelos conceptuales de cuencas andinas, se estima que, en escenarios futuros, la evapotranspiración se incrementa y el almacenamiento de acuíferos disminuye, reduciéndose los caudales (Somers et al., 2019).

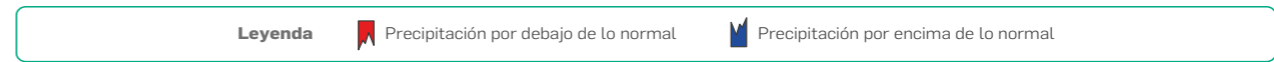
La cuenca Piuray no es ajena a este panorama hídrico. El INAIGEM utilizó el índice de precipitación estandarizada (SPI), en esta cuenca, para analizar la variabilidad de la sequía en un periodo de 56 años, de 1964 a 2020 (ver Figura 21).

**Figura 21**

ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO PARA ESCALAS DE TIEMPO DE 12 MESES (SPI 12) Y 24 MESES (SPI 24) EN LA CUENCA PIURAY



SPI: Índice Estandarizado de Precipitación

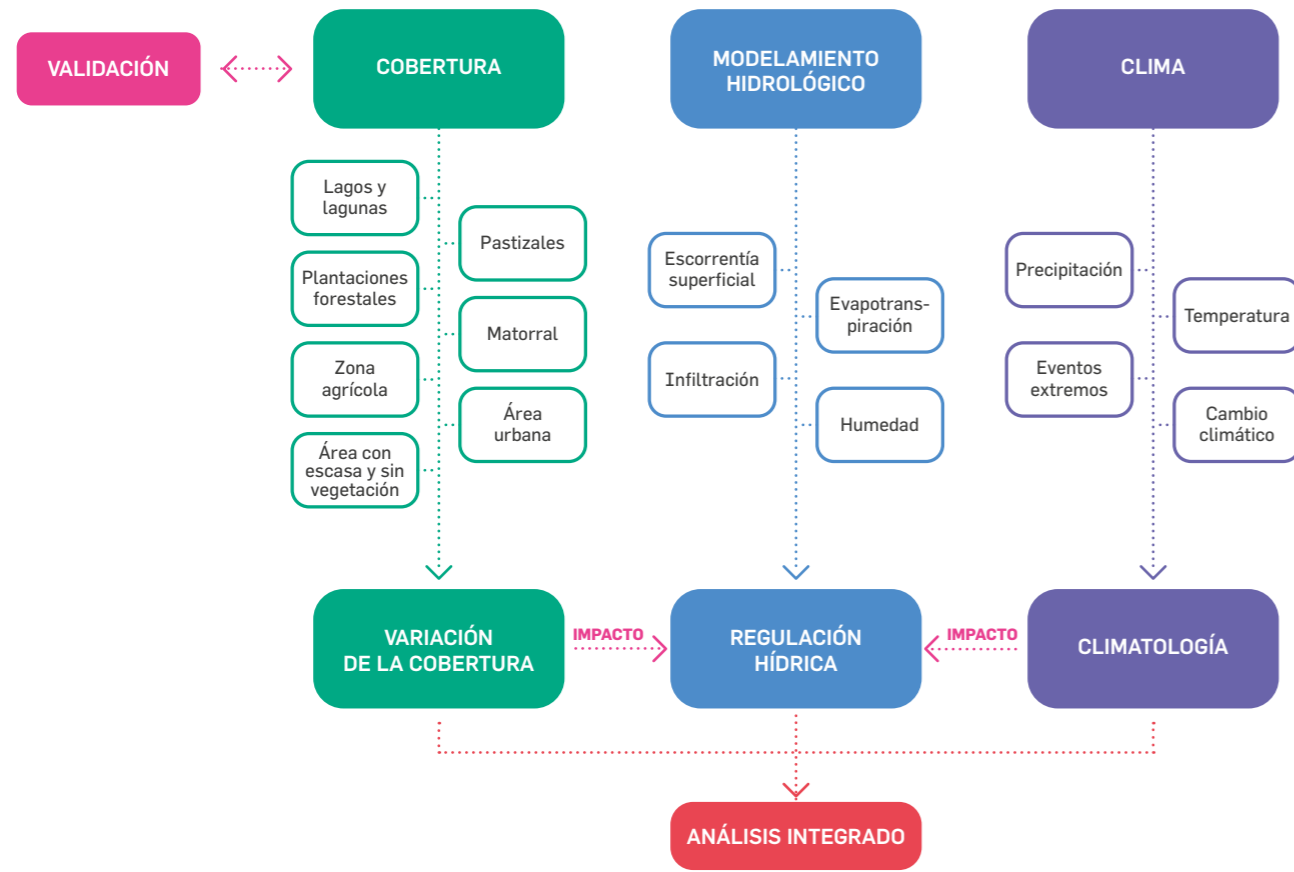


Fuente: Elaboración propia

Los valores positivos de SPI indican una precipitación por encima de la media, mientras que cuando el valor es igual o inferior a -1 la sequía empieza (Organización Meteorológica Mundial, 2012). El SPI reveló ciclos significativos de sequía, especialmente severos entre 1964-1967 y 1983-1984. Durante este último periodo, se registraron sequías extremadamente secas, con SPI alcanzando hasta -5.2 en noviembre de 1983.

Por otro lado, en la cuenca Piuray, se estimaron los cambios de cobertura y su relación con la regulación hídrica, mediante el uso de teledetección a partir de imágenes Landsat (5, 7 y 8) para el periodo 1984 a 2021. La validación del procesamiento de estas imágenes satelitales se realizó mediante el uso de ortomosaicos obtenidos a través de vuelos con dron. La Figura 22 resume de manera general el proceso de análisis realizado.

**Figura 22**  
FLUJOGRAMA PARA ANÁLISIS DE RESPUESTA HIDROLÓGICA A CAMBIOS DE LA COBERTURA



Fuente: Elaboración propia

## 2.1 Análisis de los cambios de cobertura vegetal en las quebradas prioritizadas

Para el análisis de los cambios de cobertura vegetal, la cuenca Piuray se dividió en ocho zonas denominadas "Zonas de Análisis", de estas, siete corresponden a las "Quebradas Priorizadas" por el INAIGEM. A partir del análisis espacial del modelo SWAT basado en unidades clasificadas según los puntos de descarga o afluentes a la laguna Piuray (ver Figura 2).

La cobertura vegetal en estas zonas (ver Figura 23) indica que, en gran parte de la cabecera de cuenca, los pastizales andinos tienen correspondencia con la variación de otras coberturas, con cambios que se relacionan con los de las zonas agrícolas y las zonas con escasa vegetación. A partir del 2005, se observa un incremento en la cobertura de plantación forestal, asociado al crecimiento de especies forestales y técnicas de manejo forestal. Aunque el área urbana crece en algunas zonas, el Matorral Andino muestra un comportamiento variable, sugiriendo que este tipo de cobertura no recibe algún tipo de manejo. Los lagos y lagunas tienen baja presencia en muchas zonas altas, destacándose la laguna Piuray, que juega un papel central en el desarrollo agrícola y urbano. Entre las quebradas analizadas, Umasbamba se destaca por ser el foco principal de los trabajos de investigación de INAIGEM.

**Figura 23**  
VARIACIÓN MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL POR ZONAS DE ANÁLISIS

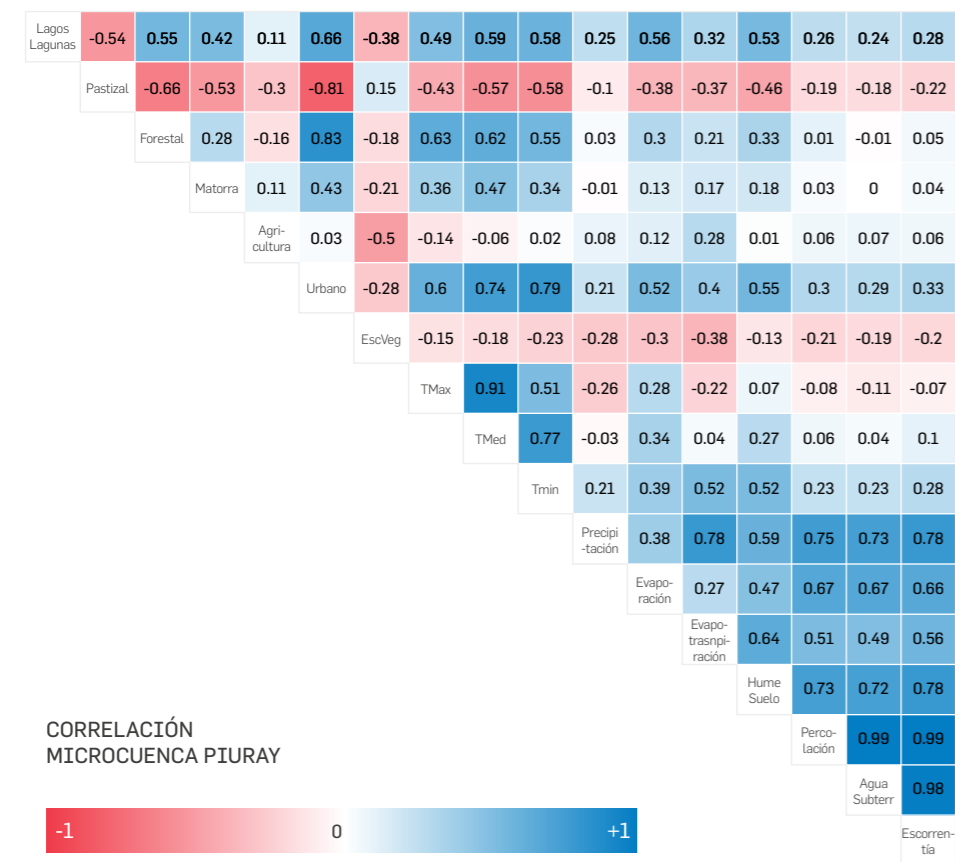


Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Caracterización del servicio de regulación hídrica en las quebradas prioritizadas

La regulación hídrica en la cuenca Piuray está representada por la evapotranspiración, percolación, agua subterránea y la escorrentía, y humedad del suelo. Un análisis estadístico de correlación a escala de esta cuenca (ver Figura 24), revela asociaciones entre: pastizales con áreas urbanas, plantación forestal y temperatura, presentando una relación indirecta; percolación con agua subterránea, humedad del suelo y escorrentía, mostrando una relación directa, mientras que la precipitación tiene una relación directa con la escorrentía y la evapotranspiración. También indica una relación indirecta leve entre los cambios de la cobertura pastizal sobre la escorrentía, percolación y agua subterránea, estando relacionada con los cambios en zonas de plantación forestal y área urbana.

**Figura 24**  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN PARA LAS VARIABLES DEL MODELO SWAT A ESCALA DE LA CUENCA PIURAY



Fuente: Elaboración propia

Este análisis de la cuenca Piuray reveló que las variables de regulación hídrica presentan una relación positiva con gran parte de las variables que consideró el modelo, excepto con los pastizales, las áreas de escasa vegetación y con la temperatura máxima. Estas relaciones no son claras y parecen tener incongruencias, por ejemplo, en la relación que hay entre las diferentes coberturas de vegetación y un mismo parámetro hidrológico. Por esta razón, se optó por aplicar este modelamiento a escala de quebrada, para obtener así valores de las variables de regulación hídrica mejor ajustados a la realidad.

Se analizaron los valores promedios anuales de estas variables en cada quebrada prioritizada de la cuenca Piuray (ver Figura 2) durante el periodo 1984 – 2020. Sin considerar los datos de Piuray Bajo, la evapotranspiración tuvo valores más elevados en la quebrada Pongobamba, mientras que la quebrada Millpu presentó los valores más bajos. La percolación y el agua subterránea mostraron una variación multianual muy similar, con mayores registros en Umasbamba y Chaqocha, mientras que los valores más bajos se presentaron en Ocutuán. Por otra parte, la escorrentía presentó su mayor valor en Pongobamba, seguido de la quebrada Ocutuán, presentando sus valores más bajos en la quebrada Millpu.

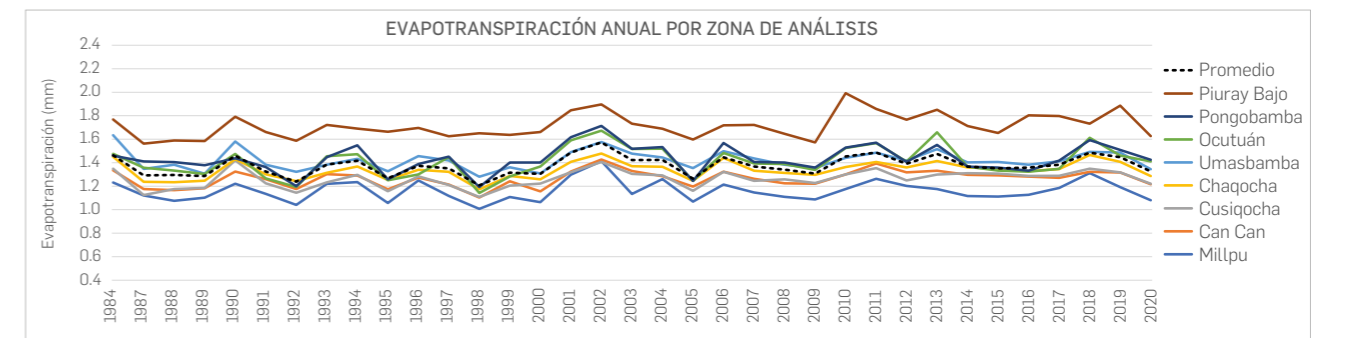
Cabe señalar que las características de cobertura de las quebradas Umasbamba y Chaqocha mantienen un elevado registro de zonas de pastizales andinos, mientras que en Pongobamba se tiene una alta similitud entre los registros de pastizales andinos y zonas agrícolas. Por su parte, Millpu presenta registros más altos de zonas de pastizales andinos en conjunto con las áreas altoandinas con escasa y sin vegetación. Esto manifiesta la importancia de los factores hidrológicos en el desarrollo de la agricultura y áreas de pastizales.

A continuación, se describe la variación anual de cada una de las variables de regulación hídrica, a excepción de humedad del suelo.

### 2.2.1 Evapotranspiración

Se obtuvo la información de evapotranspiración a partir de los registros mensuales de cada una de las quebradas prioritizadas. Los resultados (ver Figura 25) indican que Piuray Bajo presentó una mayor evapotranspiración con un promedio de 1.71 mm para el periodo 1984 – 2020, mientras que Umasbamba fue la que presentó el menor valor promedio con 1.42 mm. En el 2002 y 2010, se tuvieron picos elevados dentro de todos los registros, mientras que en los años 1992 y 1998 se evidenciaron los valores más bajos.

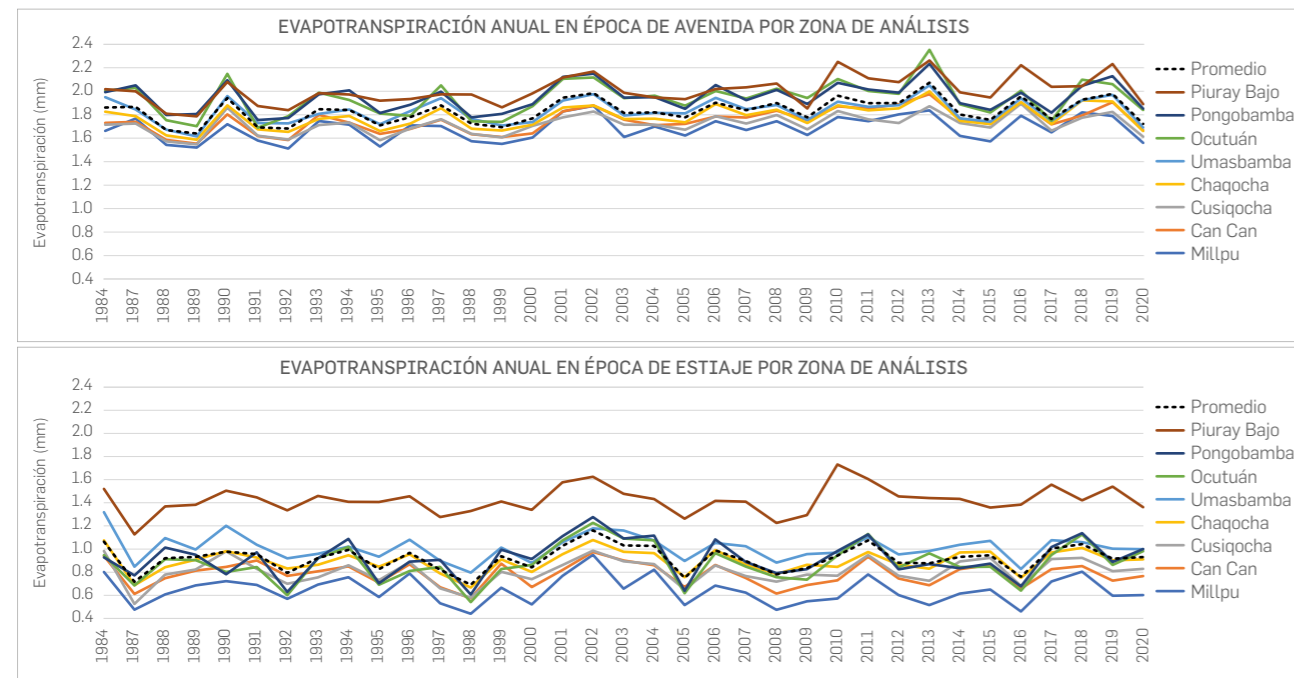
**Figura 25**  
COMPORTAMIENTO ANUAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POR ZONAS DE ANÁLISIS



Fuente: Elaboración propia

También se analizaron los datos a escala multianual para dos épocas del año: los meses de avenidas y de estiaje (ver Figura 26). Se observa una diferencia de hasta 0.91 mm entre la época de avenidas y de estiaje. El registro más alto se da en Piuray Bajo durante ambas épocas; una probable explicación de este comportamiento es la presencia de la laguna Piuray en esa zona. Los picos más elevados se presentaron en los años 2010 y 2013 en la época de avenidas, mientras que en la época de estiaje se presentaron en el 2002 y 2010. Por otra parte, los registros más bajos se registraron durante los años 1989 y 2015 en época de avenidas, y durante los años 1987, 1998 y 2016 para la época de estiaje.

**Figura 26**  
COMPORTAMIENTO ANUAL DE EVAPOTRANSPIRACIÓN EN ÉPOCA DE AVENIDAS Y ESTIAJE POR ZONA DE ANÁLISIS

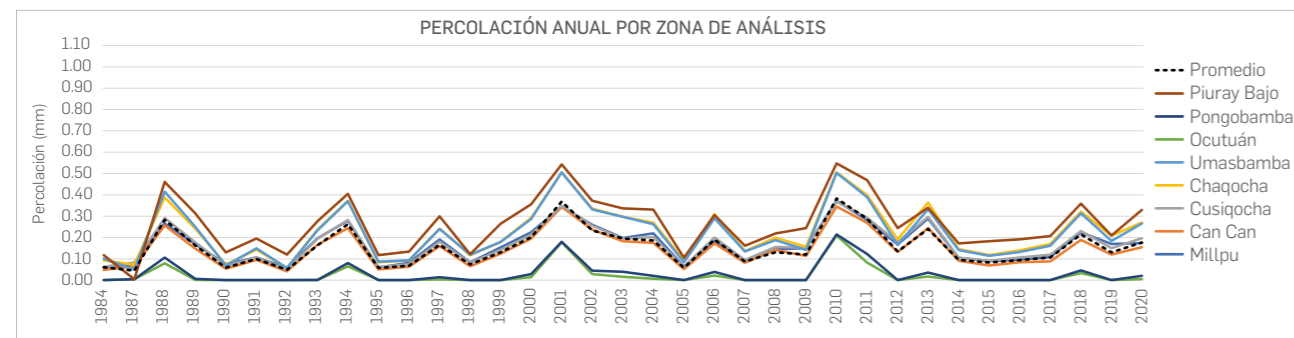


Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2 Percolación

La Figura 27 muestra el comportamiento anual de percolación mostrando su mayor valor en Piuray Bajo con un promedio de 0.2622 mm, seguido de Umasbamba, con un valor promedio de 0.2179 mm. Ocutuán y Pongobamba presentaron comportamientos similares teniendo los valores más bajos, de 0.0218 mm y 0.0285 mm respectivamente. Las quebradas restantes presentaron una percolación promedio de 0.1838 mm, presentándose en todos los casos el registro más alto durante los años 2001 y 2010.

**Figura 27**  
COMPORTAMIENTO ANUAL DE PERCOLACIÓN POR ZONA DE ANÁLISIS

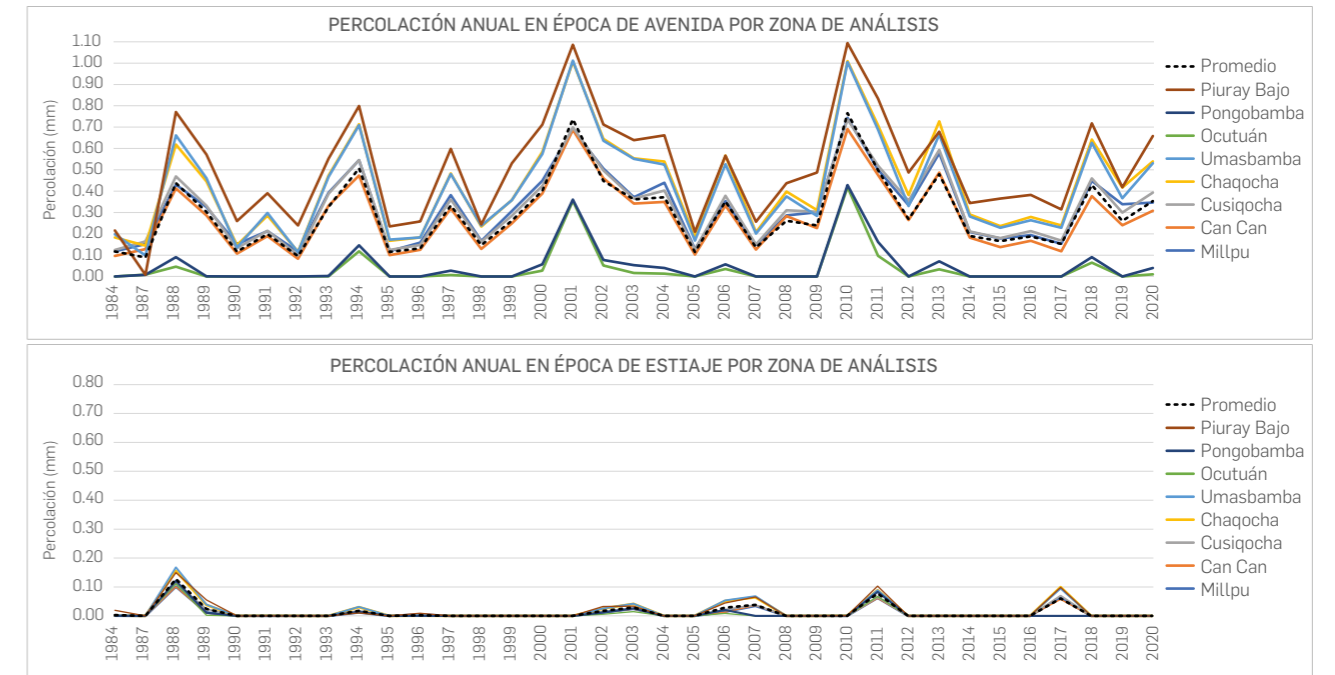


Fuente: Elaboración propia

La percolación anual presenta diferentes comportamientos entre la época de avenidas y de estiaje, observándose una diferencia de hasta un +95 % (ver Figura 28). Existe una mayor percolación durante la época de avenidas, con el registro más alto en Piuray Bajo, seguido de Umasbamba, y sin diferencias significativas con las demás quebradas priorizadas. Los picos más altos se presentaron en los años 2001 y 2010 para la época de avenidas, mientras que para la época de estiaje se presentaron en

los años 1998, 2011 y 2017. Los registros más bajos de percolación sucedieron durante diferentes años, siendo más frecuentes durante la época de estiaje.

