





# **RIESGOS E IMPACTOS DEL DRENAJE ÁCIDO DE ROCA EN LOS MEDIOS DE VIDA DE LA POBLACIÓN RURAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO QUILLCAY**



**INAIGEM**

INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA



# RIESGOS E IMPACTOS DEL DRENAJE ÁCIDO DE ROCA (DAR) EN LOS MEDIOS DE VIDA DE LA POBLACIÓN RURAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO QUILLCAY

## Autora

Eliana Cerdán Estrada

## Coautores

Kathia Ramos Parado  
Rosa María Dextre Minaya  
Reinerd Cárdenas Tito

## Revisión

Mirtha Camacho Hernández

## Elaboración de mapas

Eduardo Sanchez Carrión

## Editado por

© Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM)  
Sede central: Av. Centenario 2656 - Sector Palmira, Independencia, Huaraz - Áncash - Perú  
Teléfono: (043) 64 3460

## Revisión de estilo

Jorge Coaguila Quispe

## Diseño y diagramación

Kipu Visual

## 1ra edición

Noviembre de 2025

Depósito legal del libro N° 2025-14175

Se terminó de imprimir en: Multiservicios Imp. "Gráfica Francis" Jr. Jorge Chávez N° 373 - Caraz - Huaylas - Áncash

Tiraje: 100 ejemplares

ISBN: 978-612-48999-9-7



INAIGEM (2025). Riesgos e impactos del drenaje ácido de roca en los medios de vida de la población rural de la subcuenca del río Quillcay. Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña – Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).

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

# CONTENIDO

---

1. PRESENTACIÓN	13
2. RESUMEN EJECUTIVO	14
3. ANTECEDENTES	15
3.1. El cambio climático y la generación del drenaje ácido de roca	15
4. OBJETIVO DEL ESTUDIO	17
5. ENFOQUE CONCEPTUAL	18
5.1. La vulnerabilidad frente a los riesgos del cambio climático	18
5.2. La evaluación ambiental integral	19
5.3. Modelo de riesgo del IPCC	19
5.4. El drenaje ácido de roca como riesgo asociado al cambio climático	21
5.5. Los medios de vida y la vulnerabilidad al drenaje ácido de roca	23
6. ENFOQUE METODOLÓGICO	25
6.1. Delimitación del ámbito de estudio	25
6.2. Diseño metodológico	28
6.2.1. Definición del modelo de riesgo	29
6.2.2. Instrumentos de recolección de información	34
7. RESULTADOS	36
7.1. Caracterización del ámbito de estudio	36
7.1.1. Ubicación y extensión	36
7.1.2. Aspectos sociales	37
7.1.3. Cobertura vegetal	40
7.2. Análisis de factores de presión	41
7.2.1. Crecimiento demográfico	41
7.2.2. Urbanización intensa	42
7.2.3. Demanda de recursos hídricos	43
7.3. Calidad de los recursos hídricos en la subcuenca del río Quillcay	47
7.4. Elementos expuestos al drenaje ácido de roca	52
7.4.1. Población expuesta	53
7.4.2. Acceso a servicios básicos	54
7.4.3. Recursos sociales	54
7.4.4. Infraestructura de riego	55
7.4.5. Infraestructura de conducción de agua para consumo humano	56
7.4.6. Sistemas de producción agropecuaria	57

8. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	59
8.1. Indicadores de vulnerabilidad	59
8.2. Indicadores de sensibilidad	60
8.2.1. Sensibilidad de la población	60
8.2.2. Sensibilidad institucional	62
8.2.3. Sensibilidad de las actividades productivas	64
8.2.4. Acceso a recursos hídricos	65
8.2.5. Seguridad alimentaria	66
8.3. Indicadores de capacidad de respuesta	68
8.3.1. Pobreza	68
8.3.2. Brechas de género	69
8.3.3. Gobernanza del riesgo	70
8.3.4. Tejido organizacional	71
8.3.5. Resumen de los indicadores de capacidad de respuesta	72
8.4. Indicadores de capacidad de adaptación	74
8.4.1. Capacidad de manejo y uso de sistemas de producción	74
8.4.2. Capacidad de ahorro y crédito	75
8.4.3. Capacidad de conservación y manejo de ecosistemas	76
9. IMPACTOS SOCIALES	79
9.1. Impactos en las actividades productivas	79
9.2. Impactos en la disponibilidad de recursos hídricos	81
9.3. Estado de los suelos agrícolas y cultivos importantes	81
9.3.1. Resultados para cultivos	85
10. IMPACTOS ECONÓMICOS DEL DRENAJE ÁCIDO DE ROCA	93
10.1. Impactos económicos en el uso directo del servicio ecosistémico hídrico	94
10.1.1. Impactos sobre los sistemas de abastecimiento en los centros poblados	94
10.1.2. Impactos en la provisión de agua potable para ciudad de Huaraz	97
10.2. Valor económico de producción de cultivos en riesgo	101
10.3. Valor económico de la actividad pecuaria en riesgo	103
10.4. Infraestructura de riego en riesgo	104
11. CONCLUSIONES	107
LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS	108
BIBLIOGRAFÍA	110

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Definición de los componentes del riesgo climático	21
Tabla 2. Descripción de los criterios de asignación de pesos o niveles de impacto	25
Tabla 3. Indicadores para caracterizar el peligro	32
Tabla 4. Indicadores de exposición	32
Tabla 5. Indicadores de vulnerabilidad	33
Tabla 6. Variación porcentual de la población en la provincia de Huaraz	42
Tabla 7. Incremento del número de viviendas en la provincia de Huaraz 1993-2017	42
Tabla 8. Derecho de uso de agua en la subcuenca del río Quillcay por metros cúbicos (m <sup>3</sup> )	44
Tabla 9. Área agrícola por bloque de riego	46
Tabla 10. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua de la microcuenca Quillcayhuanca	47
Tabla 11. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua de la microcuenca Shallap en la microcuenca del río Auqui	48
Tabla 12. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua para consumo humano de cinco puntos	49
Tabla 13. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua para consumo humano de cuatro puntos en la microcuenca del río Auqui	50
Tabla 14. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua para riego de cultivos y bebida de animales en la microcuenca del río Auqui	51
Tabla 15. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua para riego de cultivos y bebida de animales en la microcuenca del río Auqui	52
Tabla 16. Nivel educativo alcanzado por el jefe del hogar	53
Tabla 17. Porcentaje de viviendas con acceso a servicios básicos por centro poblado	54
Tabla 18. Fuentes de agua de las JASS de la microcuenca del río Auqui	56

Tabla 19. Criterios de valoración para los indicadores de sensibilidad de la población	61
Tabla 20. Ranking de corrupción de entidades públicas vinculadas a la gestión del riesgo en el ámbito de interés	63
Tabla 21. Rangos de valoración por los indicadores de sensibilidad institucional	63
Tabla 22. Rangos de valoración para los indicadores de dependencia agropecuaria	64
Tabla 23. Rangos de valoración para los indicadores de dependencia de recursos hídricos	65
Tabla 24. Rangos de valoración para los indicadores de seguridad alimentaria.	66
Tabla 25. Valoración de los indicadores de sensibilidad	66
Tabla 26. Rangos de valoración para los indicadores de privación socioeconómica	68
Tabla 27. Rangos de valoración para los indicadores de brechas de género	70
Tabla 28. Rangos de valoración para los indicadores de la gobernanza del riesgo	71
Tabla 29. Rangos de valoración para los indicadores de tejido organizacional	72
Tabla 30. Valoración de los indicadores de la capacidad de respuesta	72
Tabla 31. Rangos de valoración para los indicadores de la capacidad de manejo y uso de sistemas de producción	75
Tabla 32. Rangos de valoración para los indicadores de la capacidad de ahorro y crédito	76
Tabla 33. Rangos de valoración para los indicadores de la capacidad de conservación y manejo de ecosistemas	76
Tabla 34. Valoración de los indicadores de capacidad de adaptación	77
Tabla 35. Resultados por muestra de suelo comparadas con la normativa ECA para suelo agrícola	83
Tabla 36. Resultados de análisis de metales en hojas del cultivo de cebolla china ( <i>Allium fistulosum</i> )	85
Tabla 37. Resultados de análisis de metales por muestra en raíces del cultivo de cebolla china ( <i>Allium fistulosum</i> )	86

Tabla 38. Resultados de análisis de metales por muestra de raíces y tubérculos del cultivo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	87
Tabla 39. Resultados de análisis de metales para el cultivo de zanahoria ( <i>Daucus carota</i> )	88
Tabla 40. Resultados de análisis de metales para pastos y forrajes ( <i>Medicago sativa</i> ) ( <i>Pennisetum clandestinum</i> )	90
Tabla 41. Límites máximos permisibles de metales en leche de vacuno en diversas normas internacionales	91
Tabla 42. Resultados del análisis de metales en leche de ganado vacuno	92
Tabla 43. Criterios para la valoración económica de impactos del DAR	93
Tabla 44. PIP ejecutados en el ámbito de estudio relacionados al servicio de agua potable	95
Tabla 45. PIP ejecutados y liquidados en los últimos diez años	96
Tabla 46. Gastos asumidos por los usuarios para garantizar la continuidad del servicio	97
Tabla 47. Captaciones para la ciudad de Huaraz	97
Tabla 48. Proyectos ejecutados por la EPS Chavín en los últimos diez años	98
Tabla 49. Costos de producción por m <sup>3</sup> de agua según fuente de captación	99
Tabla 50. Costo promedio de producción anual por fuente de captación	100
Tabla 51. Valor del SEH perdido en el horizonte de evaluación	100
Tabla 52. Costo de oportunidad de captar las aguas del río Auqui	100
Tabla 53. Cantidades de producción según cédula de cultivos en la última campaña agrícola	102
Tabla 54. Valor económico de la actividad ganadera en el área de estudio	103
Tabla 55. Valor económico del impacto del DAR en la provisión del servicio ecosistémico hídrico	105
Tabla 56. Valor económico en riesgo para diferentes sistemas expuestos	106