**Figura 28**  
COMPORTAMIENTO ANUAL DE PERCOLACIÓN EN ÉPOCA DE AVENIDAS Y ESTIAJE POR ZONA DE ANÁLISIS



Fuente: Elaboración propia



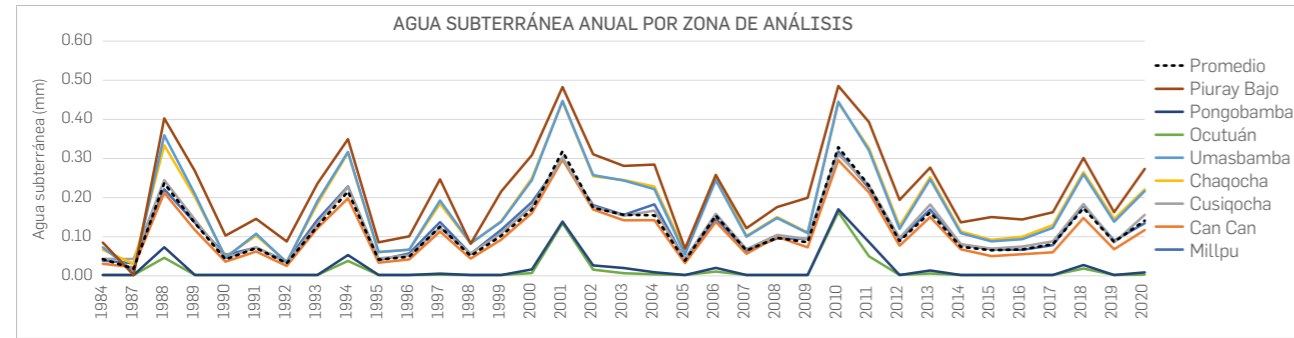
Formación de nubes en la cuenca Piuray durante la época húmeda.

Foto: Renny Díaz

### 2.2.3 Agua subterránea

El registro de agua subterránea o flujo base (ver Figura 29) indica que su mayor valor sucede en Piuray Bajo con un promedio de 0.2154 mm, seguido de Umasbamba, con un valor promedio de 0.1735 mm. Ocutuán y Pongobamba presentaron comportamientos similares, siendo los que presentaron los valores más bajos con 0.0136 mm y 0.0183 mm respectivamente. Las quebradas restantes presentaron un valor promedio de 0.1399 mm, y los registros más altos se presentaron durante los años 2001 y 2010.

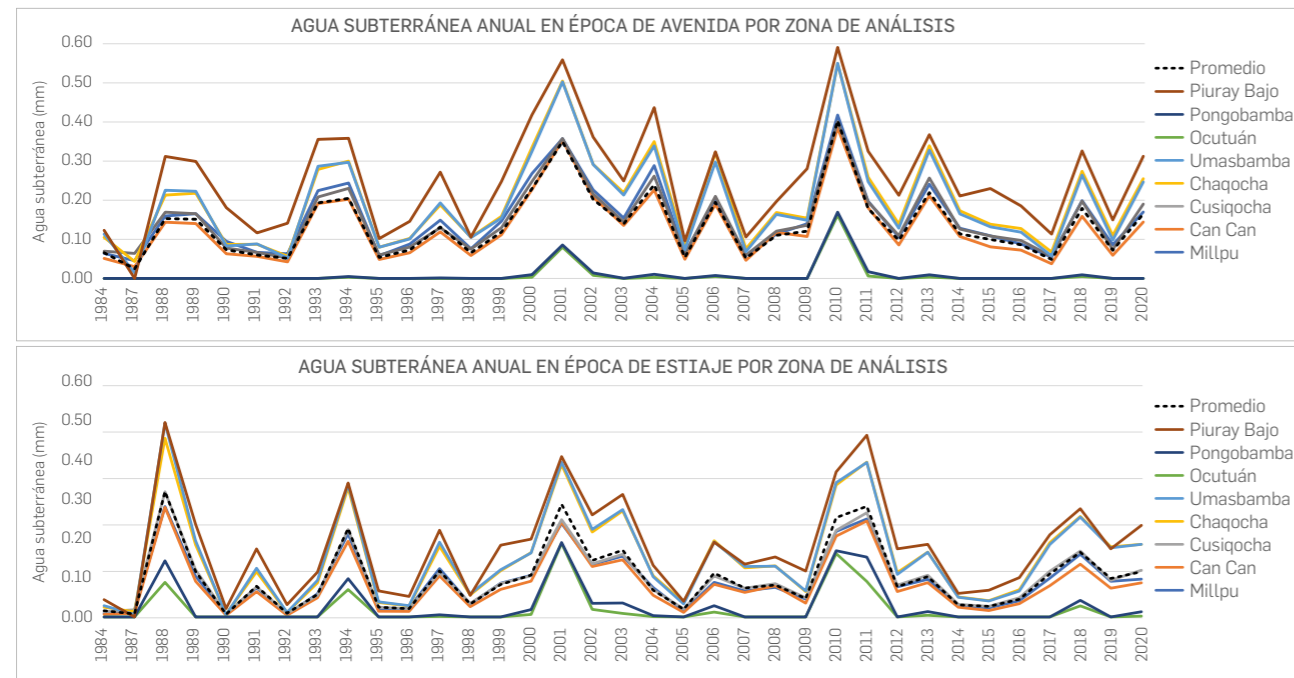
**Figura 29**  
COMPORTAMIENTO ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA POR ZONA DE ANÁLISIS



Fuente: Elaboración propia

La variación temporal presenta características similares durante la época de avenidas y de estiaje, con una diferencia de hasta +26 % entre ambas (ver Figura 30). El registro más alto se presentó en Piuray Bajo durante ambas épocas, sin diferencias significativas con el resto de quebradas priorizadas. Los picos más altos se presentaron en los años 2001, 2010 y 2011 para ambas épocas, mientras que los más bajos se registraron durante diferentes años, siendo estos más recurrentes en la época de estiaje.

**Figura 30**  
COMPORTAMIENTO ANUAL DE AGUA SUBTERRÁNEA EN ÉPOCA DE AVENIDAS Y ESTIAJE POR ZONA DE ANÁLISIS

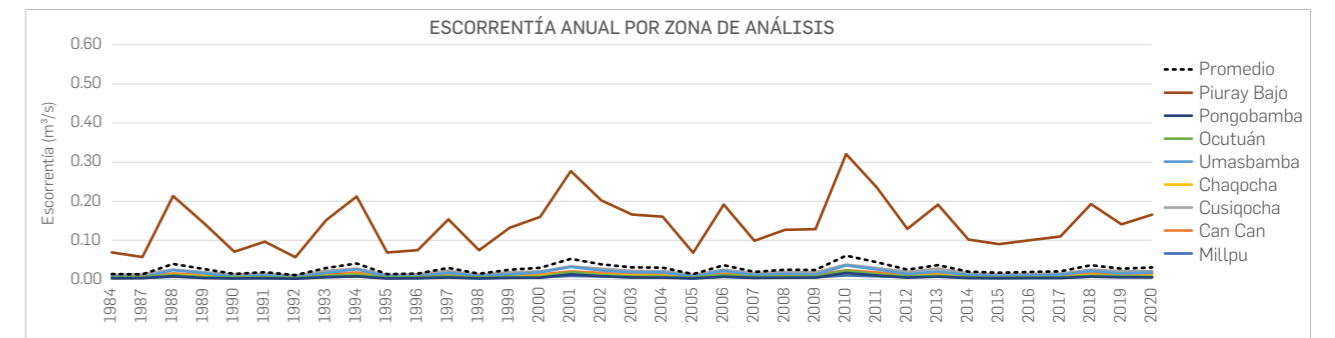


Fuente: Elaboración propia

### 2.2.4 Escorrentía

La variación de la escorrentía muestra una mayor generación de agua superficial en Piuray Bajo con un promedio de 0.1690 m³/s. Las siete quebradas priorizadas presentaron valores inferiores de escorrentía: Cusiqocha (0.0235 m³/s), Umasbamba (0.0187 m³/s), Can Can (0.0147 m³/s), Chaqocha (0.0102 m³/s), Ocutuán (0.0097 m³/s), Millpu (0.0067 m³/s), y Pongobamba (0.0065 m³/s). Los valores más altos de escorrentía se registraron durante los años 1988, 1994, 2001 y 2010. Ver Figura 31.

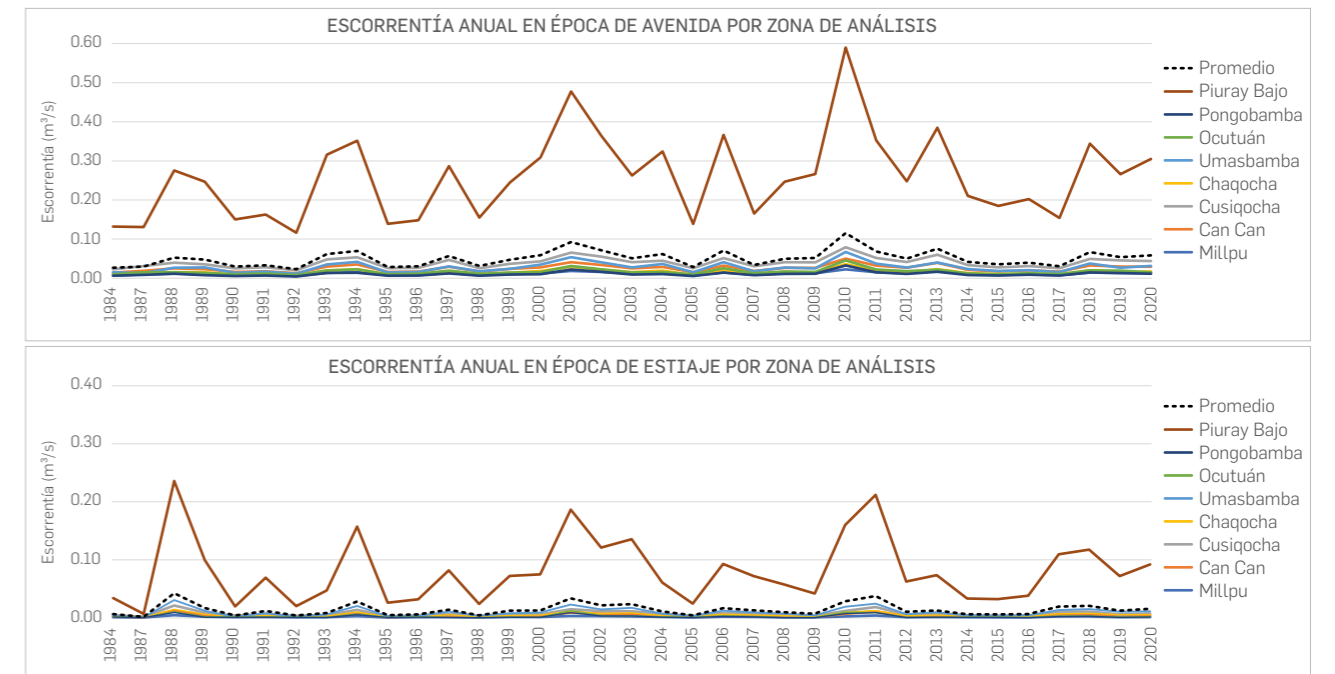
**Figura 31**  
COMPORTAMIENTO ANUAL DE ESCORRENTÍA POR QUEBRADAS DE ANÁLISIS



Fuente: Elaboración propia

El comportamiento temporal de la escorrentía es similar durante la época de avenidas y de estiaje, observándose una diferencia de hasta +72 % o +0.0365 m³/s entre ambas épocas (ver Figura 32). El registro más alto se presentó en Piuray Bajo en ambas épocas, sin diferencias significativas con las otras quebradas priorizadas. Los picos más altos se registraron para las dos épocas en los años 1988, 2001 y 2011. Por otra parte, los registros más bajos se evidenciaron en diferentes años, siendo estos más recurrentes durante la época de estiaje.

**Figura 32**  
COMPORTAMIENTO ANUAL DE ESCORRENTÍA EN ÉPOCA DE AVENIDAS Y ESTIAJE POR ZONA DE ANÁLISIS



Fuente: Elaboración propia

## 2.3 Efecto de la degradación en la regulación hídrica

Para evaluar los impactos de un ecosistema degradado sobre la regulación hídrica, es crucial establecer indicadores que permitan definir la condición y cambios a lo largo del tiempo (García et al., 2016; Pérez et al., 2019). Los parámetros seleccionados para el análisis fueron: agua subterránea, evapotranspiración, escorrentía, humedad del suelo y percolación. Se llevó a cabo un modelamiento hidrológico, usando el periodo 1984-1990 como línea base, para observar cómo el comportamiento de la escorrentía y la percolación se relacionan con la cobertura vegetal en las quebradas que componen la cabecera de la cuenca Piuray.

Los resultados en siete de las quebradas priorizadas (ver Cuadro 14) indican que las quebradas de Ocutuán y Pongobamba, donde aproximadamente el 16 % de su superficie muestra evidencias de degradación (ver Figura 20), exhiben las mayores reducciones en los indicadores de percolación y agua subterránea. Esto sugiere una disminución en la capacidad de regulación hídrica en estas áreas a lo largo del tiempo.

Sin embargo, la situación varía entre diferentes quebradas. Por ejemplo, en Umasbamba, a pesar de tener la mayor superficie degradada, los indicadores de regulación hídrica no muestran una tendencia clara de disminución. Este hallazgo resalta la complejidad de los procesos ecohidrológicos y la necesidad de considerar múltiples variables, como las características del suelo y la hidrogeología, para comprender completamente el impacto de la degradación del ecosistema en la disponibilidad de agua (Buytaert et al., 2006; Ochoa-Tocachi et al., 2016).

### Cuadro 14

#### COMPARACIÓN DE VALORES DE INDICADORES DE REGULACIÓN HÍDRICA Y DEGRADACIÓN EN CABECERA DE CUENCA

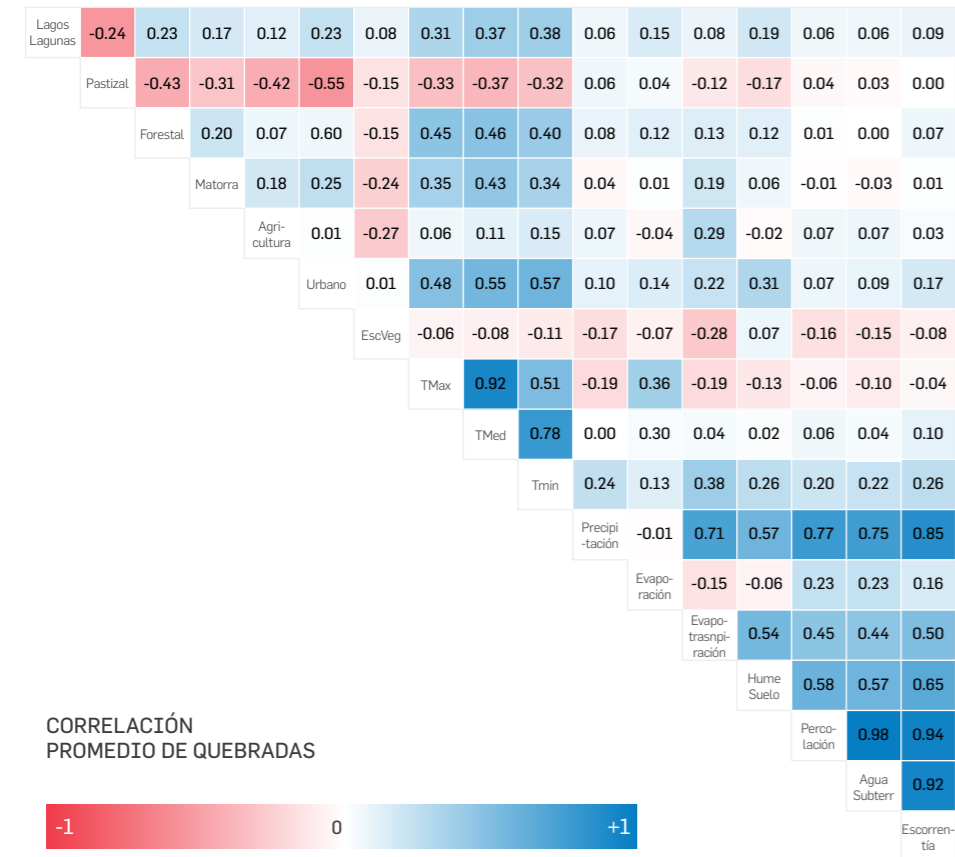
Quebradas priorizadas	Línea base: 1984-1990	Último periodo de análisis: 2016-2020	Diferencia entre línea base y último periodo de análisis	Porcentaje de áreas degradadas en la cabecera de las quebradas priorizadas
<b>Can Can</b>				<b>9.55 %</b>
Agua subterránea (mm)	0.0816	0.0878	0.0062	
Evapotranspiración (mm)	1.24	1.28	0.04	
Escorrentía (mm)	0.0121	0.015	0.0029	
Humedad del suelo (mm)	56	66	10	
Percolación (mm)	0.1141	0.1268	0.0127	
<b>Chaqocha</b>				<b>2.86 %</b>
Agua subterránea (mm)	0.1346	0.1707	0.0361	
Evapotranspiración (mm)	1.32	1.37	0.05	
Escorrentía (mm)	0.0082	0.01	0.0018	
Humedad del suelo (mm)	78	90	12	
Percolación (mm)	0.1734	0.2216	0.0482	
<b>Cusiqocha</b>				<b>6.70 %</b>
Agua subterránea (mm)	0.1021	0.1158	0.0137	
Evapotranspiración (mm)	1.25	1.29	0.04	
Escorrentía (mm)	0.0194	0.0234	0.004	
Humedad del suelo (mm)	56	62	6	
Percolación (mm)	0.1359	0.1604	0.0245	

Quebradas priorizadas	Línea base: 1984-1990	Último periodo de análisis: 2016-2020	Diferencia entre línea base y último periodo de análisis	Porcentaje de áreas degradadas en la cabecera de las quebradas priorizadas
<b>Millpu</b>				<b>14.96 %</b>
Agua subterránea (mm)	0.0944	0.1082	0.0138	
Evapotranspiración (mm)	1.15	1.18	0.03	
Escorrentía (mm)	0.0055	0.0067	0.0012	
Humedad del suelo (mm)	47	52	5	
Percolación (mm)	0.1291	0.1543	0.0252	
<b>Ocutuán</b>				<b>16.49 %</b>
Agua subterránea (mm)	0.0088	0.0035	-0.0053	
Evapotranspiración (mm)	1.39	1.43	0.04	
Escorrentía (mm)	0.008	0.0088	0.0008	
Humedad del suelo (mm)	59	64	5	
Percolación (mm)	0.0169	0.0075	-0.0094	
<b>Pongobamba</b>				<b>16.21 %</b>
Agua subterránea (mm)	0.0142	0.0064	-0.0078	
Evapotranspiración (mm)	1.42	1.46	0.04	
Escorrentía (mm)	0.0052	0.0062	0.001	
Humedad del suelo (mm)	62	69	7	
Percolación (mm)	0.0231	0.013	-0.0101	
<b>Umasbamba</b>				<b>23.53 %</b>
Agua subterránea (mm)	0.1383	0.1647	0.0264	
Evapotranspiración (mm)	1.45	1.42	-0.03	
Escorrentía (mm)	0.0145	0.0185	0.004	
Humedad del suelo (mm)	82	99	17	
Percolación (mm)	0.1765	0.2111	0.0346	

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un análisis de correlación de las principales variables que influyen en la degradación por quebradas priorizadas (ver Figura 33).

**Figura 33**  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES DEL MODELO SWAT EN LAS QUEBRADAS PRIORIZADAS



Fuente: Elaboración propia

La cobertura de pastizal andino presenta una relación negativa e inversa con la cobertura de área urbana. Las plantaciones forestales se correlacionan de manera positiva principalmente con el área urbana. El área urbana se correlaciona de manera positiva con los parámetros de temperatura. No se encontraron otras correlaciones significativas para las coberturas de lagos y lagunas, Matorral Andino, agricultura y áreas altoandinas con escasa y sin vegetación.

Las correlaciones de las variables de regulación hídrica señalan una baja relación con las coberturas de las quebradas priorizadas. Presentando, en su mayoría, relaciones directas o positivas, con excepción de las áreas con escasa vegetación y las zonas de pastizales que presentan una relación indirecta con algunas de las variables hidrológicas.

Estos resultados indican que un análisis de correlación a escala de quebrada determina grados de relación más bajos que los realizados a nivel de la cuenca Piuray. Sin embargo, presenta tendencias más claras y ha permitido identificar particularidades en las quebradas priorizadas, como un incremento mayor de la percolación y agua subterránea en las quebradas de Ocutuán y Pongobamba.

### 3. LA DEGRADACIÓN DESDE LA PERCEPCIÓN LOCAL

Los aspectos culturales, sociales y económicos, así como los beneficios que la sociedad percibe de los ecosistemas, son esenciales para un entendimiento integral de estos. Por otro lado, los aspectos mencionados influyen en la gestión de los ecosistemas y en las intervenciones que se desarrollan en ellos (Cassin et al., 2020). Por ello, INAIGEM considera necesario incorporar el valor que la sociedad otorga a los servicios ecosistémicos en sus estudios e investigaciones.

Estos estudios específicos se han realizado en la Comunidad Indígena de Umasbamba (ver Figura 2), ámbito de investigación elegido para ejecutar experimentos a escala de parcela. La selección responde a los indicios de degradación en las zonas altas y a los desafíos a la gestión del recurso hídrico en la cuenca Piuray. Se han identificado cárcavas activas en el sector comunal de Ichucancha, erosión laminar en las laderas altas y bajas de Umasbamba, y erosión en surcos en el espacio entre el río Umasbamba y la quebrada Hatun (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013). La elección de Umasbamba también se basa en la dependencia de la comunidad por los recursos naturales y en el involucramiento de la población en la propuesta de rehabilitación de ecosistemas del INAIGEM.

Se identificaron los factores causantes de la degradación en la parte alta de la quebrada Umasbamba, desde la perspectiva de la población local en los últimos 50 años, teniendo como periodo base hace 70 años. La información fue recopilada a través de 12 entrevistas etnográficas a adultos mayores, una dinámica grupal con la participación de autoridades e informantes claves y 93 encuestas a personas de diferentes grupos de edades (mayores a 27 años).

Entrevista al señor Lucio Inquiltupa del sector comunal de Ccorccor, Comunidad Indígena de Umasbamba.

Foto: Nayda García



La Figura 34 representa el resultado de la percepción de la Comunidad Indígena de Umasbamba, obtenido a partir de una dinámica grupal, sobre los cambios de algunas variables, como disponibilidad de agua, lluvias, temperatura, pastoreo, entre otros, desde hace unos 50 años hasta la actualidad.

**Figura 34**

SECUENCIA TEMPORAL DE LOS CAMBIOS PERCIBIDOS POR LA POBLACIÓN DE LA COMUNIDAD INDÍGENA DE UMASBAMBA EN LOS ÚLTIMOS 50 AÑOS



Fuente: Elaboración propia

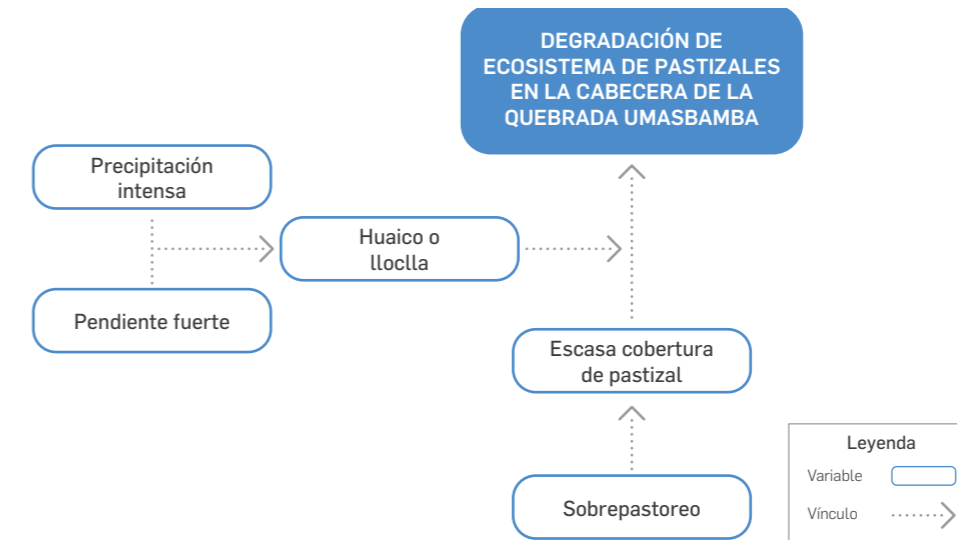
Los resultados dan cuenta de una construcción intergeneracional de la percepción, reflejando la transición económica de la población a lo largo de 50 años, que ha pasado de ser mayoritariamente agropecuaria, a diversificar su economía, incorporando la crianza de animales menores, actividades artesanales y turísticas.

La percepción de la población de la Comunidad Indígena de Umasbamba, con respecto a la disponibilidad del agua revela que la gran mayoría (76 %) piensa que la degradación de la cabecera de cuenca está impactando en la disponibilidad de agua en la parte baja. El 48 % de los encuestados perciben que la cantidad del agua ha disminuido en los últimos años, el 34 % hace más de cinco años y el 18 % hace más de 10 años. Además, la mayoría (51 %) percibe que esta disminución del agua afecta sus actividades, teniendo menos agua para riego agrícola y consumo humano.

Respecto a las causas de degradación de los ecosistemas en la quebrada Umasbamba, los adultos mayores a 60 años lo atribuyen principalmente a las intensas precipitaciones y al excesivo pastoreo ocasionado por la gran cantidad de ganado que poseían las familias (ver Figura 35).

**Figura 35**

CAUSAS DE DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS DE PASTIZALES SEGÚN ADULTOS MAYORES EN LA COMUNIDAD INDÍGENA DE UMASBAMBA



Fuente: Elaboración propia

Señalaron que el ganado foráneo (principalmente ovino) genera mayor impacto negativo porque arrancan los pajonales desde sus raíces para alimentarse. Por el contrario, el ganado nativo, como llamas, sólo podan el pajonal permitiendo su regeneración rápida.

Lo indicado por la población adulta mayor es consistente con lo que se observa en los pastizales de la quebrada Umasbamba, donde se han registrado especies indicadoras de sobrepastoreo (ver Fotografía 7) y especies poco palatables, como *Aristida antoniana Steud. ex Döll*, conocido localmente como "orqo iru"; *Muhlenbergia peruviana (P.Beauv.) Steud.*, conocido como "llica pasto"; *Senecio spinosus DC.* conocido como "kanlli" (Tapia & Ochoa, 1984); y *Aciachne pulvinata Benth.*, conocido como "pacu pacu" (Salvador et al., 2014).



**Fotografía 7**

ESPECIES INDICADORAS DE SOBREPASTOREO *Senecio spinosus* Y *Aciachne pulvinata* (KANLLI Y PACU PACU RESPECTIVAMENTE)

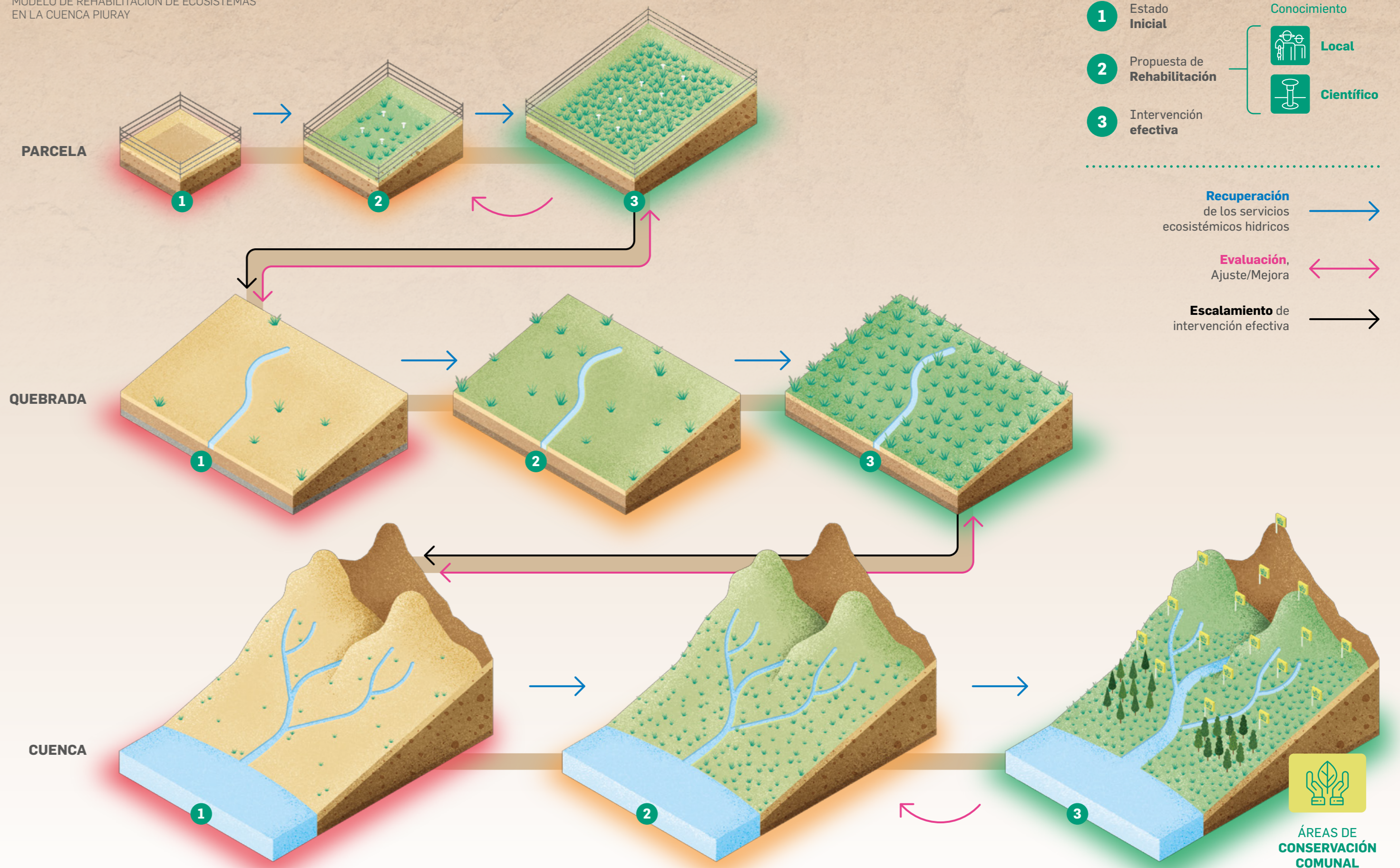
Foto: Nayda García

Los adultos mayores también señalaron que las intensas precipitaciones estaban asociadas con la activación de quebradas y con la ocurrencia de eventos como los huaicos o llocllas, siendo percibida como la segunda causa más importante de degradación. Ello coincide con los tres tipos de erosión identificados en la cuenca Piuray, en otros estudios: erosión laminar, erosión por surcos y erosión en cárcavas (Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala, 2013).



Figura 38

MODELO DE REHABILITACIÓN DE ECOSISTEMAS EN LA CUENCA PIURAY



CAPÍTULO III

PROPUESTA DE RECUPERACIÓN DEL SERVICIO ECOSITÉMICO DE REGULACIÓN HÍDRICA



Foto: Renny Díaz

El IPCC considera que la restauración de los ecosistemas “reduce la vulnerabilidad de la biodiversidad al cambio climático” (Pörtner et al., 2022), por lo que no es coincidencia que las Naciones Unidas haya declarado el periodo 2021-2030 como la Década de la Restauración de los Ecosistemas (United Nations General Assembly, 2019) y que haya establecido una carrera por la restauración a nivel mundial, para enfrentar el cambio climático (Suding et al., 2015).

La Society for Ecological Restoration (SER) provee lineamientos generales señalando que se debe partir por identificar las áreas degradadas, para posteriormente establecer acciones orientadas a restaurar los componentes ecosistémicos que sostienen los servicios ecosistémicos (Gann et al., 2019).

El Perú cuenta con algunos instrumentos que incentivan la restauración de ecosistemas alineados a los de la SER, como los “Lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre” y la “Estrategia Nacional de restauración de ecosistemas y tierras forestales degradadas, periodo 2021 – 2030”, ambos realizados por el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). Dichos documentos orientan la planificación, implementación y monitoreo de planes, programas, proyectos o actividades relacionadas con la restauración en todo el ámbito nacional.

Sin embargo, la recuperación de los servicios ecosistémicos (rehabilitación), especialmente la regulación hídrica, es un proceso aún carente de pistas claras en cuanto a metodologías, principalmente a escalas locales.

Por otro lado, la cobertura vegetal juega un papel clave en la regulación hídrica y en la evaluación de la degradación ecosistémica, por lo que existen propuestas de rehabilitación orientadas a recuperar o incrementar la cobertura vegetal (Grizzetti et al., 2016; Prado-Castillo et al., 2018). Muchas de estas incluyen prácticas de reforestación y revegetación con especies nativas y la recuperación de pastizales mediante control de pastoreo (Milton et al., 1994). Las propuestas enfocadas al manejo de suelos se orientan a recomendar acciones de conservación mediante la implementación de zanjas de infiltración y terrazas de formación lenta, así como complementar la conservación de la escorrentía de los periodos de lluvia en pequeños vasos de almacenamiento natural o artificial, llamados “cochas” (SERFOR & ICRAF, 2018).

Sin embargo, para poder implementar adecuadamente dichas actividades, se necesita responder algunas preguntas orientadas a la efectividad de estas prácticas en la recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica y la rehabilitación de ecosistemas. Es importante saber, por ejemplo: ¿Qué especies se deben utilizar en las actividades de reforestación y revegetación?, ¿Cuál es el impacto de estas especies sobre el agua en el suelo?, ¿Contribuye el cambio en la composición y estructura de la vegetación actual en la infiltración y la recarga de acuíferos?, entre otras.

Para ello, el INAIGEM viene implementando estudios con el fin de dar respuesta a estas preguntas. Primero, se ha ejecutado un análisis de alta resolución de la degradación en los ecosistemas y cambios de cobertura y su impacto sobre la regulación hídrica en el ámbito de investigación (ver Capítulo II). Los resultados se obtuvieron a partir de un modelamiento hidrológico y un análisis multitemporal de la cobertura vegetal. Estos hallazgos han sido la base para el desarrollo de una propuesta de un modelo de rehabilitación de la cabecera de la cuenca Piuray.

El modelo incluye investigaciones a diferentes escalas (parcela, quebrada y cuenca) que abordan diferentes aspectos de los ecosistemas para su gestión sostenible. Plantea un conjunto de acciones de intervención, así como el monitoreo ecohidrológico con un enfoque de gestión adaptativa. También considera la incorporación de la valoración del conocimiento local mediante la investigación-acción participativa y la ejecución de estrategias para la conservación.

Es en esa perspectiva que, como institución referente en la investigación de glaciares y en ecosistemas de montaña, se genera información científica *in situ* que permita orientar a los tomadores de decisiones en la priorización de inversiones, brindar lineamientos técnicos a profesionales y guiar a formuladores de proyectos en el diseño de actividades eficaces para la rehabilitación de ecosistemas.

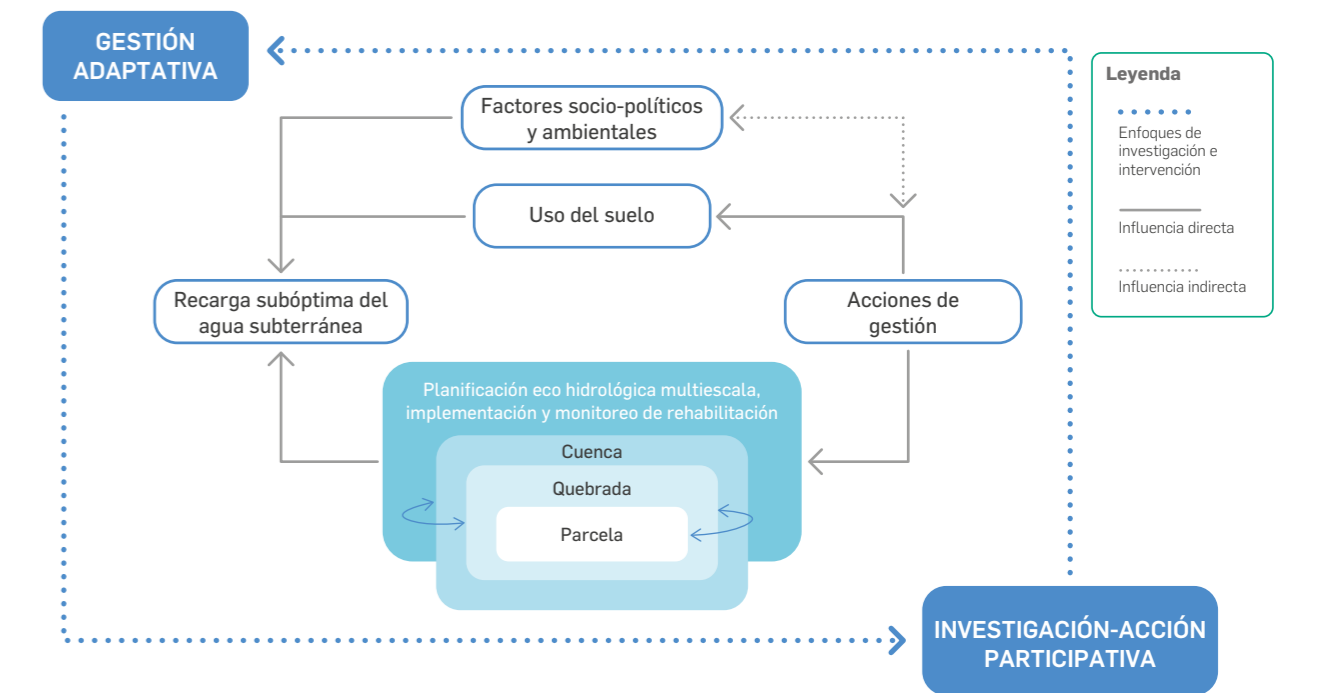
# 1. MODELO CONCEPTUAL DE REHABILITACIÓN

En el Perú, es cada vez mayor la necesidad de ejecutar estrategias para la rehabilitación de los ecosistemas degradados debido a los impactos negativos en los medios de vida a nivel local y en la disponibilidad de los servicios ecosistémicos que brindan. Sin embargo, dichas estrategias deben ser monitoreadas para evaluar su eficiencia.

Frente a este escenario, el INAIGEM ha desarrollado un modelo conceptual de rehabilitación, con el propósito de contar con un marco que guíe las investigaciones e intervenciones en la cuenca Piuray en materia de rehabilitación de ecosistemas con fines hídricos.

Este modelo se construye considerando dos enfoques importantes: 1. Gestión adaptativa y 2. investigación-acción participativa. Además, incluye intervenciones y un monitoreo ecohidrológico a múltiples escalas (ver Figura 39). Con ello, se establecen objetivos claros de rehabilitación de ecosistemas a partir de la problemática local y de los causantes antropogénicos de la degradación (Mendoza-Ato et al., 2023).

**Figura 39**  
MODELO CONCEPTUAL DE INVESTIGACIÓN E INTERVENCIÓN PARA LA REHABILITACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS EN LA CUENCA PIURAY



Fuente: Mendoza-Ato et al., 2023

El modelo propone una rehabilitación multinivel de los servicios hidrológicos de los ecosistemas de Pajonal de Puna, que comienza a escala de parcela hasta llegar a escala de cuenca. Los conocimientos adquiridos, a diferentes escalas, permiten comprender el estado del ecosistema y las acciones de rehabilitación implementadas. Además, proporcionan información para ajustar las medidas y reorientar los objetivos, si es necesario, mediante el monitoreo y el enfoque de gestión adaptativa (Mendoza-Ato et al., 2023).

Este modelo conceptual se basa en las experiencias locales de INAIGEM en la cuenca Piuray, y busca generar tres tipos de información: de corte ec hidrológico, social y de gestión. Por ello, considera la implementación de acciones de intervención en el ecosistema que sean efectivas para contribuir con la rehabilitación de las mismas. Además, considera que el conocimiento local, mediante la investigación-acción participativa, es importante para retroalimentar las intervenciones y fortalecer las estrategias de conservación. De esta manera, se generan instrumentos para los actores locales, como herramientas que contribuyen a garantizar la sostenibilidad de las acciones implementadas (Mendoza-Ato et al., 2023).

Se proponen tres escalas de investigación e intervención para la rehabilitación de los ecosistemas:

- **Escala de parcela:** Etapa en la que se emplean parcelas experimentales para evaluar las estrategias propuestas, las cuales deben ser monitoreadas para determinar el éxito o no de dichas estrategias.
- **Escala piloto:** En esta etapa, se implementan en la quebrada Umasbamba, las estrategias que han funcionado mejor a escala de parcela. Se establece un sistema de monitoreo con estaciones hidrométricas y meteorológicas, así como puntos permanentes de evaluación ecológica a escala de quebrada.
- **Escala completa o de cuenca:** Esta etapa se implementa a nivel de toda la cuenca cuando las estrategias han demostrado ser efectivas a escala de quebrada. Considera la creación de un Área de Conservación Comunal para garantizar la sostenibilidad de la iniciativa, así como la instalación de una red de estaciones hidrométricas y meteorológicas en toda la cuenca para monitorear y evaluar el impacto de las estrategias de restauración en la regulación hídrica a nivel de todo el sistema.

El monitoreo ec hidrológico de estas intervenciones se adecua a la escala de investigación. A través de variables e indicadores definidos, se realiza el seguimiento y análisis de los resultados para determinar si las acciones de intervención han sido eficaces. La gestión adaptativa, basada en ecosistemas, permite comparar constantemente estos resultados con los objetivos de rehabilitación planteados. Este enfoque no solo determina las acciones más efectivas a ser aplicadas durante la intervención en cualquiera de las escalas, sino que proporciona un aprendizaje constante, basado en información actualizada y precisa. Brinda flexibilidad a los actores involucrados, desde agricultores, pasando por los investigadores encargados del monitoreo, hasta autoridades, para responder a las perturbaciones antropogénicas en los diferentes niveles de intervención (Folke et al., 2005; Murray & Marmorek, 2003).

El enfoque de investigación-acción participativa, involucra a los actores locales para obtener e incorporar información relevante durante la revisión de los causantes de degradación y apoyar el cumplimiento de los objetivos de las acciones de rehabilitación (Mendoza-Ato et al., 2023). Es así que, en cada escala de investigación, se implementan acciones de intervención considerando la investigación-acción participativa para la identificación y solución de los problemas relacionados al servicio ecosistémico de regulación hídrica. Se busca analizar la realidad local, así como empoderar a la población para que participe en la toma de decisiones y en la ejecución de las acciones (Eizagirre & Zabala, 2005).

La incorporación del conocimiento local es clave, pues aumenta la legitimidad y la sostenibilidad de las acciones de intervención (Gann et al., 2019; Martos-Rosillo et al., 2019; Romañach et al., 2018). Por ello las acciones de intervención, o sus ajustes, consideran el conocimiento ecológico de la población residente complementando e integrando el conocimiento científico (Zalles, 2017).

Sumado a las acciones de intervención para la recuperación del servicio de regulación del agua en la cuenca Piuray, se incluyen estrategias para la conservación destinadas a propiciar el manejo sostenible de la cuenca a través de Áreas de Conservación Comunal (ACC). Estas acciones generan información de valor sobre los recursos ambientales y socioculturales de la cuenca que se plasman en instrumentos de gestión. Estos instrumentos promueven el aprovechamiento sostenible de los recursos a través de actividades económicas compatibles con la conservación de sus ecosistemas.

Cabe señalar que, el objetivo del modelo propuesto contempla rehabilitar las funciones hidrológicas de la cuenca Piuray, enfocándose en recuperar el servicio de regulación hídrica, y con ello no necesariamente se logrará la restauración ecológica a su máximo nivel. La Figura 38 muestra gráficamente el esquema del modelo de rehabilitación de la cuenca.

En las siguientes secciones, se desarrollan las investigaciones en rehabilitación y estrategias de conservación en curso de acuerdo al marco del modelo conceptual de rehabilitación de ecosistemas, orientado al servicio de regulación hídrica para la cuenca Piuray.

## 2. INVESTIGACIÓN E INTERVENCIÓN EN REHABILITACIÓN DE ECOSISTEMAS

El objetivo de rehabilitación en la cuenca Piuray es mejorar las funciones ecológicas de regulación hídrica para asegurar la provisión de agua a la laguna del mismo nombre, por lo que el éxito de las acciones de rehabilitación se determinará en la medida que la recarga hídrica mejora.

Actualmente, la investigación e intervención de INAIGEM para la recuperación del servicio de regulación hídrica se encuentra en la etapa de escala de parcela, siendo el ámbito de investigación la quebrada Umasbamba.