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Modelo conceptual de la evaluación integral de riesgos asociados al cambio climático	20
Figura 2. Procesos de generación del ácido drenaje de roca	22
Figura 3. Modelo conceptual de la problemática del DAR en comunidades andinas	23
Figura 4. Indicadores para zonificación de posibles impactos	26
Figura 5. Flujo de proceso GIS del modelo cartográfico del DAR en la subcuenca del río Quillcay	27
Figura 6. Zonificación de impactos potencial por el DAR en la subcuenca del río Quillcay	28
Figura 7. Diseño metodológico para analizar los riesgos e impactos del DAR	29
Figura 8. Proceso de definición del modelo de riesgo para el DAR	29
Figura 9. Recursos de los medios de vida de la población en riesgo por la presencia del DAR	30
Figura 10. Factores condicionantes y desencadenantes del peligro	30
Figura 11. Cadena de impactos físicos observables	31
Figura 12. Riesgo de afectación de los medios de vida de la población rural de la subcuenca del río Quillcay	33
Figura 13. Ubicación de la subcuenca del río Quillcay	36
Figura 14. Mapa de cobertura vegetal de la subcuenca del río Quillcay	41
Figura 15. Evolución de la zona urbana de la ciudad de Huaraz de 2007 a 2024	43
Figura 16. Derecho de uso de agua en la subcuenca del río Quillcay	46
Figura 17. Mapa de bloques de riego en la subcuenca del río Quillcay	46
Figura 18. Distribución de la población en la microcuenca del río Auqui	53
Figura 19. Variables descriptivas de las encuestas realizadas	59

Figura 20. Confianza de la población encuestada en las entidades públicas con injerencia local en la gestión de riesgo	62
Figura 21. Diversificación de actividades en el ámbito de estudio	64
Figura 22. Fuentes de agua para riego de tierras agrícolas	65
Figura 23. Participación laboral en el ámbito rural del distrito de Huaraz, según el género	69
Figura 24. Impactos del drenaje ácido de roca identificados por comuneros de la Comunidad Campesina de Cahuide	79
Figura 25. Contenido de arsénico de las muestras analizadas	84

# 1. PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem), organismo técnico especializado adscrito al Ministerio del Ambiente, fue creado mediante la Ley 30286 para promover y fortalecer la investigación científica y tecnológica en los glaciares y ecosistemas de montaña del territorio peruano. Esta labor busca beneficiar a la población mediante la adopción de medidas de adaptación y mitigación frente a los riesgos generados por el cambio climático.

La Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM), órgano de línea del Inaigem, tiene como función desarrollar investigaciones científicas sobre los impactos y la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales ante el cambio climático en los ecosistemas de montaña. Asimismo, estudia la interacción entre los sistemas naturales y sociales.

En el marco de sus funciones, la DIEM desarrolla una línea de investigación centrada en la generación e impactos del drenaje ácido de roca (DAR), problemática vinculada al «Programa Presupuestal 0068: Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres». Durante el año 2024, el objetivo principal fue identificar los impactos sociales del DAR y cuantificar sus efectos económicos sobre los medios de vida de la población y los servicios ecosistémicos hídricos.

El DAR se origina por la pérdida de superficie glaciar, lo que deja expuestas rocas con alto contenido mineral. Estas, al oxidarse, generan procesos químicos que contaminan y acidifican los cuerpos de agua cercanos debido a la liberación de metales pesados. Una de las unidades hidrográficas afectadas por este fenómeno en la cordillera Blanca es la subcuenca del río Quillcay, principal cuenca de aporte de agua para la ciudad de Huaraz.

El presente documento recoge el trabajo desarrollado en 2023 y 2024 en un sector priorizado de esta subcuenca. La investigación se desarrolló en varias etapas: primero, se delimitó y caracterizó el ámbito de estudio; luego, se analizó la vulnerabilidad de los medios de vida frente al DAR; se identificaron los impactos sociales; y, por último, se estimaron los impactos económicos tanto en los medios de vida como en la provisión del servicio ecosistémico hídrico.

El documento inicia con un resumen ejecutivo que presenta los principales hallazgos. A continuación, se exponen los antecedentes que justifican la necesidad del estudio. En la tercera parte se detallan los objetivos, seguidos por el enfoque conceptual que orientó la investigación. Posteriormente, se describe la metodología empleada y se presentan los resultados por componente. Finalmente, el documento concluye con una discusión sobre los hallazgos clave y reflexiones en torno a los desafíos que el DAR plantea para la sostenibilidad de los sistemas sociales y naturales.

## 2. RESUMEN EJECUTIVO

En el Perú, diversos estudios evidencian una relación directa entre la pérdida de glaciares y la contaminación de fuentes de agua dulce debido a la generación del drenaje ácido de roca (DAR). Este fenómeno se produce cuando el retroceso glaciar deja al descubierto afloramientos rocosos ricos en sulfuros que, al entrar en contacto con la atmósfera y el agua de las precipitaciones, desencadenan un proceso de oxidación que acidifica las aguas superficiales. Esto deteriora su calidad y pone en riesgo tanto la salud de los ecosistemas como la de las poblaciones.

El DAR se manifiesta en la subcuenca del río Quillcay, una de las 29 subcuencas tributarias del río Santa y la segunda más extensa dentro de la unidad hidrográfica del Alto Santa. Esta subcuenca está conformada por tres microcuencas principales: Cojup, Quillcayhuanca y Shallap, siendo en las dos últimas donde se ha identificado la presencia del DAR.

El objetivo del presente estudio fue analizar los riesgos e impactos socioeconómicos del DAR en los medios de vida de la población de un sector priorizado de la subcuenca del río Quillcay, así como estimar su impacto económico en las actividades agropecuarias y en los servicios ecosistémicos hídricos.

Como primer paso, se delimitó el ámbito de estudio, identificando mediante herramientas de información geográfica a la microcuenca del río Auqui como el área de mayor impacto potencial. Posteriormente, se diseñó una metodología basada en el enfoque de evaluación de riesgos climáticos del IPCC y las evaluaciones integrales promovidas por el PNUMA. En el trabajo de campo se recopiló información primaria a través de encuestas y entrevistas semiestructuradas a la población local, líderes comunitarios y funcionarios del Estado, complementada con información secundaria de fuentes oficiales.

Se identificaron cinco centros poblados expuestos al DAR, con una población total de 1.128 habitantes, así como 5.189 hectáreas de cultivos y pastizales expuestos. Se determinó una alta sensibilidad de estos elementos, combinada con una baja capacidad de respuesta y adaptación, lo que resulta en una alta vulnerabilidad de los medios de vida frente al proceso del DAR.

Entre los impactos sociales más relevantes se encuentra la afectación de las actividades agropecuarias, lo que generó incertidumbre en los productores, quienes reportan una disminución de sus cosechas e ingresos. Esta situación compromete su seguridad alimentaria y bienestar.

La valoración económica se realizó mediante métodos de precios de mercado y costos de oportunidad. El impacto del DAR en el abastecimiento de agua potable calculado a partir de los cambios necesarios en los sistemas de captación— se estimó en 17,5 millones de soles. Este monto corresponde al traslado de la fuente de captación desde el río Auqui hacia el río Paria, afectando así el servicio de agua potable para la ciudad de Huaraz y los centros poblados de la microcuenca del río Auqui.

Por otro lado, la producción agropecuaria en riesgo fue valorizada en 1 millón de soles para las cosechas y 2 millones para la ganadería. Asimismo, se identificó infraestructura de riego valorizada en 23,6 millones, que podría deteriorarse por la acidificación del agua y la presencia de metales, o quedar en desuso.

Es urgente proponer alternativas de solución frente al impacto del DAR en la subcuenca del río Quillcay, pues este fenómeno no solo amenaza los medios de vida de la población rural, sino también la sostenibilidad del servicio de agua potable para la ciudad de Huaraz.

## 3. ANTECEDENTES

### 3.1. El cambio climático y la generación del drenaje ácido de roca

El cambio climático<sup>1</sup> ya está afectando diversas regiones del planeta, generando impactos adversos sobre la seguridad alimentaria, la disponibilidad de agua, la salud humana, las economías y, en general, sobre la sociedad. Se proyecta que las temperaturas seguirán aumentando, lo que continuará provocando alteraciones significativas en la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano (IPCC, 2023).

Las poblaciones que habitan los Andes están particularmente expuestas a estos impactos, especialmente a la pérdida de superficie glaciar (Anderson, 2016). Aunque los glaciares tropicales están restringidos geográficamente, son extremadamente sensibles al cambio climático, y su degradación puede afectar a sistemas humanos y biofísicos incluso fuera de su entorno inmediato (Carey et al., 2017; Smith et al., 2001).