### 2.1 Selección de sitios para implementar parcelas experimentales

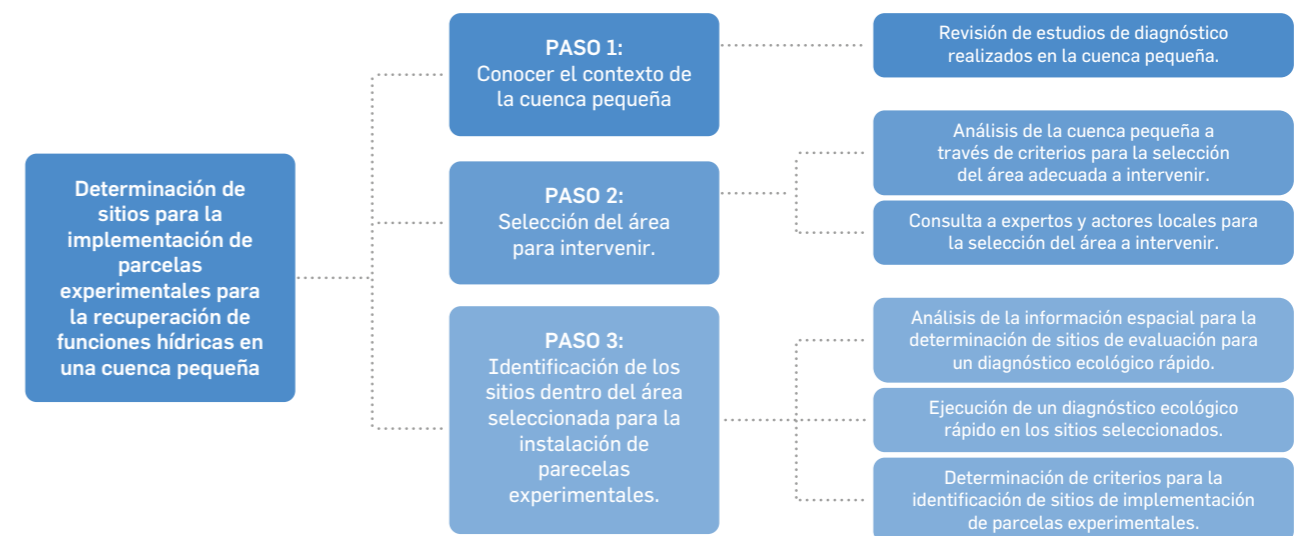
Los sitios para implementar las parcelas experimentales de investigación se establecieron a través de unos criterios de selección basados en una secuencia metodológica (Mendoza-Ato et al., 2023), que involucra:

- El conocimiento del contexto de la cuenca pequeña (cuenca Piuray) mediante la revisión bibliográfica e investigaciones *in situ*.
- La selección del área a intervenir (quebrada Umasbamba) mediante criterios como pendiente, estado de cobertura vegetal en la cabecera de la cuenca y la contribución de la cabecera a la regulación y recarga hídrica de la cuenca. Los cuales se validan con expertos locales y la población local.
- La identificación de los sitios para la instalación de parcelas experimentales dentro del área seleccionada a partir de un análisis espacial y de campo, con la participación de las autoridades para la toma de decisiones participativas sobre los sitios potenciales.

En la Figura 40, se muestra gráficamente el detalle de la secuencia metodológica descrita.

Figura 40

#### METODOLOGÍA PARA DETERMINAR SITIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE PARCELAS EXPERIMENTALES



Fuente: Elaboración propia

La aplicación de esta metodología determinó que la quebrada Umasbamba cumple con el rango de pendientes propuesto, presenta predominancia de cobertura vegetal media (NDVI 0.4), y es la quebrada con mayor área tributaria de la cuenca Piuray. Por lo que se escogió como área representativa para la instalación de las parcelas experimentales, contando con la autorización de la Comunidad Indígena de Umasbamba.

Para la ubicación de las parcelas experimentales, dentro de este ámbito de investigación, se analizaron los resultados de la información espacial de la pendiente, estado de la cobertura vegetal, y otras coberturas relevantes, validándose estos en campo. En el 2021, se identificaron 11 sitios potenciales que cumplieran con los criterios de selección indicados en el Cuadro 15. Estos sitios pasaron por un diagnóstico ecológico rápido para determinar cuáles eran los más idóneos para la implementación de las parcelas experimentales de investigación.

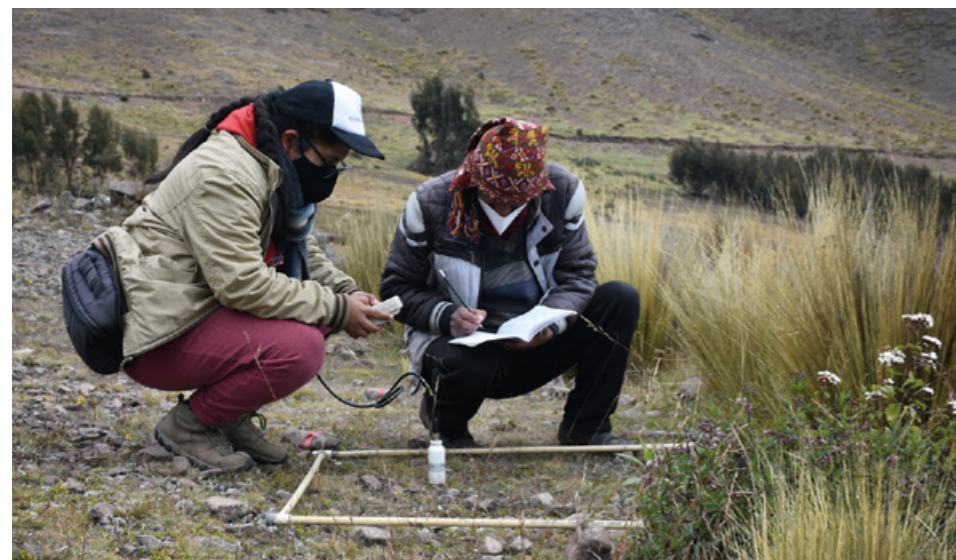
**Cuadro 15**

CARACTERÍSTICAS PARA SELECCIÓN DE LOS SITIOS DESTINADOS A UN DIAGNÓSTICO ECOLÓGICO RÁPIDO

Características	Criterios de selección	Valores en la microcuenca Umasbamba	Área (ha)
Rangos de pendientes	Rango de pendientes > 20° se descartan. Se selecciona el rango dependiente que ocupen mayor extensión	5° - 10°	37.87
		10° - 15°	91.59
		15° - 21°	65.41
Condición de cobertura vegetal	Valores NDVI menores a 0.275. Se escogerán los valores NDVI que ocupen mayor extensión	0.23 - 0.275	151.29
		0.185 - 0.23	79.92
Presencia de intervenciones de infraestructura natural	Se consideran área con presencia de infraestructura natural	Terrazas	-

Fuente: Elaboración propia

En los 11 sitios mencionados anteriormente, se delimitó un área de 20 m x 20 m con características uniformes para ejecutar un diagnóstico ecológico rápido que consistió en la evaluación de tres aspectos: vegetación, suelo e hidrología asociada al suelo (ver Cuadro 16). Para la evaluación de estos aspectos, se aplicó la metodología de parcela modificada de Whittaker (MINAM, 2015a) con cinco plots de 1 m x 1 m. Además, se realizó un diagnóstico climático histórico.



Evaluaciones en campo del diagnóstico ecológico rápido en once sitios.

Foto: Víctor Bustinza

**Cuadro 16**

INDICADORES ESTABLECIDOS PARA EVALUAR VEGETACIÓN, SUELO E HIDROLOGÍA ASOCIADA AL SUELO EN CADA PLOT DE 1M² PARA EL DIAGNÓSTICO ECOLÓGICO RÁPIDO

Evaluación	Indicador / Parámetro
Vegetación	Cobertura (%) por especie
	Tipos de cobertura de suelo (%)
	Fenología de las especies dominantes
	Materia orgánica (%)
	Nitrógeno (N) total (%)
	Fósforo, en forma P2O5 (ppm)
	Potasio, en forma K2O (ppm)
	pH
	CE mmhos/cm
	Cationes cambiabiles (Ca <sup>++</sup> , Mg <sup>++</sup> , K <sup>+</sup> , Al-3 + H <sup>+</sup> y Na <sup>+</sup> )
Suelos Se colecta una muestra por plot de 1 m <sup>2</sup> , en los 30 cm superficiales, las cuales se deben mezclar para obtener una muestra única del sitio. Además, se realiza una calicata para analizar y tomar una muestra por cada horizonte del suelo de cada sitio seleccionado.	CaCO3 (%)
	Capacidad intercambio catiónico - CIC (meq/100)
	Arena (%), limo (%), arcilla (%) Clase-textural
	Humedad equivalente (HE) (%)
	Capacidad de campo (C.C.) (%)
	Densidad aparente (DA) (g/cc) Densidad real (DR) (g/cc)
	Punto de Marchitez Permanente (PMP) (%)
	Porosidad (%)
	Conductividad hidráulica (infiltración)
	Humedad del suelo (%)
Hidrología asociada al suelo	

Fuente: Elaboración propia, basado en Briggs & McLane, 1910; Lopez-Aguilar et al., 2002; MINAM, 2014; Shaxson & Barber, 2005; USDA, 1999

Los resultados del diagnóstico ecológico rápido permitieron seleccionar los criterios para determinar los sitios más idóneos para la implementación de las parcelas experimentales de investigación, siendo estos los siguientes:

- **Ecosistema:** la cobertura vegetal (%), el porcentaje de fragmentos de roca (%), el porcentaje de suelo desnudo (%) y el porcentaje de especies asociadas a degradación (*Muhlenbergia peruviana*, *Aciachne pulvinata* y *Pennisetum clandestinum*) (%).
- **Función de regulación hídrica:** la densidad aparente y la humedad del suelo.

De los 11 sitios evaluados mediante el diagnóstico ecológico rápido, se seleccionaron seis para la instalación de las parcelas experimentales de investigación. Cuatro por tener características de un estado pobre y dos como modelo por tener los mayores porcentajes de cobertura vegetal y baja cobertura de fragmento de roca y suelo desnudo. Se verificó que se formen por lo menos diferentes pares de sitios que tengan la misma textura del suelo en la capa superficial, para que sean comparables entre sí.

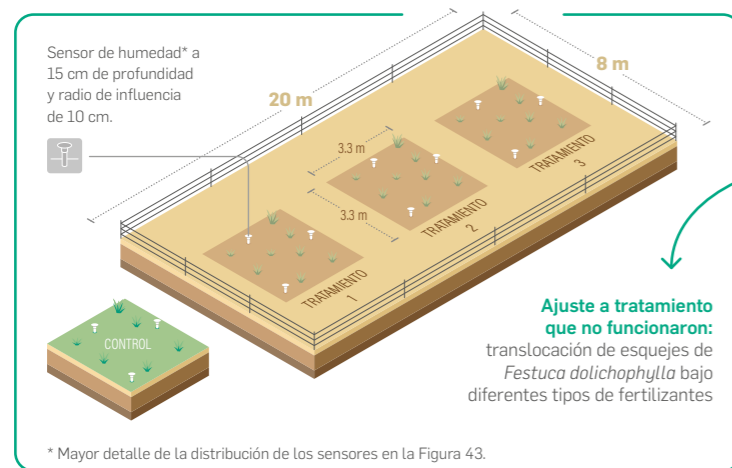
Posteriormente, en 2023, se identificó un nuevo sitio incrementando a siete las parcelas experimentales de investigación instaladas por INAIGEM, cuyas ubicaciones se muestran en la Figura 2. El criterio de selección para este nuevo sitio fue distinto al señalado para las primeras seis parcelas. Se escogió un lugar con características similares de cobertura vegetal, pendiente, orientación y tipo de suelo, asegurándose que se ubique en la cima de una montaña, de tal manera que la humedad monitoreada sea influenciada únicamente por las estrategias de rehabilitación aplicadas. El aprendizaje que llevó a la elección del lugar se basó en los resultados del monitoreo ecohidrológico en las seis primeras parcelas experimentales, siguiendo el enfoque de gestión adaptativa que se ha mencionado varias veces en este documento.

## 2.2 Diseño de parcelas experimentales

Las acciones de intervención a escala de parcela, para la recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica en la cuenca Piuray se centran en el diseño de dos tipos de parcelas experimentales instaladas en la quebrada Umasbamba (ver Figura 41). El tamaño de la parcela depende del tipo de sensor automático de humedad utilizado, ya que estos tienen diferentes alcances (Mendoza-Ato et al., 2023).

**Figura 41**  
DISEÑO DE LOS DOS TIPOS DE PARCELAS EXPERIMENTALES DE INVESTIGACIÓN INSTALADAS EN LA QUEBRADA UMASBAMBA

### A Diseño de parcelas 20 m x 8 m<sup>7</sup>

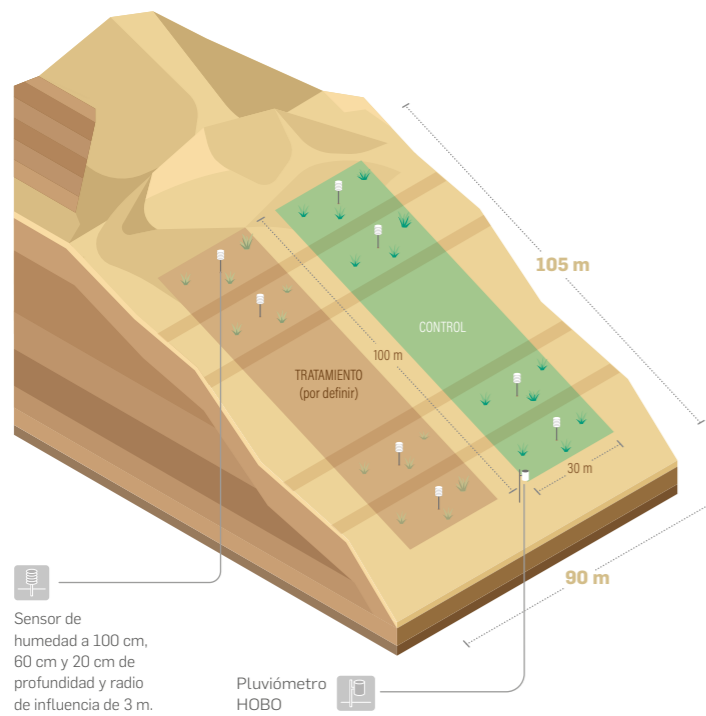


**Objetivos de primera implementación de tratamientos:** descompactación del suelo, remoción de rocas, aumento de infiltración y aumento de la cobertura vegetal.

**Tratamientos que no funcionaron:** descompactación del suelo, remoción de rocas, aumento de infiltración.

**Tratamiento que funcionó:** aumento de cobertura vegetal, mediante la translocación de esquejes de la especie *Festuca dolichophylla* con su "pan de tierra".

### B Diseño de parcelas 105 m x 90 m



**Instalado en zona** con presencia de zanjas de infiltración y localizado en la cima de una montaña.

Línea base de dos **evaluaciones de vegetación y suelo**, y un **monitoreo hidrológico** anual.

**La selección del tratamiento** se basará en los resultados del monitoreo en las parcelas de 20 m x 8 m, la línea base y el conocimiento local de la Comunidad Indígena de Umasbamba.

- Parcela experimental de investigación
- Sub parcelas con tratamientos
- Sub parcelas control

Fuente: Elaboración propia

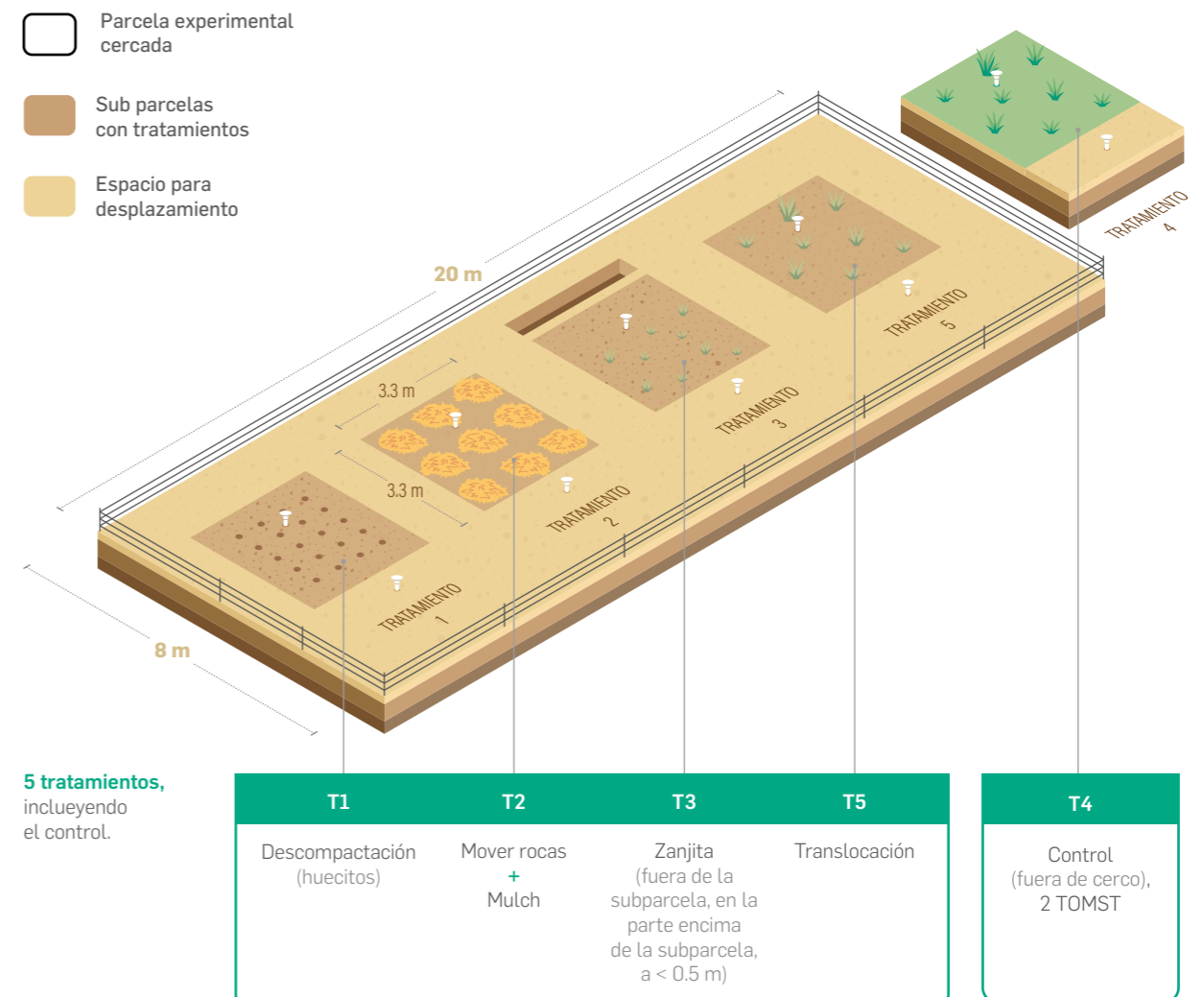
El objetivo de instalación de estas parcelas es el de obtener información primaria a esta escala, a través de ensayos de revegetación con especies de plantas del ecosistema Pajonal de Puna. Por ello, se monitorea el comportamiento de las variables ecológicas e hídricas con la finalidad de evaluar la efectividad de la revegetación en la rehabilitación de pastizales degradados y su impacto en la recarga de agua subsuperficial, con miras a escalarlo al ámbito de quebrada y posteriormente a la cuenca Piuray (Mendoza-Ato et al., 2023).

### 2.2.1 Parcela experimental de 20 m x 8 m

Son seis las parcelas de 20 m x 8 m distribuidas desde la zona media a alta de la quebrada Umasbamba. La ubicación de cada una de ellas se muestra en la Figura 2.

Inicialmente, cada parcela fue dividida en cuatro subparcelas y un control de 3.3 m x 3.3 m para aplicar en cada una de ellas, excepto en el control (T4), un tratamiento diferenciado que permita evaluar su efecto en la recuperación de funciones hidrológicas. El primer tratamiento (T1) apuntó a la descompactación del suelo, el segundo (T2) aplicó la remoción de rocas, el tercero (T3) apuntó a aumentar la infiltración del agua y finalmente el cuarto tratamiento (T5) buscó aumentar la cobertura vegetal. Ver Figura 42.

**Figura 42**  
PROPUESTA INICIAL DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES DE 20 M X 8 M



Fuente: Elaboración propia

En cada una de estas subparcelas, durante un periodo aproximado de un año, desde agosto de 2021 a agosto de 2022, se instalaron dos sensores TOMST TMS-4 que registran humedad del suelo a 15 cm y temperatura a diferentes profundidades y altitudes (-15 cm, 0 cm y +10 cm). Estos sensores se implementaron con el fin de obtener información del efecto del tratamiento sobre la humedad subsuperficial del suelo y la humedad producto del movimiento subsuperficial del agua.

Los datos obtenidos permitieron comprender que el diseño propuesto no fue el más adecuado, ya que los sensores mostraron alta sensibilidad a los cambios de la humedad en 10 a 20 cm a la redonda, por la influencia de elementos como piedras, vegetación y otras coberturas importantes. Además, se evidenció que los cuatro tratamientos propuestos no mostraron ningún efecto sobre la humedad, siendo inferior incluso a la influencia que ofrecían los diversos elementos encontrados en el terreno.

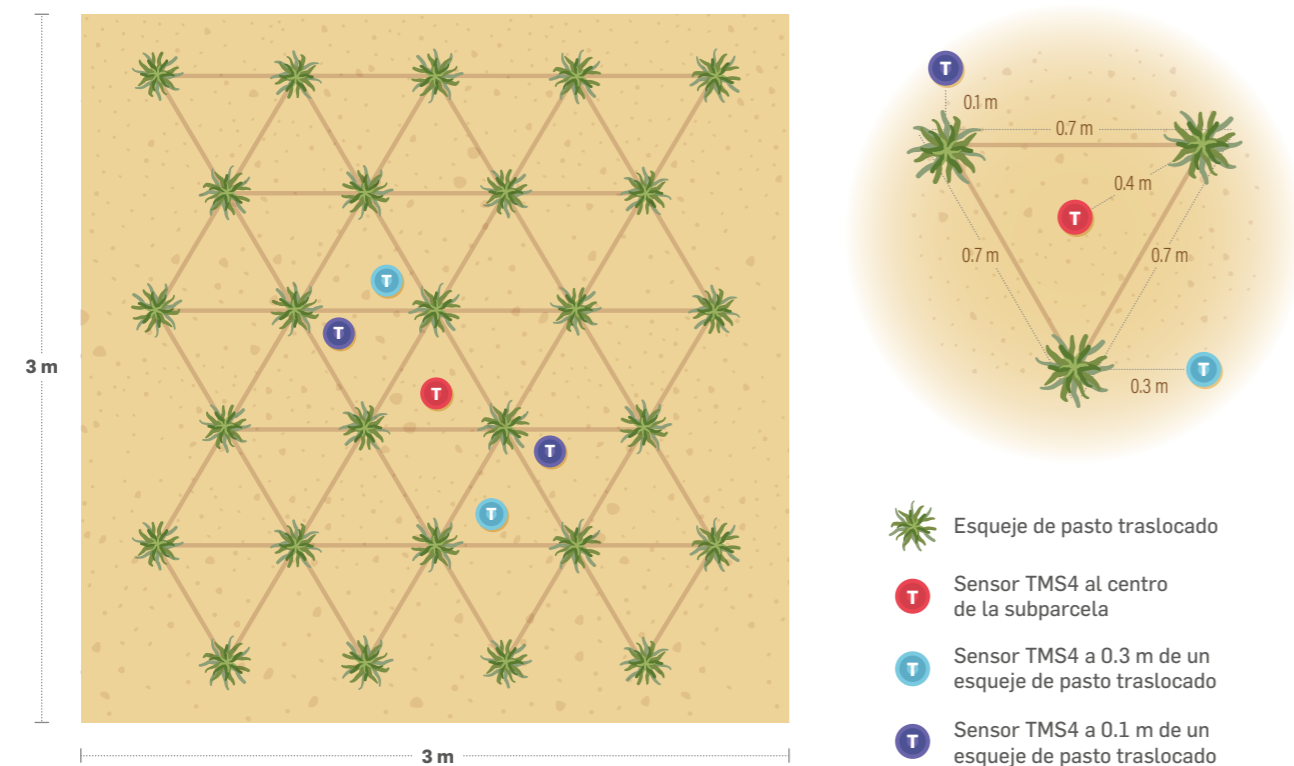
Por ello, se reestructuró la propuesta de diseño con la finalidad de capturar los cambios en la humedad del suelo con mayor resolución espacial, evitando la influencia de otros elementos. Este ajuste también permitió implementar nuevos tratamientos que busquen aumentar la cobertura vegetal por lo que se redujeron las subparcelas a cuatro, incluyendo el control (Ver Figura 41). El ajuste se realizó en las parcelas P01 y P03 (Ver Figura 2), las cuales se encuentran actualmente en funcionamiento, con los siguientes tratamientos:

- **Tratamiento 1 (T01):** Traslocación de pasto con estiércol de bovino.
- **Tratamiento 2 (T02):** Traslocación de pasto con fosfato diamónico.
- **Tratamiento 3 (T03):** Traslocación de pasto sin fertilizantes.

En cada subparcela, se colocaron 27 esquejes de pasto al tresbolillo, y tres sensores de humedad TMS-4, tal como se muestra en la Figura 43.

**Figura 43**  
DISEÑO DE LAS SUBPARCELAS DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES DE 20 M X 8 M

**Subparcela de investigación**  
**Distribución tresbolillo (27 plantas)**



Fuente: Elaboración propia



Parcela experimental de 20 x 8 m.  
Foto: Renny Díaz

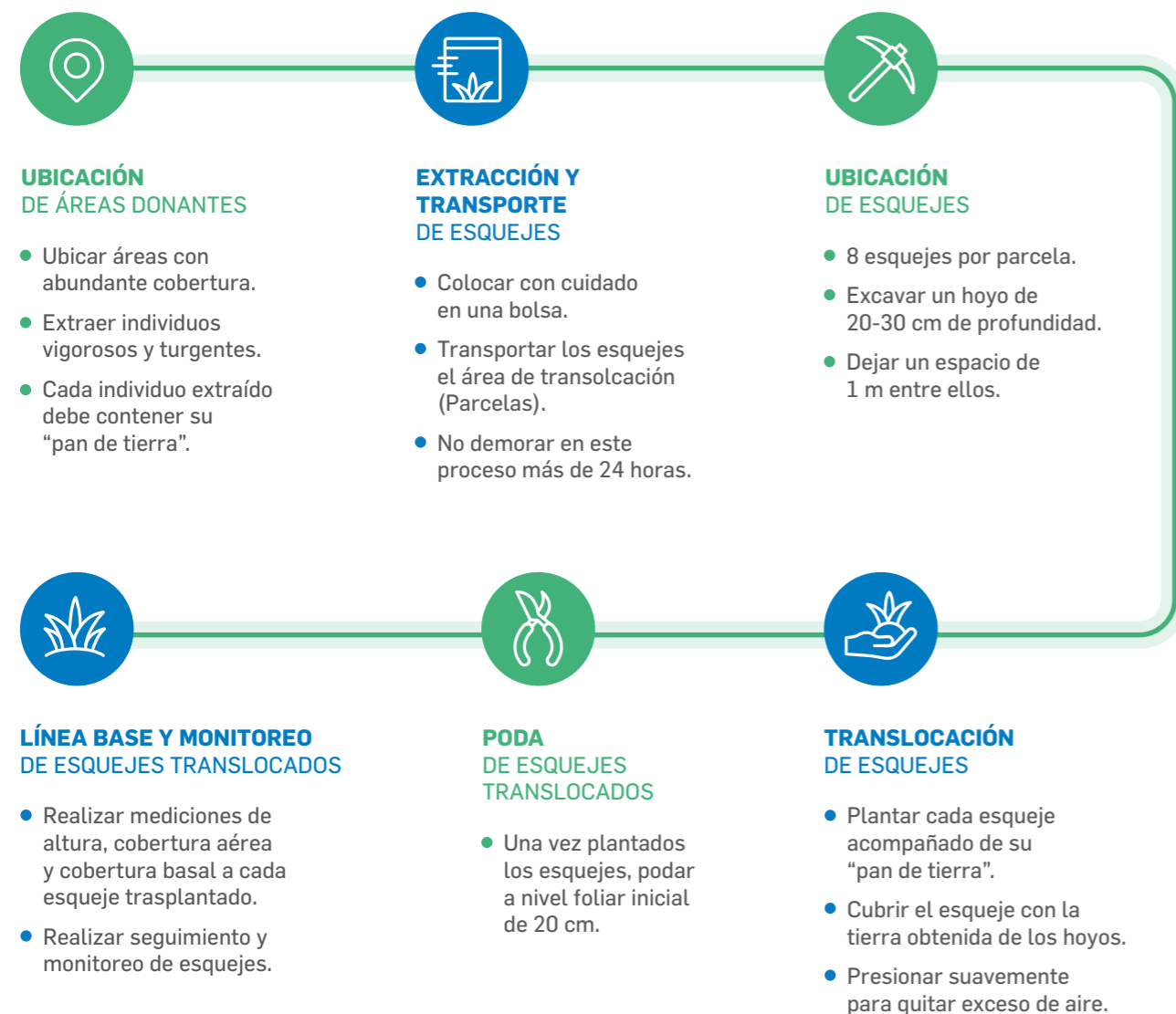
La especie seleccionada para la traslocación de pasto fue *Festuca dolichophylla*. Los esquejes se extrajeron de las áreas circundantes, con abundante vegetación. Esta es una de las especies más abundantes encontradas en las evaluaciones de vegetación realizadas para todas las parcelas desde el año 2021, además es de las especies con mayores experiencias positivas en la revegetación de ecosistemas altoandinos al mostrar altos niveles de sobrevivencia (Y. Paucar et al., 2023), desarrollo vegetal (F. Trillo Zárate et al., 2020), asimilación positiva de nutrientes N, P y K (F. C. Trillo Zárate et al., 2020) e incluso favoreciendo la reducción de especies indicadoras de degradación (S. Paucar, 2019).

Es importante destacar que el único tratamiento inicial que se sigue monitoreando en las seis parcelas de 20 m x 8 m (Ver Figura 42), es la traslocación de *Festuca dolichophylla* (T5). Actualmente, este monitoreo es parte de uno de los dos ensayos de revegetación (T5 inicial y tratamientos reestructurados 1, 2 y 3) que se han implementado en estas parcelas experimentales.

La Figura 44 resume las cinco acciones llevadas a cabo para la translocación de *Festuca dolichophylla* como parte del T5 inicial.

**Figura 44**

PROCESO DE TRASLOCACIÓN DE ESQUEJES DE FESTUCA DOLICHOPHYLA PARA EL T5 INICIAL, CUYO FIN ES AUMENTAR LA COBERTURA VEGETAL DE LAS PARCELAS DE 20 M X 8 M



Fuente: adaptado de Vilca-Bustamante et al (2023)

### 2.2.2 Parcela experimental de 105 m x 90 m

Se seleccionó un sitio adicional, a las seis parcelas de 20 m x 8 m, para instalar una parcela experimental de 105 m x 90 m con un área aproximada de 9 500 m<sup>2</sup>. Esta nueva parcela, P07 (Ver Figura 2), instalada en noviembre de 2023, se localiza en una ladera cuya cumbre es cercana, de modo que se asegure que la humedad monitoreada se encuentre influenciada únicamente por las estrategias de rehabilitación aplicadas. Otro aspecto considerado fue la presencia de zanjas de infiltración, que han sido instaladas por instituciones como Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMA-CHCS) y Arariwa. La mayoría del territorio de cabecera de la cuenca Piuray tiene zanjas de infiltración, por lo que estas parcelas en particular darán información sobre la efectividad de estrategias de rehabilitación en zonas de montaña intervenidas con esta práctica (ver Fotografía 8).

**Fotografía 8**

LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DE LA PARCELA DE EXPERIMENTAL DE 105 m X 90 m CON PRESENCIA DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN



Foto: Cristian Mamani

Dentro de esta parcela, se establecieron dos subparcelas de 100 m x 30 m: una destinada a la estrategia de rehabilitación o tratamiento y la segunda a un control (ver Figura 41). A la fecha, se han instalado sensores WatchDog SMEC a profundidades de -100 cm, -60 cm y -20 cm para la medición de humedad del suelo. Este sensor registra también la temperatura del aire con un datalogger que colecta la información para su descarga periódica. Durante el año 2024, en esta parcela se ha hecho una evaluación de la vegetación y el suelo como línea base previa a la implementación de la estrategia de rehabilitación. Esta estrategia o tratamiento se efectuará con la finalidad de aumentar la recarga hídrica a través del incremento de la cobertura vegetal.

La parcela se encuentra ubicada en un ecosistema de Césped de Puna, por lo que la especie o especies vegetales a ser empleadas como tratamiento corresponderán a esta formación vegetal. La selección del tratamiento se basará en los resultados de los monitoreos realizados en las parcelas de 20 m x 8 m, la línea base de vegetación y suelo ejecutada en el 2024, y la información social recogida mediante la investigación-acción participativa en la Comunidad Indígena de Umasbamba, basada en su conocimiento ecológico local.

### 3. MONITOREO ECOHIDROLÓGICO Y GESTIÓN ADAPTATIVA

En la cuenca Piuray, el objetivo de restauración es la mejora del servicio de regulación hídrica, por lo que se busca la rehabilitación del ecosistema, más no regresar a su estado inicial (Gann et al., 2019). En este sentido, el ecosistema de referencia a alcanzar se define primordialmente por los indicadores que configuren el objetivo de restauración.

El ecosistema de referencia en la quebrada Umasbamba, se determinó mediante un diagnóstico ecológico rápido en 11 sitios (sección 2.1 del capítulo III). A partir de este, se identificaron las formaciones vegetales predominantes, que corresponden a Césped de Puna, Pajonal de Puna y formación mixta. Sin embargo, no se logró encontrar un sitio de referencia con atributos que definan la meta a alcanzar con las intervenciones en rehabilitación. En ese sentido, se emplearon valores óptimos (ver Cuadro 17) establecidos por referencias bibliográficas, para estas formaciones vegetales (Mendoza-Ato et al., 2023). No obstante, es importante mencionar que, a medida que se avance en las investigaciones y estas alcancen una escala mayor, podría encontrarse ecosistemas de referencia en la zona para cada una de las tres formaciones vegetales identificadas.

**Cuadro 17**  
INDICADORES QUE CARACTERIZAN EL SISTEMA ECOLÓGICO DE REFERENCIA

Indicador	Césped de Puna	Pajonal	Mixta*	Fuente
Cobertura de la vegetación (%)	90	88	85	MINAM (2016)
Cobertura del suelo desnudo (%)	0	1	2	MINAM (2016)
Riqueza (S)	30	34	38	MINAM (2016)
pH	5.1 - 6.7	5.1 - 6.7	5.1 - 6.7	United State Department of Agriculture (1999)
Materia orgánica (M.O.)	8	8	8	MINAM (2016)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14	14	14	A partir de información generada por estudios de INAI GEM
Presencia de especies indicadoras de degradación	0	0	0	Gann et al. (2019)

\* Los valores para el ecosistema mixto se han extrapolado a partir de los datos disponibles para Césped de Puna y Pajonal.

Fuente: Gann et al., 2019; MINAM, 2016; USDA, 1999

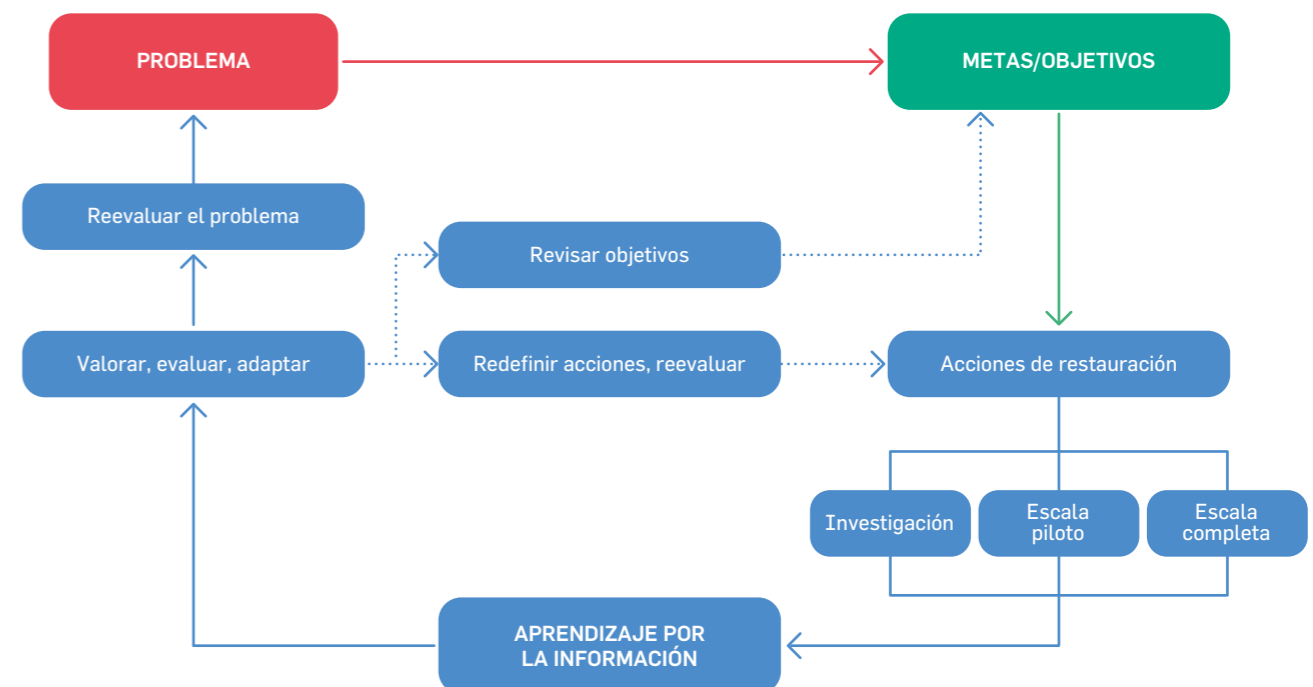
Los valores hidrológicos óptimos se identificarán mediante la tasa de cambio de la humedad en el suelo, que se obtiene de manera periódica mediante el monitoreo ecohidrológico (Mendoza-Ato et al., 2023).

### 3.1 Gestión adaptativa

La rehabilitación del servicio ecosistémico de regulación hídrica de la cuenca Piuray requiere una gestión adaptativa que involucre a los múltiples niveles de gobernanza existentes en el ámbito de investigación (desde los agricultores hasta las autoridades distritales y regionales) y que muestren simultáneamente autonomía y objetivos comunes (Folke et al., 2005). Este enfoque ofrece a las instituciones la flexibilidad necesaria para abordar las presiones antropogénicas (Folke et al., 2005), al disminuir las incertidumbres a través de un aprendizaje práctico. Esto implica una revisión y un aprendizaje constante mediante el monitoreo del impacto de las intervenciones y la eficacia de las medidas implementadas, con el objetivo de alcanzar los valores del sistema ecológico de referencia (Murray & Marmorek, 2003). Este enfoque resulta valioso al diseñar estrategias de intervención a escala de cuenca, asegurando así la sostenibilidad de la gestión (Ver Figura 45).

El monitoreo y gestión adaptativa de las acciones de rehabilitación implementadas a escala de parcelas permitió analizar los resultados de los tratamientos aplicados en las parcelas de 20 m x 8 m comprendiendo que el diseño propuesto inicialmente (ver Figura 42) no era el más óptimo, por no generar ningún efecto sobre la humedad del suelo y porque los sensores instalados en él fueron influenciados por otros elementos además de las acciones efectuadas en las parcelas. Estos resultados permitieron redefinir el diseño de las parcelas de 20 m x 8 m y establecer nuevos tratamientos que promuevan el crecimiento de la cobertura vegetal y aumenten la humedad en el suelo.

**Figura 45**  
ESQUEMA CONCEPTUAL DE GESTIÓN ADAPTATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE ECOSISTEMAS EN LA CUENCA PIURAY



Fuente: Elaboración propia en base a la adaptación realizada por DiGennaro et al., 2012.

Este enfoque, que forma parte del modelo de rehabilitación, permite valorar, evaluar y adaptar el diseño y las acciones de intervención implementadas en la cuenca Piuray, integrando de manera holística los diferentes aspectos de la rehabilitación (ver Figura 39), tanto a nivel técnico-científico como en las actividades de gestión con la población.

La última parcela instalada, de 105 m x 90 m, en la quebrada Umasbamba responde a este aprendizaje constante, presentando un nuevo diseño y una localización que involucra zanjas de infiltración existentes en la zona. Estas infraestructuras son valoradas por la población local ya consideran que apoyan a la recarga hídrica de la cuenca (ver sección 4 del capítulo III), por lo que el tratamiento de rehabilitación que se aplicará en esta parcela proporcionará información *in situ* sobre la eficacia de las acciones de intervención en zonas altoandinas con este tipo de infraestructura.

### 3.2 Variables de monitoreo

En la quebrada Umasbamba, actualmente se han colocado dos micro estaciones meteorológicas de la serie HOBO, ubicadas en diferentes niveles altitudinales: la zona baja a 4 008 m s.n.m. y la zona alta a 4 206 m s.n.m.

Cada micro estación consta de un pluviómetro a 1.8 m y un sensor de temperatura a 1.5 m del suelo, este último dentro de un escudo de radiación solar para protegerlo. Asimismo, cuenta con un datalogger que controla la información de ambos sensores y permite una descarga periódica de datos.

En las parcelas de 20 m x 8 m (específicamente en P01 y P03, que son las únicas en las que se reestructuró la propuesta de tratamientos), así como en la parcela de 105 m x 90 m (P07), se realiza el monitoreo de humedad, temperatura del aire y precipitación. Con los datos, se realiza los balances hídricos del suelo, así como se obtiene información sobre el almacenamiento del agua, la evapotranspiración y la infiltración.

Estas variables permiten analizar la recarga hídrica mediante las tasas de cambio a partir de eventos de lluvia. El Cuadro 18 muestra las variables e indicadores monitoreados según tipo de parcela experimental, cuyos datos son descargados mensualmente.

**Cuadro 18**

VARIABLES E INDICADORES HIDROMETEOROLÓGICAS MONITOREADOS EN SIETE PARCELAS EXPERIMENTALES DE LA CUENCA PIURAY

Característica de parcela	Variables	Indicadores
<b>Parcela de 20 m x 8 m</b> • Área: 160 m <sup>2</sup> • N° tratamientos con el control: 4 • Año de instalación: 2021	• Humedad volumétrica (%) a 15 cm de profundidad • Temperatura del aire (°C) • Precipitación (mm)	Tasa de cambio de la humedad del suelo
		Respuesta inmediata de la humedad a eventos de lluvia
<b>Parcela de 105 m x 90 m</b> • Área: 9 450 m <sup>2</sup> • N° tratamientos con el control: 2 • Año de instalación: 2023	• Humedad volumétrica (%) a tres profundidades (20 cm, 60 cm y 100 cm) • Temperatura del aire (°C) • Precipitación (mm)	Tasa de cambio de la humedad del suelo.
		Almacenamiento de agua en suelo (mm): Cálculo directo a partir de las variables
		Evapotranspiración (mm): estimación
		Infiltración (mm): obtenido por diferencia

Fuente: Elaboración propia

También se considera el monitoreo de las variables ecológicas en las siete parcelas experimentales, de 20 m x 8 m y 105 m x 90 m. Las variables e indicadores ecológicas incluyen aspectos de la vegetación y el suelo como se indica en el Cuadro 19.

**Cuadro 19**

VARIABLES E INDICADORES ECOLÓGICOS MONITOREADOS EN LAS SIETE PARCELAS EXPERIMENTALES DE 20 M X 8 M Y 105 M X 90 M

Variable	Indicador	Descripción	Frecuencia
Vegetación	Cobertura por especie (%) Número de individuos por especie Cobertura de suelo (%) Fenología de las especies presentes	La cobertura de suelo considera: suelo desnudo, cobertura vegetal total, fragmentos de roca de acuerdo a su diámetro mayor (grava < 6.4 cm, guijarro 6.4 - 23 cm, boleo > 23 cm), tipos de biocostra (biocostra, biocostra + líquen y biocostra + musgo) musgo, líquen, mantillo, fecas.  La fenología considera tres estados: floración, fructificación o estado estéril.	Semestral (temporada húmeda y seca)
	Suelo	Materia orgánica (%) Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (ppm) Potasio (K <sub>2</sub> O) (ppm) pH CE. mmhos/cm Cationes cambiabiles (Ca <sup>++</sup> , Mg <sup>++</sup> , K <sup>+</sup> , Al <sup>-3</sup> + H <sup>+</sup> y Na <sup>+</sup> ) CaCO <sub>3</sub> (%) Capacidad intercambio catiónico - CIC (meq/100) Arena (%), limo (%), arcilla (%) Clase-textural Densidad aparente (DA) (g/cc) Suma de cationes Suma de bases % Saturación de bases	Caracterización en todos los horizontes  Monitoreo del suelo en el primer horizonte

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Resultados preliminares sobre los ensayos de revegetación

En las parcelas de 20 m x 8 m, se están llevando a cabo dos ensayos de revegetación. El primero corresponde al tratamiento de traslocación de ocho esquejes de *Festuca dolichophylla* que fue implementando de acuerdo a la propuesta inicial. Mientras que el segundo ensayo es la reestructuración de tratamientos, a través de la traslocación de pajonales con diferentes fertilizantes.