El Perú alberga el 68% de los glaciares tropicales del mundo y ha perdido aproximadamente el 56% de su superficie glaciar en las últimas seis décadas. Esta pérdida repercute en la provisión de servicios ecosistémicos hídricos, dado que los glaciares abastecen de agua, de forma directa o indirecta, al 62% de la población nacional, tanto en ciudades andinas como costeras (Inaigem, 2023).

Asimismo, el régimen hidrológico del Perú, caracterizado por una estacionalidad marcada en las precipitaciones (Mark et al., 2017), depende del aporte glaciar durante la estación seca. Con el cambio climático, estos regímenes se están alterando, afectando la disponibilidad de agua (Carey et al., 2017; Polk et al., 2017). Sin embargo, aún se comprende poco sobre cómo el retroceso glaciar impacta en la calidad del agua y cuáles son sus consecuencias para las personas y los ecosistemas.

En el país, diversos estudios han identificado una relación entre la pérdida de glaciares y la contaminación de fuentes de agua dulce, como resultado de la generación del drenaje ácido de roca (DAR) (Martel-Valverde et al., 2018; Montano et al., 2021). El DAR consiste en flujos de agua ácida que se originan cuando los minerales metálicos sulfurosos presentes en las rocas entran en contacto con el oxígeno (Grande et al., 2019; Inaigem, 2020; Martel, Torres y Jara, 2018; Zimmer et al., 2018). A través de un proceso de lixiviación, estos minerales liberan metales pesados, lo que provoca la acidificación de los cuerpos de agua adyacentes (Martel-Valverde et al., 2018).

En las zonas periglaciares, el retroceso glaciar —una de las manifestaciones más evidentes del cambio climático— podría estar actuando como un factor desencadenante de este fenómeno. Dependiendo de la litología de la zona, la exposición de yacimientos rocosos previamente cubiertos por masas glaciares estaría contribuyendo a una mayor generación de aguas ácidas (Montano et al., 2021).

A nivel global, este fenómeno también se ha reportado en regiones montañosas de Colorado (Estados Unidos), en el territorio de Yukon (Canadá), el Himalaya y los Alpes europeos (Rojas-Granada & Rengifo-Cortavarría, 2022). En el Perú, se han identificado indicios del DAR en zonas periglaciares de regiones altoandinas como Áncash, Lima, Junín, Cusco, Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno (Montano et al., 2021).

1 El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) señala de manera determinante en su Sexto Informe de Evaluación (AR6), publicado en 2022, que el cambio climático es un fenómeno inducido por la actividad humana. Además, destaca que este fenómeno ha incrementado la frecuencia e intensidad de eventos extremos, los cuales provocan efectos adversos e impactos significativos en los sistemas naturales y sociales, más allá de la variabilidad climática natural (IPCC, 2023, p. 9).

En un contexto de cambio climático, donde los riesgos y peligros evolucionan rápidamente y se tornan cada vez más impredecibles, el DAR de origen glaciar influye significativamente en la degradación de los ecosistemas. Este fenómeno contribuye a la escasez de agua en términos de calidad, afectando tanto el consumo humano como el desarrollo de diversas actividades económicas, y propiciando el incremento de la competencia o los conflictos por el recurso hídrico (Adler et al., 2022).

En el caso de la cordillera Blanca —la cadena montañosa de glaciares más extensa y elevada del planeta en la zona intertropical (Morales & Santiago, 2017)—, los principales factores biogeofísicos que favorecen la generación de DAR son la presencia de minerales sulfurados en rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas (Montano et al., 2021).

Estudios de monitoreo han determinado que las quebradas Quillcayhuanca y Shallap, que confluyen para formar el río Auqui, están impactadas por la presencia de metales pesados (Loayza-Muro, 2013). Los análisis fisicoquímicos revelaron bajos niveles de pH y altas concentraciones de metales en estos cuerpos de agua. Investigaciones más recientes en Quillcayhuanca confirman que las muestras de agua se encuentran fuera de los rangos establecidos por los ECA para agua (Fow, 2021).

De 2016 a 2018, el Inaigem (2020) evaluó la calidad del agua en el Parque Nacional Huascarán (PNH), considerando su uso para riego y consumo de animales (categoría 3 del ECA), así como para la conservación del ambiente acuático (categoría 4 del ECA). De manera complementaria, la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2020) evaluó la calidad del agua para consumo humano (categoría 1 del ECA) en el tramo medio del río Auqui. En todos los casos, el agua de la microcuenca del río Auqui —que recibe aportes de las quebradas Quillcayhuanca y Shallap— se encuentra fuera de los rangos aceptables de los ECA, debido a su acidez y al alto contenido de metales.

Si bien existen evidencias sobre la alteración de la calidad del agua en la microcuenca del río Auqui, los efectos de esta situación sobre los medios de vida de la población —particularmente en actividades como la agricultura y la ganadería— aún no han sido suficientemente estudiados. Considerando la importancia de estos sectores como fuentes de ingreso económico y producción de alimentos para las comunidades rurales y urbanas de Huaraz, resulta fundamental analizar los riesgos e impactos que representa el DAR para la población expuesta.

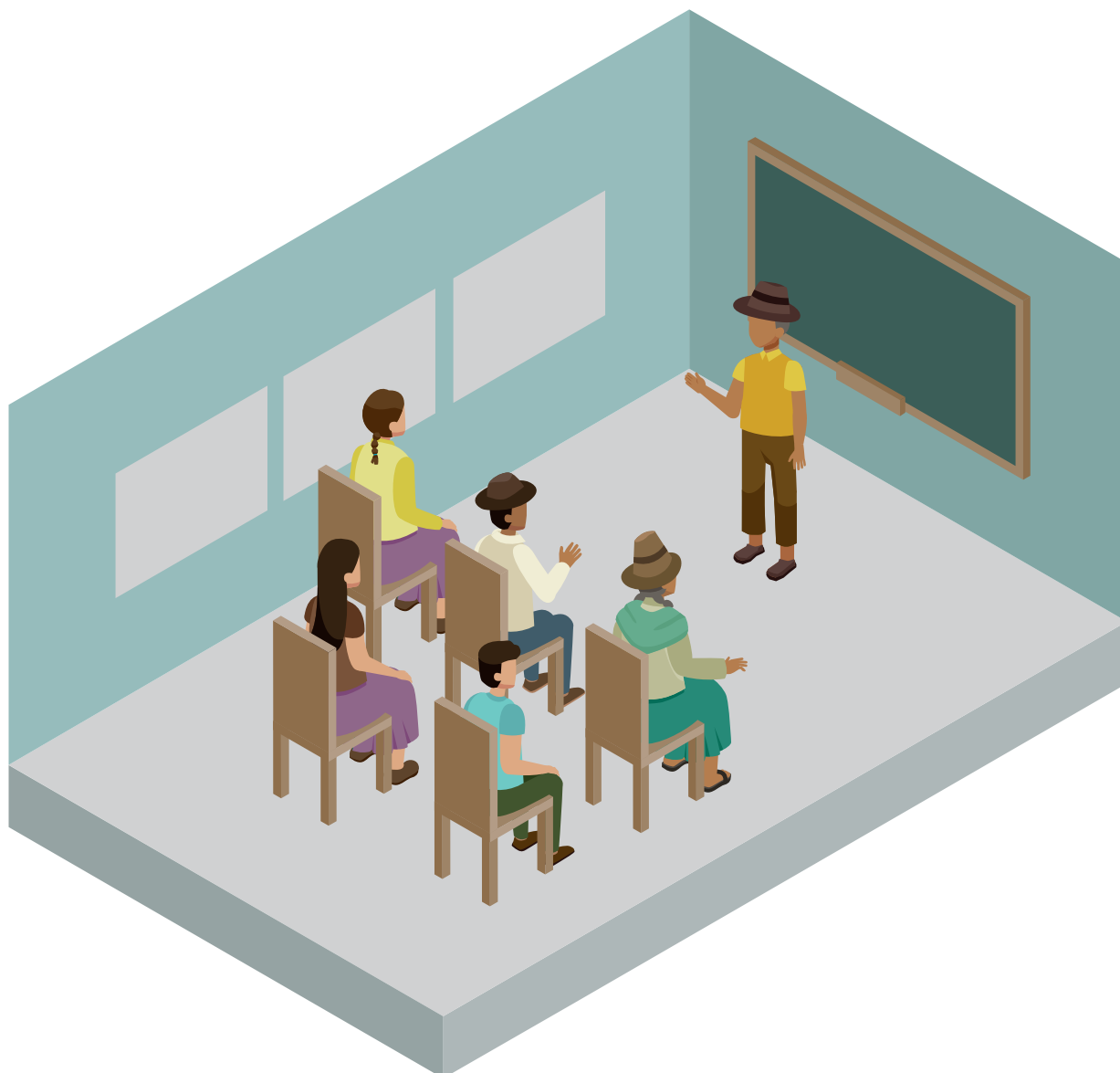
En este contexto, una evaluación de los impactos del DAR en los medios de vida requiere una aproximación integral que considere los diversos componentes que sostienen las formas de vida de las comunidades. El presente estudio adapta dos enfoques conceptuales complementarios: por un lado, el enfoque de evaluación de la vulnerabilidad frente a riesgos climáticos (IPCC, 2022), que permite identificar los factores que hacen a las poblaciones más susceptibles a los efectos adversos del DAR; y por otro, la evaluación ambiental integral (PNUMA, 2007), que analiza las interrelaciones entre el estado del medio ambiente, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano. La combinación de ambos enfoques contribuye a una comprensión más completa de los riesgos e impactos del DAR sobre los medios de vida locales.