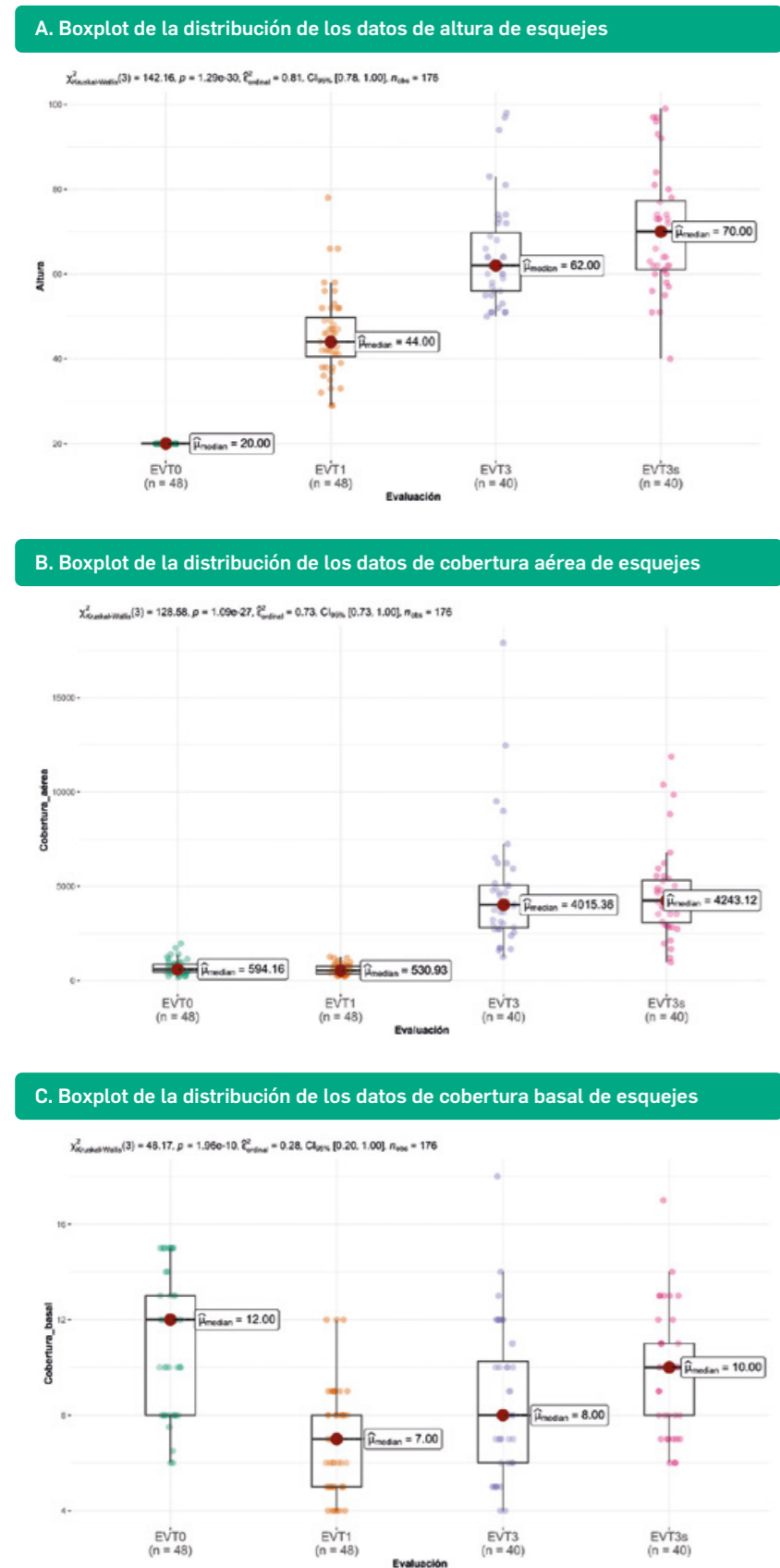
A continuación, se presentan los resultados de ambos ensayos.

#### 3.3.1 Sobrevivencia de la *Festuca dolichophylla* en seis parcelas de 20 m x 8 m.

Para el tratamiento de traslocación, el único que se sigue monitoreando de los instalados inicialmente, se utilizó la especie *Festuca dolichophylla*, conocida comúnmente como Chilligua – Qoya. La especie se seleccionó debido a su abundancia, ya que es una de las más dominantes en la zona, y a su alta capacidad de respuesta y adaptación, que genera condiciones favorables para el desarrollo de otras especies (Vilca-Bustamante et al., 2023).

Los resultados preliminares se obtuvieron en base a cuatro monitoreos realizados durante un periodo de dos años, donde se evaluó la sobrevivencia y crecimiento de *Festuca dolichophylla* a través de la medición de la altura, la cobertura de área y la cobertura basal de los esquejes (Vilca-Bustamante et al., 2023). El primer monitoreo se realizó en noviembre 2021 (EVT0), el segundo en junio 2022 (EVT1), el tercero en marzo 2023 (EVT3) y el cuarto en setiembre 2023 (EVT3s).

**Figura 46**  
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LOS ESQUEJES TRASLOCADOS



Fuente: Vilca-Bustamante et al., 2023

Los resultados indican que existe un crecimiento constante en la altura de los esquejes y una disminución inicial en la cobertura de área y cobertura basal debido a un proceso de adaptación, pero que luego, a partir de la tercera evaluación en marzo 2023 (EVT3), se observa un crecimiento progresivo.

Se evidencia que los esquejes de *Festuca dolichophylla* han logrado adaptarse y establecerse en las parcelas de translocación, a pesar de los desafíos iniciales, mostrando un crecimiento positivo en términos de altura y cobertura aérea. Por lo tanto, estos resultados muestran que las gramíneas nativas tienen el potencial para contribuir al objetivo de rehabilitación en la quebrada Umasbamba, que corresponde a la recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica de los ecosistemas altoandinos.

### 3.3.2 Sobre la reestructuración de las parcelas P01 y P03 y la dinámica hídrica

La reestructuración de las parcelas P01 y P03, con esquejes de *Festuca dolichophylla*, bajo tres diferentes tratamientos de fertilización (Ver sección 2.2.1 del Capítulo III), sufrió de una extendida temporada seca en los años 2022 y 2023. Esto ocasionó una alta mortalidad de los esquejes traslocados en la parcela P03, por lo que sólo se pudo trabajar con los datos obtenidos de la parcela P01.

Se analizaron los datos que influyen en el balance hídrico a escala de parcela, así como se determinaron los porcentajes de las coberturas de todos los tratamientos mediante una análisis fotogramétrico de imágenes tocadas con un dron Phantom 4 Multispectral, que capturó imágenes con diferentes longitudes de onda y una resolución de hasta 2 cm² por píxel (Lazo Oscanoa, 2024). Las imágenes se analizaron usando el NDVI, lo que permitió identificar qué proporción del área se encontraba en condiciones óptimas o pobres, así como distinguir el suelo y grava como aquella cobertura compuesta por rocas expuestas de diferentes tamaños. Los resultados se presentan en el Cuadro 20.

**Cuadro 20**

COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO Y PORCENTAJE DE LAS COBERTURAS DE LA PARCELA DE EXPERIMENTAL P01 DE 20 M X 8 M

Resultados	Traslocación de pasto con estiércol de bovino (T01)	Traslocación de pasto con fosfato diamónico (T02)	Traslocación de pasto sin fertilizantes (T03)	Control (Ctrl)
Precipitación (P)	781.4 mm	781.4 mm	781.4 mm	781.4 mm
Escorrentía superficial (Es)	159.1 mm	151.7 mm	160.8 mm	145.0 mm
Componentes del balance hídrico (mm)				
Evapotranspiración (ET)	345.1 mm	335.4 mm	232.9 mm	321.9 mm
Percolación (Per)	319.5 mm	85.7 mm	11.9 mm	229.0 mm
Cambio de humedad del suelo ( $\Delta\theta$ )	4.5 mm	4.5 mm	4.2 mm	6.7 mm
Coberturas				
Pastizales en condiciones pobres	31.38 %	26.12 %	29.76 %	20.57 %
Pastizales en condiciones óptimas	17.20 %	22.41 %	15.75 %	27.86 %
Suelo	32.70 %	33.83 %	40.30 %	31.76 %
Grava	18.72 %	17.64 %	14.20 %	19.81 %

Fuente: Lazo Oscanoa, 2024

Los valores resultantes de escorrentía para todos los tratamientos y el control son muy semejantes entre sí. Sin embargo, el control posee valores ligeramente más bajos con 145 mm. Esto posiblemente se debe a que tiene un mayor porcentaje de cobertura vegetal en condiciones óptimas (27.86 %) en comparación con los demás tratamientos (Lazo Oscanoa, 2024).

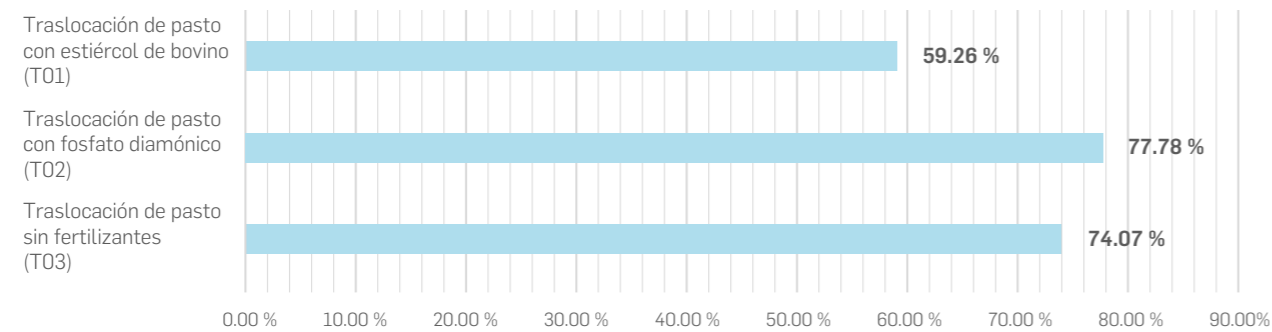
Los valores de evapotranspiración real son muy semejantes entre el tratamiento T01, T02 y el control; sin embargo, son inusualmente bajos para el tratamiento T03 (232.9 mm). Esto podría deberse a los bajos niveles de humedad registrados para este tratamiento y a la escasa cobertura vegetal en condiciones óptimas que posee (15.75 %), que es la más baja de todas (Lazo Oscanoa, 2024).

Con respecto a la percolación, el tratamiento T01 tuvo los valores más altos (319.5 mm) debido a que presentó altos valores de humedad. Por el contrario, el tratamiento T03 mostró los valores más bajos (11.9 mm) casi llegando al punto de no tener percolación. Con respecto al tratamiento T02, este reflejó valores inusualmente bajos de percolación (85.7 mm) pudiendo atribuirse a los bajos valores de supervivencia de esquejes o a otros factores ambientales (Lazo Oscanoa, 2024).

El cambio de humedad del suelo, determinado por el agua contenida en el suelo y su cambio a través del tiempo (Forest Trends, 2022; citado por Lazo Oscanoa, 2024), fue muy semejante en todos los tratamientos, debido a que los valores positivos de las temporadas de lluvias se compensaron con los valores negativos de la temporada seca (Lazo Oscanoa, 2024).

Como se mencionó, el retraso de las lluvias entre el 2022 y el 2023 impactó en la mortalidad de los esquejes traslocados. La Figura 47, evidencia que en la parcela P01 se tuvo la muerte del más del 50 % de los esquejes (Lazo Oscanoa, 2024).

**Figura 47**  
PORCENTAJE DE MORTALIDAD DE LOS ESQUEJES TRASLOCADOS EN LA PARCELA P01 DE 20 M X 8 M

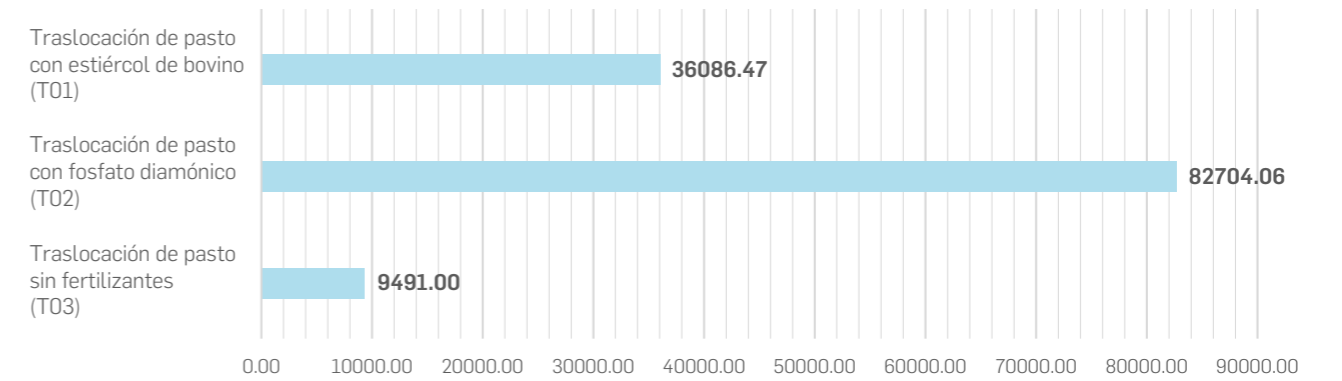


Fuente: Lazo Oscanoa, 2024

El tratamiento con traslocación de pasto con estiércol de bovino (T01) fue la subparcela que mostró menor grado de mortalidad, lo cual se puede atribuir principalmente a que se registró un mayor contenido de humedad y mejores condiciones de textura y nutrientes del suelo proporcionados por el estiércol de bovino (Lazo Oscanoa, 2024).

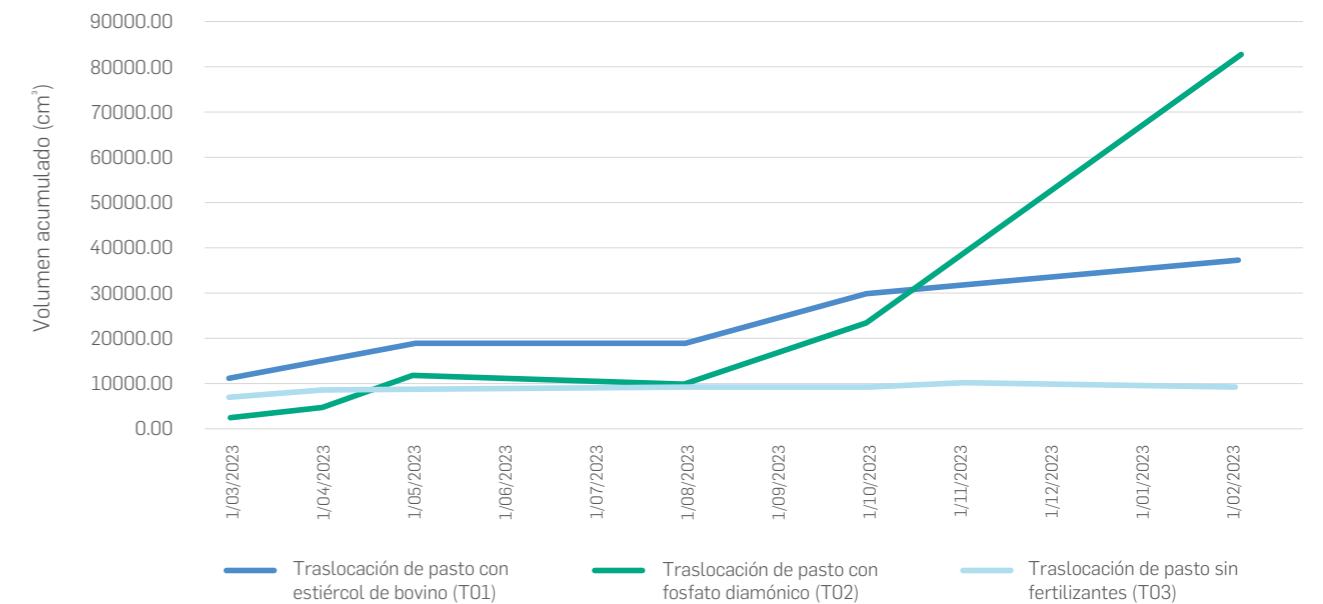
El volumen de los esquejes traslocados y su variación (ver Figura 48 y Figura 49) también mostraron diferencias entre los tratamientos utilizados. La subparcela T02 con el tratamiento de fosfato diamónico tuvo los esquejes con mayor volumen y mayor incremento del volumen, a pesar de tener pocos esquejes vivos en comparación con el tratamiento T01. Por lo que, si bien el abono inorgánico aplicado en el tratamiento T02 no facilitó la supervivencia de esquejes, sí ayudó en el desarrollo vegetal de los sobrevivientes, obteniendo mejores resultados que con el abono orgánico (Lazo Oscanoa, 2024).

**Figura 48**  
VOLUMEN ACUMULADO DE LOS ESQUEJES TRASLOCADOS (CM³) EN LA PARCELA P01 DEL 20 M X 8 M



Fuente: Lazo Oscanoa, 2024

**Figura 49**  
VARIACIÓN DE VOLUMEN ACUMULADO DE LOS ESQUEJES TRASLOCADOS (CM³) EN LA PARCELA P01



Fuente: Lazo Oscanoa, 2024

Se realizó un análisis de estadístico de componentes principales utilizando un conjunto de variables que incluyeron a la precipitación, escorrentía superficial, evapotranspiración, percolación, humedad del suelo, capacidad de campo, pastizal en condiciones óptimas, mortalidad de los esquejes y volumen acumulado de los esquejes. De acuerdo, a los resultados estadísticos existen dos componentes principales que en suma explican el 84.72 % del comportamiento de todas estas variables hidrológicas y ecológicas. Estos componentes están conformados principalmente por contenido de humedad en el suelo, la percolación y la evapotranspiración (Lazo Oscanoa, 2024).

El tratamiento con traslocación de pasto con estiércol de bovino (T01) es el que mejor ha respondido a la fecha, mostrando los mejores valores relacionados a la hidrología, como contenido de humedad del suelo y percolación. Por ello, estos resultados indicarían que posiblemente el tratamiento T01 es el más indicado para mejorar la dinámica hídrica de la capa superficial del suelo en la zona de cabecera de la quebrada Umasbamba (Lazo Oscanoa, 2024).

## 4. PRÁCTICAS LOCALES EN INFRAESTRUCTURA NATURAL BASADO EN EL CONOCIMIENTO ECOLÓGICO LOCAL

La recuperación y conservación de las funciones hídricas no sólo es un objetivo ecológico, sino que también involucra objetivos sociales, económicos y culturales. Por ello, desde la visión de INAIGEM, es imprescindible incorporar el conocimiento ecológico local. La comprensión de factores socioeconómicos y culturales contribuirán a la implementación sostenible de estrategias efectivas y culturalmente apropiadas. Esto supone, complementar e integrar el conocimiento científico con el conocimiento ecológico local (diálogo de saberes) (Zalles, 2017).

En la Comunidad Indígena de Umasbamba, se realizó una primera indagación sobre el conocimiento ecológico local, relacionado con las prácticas de infraestructura natural que conservan el agua y suelo o facilitan la regulación hídrica. Se consultó a líderes y comuneros locales que, además de vivir en la comunidad, hayan participado como autoridades comunales o de sus sectores, para así garantizar que tuvieron la experiencia y el conocimiento sobre las prácticas locales implementadas.

Los resultados revelaron, que actualmente, la Comunidad centra su actividad en la agricultura y ganadería intensiva en la parte baja de la cuenca, por lo que su conocimiento sobre asociaciones vegetativas relacionadas a la regulación del agua y a la conservación de suelos es más limitado.

La población considera importante realizar intervenciones eficaces en la infraestructura natural en zonas que han perdido vegetación o que tienen presencia de especies indicadoras de degradación (paccu paccu - *Aciachne pulvinata*). Además, señalan que es crucial remover el suelo compactado en zonas con pérdida total de cobertura, lo cual han comprobado al realizar zanjas de infiltración, observando cómo la tierra removida ha permitido la regeneración de vegetación con el tiempo.

Finalmente, identifican que la forma más eficaz de intervenir para la recuperación del servicio de regulación hídrica, es la de trabajar con infraestructuras mixtas, como la presencia de zanjas de infiltración, junto con árboles nativos y exóticos. Sólo en casos en que éstas no han sido eficaces, consideran realizar la revegetación de pastos naturales junto a las zanjas de infiltración, tal como en las zonas más altas de laderas, en las que su adaptación al piso ecológico es la más adecuada (zona Huasillu en parte alta de Cruz Tayta).

### 4.1 Conocimiento ecológico con respecto a la infiltración y recarga hídrica

La población entiende que el incremento o recuperación de la vegetación es respuesta a la calidad del suelo y del agua, y no un proceso cíclico. Por ello, desde su percepción, el buen estado de las especies y la función hídrica depende de las precipitaciones y ausencia de eventos climáticos extremos.

Las zonas que se consideran con mayor aporte hídrico son las 20 laderas o cabeceras de cuenca (ver Cuadro 21), que poseen mejores pastizales y/o presencia de humedad. En su mayoría, presentan forestación con pino, q'olle, q'euña y tayanca, en especial el sector Ccorccor.

Cuadro 21

CABECERAS DE CUENCA CON MEJORES PASTIZALES Y/O PRESENCIA DE HUMEDAD

Sector	Nombres de cabeceras de cuenca			
Ccorccor	• Achintiyana qhata	• Rumi cruz	• Llawlli Wayqo	• Unuq ñawin
	• Saya qhata	• Masamayo	• Ccorccor wichay	• Toqoqaqa
Ichucancho	• Queullacocha	• Champacancha	• Ñauch'i	
	• Pamparayoq	• Qhewar	• Cruz Tayta	
Umasbamba	• Altarniyoq qaqa	• Queullacocha	• Pitalniyoq	• Huampampa
	• Huampampa	• Champacancha	• Kallicachayoq	
	• Senqapampa	• Vandorani	• Yanaqaqa	

Fuente: Elaboración propia

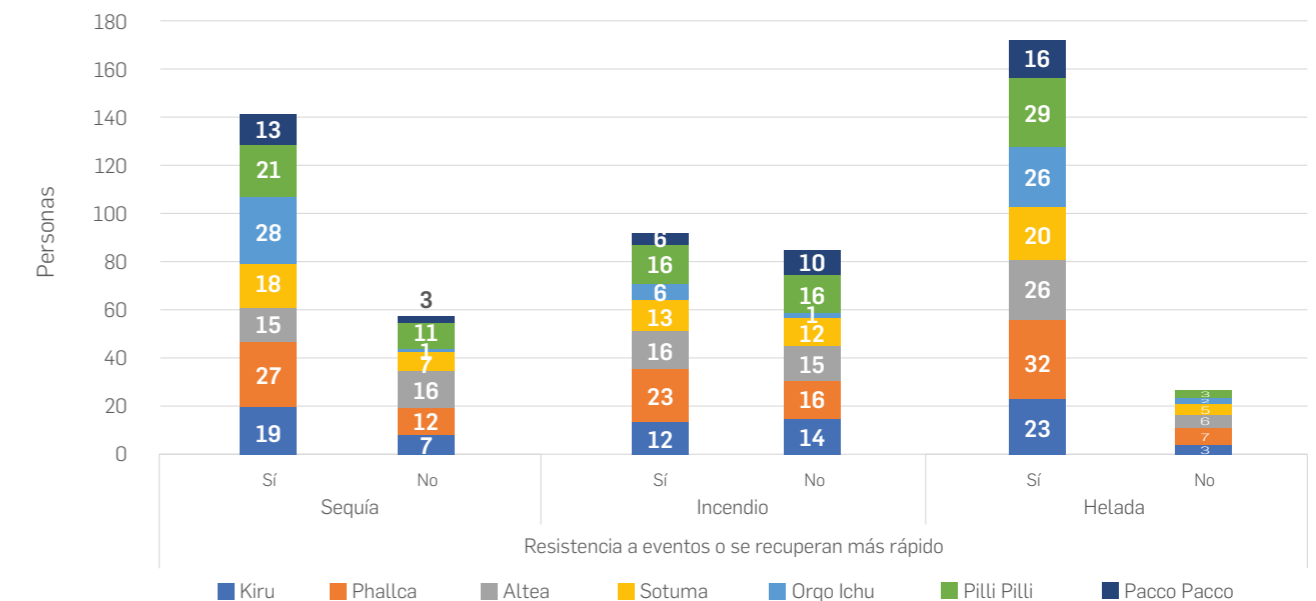
La población tiene desconocimiento sobre los componentes del ecosistema que contribuyen al servicio de regulación hídrica de la cuenca. Consideran a las lagunas y manantes, y a las zanjas de infiltración como elementos que contribuyen a la infiltración de agua. Además, piensan que las aguas subterráneas provenientes de la napa freática ubicada en "zonas secas", como los pastizales nativos, son las que aportan hídricamente a los manantes en tiempos de estiaje.

### 4.2 Conocimiento sobre el ecosistema Pajonal de Puna Húmeda

La población de Umasbamba identificó 33 especies de vegetación que consideran resistentes frente a eventos extremos, de las cuáles siete fueron las que presentaron los más altos valores de consenso: Kiru, Phallca (*Gentianella ernestii*), Altea (*Acaulimalva engleriana*), Sotuma (*Perezia pygmaea*), Orqo Ichu (*Jarava ichu*), Pilli Pilli (*Hypochaeris taraxacoides*), y Paccu Paccu (*Aciachne pulvinata*), tal como se muestra en la Figura 50. De estas, destaca la especie Orqo Ichu en su resistencia a sequías y heladas.

Figura 50

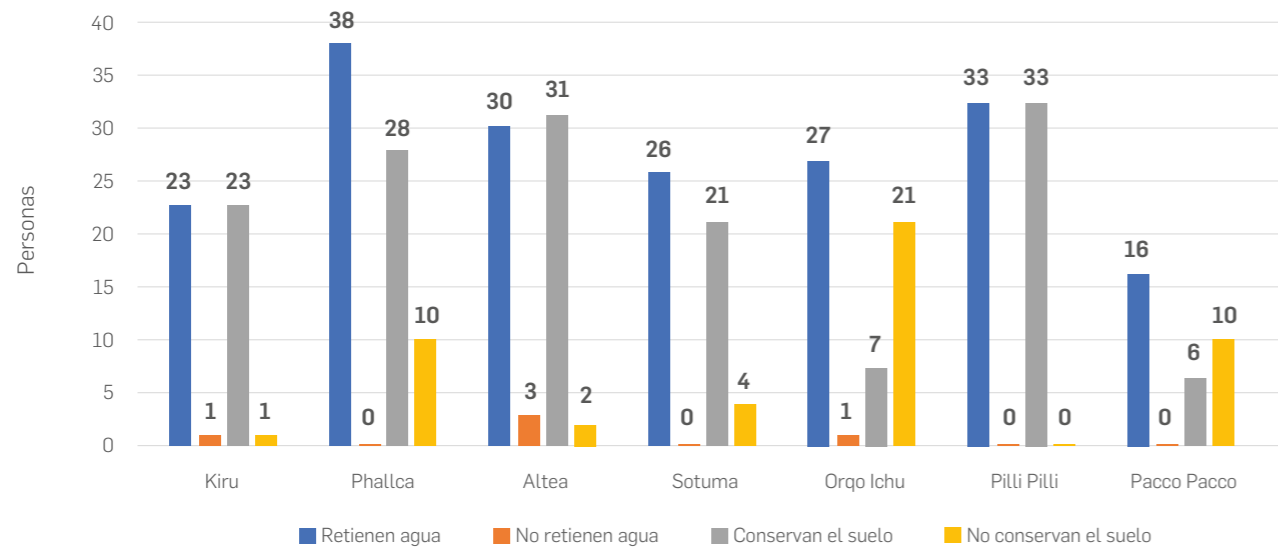
ESPECIES RESISTENTES A EVENTOS EXTREMOS, CON MAYOR CONSENSO ENTRE LA POBLACIÓN



Fuente: Elaboración propia

Sobre el apoyo a componentes del ecosistema para lograr la regulación hídrica, la Pallcha, Sotuma y Pilli Pilli son las especies que de acuerdo a los encuestados ayudan a retener más agua para su infiltración. En tanto, aquellas que ayudan a la conservación de suelos son la Altea, Pallcha y Pilli Pilli (ver Figura 51). Entre las causas que determinan o no su aporte a los componentes agua y suelo, mencionan que tienen pocas o pequeñas raíces, por ello, no consumen mucha agua.

**Figura 51**  
ESPECIES CON FUNCIONES IDENTIFICADAS POR LA POBLACIÓN QUE APOYAN LA REGULACIÓN HÍDRICA

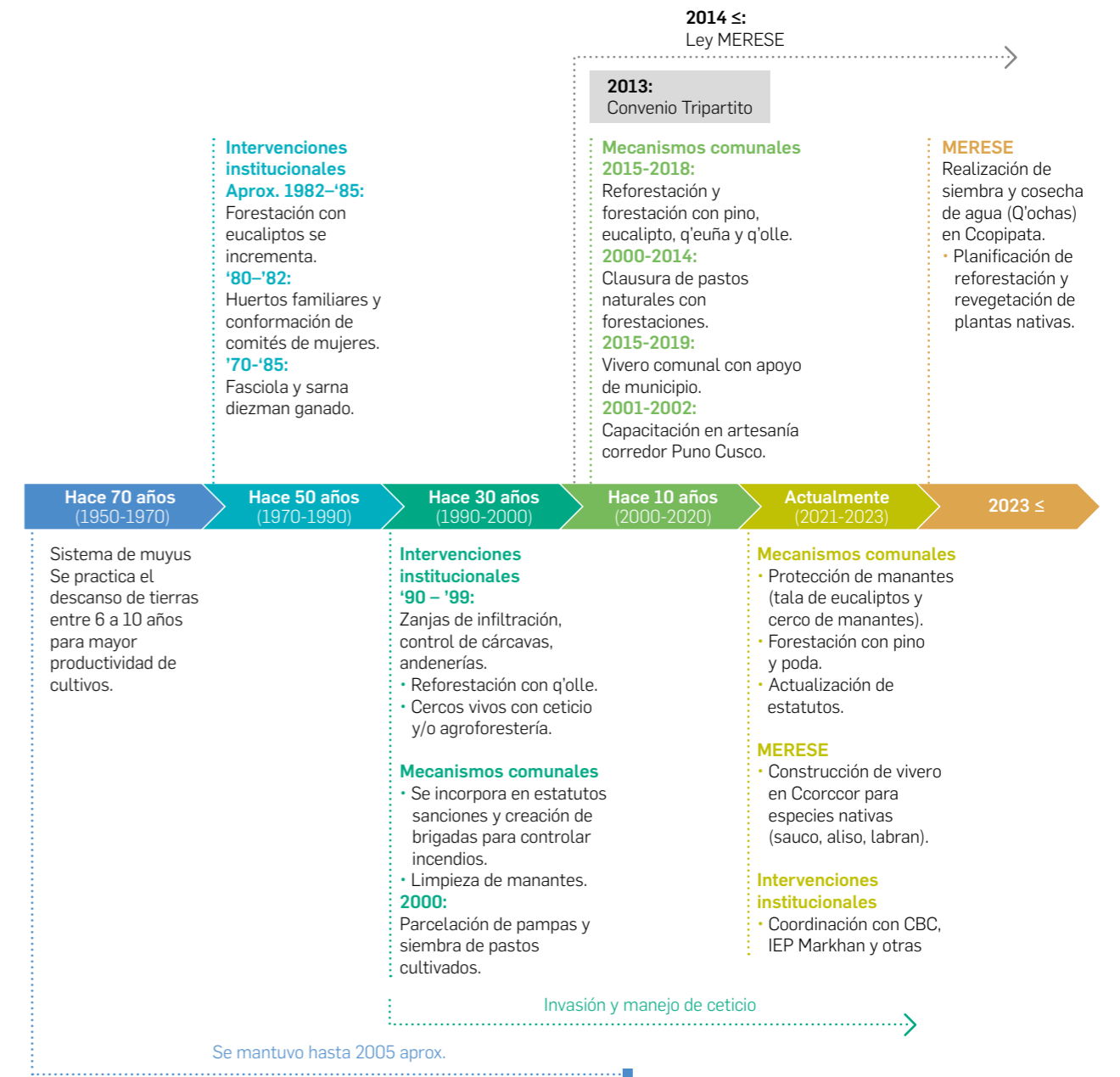


Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Conocimiento sobre prácticas locales para la recuperación de funciones hídricas

A partir de la información recogida en la Comunidad Indígena de Umasbamba, se elaboró una secuencia temporal de las prácticas locales implementadas por la población local relacionadas a las funciones hídricas de la cuenca (ver Figura 52).

**Figura 52**  
LÍNEA DE TIEMPO DE LAS PRÁCTICAS DE ADAPTACIÓN SOBRE LA INFRAESTRUCTURA NATURAL



Fuente: Elaboración propia

De estas prácticas, se ha evidenciado el éxito de la reducción de pastoreo en cabeceras y laderas de cuenca, debido a los beneficios económicos que la población ha percibido al diversificar sus actividades, lo que ha originado una disminución de la presión sobre los ecosistemas.

La población percibe que las prácticas de forestación con especies como el pino y ceticio, junto con especies como q'euña, q'olle y tayanca, han contribuido al aumento de los caudales de sus principales manantes, además de permitir fijar el suelo y evitar inundaciones en zonas agrícolas.

Las zanjias de infiltración gozan de buena reputación entre la población, considerándola como aportante en la infiltración de agua, así como un mecanismo eficaz en la reducción o mitigación del riesgo frente a inundaciones y/o deslizamientos por intensas lluvias.

De lo mencionado, se evidencia un escaso interés por recuperar los ecosistemas con pastizales nativos debido a los cambios en las estructuras económicas y sociales de la comunidad. Los beneficios que antes percibían del ecosistema, ahora tienen un carácter marginal frente a las intervenciones con zanjas de infiltración, forestación con especies maderables con mayor aceptación en los mercados, así como las mejores condiciones (reducción de tiempo de desplazamiento y preparación de tierra) para el cultivo agrícola en zonas intermedias y bajas frente a zonas alejadas de la comunidad.

## 5. ACCIONES PARA LA CONSERVACIÓN

Tal como se mencionó al inicio de este capítulo, el modelo conceptual para la rehabilitación de ecosistemas en la cuenca Piuray considera la creación de Áreas de Conservación Comunal para garantizar la sostenibilidad de la iniciativa cuando se escale las acciones de intervención a nivel de cuenca (escala completa).

En ese contexto, INAIGEM ha desarrollado dos instrumentos de gestión que han generado información valiosa sobre las potencialidades de la cuenca Piuray, y que promueven el aprovechamiento sostenible de sus recursos naturales, a través de actividades compatibles con la conservación de sus ecosistemas.

### 5.1 Guía ecoturística rutas ecosistémicas asociadas al agua

Desarrollada con la finalidad de promover el ecoturismo en la zona y, a la vez, fomentar el conocimiento y la preservación de su biodiversidad y los procesos ecológicos que en ella se dan.

La guía muestra las características ambientales y culturales de las rutas que atraviesan ecosistemas de importancia para la generación de agua en la cuenca.

La guía promueve la generación de valor de los servicios ecosistémicos de la cuenca Piuray mediante el impulso de siete rutas asociadas al agua (INAIGEM 2022).

**Ruta 1:** Qhapaq Ñan Chinchero-Urquillos. Tiene una longitud de 9.5 km con un clima templado cálido durante todo el año. En su recorrido se observa la catarata Poc Poc.

**Ruta 2:** Chinchero-Catarata Poc Poc-Cuper Ccasa. Con una longitud de 8.3 km, incluye a la comunidad Cuper Ccasa que forma parte de la cuenca Piuray.

**Ruta 3:** Tambomachay-Huchuy Qosqo. De 18.4 km de longitud y con dos ecosistemas predominantes el Matorral Andino y el Pajonal de Puna Húmeda.



**Ruta 4:** Ccorao-Huchuy Qosqo. Tiene una longitud de 16 km y recorre las orillas de la laguna Qoricocha. Se aprecian ecosistemas Matorral Andino y el Pajonal de Puna Húmeda.

**Ruta 5:** Qhapaq Ñan Tauca-Huchuy Qosqo. Con 9.2 km de longitud, su recorrido pasa por un sitio arqueológico, la laguna Cusiyocho y una divisoria de aguas.

**Ruta 6:** La ruta del agua. Cuenta con 10 km de longitud recorriendo varias quebradas de la zona de cabecera de la cuenca Piuray.

**Ruta 7:** Chinchero - Sacsayhuamán. Tiene 21.4 km de extensión y cruza prácticamente toda la cuenca Piuray.

### 5.2 Guía de aves de la cuenca Piuray

Esta guía, publicada en el 2023, se desarrolló con el apoyo del Centro de Investigación Vertebrate (CIV) de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) y el Círculo de Investigación de Ornitología (CIO) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El objetivo fue poner en valor la riqueza ornitológica de los ecosistemas de la cuenca Piuray, para promover su conservación y aprovechamiento sostenible, involucrando a organizaciones públicas y privadas en beneficio de la sociedad civil (INAIGEM 2023).

Con este instrumento de gestión, se busca despertar el interés en la ciudadanía, academia e investigadores a través de fotografías inéditas y descripciones detalladas e innovadoras. Cada página brinda información sobre las aves de pajonal, matorral y de lagunas, describiendo sus comportamientos, dieta, hábitos de anidación y migración, así como de sus capacidades de adaptación a este entorno.

De acuerdo a INAIGEM (2023), en la laguna Piuray, se han identificado 147 especies distribuidas en 36 familias y 18 órdenes, 30 aves migratorias, de las cuales 25 son boreales y cinco australes. Asimismo, se reconocieron seis especies endémicas del Perú: *Oreonympha nobilis* "Q'ente", *Elliotomyia viridicauda* "colibrí verde y blanco", *Aglaeactis castelnaudii* "rayo de sol acanelado", *Poospizopsis caesar* "monterita de pecho castaño", *Asthenes ottonis* "mismicha" y *Cranioleuca albicapilla* "cola espina de cresta cremosa".

Finalmente, a través de este documento se resalta el potencial ecoturístico y de turismo científico en la cuenca Piuray como una forma de promover una gestión sostenible de los recursos naturales y el uso de la tierra.



## CONSIDERACIONES FINALES

La cuenca Piuray, en Chinchero, Urubamba - Cusco, alberga ecosistemas de montaña como el Pajonal de Puna Húmeda (pastizales) y el Matorral Andino, así como ríos y quebradas que alimentan a la laguna Piuray, principal cuerpo de agua de la cuenca. Estos ecosistemas naturales coexisten con áreas intervenidas por el hombre, como son las zonas agrícolas, las plantaciones forestales, áreas de pastizales con zanjas de infiltración y las áreas urbanas.

Esta cuenca, a pesar de su pequeña extensión (46.39 km<sup>2</sup>), tiene especial relevancia en la región pues brinda importantes servicios ecosistémicos hídricos, abasteciendo de agua potable a un tercio de la población cusqueña. Sin embargo, no se encuentra exenta de los impactos ocasionados por las actividades humanas y el cambio climático, favorecidos por sus características topográficas y geológicas.

La estimación de la degradación en la cuenca Piuray, a partir del cambio de cobertura, ha identificado áreas críticas donde los pastizales andinos y las áreas altoandinas con escasa vegetación han disminuido por el incremento de otros usos del suelo, por lo menos en las últimas dos décadas. La correlación estadística entre estos cambios de cobertura con parámetros hidrológicos sugiere un mayor grado de asociación entre la cobertura pastizal sobre la escorrentía, percolación y agua subterránea.

En el ámbito de la cabecera de la cuenca, el 16.39 % de su extensión se encuentra degradada con cambios evidentes en la cobertura terrestre, disminución de la productividad de la tierra y cambios significativos en las reservas de carbono en el suelo. Estos cambios en el uso del suelo alteran los procesos ecológicos, reduciendo la capacidad de la cuenca para regular el ciclo del agua y aumentando la vulnerabilidad a fenómenos climáticos extremos.

Desde la perspectiva de la población, los potenciales causantes del estado de degradación de las cabeceras serían una cadena de factores en los últimos 70 años. Empezando con el sobrepastoreo intensivo que disminuyó hace 30 años, pero que en ese momento causó grandes impactos en los ecosistemas de la cabecera. A esto, le siguió el aumento de la frecuencia de ocurrencia de sequías y quemadas forestales, lo que no ha permitido que los ecosistemas de la cabecera se recuperen, a pesar que ya no se desarrollan actividades agropecuarias en esta zona. Esto afecta en alta medida al bienestar de las comunidades, puesto que sus medios de vida tienen una alta dependencia de la disponibilidad de los recursos hídricos.

En este sentido, el INAIEM ha enfocado el esfuerzo de investigación en la zona de cabecera de la cuenca Piuray, ya que es la zona donde se capta el agua de la precipitación. Además, el estado actual de degradación de las cabeceras de esta cuenca, le confiere relevancia para su selección como ámbito de investigación, ya que es necesaria la generación de información para la urgente intervención en la rehabilitación de sus ecosistemas.

La interacción entre la población local de la cuenca, que asciende a 3 721 habitantes, y los ecosistemas se manifiesta en un conocimiento ecológico que, aunque valioso, enfrenta limitaciones en cuanto a la comprensión del ciclo hidrológico. Por lo que los desafíos de la cuenca requieren de soluciones y estrategias sostenibles con un enfoque integral que combine ciencia y conocimiento local.



Vista panorámica de la cuenca Piuray desde la cabecera

Foto: Renny Díaz

Las acciones de intervención desarrolladas por INAIEM, basadas en la revegetación, han demostrado ser un paso crucial hacia la recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica (rehabilitación) de la cuenca Piuray. La aplicación de un modelo de rehabilitación multi-nivel de los ecosistemas de Pajonal de Puna de la cabecera para recuperar los servicios hídricos, permitirá implementar las acciones exitosas desde la escala de parcela a ámbitos mayores hasta llegar a nivel de cuenca.

La aplicación de los tratamientos elegidos en las parcelas de 20 m x 8 m instaladas en la quebrada de Umasbamba, han mostrado tener éxito. Por un lado, la fertilización con abono orgánico potencialmente favorece el aumento de humedad, lo cual apoya a la recarga hídrica. Por otro lado, la traslocación de esquejes con su "pan de tierra" asegura la sobrevivencia de esquejes y su establecimiento en las zonas de rehabilitación en Pajonal de Puna. Sin embargo, no se tienen aún efectos positivos concluyentes sobre el servicio de regulación hídrica y la rehabilitación de ecosistemas.

Es así que, mediante el enfoque de gestión adaptativa, considerado en el modelo de rehabilitación, se ha planteado nuevos diseños experimentales a esta escala. A partir del aprendizaje constante de las acciones ya implementadas, se instaló una parcela adicional de 105 m x 90 m, con un mejor planteamiento del monitoreo hidrológico, que incluye zanjas de infiltración, ya que es una cobertura dominante, y ubicada en zona de Césped de Puna, lo cual permite ir cubriendo la investigación en rehabilitación para las diferentes formaciones que hay en la cabecera de la cuenca Piuray.

Aplicar la investigación acción-participativa ha permitido involucrar a diferentes actores e integrar el conocimiento ecológico local. Se identificó que las prácticas locales más valoradas por la Comunidad Indígena de Umasbamba, en cuanto al servicio de regulación hídrica, son las zanjas de infiltración y forestación con especies nativas y exóticas.

Las investigaciones desarrolladas, apoyan a la ejecución de las acciones en rehabilitación planteadas en el modelo conceptual, que es parte de la propuesta de INAIEM en el ámbito de la cabecera Piuray. Aplicando los enfoques de gestión adaptativa e investigación-acción participativa, el próximo paso es el escalamiento de los tratamientos que resultaron exitosos de los ensayos a escala de parcela, hacia una escala de quebrada y/u otras escalas mayores hasta alcanzar un escalamiento a nivel de cuenca. Con esta propuesta se busca generar lineamientos para la rehabilitación de ecosistemas de Pajonal de Puna intervenidos con zanjas de infiltración en cuencas pequeñas, cuyas funciones hídricas tengan una relevancia social importante.

## GLOSARIO

**Cabecera de cuenca:** Según la ANA (2021), es aquella zona ubicada en las nacientes de los cursos de agua y perimétricas de una unidad hidrográfica mayor, drenadas por cursos de agua de orden 1 y de regímenes perennes o intermitentes.

**Cambio climático:** Se refiere a un cambio que persiste por periodos prolongados en los valores promedios del estado del clima, ya sea por procesos internos naturales o forzamientos externos, que puede ser identificable, mediante pruebas estadísticas (IPCC, 2022). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define al cambio climático como "cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables" (Naciones Unidas, 1992a).

**Conocimiento ecológico local:** De acuerdo a Gann et al. (2019), es aquel basado en el conocimiento del lugar, de la tierra y sus procesos más aplicados por los humanos para crear tierras más productivas y ecosistemas más saludables. Incluye prácticas agrícolas, de gestión del agua y de caza de subsistencia anteriores a la era industrial. Se hace referencia a este conocimiento cuando se ha perdido prácticas indígenas y la presencia de dicha población es escasa.

**Cordillera de los Andes:** Cadena montañosa más larga del mundo con más de 7 000 km y la más importante del hemisferio sur que se extiende desde el país de Venezuela hasta Argentina. Se formó hace unos 140 millones de años como resultado de un proceso de orogenia de margen continental, originado por la subducción de las placas oceánicas por debajo de la placa continental de América del Sur (Murphy & Nance, 2004).

**Cuenca:** Zona geográfica delimitada por un límite topográfico bien definido (parte aguas), donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se concentra en un punto particular a partir del cual la cuenca se drena (MINAM, 2019).

**Degradación de las tierras:** La reducción o la pérdida de la productividad biológica como resultado de los usos de la tierra o procesos como la erosión del suelo causada por el viento o el agua, el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y la pérdida a largo plazo de la vegetación natural (UNCCD, 1994).

**Ecosistema:** Según el Convenio sobre la Diversidad Biológica (Naciones Unidas, 1992b), es un complejo dinámico de

comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional.

**Ecosistema de montaña:** En el Perú, los ecosistemas de montaña están ubicados sobre los 1 500 m s.n.m. distribuidos en la Cordillera de los Andes, ocupando un 20 % de la superficie del territorio nacional. Se reconocen cinco tipos principales de ecosistemas: bofedales, bosques andinos relictos, bosques montanos, pajonales o pastizales andinos y matorrales arbustivos; los cuales cumplen con funciones de provisión de servicios ecosistémicos. (INAIGEM 2017).

**Ecosistema de referencia:** Una representación de un ecosistema nativo que es el objetivo de la restauración ecológica (Gann et al., 2019).

**Ecosistema degradado:** Aquel ecosistema que ha sufrido la alteración de su estructura y funcionamiento debido a la pérdida total o parcial de sus componentes esenciales; por ello, disminuye su capacidad de proveer bienes y servicios. (SERFOR, 2018b).

**Forzamiento radiativo:** De acuerdo al IPCC (2007), es una medida de la influencia que tiene un factor para modificar el equilibrio de la energía entrante y saliente en el sistema atmosférico de la Tierra y representa un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial del cambio climático. Puede ser positivo cuando tiende a calentar la superficie mientras es negativo cuando tiende a enfriarla.

**Microcuenca:** Según la FAO (2008), una microcuenca es una pequeña unidad geográfica delimitada por un enfoque hidrológico donde habitan un grupo de familias que maneja los recursos de agua suelo y vegetación principalmente.