## 4. OBJETIVO DEL ESTUDIO

- Evaluar los riesgos e impactos socioeconómicos del drenaje ácido de roca en los medios de vida de la población de un sector priorizado de la subcuenca del río Quillcay.

Asimismo, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la vulnerabilidad de los medios de vida de comunidades rurales frente al DAR, en un sector priorizado de la subcuenca del río Quillcay.
- Identificar los impactos sociales de proceso del DAR.
- Cuantificar los impactos económicos directos e indirectos del DAR en el sector agropecuario y en la provisión del servicio ecosistémico hídrico.



## 5. ENFOQUE CONCEPTUAL

A continuación, se desarrollan los conceptos que ha orientado y guiado tanto el enfoque conceptual como metodológico del presente estudio. Estos fundamentos han sido básicos para orientar la selección de las variables, el diseño de la investigación y la interpretación de los resultados obtenidos.

### 5.1. La vulnerabilidad frente a los riesgos del cambio climático

La vulnerabilidad se define como el conjunto de características de una persona o grupo en relación con su capacidad para anticipar, resistir, sobrevivir y recuperarse del impacto de una amenaza. Esta definición incorpora una dimensión temporal: dado que lo que está en riesgo no es solo la vida o la propiedad, sino también los medios de vida, los grupos más vulnerables son aquellos que enfrentan mayores dificultades para reconstruir dichos medios tras un desastre. Por ello, también son más susceptibles a los efectos de eventos adversos posteriores (Blaikie et al., 1996).

La vulnerabilidad es una condición socialmente construida, resultado de procesos económicos, sociales y políticos. En consecuencia, para comprenderla plenamente es necesario considerar no solo los factores físicos, sino también elementos sociales como la fragilidad de las economías familiares y colectivas, la carencia de servicios sociales básicos, la falta de acceso a la propiedad o al crédito, la discriminación étnica, política o de otro tipo, la exposición a recursos contaminados como el aire y el agua, los altos niveles de analfabetismo y la ausencia de oportunidades educativas (Blaikie et al., 1996).

Desde esta perspectiva, la vulnerabilidad es una condición preexistente de las comunidades y hogares, determinada por dinámicas sociales, educativas, ecológicas, económicas y políticas subyacentes (Mussetta et al., 2017). Así, los factores climáticos no son la causa de la vulnerabilidad, sino elementos que multiplican o agravan vulnerabilidades ya existentes (Montaña, 2008).

Las variables que configuran la vulnerabilidad están estrechamente ligadas a los medios de vida de la población: esta tiende a disminuir cuando los medios de vida son adecuados, diversificados y estables. Por ello, entender cómo se configuran y sostienen los medios de vida permite comprender mejor los factores que generan vulnerabilidad en distintos grupos poblacionales (Cannon, 2006). A partir de este análisis, se pueden diseñar medidas orientadas a fortalecer los medios de vida, generando así resiliencia y reduciendo los riesgos frente a los efectos del cambio climático.

En el marco específico de las evaluaciones de riesgos e impactos del cambio climático, la vulnerabilidad se define como el grado de susceptibilidad de un sistema frente a sus efectos adversos, y se compone de tres dimensiones: sensibilidad, capacidad de respuesta y capacidad de adaptación (GIZ, 2017). En esta línea, los estudios se han enfocado en desarrollar métodos y enfoques para evaluar la vulnerabilidad de comunidades y sistemas a nivel local, regional y global. Esto incluye la identificación de indicadores clave y la cuantificación de los riesgos asociados (GIZ; Eurac, 2017a), lo cual representa un desafío dada la complejidad de los factores que la conforman.

## 5.2. La evaluación ambiental integral

Se trata de una metodología que permite analizar y generar información sobre las interacciones entre los sistemas sociales y ambientales, utilizando el marco de análisis de fuerzas motrices-presiones-estado-impactos-respuestas (FPEIR). Este enfoque fue promovido por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en la década de 1990, para identificar cómo el estado del medio ambiente se relaciona con factores sociales que influyen directamente en el bienestar de la población.

En este contexto, las fuerzas motrices —como los cambios demográficos y los procesos económicos y sociales— generan presiones sobre el medio ambiente, incluidas la modificación del uso del suelo, la extracción de recursos naturales, la emisión de contaminantes y la generación de desechos. Estas presiones conducen a cambios en el estado del medio ambiente, manifestados en fenómenos como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la contaminación o degradación del aire, el agua y los suelos.

Como consecuencia, se alteran los servicios ecosistémicos, afectando la disponibilidad de recursos como el aire y el agua limpios, los alimentos, o la capacidad de regulación hídrica, entre otros. Estos cambios generan impactos sobre el bienestar humano, en dimensiones como la salud, los activos materiales, las relaciones sociales y la seguridad. Por último, las respuestas comprenden los esfuerzos dirigidos a adaptarse a los cambios en los servicios ecosistémicos o a reducir las presiones sobre el medio ambiente (PNUMA, 2007).

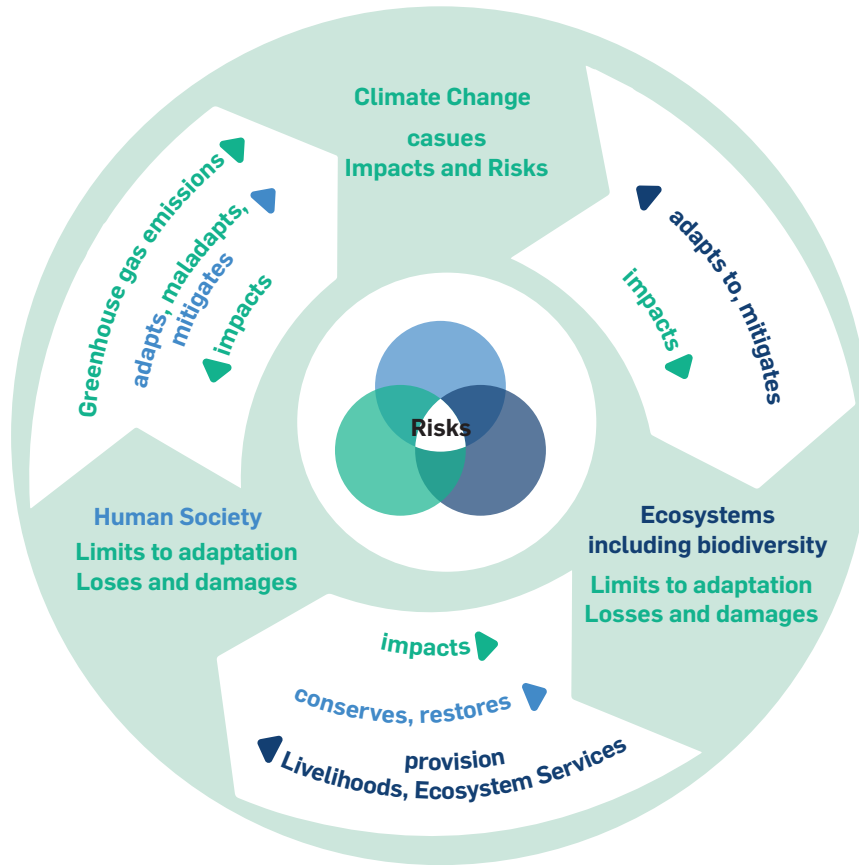
La evaluación ambiental integral permite comprender con mayor profundidad las problemáticas ambientales, a través de la elaboración de datos e indicadores que contextualicen el análisis. Además, la combinación de distintos indicadores facilita la construcción de índices compuestos, lo que permite obtener una visión más integral del estado de un sistema social y/o ambiental (PNUMA, 2007).

## 5.3. Modelo de riesgo del IPCC

El IPCC define el riesgo como el potencial de consecuencias adversas para los sistemas humanos o ecológicos. En el contexto del cambio climático, estos riesgos pueden derivar tanto de los impactos directos del cambio climático como de las respuestas humanas ante este fenómeno. Las consecuencias adversas abarcan afectaciones a la vida, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, los activos y las inversiones económicas, sociales y culturales, así como a las infraestructuras, los servicios (incluidos los servicios ecosistémicos), los ecosistemas y las especies (Reisinger et al., 2020, p. 4).

El concepto de riesgo, desde el enfoque del IPCC, ofrece un marco para comprender los impactos crecientemente severos, interconectados y, en muchas ocasiones, irreversibles del cambio climático sobre los ecosistemas, la biodiversidad y los sistemas humanos. Asimismo, permite analizar las diferencias en los impactos entre regiones, sectores y comunidades, y aporta orientaciones para reducir las consecuencias adversas tanto para las generaciones actuales como para las futuras. En este contexto, el riesgo surge de las interacciones dinámicas entre los peligros relacionados con el clima, la exposición y la vulnerabilidad de los sistemas humanos y ecológicos afectados.