**Modelo hidrológico:** Mediero (2007) indica que el modelo hidrológico pretende representar los procesos que componen el ciclo hidrológico y la relación entre las variables que lo afectan.

**Parcelas experimentales:** Son unidades de terreno delimitadas a través de las cuales se realizan ensayos y el seguimiento puntual de diversos parámetros relacionados con los procesos ecohidrológicos (relación agua, suelo y vegetación). Estas áreas permiten realizar experimentos controlados y obtener datos representativos de ecosistemas más amplios, que resultarían complicados de cuantificar y más costosos de implementarse a una escala mayor, como el de una cuenca experimental. Por tanto, son clave para evaluar el impacto

de diferentes tratamientos sobre los ecosistemas y generar información aplicable a la gestión ambiental de cuencas (De Alba et al., 2002; Vargas-Rojas et al., 2020).

**Quebradas:** Hendiduras en montañas, cuyo fondo contiene una corriente natural de agua de caudal bajo, que puede desaparecer durante la época de estiaje (ANA, 2020).

**Regulación hídrica:** Capacidad de las cuencas en captar y almacenar agua de lluvia, reduciendo la escorrentía directa y las inundaciones, debido a que el agua es liberada de manera más lenta preservando así este recurso a través de las estaciones secas (Le Maitre et al., 2014). Es un servicio ecosistémico que proporciona un balance natural entre caudales de época lluviosa con caudales de estiaje, que depende principalmente de la intensidad y la estacionalidad de las precipitaciones, la cobertura vegetal, la profundidad del suelo, la alteración de la variabilidad climática y las prácticas de conservación de agua (MINAM, 2019).

**Rehabilitación de ecosistemas:** Proceso de restaurar el funcionamiento ecológico de un área degradada, priorizando la recuperación de los servicios ecosistémicos, en vez de restaurar la biodiversidad e integridad del ecosistema nativo original. La rehabilitación es una de las muchas actividades restaurativas alineadas a lo largo de un continuo que incluye la restauración ecológica, y se aplica usualmente en áreas donde la recuperación completa no es viable debido a limitaciones humanas o ambientales (Gann et al., 2019).

**Restauración de ecológica:** Según SERFOR (2018b), la restauración es el "Proceso de ayuda a la recuperación de un área, ecosistema, o paisaje degradado, dañado o destruido, con el propósito de retomar su trayectoria ecológica, mantener la resiliencia, conservar la diversidad biológica y restablecer la funcionalidad de los ecosistemas y paisajes".

Por tanto, la restauración ecológica considera que un ecosistema ha sido restaurado, cuando recupera las funciones de un ecosistema nativo, y tiene suficientes recursos bióticos y abióticos para continuar su desarrollo sin ayuda de un subsidio adicional (SER, 2004).

**Restauración de ecosistema:** Proceso que consiste en alcanzar la funcionalidad ecológica, mejorar la productividad y la capacidad de satisfacer las necesidades de la sociedad, a su estado inicial, de los ecosistemas, paisajes, los lagos y los océanos que están en un estado de degradación (Gann et al., 2019). Considera una variedad de intervenciones en la gestión de ecosistemas, que van desde la mitigación de impactos sociales en paisajes productivos hasta la restauración completa de ecosistemas nativos, englobándose en un proceso "continuo de la restauración de ecosistemas" a través de la ejecución de acciones que contrarresten la degradación según contextos y objetivos determinados (condición ecológica, social o financiera).

**Revegetación:** Repoblamiento en un área carente de vegetación, con el propósito de recuperar la cobertura vegetal, considerando las características de vegetación propias de cada zona, de tal forma que se mantengan la estructura, composición y diversidad vegetal originales (Alejo et al., 2014).

**Trayectorias de concentración representativas:** Escenarios que incorporan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso de la tierra y la cubierta terrestre (Moss y otros, 2008; citado por IPCC, 2018).

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

%	porcentaje	<b>K<sub>2</sub>O</b>	Óxido de potasio
≤	menor o igual que	<b>km</b>	kilómetros
≥	mayor o igual que	<b>km<sup>2</sup></b>	kilómetros cuadrados
<b>ACC</b>	Área de conservación comunal	<b>m s.n.m.</b>	metros sobre el nivel del mar
<b>AEAC</b>	Área de Evaluación de la Cuenca	<b>M.O.</b>	materia orgánica
<b>AJOMPICC</b>	Asociación de Jóvenes de la Microcuenca Piuray Ccorimarca	<b>m<sup>3</sup></b>	metros cúbicos
<b>Al</b>	aluminio	<b>meq</b>	mili equivalente
<b>ANA</b>	Autoridad Nacional del Agua	<b>Mg</b>	magnesio
<b>aprox.</b>	Aproximadamente	<b>MIDAGRI</b>	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riesgo
<b>C.C.</b>	capacidad de campo	<b>MINAM</b>	Ministerio del Ambiente
<b>Ca</b>	calcio	<b>mm</b>	milímetros
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	carbonato de calcio	<b>mmhos</b>	milimhos
<b>CC</b>	cambio climático	<b>N</b>	nitrógeno
<b>CE</b>	conductividad eléctrica	<b>Na</b>	sodio
<b>CGMPCC</b>	Comité de Gestión de la Microcuenca Piuray Ccorimarca	<b>NDT</b>	Neutralidad de Degradación de las Tierras
<b>CIC</b>	capacidad de intercambio catiónico	<b>NDVI</b>	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, por sus siglas en inglés
<b>CIO</b>	Círculo de Investigación de Ornitología	°	grados
<b>CIV</b>	Centro de Investigación Vertebrate	°C	grados centígrados
<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	<b>ODMRS</b>	Oficina Desconcentrada Macro Región Sur Cusco
<b>DA</b>	densidad aparente	<b>p. ej.</b>	por ejemplo
<b>DEM</b>	modelo digital de elevaciones	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Anhidrido fosfórico
<b>DR</b>	densidad real	<b>pH</b>	potencial de hidrógeno
<b>EPS</b>	Empresa prestadora de servicios	<b>PMP</b>	punto de marchitez permanente
<b>etc.</b>	etcétera	<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, por sus siglas en inglés	<b>ppm</b>	partes por millón
<b>GPS</b>	sistema de posicionamiento global, por sus siglas en inglés	<b>RCP</b>	Trayectorias de concentración representativas, por sus siglas en inglés
<b>H</b>	hidrógeno	<b>S.A.</b>	Sociedad anónima
<b>ha</b>	hectáreas	<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>HE</b>	humedad equivalente	<b>SERFOR</b>	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
<b>IMLS</b>	Proyecto de Cooperación Internacional para la Adaptación y Mitigación frente al Cambio Climático	<b>SIG</b>	sistemas de información geográfica
<b>INAIGEM</b>	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña	<b>sp</b>	especie sin nombre
<b>INEI</b>	Instituto Nacional de Estadística e Informática	<b>SPI</b>	Índice de precipitación estandarizada
<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, por sus siglas en inglés	<b>SWAT</b>	Soil and Water Assessment Tool
<b>K</b>	potasio	<b>UNALM</b>	Universidad Nacional Agraria La Molina
		<b>UNCCD</b>	Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, por sus siglas en inglés
		<b>UNSAAC</b>	Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

## BIBLIOGRAFÍA

- Alejo, J., Valer, F., Pérez, J., Canales, L., & Bustinza, V. (2014). *Manejo de pastos naturales altoandinos. Manual Técnico N° 2*.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2020). Glosario de términos de la Ley N° 29338. *Ley de recursos hídricos y su reglamento aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2010-AG*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1410225/RJ%20151-2020-ANA.pdf>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2021). *Marco metodológico, criterios técnicos para la identificación, delimitación y zonificación de cabeceras de cuenca*. [https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4893/ANA0003400\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4893/ANA0003400_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Briggs, L. J., & McLane, J. W. (1910). Moisture Equivalent Determinations and their Application. *Agronomy Journal*, 2(1), 138–147. <https://doi.org/10.2134/agronj1910.00021962000200010024x>
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1–2), 53–72.
- Cassin, J., Trends, F., & Locatelli, B. (2020). *Guía para la Evaluación de Intervenciones en Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica*.
- Centro de Educación y Comunicación Guamán Poma de Ayala. (2013). *Estudio del plan de gestión integral de los recursos hídricos de la microcuenca de la laguna de Piuray*.
- Cobo, E., & Piñeros, M. L. (2020, febrero 17). *Infraestructura Natural. Oportunidades para optimizar la gestión de sistemas hídricos*.
- Cortés, A., Rau, J. R., Miranda, E., & Jiménez, J. E. (2002). Hábitos alimenticios de *Lagidium viscacia* y *Abrocoma cinerea*: Roedores sintópicos en ambientes altoandinos del norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(3), 583–593. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2002000300009>
- Cruz, P. Z., Guerra, R. Q., & Payán, J. G. (2010). Evaluación de cambios en la cobertura y uso de la tierra con imágenes de satélite en Piura - Perú. *Ecología Aplicada*, 10(1). <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v10n1/a02v10n1.pdf>
- De Alba, S., Benito, G., & Pérez Gonzáles, A. (2002). Parcelas experimentales para el estudio de erosión hídrica. Finca experimental La Higuera. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 13, 45–53. [http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos\\_secf/article/view/9273/9191](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/9273/9191)
- DiGennaro, B., Reed, D., Swanson, C., Hastings, L., Hymanson, Z., Healey, M., Siegel, S., Cantrell, S., & Herbold, B. (2012). Using Conceptual Models in Ecosystem Restoration Decision Making: An Example from the Sacramento-San Joaquin River Delta, California. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 10(3). <https://doi.org/10.15447/sfews.2012v10iss3art1>
- Eizagirre, M., & Zabala, N. (2005). *Diccionario de Acción Humanitaria y Cooperación al Desarrollo: Investigación-acción participativa*. <https://www.dicc.hegoa.ehu.es/listar/mostrar/132.html>
- EPS SEDACUSCO. (2017). *Plan de afianzamiento hídrico de la microcuenca Piuray: Diagnóstico y análisis de alternativas*.
- EPS SEDACUSCO. (2022). *Memoria anual 2021*.
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social- ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30(1), 441–473.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2003). *The Digital Soil Map of the World*. Food and Agriculture Organization of the United Nations/ UNESCO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2008). *La Microcuenca como ámbito de planificación de los recursos naturales*. <https://www.fao.org/climatechange/3032907fbeat2365b50c707fe5ed283868f23d.pdf>
- Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., Hallett, J. G., Eisenberg, C., Guariguata, M. R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K., & Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(S1), S1–S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>
- García, M., Pérez, L., & Chávez, R. (2016). Indicadores hidrológicos de regulación hídrica en ecosistemas andinos: una revisión de la literatura. *Boletín de Investigaciones Ambientales*, 25(1), 67–82.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M. L., Montanarella, L., Muñoz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M. I., & Vargas, R. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe* (C. Gardi, M. Angelini, S. Barceló, J. Comerma, C. Cruz Gaistardo, A. Encina Rojas, A. Jones, P. Krasilnikov, M. L. Mendonça Santos Brefin, L. Montanarella, O. Muñoz Ugarte, P. Schad, M. I. Vara Rodríguez, & R. Vargas, Eds.).
- Grizzetti, B., Lanzanova, D., Liqueste, C., Reynaud, A., & Cardoso, A. C. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science and Policy*, 61, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>
- Halofsky, J. E., Peterson, D. L., & Harvey, B. J. (2020). Changing wildfire, changing forests: the effects of climate change on fire regimes and vegetation in the Pacific Northwest, USA. *Fire Ecology*, 16(1), 1–26. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0062-8>
- Ibarra, J. M. N. (2017). La vegetación, el agua azul y el agua verde: El papel de los bosques en el ciclo del agua. *Ciencia en Desarrollo*, 8(1).
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. <http://censos.inei.gob.pe/redatam/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). *Censos Nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y III de comunidades indígenas*. <https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). (2017). *Informe de la situación de los glaciares y ecosistemas de montaña en el Perú*.
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). (2022). *Guía ecoturística Rutas ecosistémicas asociadas al agua*. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/426>
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). (2023). *Guía de aves de la microcuenca Piuray*. <http://hdl.handle.net/20.500.12748/528>

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *RT.2 Cambios en los impulsores climáticos humanos y naturales - CIE WGI Resumen Técnico*. PCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. [https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/es/tssts-2.html](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/tssts-2.html)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). Anexo I: Glosario. En Matthews J.B.R. (Ed.), *Calentamiento global de 1,5 °C*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15\\_Glossary\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Annex II: Glossary. En V., R. Möller, J. B. R. van Diemen, C. Matthews, S. Méndez, J. S. Semenov, Fuglestedt, & A. Reisinger (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 2897–2930). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.029>
- Jullian, C., Nahuelhual, L., Mazzorana, B., & Aguayo, M. (2018). Assessment of the ecosystem service of water regulation under scenarios of conservation of native vegetation and expansion of forest plantations in south-central Chile. *Bosque*, 39(2), 277–289. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002018000200277>
- Kessel, J., & Salas, P. (2002). *Señas y señaleros de la madre Tierra: agronomía andina*.
- King, E. G., & Hobbs, R. J. (2006). Identifying Linkages among Conceptual Models of Ecosystem Degradation and Restoration: Towards an Integrative Framework. *Restoration Ecology*, 14(3), 369–378. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00145.x>
- Lazo Oscanoa, C. (2024). *Influencia de tres tratamientos de revegetación con Festuca dolichophylla sobre la dinámica hídrica en la capa de suelo superficial de la cabecera de la microcuenca de Piuray Ccorimarca en Urubamba – Cusco* [Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/23596>
- Le Maitre, D. C., Kotzee, I. M., & O'Farrell, P. J. (2014). Impacts of land-cover change on the water flow regulation ecosystem service: Invasive alien plants, fire and their policy implications. *Land Use Policy*, 36, 171–181.
- Lopez-Aguilar, R., Murillo-Amador, B., Benson-Rosas, M., Lopez-Arce, E., & Valle-Meza, G. (2002). *Manual de Análisis Químicos del Suelo*.
- Loza-Del-Carpio, A., & Taype-Huamán, I. (2021). Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno - Perú. *Uniciencia*, 35(2), 1–19. <https://doi.org/10.15359/ru.35-2.3>
- Martos-Rosillo, S., Ruiz-Constán, A., González-Ramón, A., Mediavilla, R., Martín-Civantos, J. M., Martínez-Moreno, F. J., Jódar, J., Marín-Lechado, C., Medialdea, A., Galindo-Zaldívar, J., Pedrera, A., & Durán, J. J. (2019). The oldest managed aquifer recharge system in Europe: New insights from the Espino recharge channel (Sierra Nevada, southern Spain). *Journal of Hydrology*, 578, 124047. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124047>
- Mediero, L. (2007). *Pronóstico probabilístico de caudales de avenida mediante redes bayesianas aplicadas sobre un modelo hidrológico distribuido*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Mendoza-Ato, A., Postigo, J., Choquehuayta-A, G., & Diaz, R. (2023). A Conceptual Model for Rehabilitation of Puna Grassland Social-Ecological Systems. *Mountain Research and Development*, 43(4), D12–D20. <https://doi.org/10.1659/mrd.2023.00019>
- 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. <https://doi.org/10.2307/1312204>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). *Guía para el muestreo de suelos*.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015a). *Guía de inventario de la flora y vegetación*.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015b). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal: Memoria descriptiva*.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2016). *Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2511-guia-complementaria-para-la-compensacion-ambiental-ecosistemas-altoandinos>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2018). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria Descriptiva*. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/309735/Memoria\\_descriptiva\\_mapa\\_Nacional\\_de\\_Ecosistemas.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/309735/Memoria_descriptiva_mapa_Nacional_de_Ecosistemas.pdf)
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). *Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad*. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/319848/RM\\_N\\_\\_178-2019.pdf?v=1560174703](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/319848/RM_N__178-2019.pdf?v=1560174703)
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2020). *Evaluación del estado de conservación y estrategias de manejo de los ecosistemas de la microcuenca de la laguna Piuray*. <http://repositoriodigital.minam.gob.pe/xmlui/handle/123456789/658>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2021). *Documento de trabajo no 1: Análisis económico de la relación del servicio ecosistémico de regulación hídrica y los ingresos en la población rural a través de la disponibilidad de agua para riego*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1814918/Análisis%20económico%20.pdf>
- Montagnini, F., Eibl, B., & Fernández, R. (2006). *Rehabilitation of degraded lands in Misiones, Argentina*.
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33). <https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104>
- Murphy, J. B., & Nance, R. D. (2004). La formación de los supercontinentes. *Investigación y Ciencia*, 339, 14–24.
- Murray, C., & Marmorek, D. (2003). Adaptive management and ecological restoration. *Ecological Restoration of Southwestern Ponderosa Pine Forests*, 2, 417–428.
- Naciones Unidas. (1992a). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Naciones Unidas. (1992b). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Ochoa-Tocachi, B. F., Buytaert, W., De Bievre, B., Célleri, R., Crespo, P., Villacís, M., Llerena, C. A., Acosta, L., Villazón, M., & Gualtpa, M. (2016). Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. *Hydrological processes*, 30(22), 4074–4089.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2012). *Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario*.
- Paucar, S. (2019). *Efecto de la revegetación con Festuca dolichophylla en la disminución de Aciachne pulvinata en un área de pastoreo de una comunidad campesina en la región de Huancavelica* [Maestría en Ciencias de Ingeniería]. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Paucar, Y., Flores Mariazza, E. R., Mayhua Mendoza, P. H., Yalli Huamani, T. B., Argote Quispe, G. F., & Aguirre Terrazas, L. (2023). Tasa de sobrevivencia y patrones de crecimiento en poblaciones de Festuca dolichophylla bajo condiciones similares. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(6). <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i6.24936>
- Pérez, L., García, M., & Chuquisengo, R. (2019). Modelamiento hidrológico en cabeceras de cuenca de los Andes peruanos: avances y desafíos. *Revista de Investigación en Recursos Hídricos*, 8(2), 110–125.
- Pörtner, H., Roberts, D., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., & Okem, A. (2022). IPCC 2022: Summary for policymakers. En *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3–33). Cambridge University Press.
- Prado-Castillo, L., Cardenas, T., & Carrillo, M. (2018). Aproximación conceptual para la restauración de ecosistemas andinos. En Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Ed.), *Restauración de ecosistemas de montaña: cultura y ecología desde el páramo y el piedemonte llanero* (pp. 17–29). <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/4287>
- Romañach, S., DeAngelis, D., Koh, H., Li, Y., Teh, S., Barizan, R., & Zhai, L. (2018). Conservation and restoration of mangroves: Global status, perspectives, and prognosis. *Ocean & Coastal Management*, 154, 72–82.
- Salvador, F., Moneris, J., & Rochefort, L. (2014). Peatlands of the Peruvian Puna ecoregion: types, characteristics and disturbance. *Mires and Peat*, 15(3), 1–17.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). (2015). *Actualización de los escenarios de disponibilidad hídrica en el Perú en contexto de Cambio Climático: Documento síntesis*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-75.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). (2021). *Climas del Perú*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2018a). *Lineamientos para la Restauración de Ecosistemas Forestales y otros Ecosistemas de Vegetación Silvestre*.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2018b). *Lineamientos para la Restauración de Ecosistemas Forestales y otros Ecosistemas de Vegetación Silvestre*.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), & ICRAF. (2018). *Experiencias de restauración en el Perú. Lecciones aprendidas*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1269079/Experiencias-de-Restauración-en-el-Perú-Lecciones-aprendidas.pdf>
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: EL significado de la porosidad del suelo. *Boletín de suelos de la FAO*.
- Sims, N., Green, C., Newnham, G., England, J., Held, A., Wulder, M., Herold, M., Cox, S., Huete, A., & Kumar, L. (2021). Good practice guidance. *SDG indicator*, 15(1), 2021–2003.
- Society for Ecological Restoration International (SER). (2004). *Principios de Society for Ecological Restoration International sobre la restauración ecológica* (pp. 1–16).
- Somers, L. D., McKenzie, J. M., Mark, B. G., Lagos, P., Ng, G. H. C., Wickert, A. D., Yarleque, C., Baraër, M., & Silva, Y. (2019). Groundwater Buffers Decreasing Glacier Melt in an Andean Watershed—But Not Forever. *Geophysical Research Letters*, 46(22), 13016–13026. <https://doi.org/10.1029/2019GL084730>
- Suding, K., Higgs, E., Palmer, M., Callicott, J., Anderson, C., Baker, M., Gutrich, J., Hondula, K., LaFavor, M., Larson, B., Randall, A., Ruhl, J., & Schwartz, K. (2015). Committing to ecological restoration. *Science*, 348(6235), 638–640. <https://doi.org/10.1126/science.aaa4216>
- Tapia, M. E., & Ochoa, J. A. F. (1984). *Pastoreo y Pastizales de los Andes del Sur del Perú*.
- Trillo Zárate, F. C., Barrantes Campos, C., Nuñez Delgado, J., Zirena Arana, N., & Flores Mariazza, E. (2020). Efecto de la fertilización N, P y K en la producción de biomasa aérea de esquejes de Festuca dolichophylla (Presl, 1830) y Festuca humilior (Nees & Meyen, 1841). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(2). <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i2.17854>
- Trillo Zárate, F., Nuñez Delgado, J., Aguirre Terrazas, L., Barrantes Campos, C., & Flores Mariazza, E. (2020). Comparación de indicadores autoecológicos en dinámica de crecimiento de Festuca dolichophylla (Presl, 1830) y Festuca humilior (Nees & Meyen, 1841). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3).
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (1994). *Convención de la Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación, en particular en África*.
- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2022). *The Global Land Outlook* (2a ed.). [https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/UNCCD\\_GLO2\\_low-res\\_2.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/UNCCD_GLO2_low-res_2.pdf)
- United Nations General Assembly (UNGA). (2019). *United Nations Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030)*. <https://daccess-ods.un.org/access.nsf/Get?OpenAgent&DS5A/RES/73/284&Lang5E>
- United States Department of Agriculture (USDA). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Guía%20para%20la%20Evaluación%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>
- United States Department of Agriculture. (2008). *Soil Quality Indicators*.
- Vargas-Rojas, J. C., Vega-Villalobos, E. V., & Cerdas-Ramírez, R. (2020). Tamaño y forma de la unidad experimental en ensayos de rendimiento de Brachiaria híbrido CIAT 3608. *Pastos y Forrajes*, 433(2), 144–149. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942020000200144](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942020000200144)
- Vilca-Bustamante, L., Mendoza-Ato, A., & Maldonado Fonken, M. (2023). Revegetando la microcuenca de Piuray: Un caso exitoso de Restauración de Ecosistemas Altoandinos mediante translocación de gramíneas nativas en Cusco. *Las Montañas Nuestro Futuro*.
- Whisenant, S. (1999). *Repairing Damaged Wildlands*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511612565>
- Wilson, M. G. (2017). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. En *INTA Ediciones* (pp. 1–293). INTA Ediciones.
- Zalles, J. I. (2017). Conocimiento ecológico local y conservación biológica: la ciencia postnormal como campo de interculturalidad. *Íconos - Revista De Ciencias Sociales*, 59, 205–224. <https://doi.org/10.17141/iconos.59.2017.2587>



Foto: Renny Díaz

**10** AÑOS **INAIGEM**  
INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