Figura 1. Modelo conceptual de la evaluación integral de riesgos asociados al cambio climático



The risk propeller shows that risk emerges from the overlap of:

- Climate hazard(s)
- Vulnerability
- Exposure

... of human systems, ecosystems and their biodiversity

Nota: Tomado del AR6 del IPCC (2022, figura SPM1).

### Componentes del riesgo

El riesgo depende de la relación dinámica e interdependiente de tres componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. En la siguiente tabla están los conceptos propuestos por el AR6 del IPCC (2022).

**Tabla 1. Definición de los componentes del riesgo climático**

COMPONENTES RIESGO	DEFINICIÓN
Peligro	La posible ocurrencia de un suceso o tendencia física natural o inducida por el hombre que puede causar la pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como daños y pérdidas a la propiedad, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios, los ecosistemas y los recursos ambientales.
Exposición	La presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos medioambientales, infraestructuras o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.
Vulnerabilidad	Propensión o predisposición a verse afectado negativamente. La vulnerabilidad engloba diversos conceptos y elementos, como la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para afrontarlo y adaptarse.

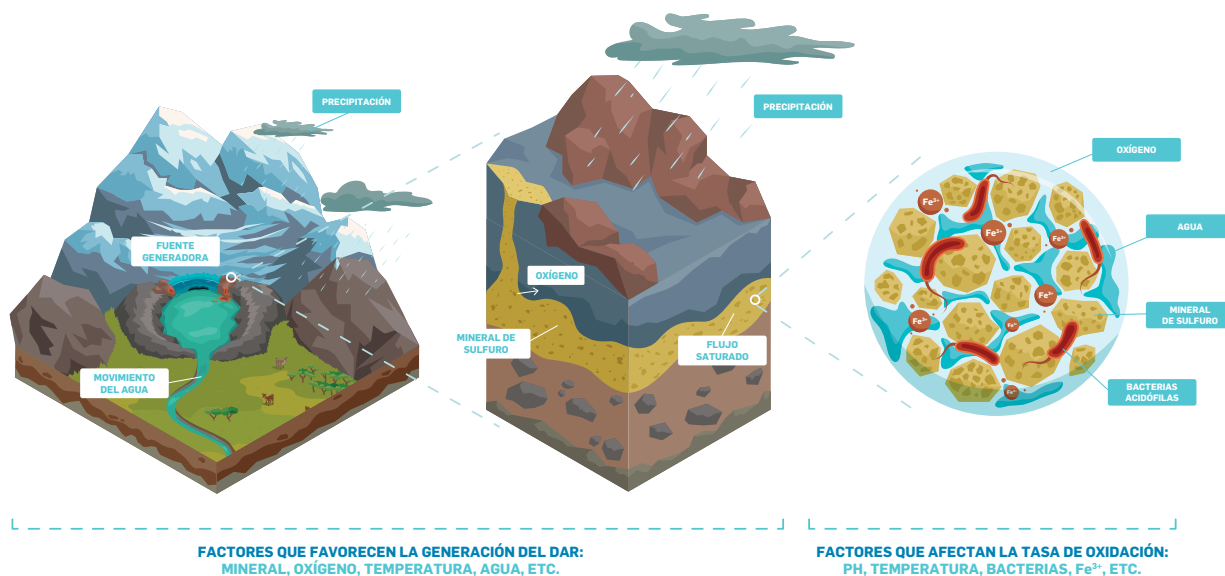
Nota: Elaboración propia adaptada de IPCC (2022) y GIZ Eurac (2017b).

## 5.4. El drenaje ácido de roca como riesgo asociado al cambio climático

Los glaciares tropicales son ecosistemas especializados que desempeñan un papel fundamental en los patrones hidrológicos estacionales de las cuencas hidrográficas. Por ello, son especialmente sensibles al cambio climático global (Rojas & Rengifo, 2022). Su retroceso prolongado incide en la reducción de su contribución anual al caudal fluvial (Adler et al., 2022). Además, se modifica la frecuencia de descarga y el transporte de sedimentos aguas abajo, lo que afecta significativamente los servicios ecosistémicos proporcionados por los ríos alimentados por estos glaciares, poniendo en riesgo la seguridad hídrica, energética y alimentaria de las comunidades situadas en las zonas bajas (Rojas & Rengifo, 2022).

Así, aunque los glaciares son esenciales para el sustento de la vida, su retroceso no solo reduce el caudal de los ríos, sino que también afecta la calidad del agua (Adler et al., 2022, p. 2300). En la actualidad, en diversas unidades hidrográficas de la cordillera Blanca se ha detectado la generación de drenaje ácido de roca (DAR). Los principales factores que influyen en la formación de DAR son la presencia de minerales sulfurados en rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas, así como la acción de agentes oxidantes (ver Montano et al., 2021).

Figura 2. Procesos de generación del ácido drenaje de roca

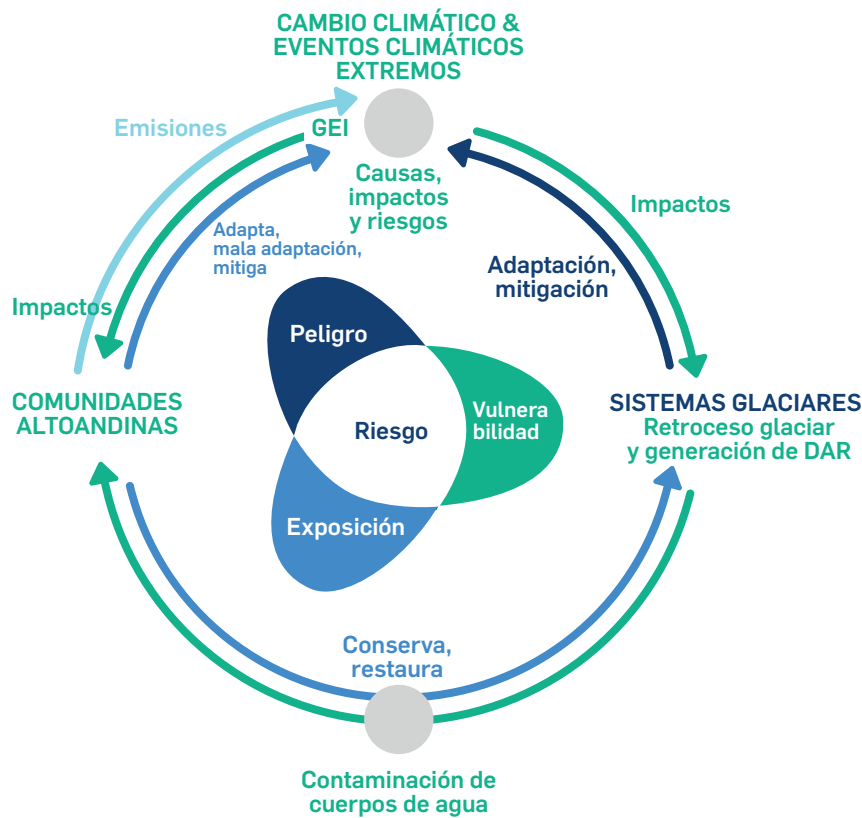


El DAR se genera a partir del deshielo que deja expuestas a la intemperie rocas mineralizadas, lo que favorece su oxidación y lixiviación, produciendo la movilización de metales pesados como aluminio, hierro, cromo, cadmio, manganeso y arsénico hacia los cuerpos de agua (Montano et al., 2021). La contaminación por el DAR puede afectar no solo los recursos hídricos y la vida acuática, sino también el suelo, la vegetación y la fauna terrestre (Grande et al., 2019).

La vinculación entre el retroceso de los glaciares, acelerado por el cambio climático, y la generación del DAR es un hecho reconocido. En este sentido, resulta necesario visibilizar los efectos de este proceso sobre los sistemas sociales, para lo cual se ha adaptado el modelo conceptual de evaluación integral de riesgos vinculados al cambio climático del IPCC (2022), considerando el DAR como una amenaza o peligro para los sistemas sociales y ecológicos.

Aunque a escala local el DAR puede considerarse un fenómeno sin intervención antrópica directa, a escala global forma parte de los impactos del cambio climático. En la figura siguiente, las flechas de color rojo indican la relación causa-efecto de la cadena de impactos relacionados con el cambio climático antropogénico y los eventos climáticos extremos, así como la intensidad de estos impactos sobre cada sistema, representada por el grosor de las flechas. Este modelo busca visualizar los impactos actuales y proyectados en las comunidades rurales que están, o pueden estar, expuestas al DAR como peligro vinculado al cambio climático.

Figura 3. Modelo conceptual de la problemática del DAR en comunidades andinas



Nota: Adaptado del IPCC (2022).

Este modelo conceptual permite visibilizar los riesgos que implica el DAR para las comunidades rurales y sus medios de vida, identificando también los componentes de la vulnerabilidad, así como su capacidad de respuesta y adaptación. La finalidad de esta aproximación es identificar acciones y medidas que puedan contribuir a fortalecer la resiliencia y disminuir el riesgo.

## 5.5. Los medios de vida y la vulnerabilidad al drenaje ácido de roca

Este enfoque, originado en la década de 1990, ha sido utilizado principalmente para analizar la manera en que una población o comunidad desarrolla sus medios de vida, así como para evaluar los cambios en estos a lo largo del tiempo. Chambers y Conway (1992) definen un medio de vida como la combinación de capacidades, activos o recursos (materiales y sociales) y actividades necesarias para sostener un modo de vida. Asimismo, señalan que un medio de vida es sostenible cuando puede afrontar y recuperarse de rupturas o caídas bruscas, manteniendo sus capacidades y activos tanto en el presente como en el futuro, sin comprometer la base de sus recursos naturales.

Por otro lado, el Departamento para el Desarrollo Internacional del Reino Unido (DFID, por sus siglas en inglés) define un medio de vida como la combinación de recursos y actividades que una persona utiliza para vivir. Estos recursos pueden incluir destrezas y habilidades individuales (capital humano), tierras, ahorros y equipos (capital natural, financiero y material, respectivamente), así como redes de apoyo formales e informales que brindan asistencia en las actividades emprendidas (capital social).

Aunque el enfoque de medios de vida surgió en el Reino Unido, ha ganado relevancia en otras regiones. Por ejemplo, en América Latina diversas agencias e instituciones lo han incorporado en sus programas de desarrollo y alivio de la pobreza. La Cepal entiende los medios de vida como los mecanismos mediante los cuales los hogares satisfacen sus necesidades y enfrentan choques externos. De manera similar, la IFRC (2008) define los medios de vida como los recursos que permiten a una persona ganarse el sustento.

El enfoque de medios de vida está siendo aplicado en la gestión de riesgos tanto climáticos como de desastres, debido a que ofrece una visión integral de cómo las comunidades organizan sus actividades para sostener un modo de vida. A partir de esta comprensión, es posible orientar acciones pertinentes para la protección de los medios de vida, para fortalecer la resiliencia comunitaria, de manera que los desastres tengan un menor impacto en la vida de las personas y la recuperación sea más rápida.

Desde este enfoque, el control y acceso a los diferentes recursos —también denominados activos o capitales, tanto tangibles como intangibles— definen la capacidad de las personas y comunidades para desarrollar diversos medios de vida y alcanzar logros en esta materia. En consecuencia, estos recursos pueden clasificarse en cinco grupos o categorías principales:

- Recursos naturales: incluyen el conjunto y la calidad de los recursos presentes en el medio físico natural, como suelo, bosques, agua, biodiversidad, así como los servicios ambientales que estos proveen.
- Recursos humanos: comprenden todas las capacidades, habilidades, conocimientos, salud y aptitudes físicas necesarias para implementar diversas estrategias orientadas al logro de los medios de vida. Estos recursos pueden desarrollarse mediante la educación formal (capacitación y formación) o a través de la experiencia adquirida (educación informal).
- Recursos sociales: son los recursos derivados de las relaciones sociales establecidas, ya sean familiares, comunitarias, de amistad, laborales o comerciales, así como la afiliación a distintos tipos de organizaciones gremiales, productivas, políticas, comunitarias o religiosas.
- Recursos físicos: se refieren a la infraestructura disponible, que incluye servicios básicos, caminos, construcciones, e infraestructura productiva como equipos, maquinaria y corrales, que facilitan a las familias y comunidades la implementación de estrategias para sostener sus medios de vida.
- Recursos financieros: comprenden el dinero en efectivo, ahorros bancarios, créditos y otras inversiones que pueden ser convertidas fácilmente en dinero, como tierras, productos cosechados, ganado o vehículos.

Las estrategias de medios de vida comprenden la manera en que las personas combinan sus actividades generadoras de ingresos, cómo utilizan sus activos o recursos, en qué activos deciden invertir y cómo logran conservar tanto los activos como los ingresos existentes (DFID, 2001). Estas estrategias abarcan un amplio rango de opciones disponibles para las poblaciones rurales, incluida la agricultura —que puede involucrar ganadería, piscicultura y aprovechamiento de recursos forestales— a través de procesos de intensificación, incremento de la producción, diversificación de actividades y migración, entre otras (Gottret, 2011).

Basándose en estos conceptos, se ha desarrollado una metodología para caracterizar de forma integral los medios de vida de las comunidades rurales y evaluar los riesgos que enfrentan como consecuencia del DAR. Este proceso impacta directamente en la disponibilidad y calidad del agua, recurso fundamental para la producción de alimentos, la generación de ingresos y el mantenimiento de los ecosistemas. El enfoque de medios de vida permite visibilizar elementos clave para identificar acciones orientadas a reducir vulnerabilidades y fortalecer la resiliencia de las comunidades rurales.

## 6. ENFOQUE METODOLÓGICO

Para identificar y analizar las implicancias del DAR en los medios de vida, se diseñó una metodología estructurada en varias etapas. El proceso metodológico comenzó con la delimitación del ámbito de estudio, seguido por el diseño del modelo de riesgo y, por último, la identificación y análisis de los impactos. A continuación, se describe detalladamente cada fase.

### 6.1. Delimitación del ámbito de estudio

El DAR es un fenómeno presente en la subcuenca del río Quillcay, una de las 29 subcuencas tributarias del río Santa y la segunda más extensa dentro de la unidad hidrográfica del Alto Santa, con una extensión de 247,35 kilómetros cuadrados. La subcuenca del río Quillcay está conformada por tres quebradas principales: Cojup, Quillcayhuanca y Shallap, siendo en las dos últimas donde se ha observado la presencia del DAR.

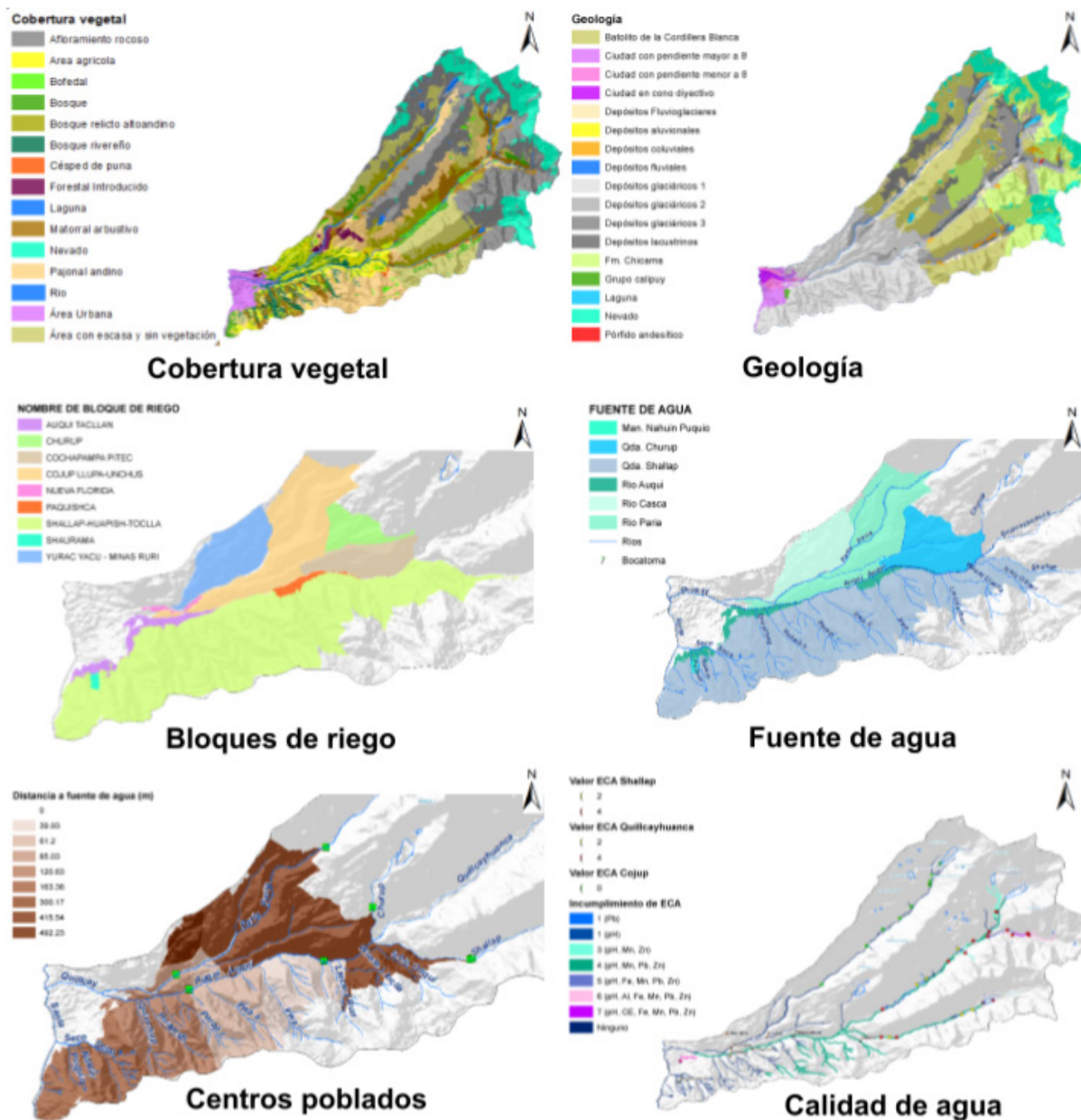
Para la zonificación de los potenciales impactos del DAR, se establecieron criterios geoespaciales de carácter físico y social. La metodología integrada combinó GIS con ADMC. Las técnicas GIS resultan fundamentales para almacenar, gestionar, analizar y visualizar datos espaciales, facilitando la toma de decisiones en contextos complejos. Por su parte, el ADMC aporta una amplia gama de métodos que respaldan procesos de decisión multicriterio (Malczewski & Rinner, 2015).

Para aplicar estas herramientas, se identificaron los indicadores que formarían parte del modelo cartográfico. El modelo se construyó a partir de datos geoespaciales sobre cobertura vegetal, unidades geológicas, bloques de riego, fuentes de agua (captaciones para riego), centros poblados y calidad del agua. Con base en esta información, se definieron criterios o indicadores de impacto, a los cuales se les asignaron pesos que varían del 1 al 4, donde 1 representa un nivel de impacto «bajo» y 4 un nivel «muy alto». La síntesis de estos criterios se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Descripción de los criterios de asignación de pesos o niveles de impacto**

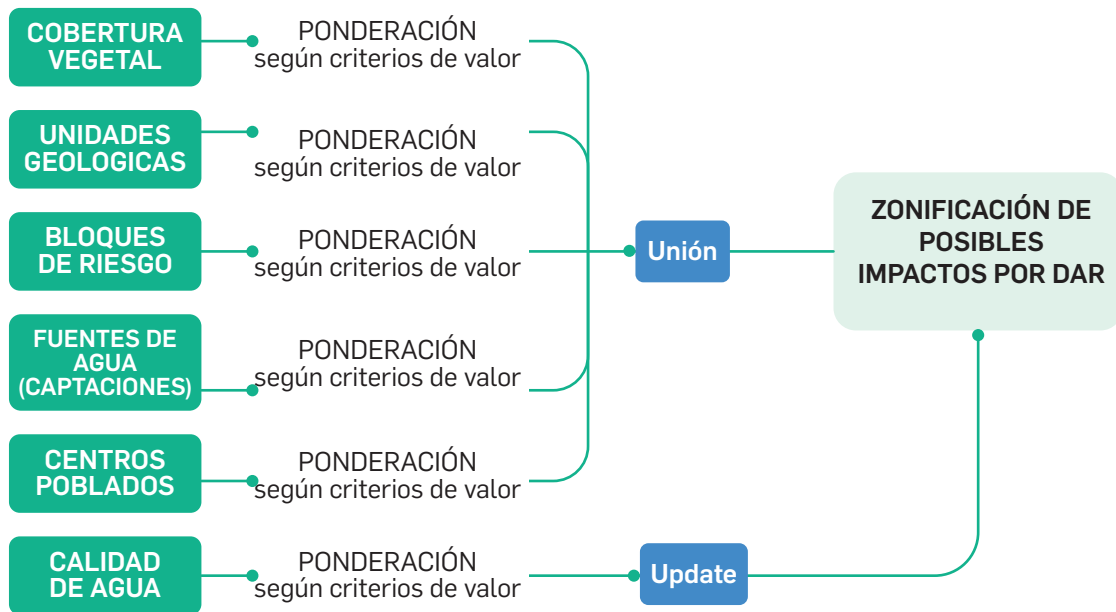
Dato geoespacial	Descripción del criterio
Cobertura vegetal	Cobertura vegetal más sensible tiene un mayor nivel de impacto y viceversa.
Unidades geológicas	Formaciones geológicas con mayor probabilidad de causar DAR tienen un mayor nivel de impacto, y viceversa.
Bloques de riego	Las áreas bajo, mayores al 50% del área total del bloque de riego tienen un mayor nivel de impacto.
Fuentes de agua	Fuentes de agua afectadas por la presencia del DAR tienen un nivel de impacto mayor y viceversa.
Centros poblados	Centros poblados más cercanos a las fuentes de agua impactadas tienen un nivel de impacto mayor y viceversa.

Figura 4. Indicadores para zonificación de posibles impactos



Luego de asignar pesos según los criterios de valor, se realizó el flujo de proceso GIS que se utilizó en el modelo cartográfico como se muestra a continuación.

Figura 5. Flujo de proceso GIS del modelo cartográfico del DAR en la subcuenca del río Quillcay



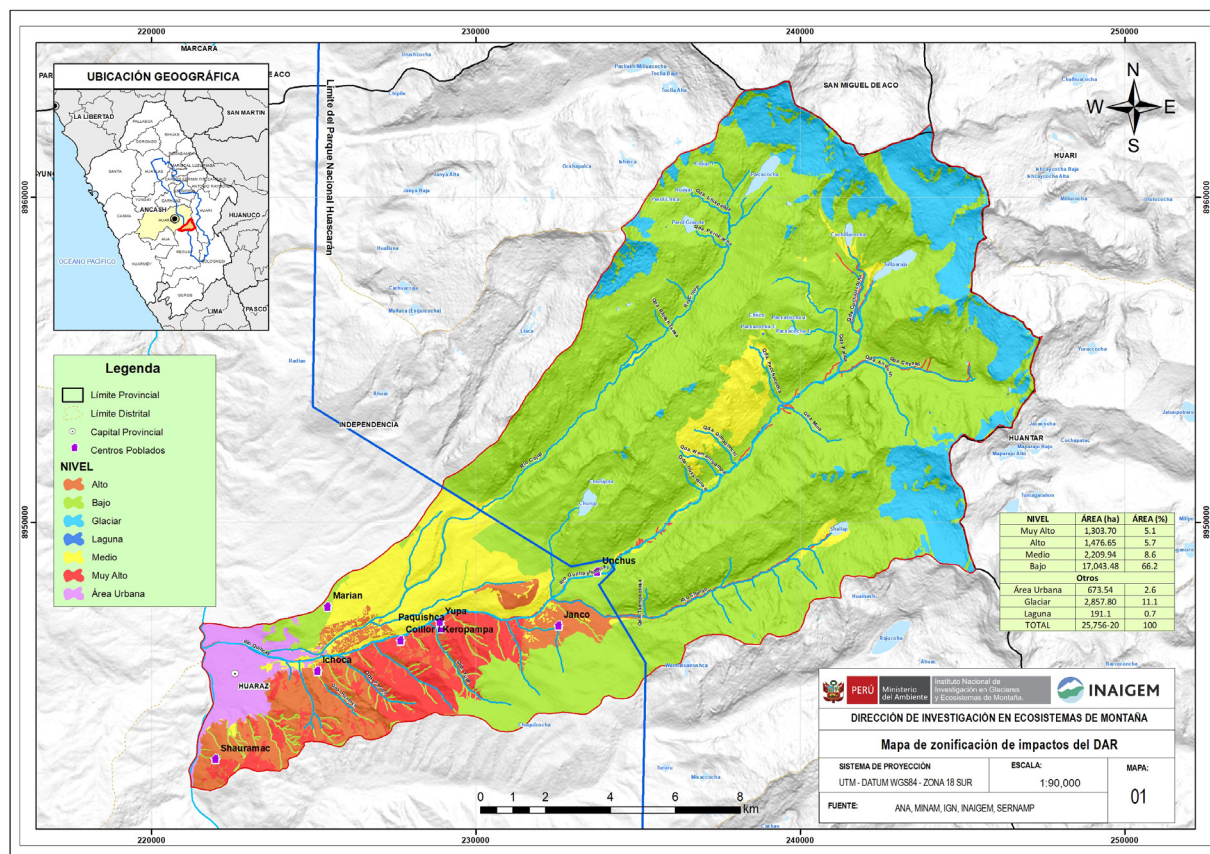
Para automatizar el flujo del proceso GIS, se utilizó la herramienta *Model Builder*, lo que permitió que el resultado final del modelo fuera fácilmente modificable en caso de que no se ajustara a la realidad observada. Esta automatización facilita la incorporación de cambios a medida que avanza la investigación, garantizando así la flexibilidad y actualización continua del análisis.

Los resultados obtenidos indican que aproximadamente el 11% de la extensión superficial de la subcuenca del río Quillcay corresponde a zonas con posibles impactos por el DAR, identificadas con niveles de impacto altos a muy altos. Esto equivale a 2.906 hectáreas, y corresponde principalmente a áreas donde las superficies bajo riego superan el 80% del total de los bloques de riego.

Además, las fuentes de agua para riego se ubican cerca de cuerpos de agua con antecedentes de contaminación por el DAR, como las quebradas Shallap y Quillcayhuanca, así como en la confluencia de ambas, el río Auqui. Estas zonas corresponden a áreas donde la población local se dedica a actividades agrícolas, cultivando principalmente papa, alfalfa y otros productos.

Por último, se identificó que las comunidades potencialmente afectadas por estos impactos son las localidades de Jancu, Paquishca y los centros poblados de Coyllur e Ichoca.

**Figura 6. Zonificación de impactos potencial por el drenaje ácido de roca en la subcuenca del río Quillcay**



A partir de la zonificación de impactos, se delimitó el ámbito de estudio centrando el interés en las zonas con niveles de impacto alto y muy alto, ubicadas principalmente en la microcuenca del río Auqui, tal como se muestra en el mapa de zonificación de impactos potenciales por DAR.

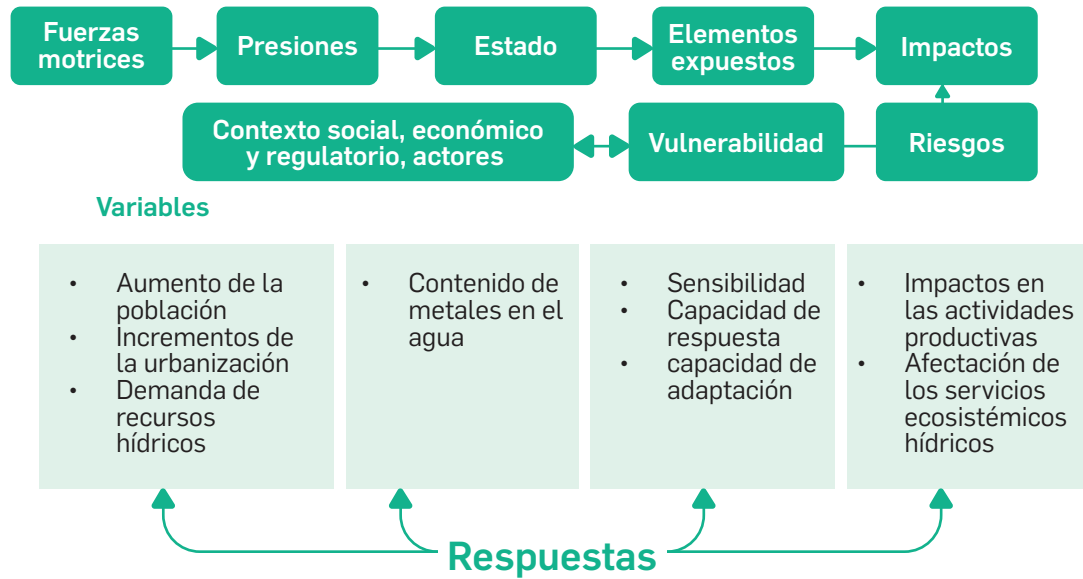
## 6.2. Diseño metodológico

Para comprender cómo el proceso del DAR afecta a los medios de vida en el ámbito delimitado, se diseñó una metodología que integra elementos de las evaluaciones ambientales integrales (PNUD, 2007) y de las evaluaciones de vulnerabilidad a riesgos vinculados al cambio climático.

Mientras que las evaluaciones ambientales integrales se enfocan en analizar las presiones, el estado y los impactos sobre el medio ambiente y su relación con el bienestar social, las evaluaciones de vulnerabilidad permiten identificar los factores que determinan la susceptibilidad de un territorio frente a fenómenos de evolución lenta, como el DAR.

A continuación, se presenta un esquema que sintetiza la propuesta metodológica diseñada para este estudio.

Figura 7. Diseño metodológico para analizar los riesgos e impactos del DAR



En una primera fase se definieron las variables e indicadores necesarios para identificar las presiones y el estado principalmente de los elementos y recursos que pueden verse afectados por el DAR, los cuales además sustentan los medios de vida de la población local. En cuanto a las fuerzas motrices, se consideran los factores que han desencadenado el cambio climático. Sin embargo, en este estudio no se profundiza en ellas, ya que forman parte del contexto global.

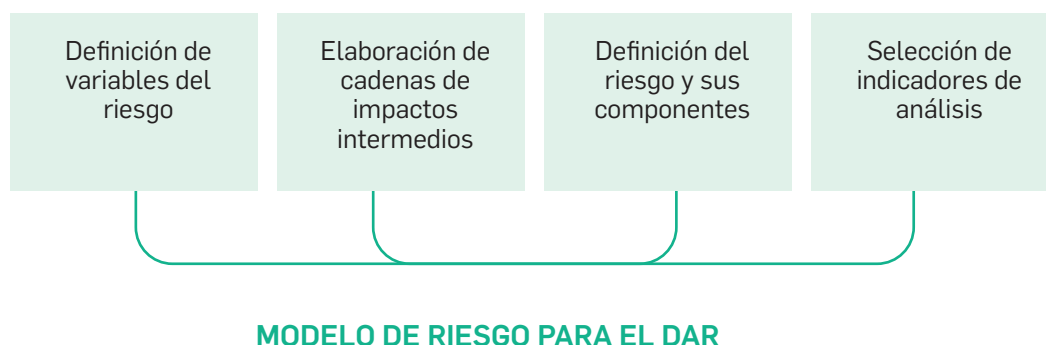
También se realizó la caracterización del contexto social y económico del ámbito de estudio, que sirvió de base para desarrollar un análisis de vulnerabilidad enfocado en los medios de vida, partiendo de un modelo de riesgo y de la definición de los elementos expuestos al DAR.

La tercera fase se centró en la identificación y análisis de los impactos sociales y económicos del DAR sobre los medios de vida y los servicios ecosistémicos hídricos.

### 6.2.1. Definición del modelo de riesgo

Para definir el modelo de riesgo, se adaptó el marco de evaluación de riesgos climáticos propuesto por Jones (2001), junto con las orientaciones del libro de vulnerabilidad de GIZ Eurac (2017b). La figura 4 resume los principales pasos desarrollados para conceptualizar el DAR como un peligro vinculado al cambio climático, dirigido a las unidades o sistemas de interés.

Figura 8. Proceso de definición del modelo de riesgo para el DAR



**a. Definición de variables del riesgo**

**Elementos y sistemas en riesgo**

El primer paso para el diseño del modelo de riesgo es la identificación de los elementos y sistemas en riesgo. En el marco del estudio, los elementos expuestos al DAR son los medios de vida de la población que incluyen diversos recursos, capitales y/o activos que están en riesgo de ser impactados y son los siguientes: humanos, sociales, construidos, financieros y naturales.

**Figura 9. Recursos de los medios de vida de la población en riesgo por la presencia del DAR**



**Peligro**

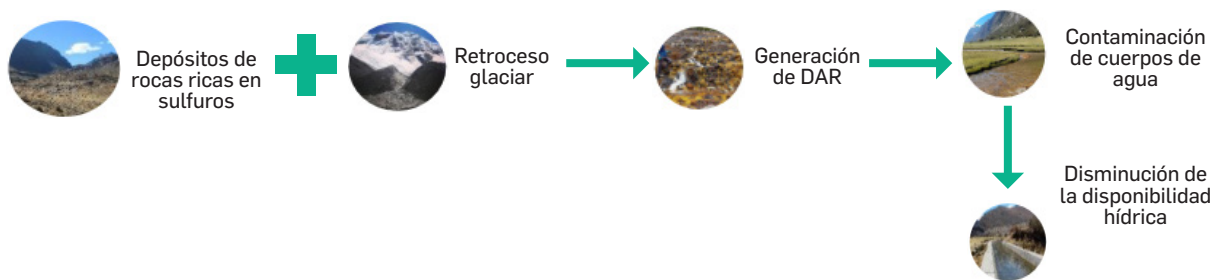
Para los fines de este estudio, se analiza al DAR como un peligro asociado al retroceso glaciar. El retroceso glaciar se constituye como la principal señal asociada al cambio climático del sistema en estudio.

**Figura 10. Factores condicionantes y desencadenantes del peligro**



**b. Elaboración de la cadena de impactos**

Una vez identificadas las variables claves del riesgo, se construyó la cadena de impactos para vincular el peligro con el riesgo (ver figura 11). En el caso de estudio se sustenta en que la presencia del DAR en dos quebradas de la subcuenca del río Quillcay (Quillcayhuanca y Shallap) que están contaminando los cuerpos de agua superficiales, lo que genera una disminución de la disponibilidad hídrica en el ámbito de estudio.

**Figura 11. Cadena de impactos físicos observables**

### c. Definición del riesgo y sus componentes

Desde el enfoque del IPCC, el riesgo se refiere a las consecuencias adversas o negativas que pueden afectar a los sistemas sociales o ecológicos (Reisinger et al., 2020). La definición del riesgo está compuesta por tres elementos fundamentales: el impacto (¿riesgo de qué?), el peligro (¿impacto de qué?) y los elementos expuestos (¿qué o quién está en riesgo?). En consecuencia, el riesgo en el caso del presente estudio se define así:

***Riesgo de afectación de los medios de vida de la población rural de la subcuenca del río Quillcay por la presencia de DAR.***

Hasta este punto, se han definido dos componentes principales del riesgo: la exposición y el peligro. Sin embargo, para completar el modelo conceptual, es necesario incorporar la definición de la vulnerabilidad del sistema en estudio.

#### **Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad está compuesta por tres funciones esenciales: la sensibilidad, la capacidad de respuesta y la capacidad de adaptación. Estas funciones facilitan la operacionalización de las variables y su integración en el modelo de riesgo. En este estudio, la definición de los factores de vulnerabilidad se deriva directamente de los elementos expuestos al DAR y se organiza en tres componentes, siguiendo el enfoque del IPCC.

### d. Selección de indicadores

Se seleccionaron indicadores clave para cada componente del modelo de riesgo. Estos indicadores fueron elegidos en función de su pertinencia, relevancia y la accesibilidad a la información necesaria para su cálculo.

#### **Componente 1: Peligro**

Se fundamenta conceptualmente la necesidad de tratar el DAR como una categoría específica de impactos derivados del cambio climático por el retroceso glaciar. Para dimensionar el peligro, se proponen dos variables principales:

**Tabla 3. Indicadores para caracterizar el peligro**

Factores del peligro	Indicador
Retroceso glaciar	Evolución de la cobertura glaciar: comportamiento espacial del glaciar medido como la cantidad de cobertura glaciar perdida en los últimos años como principal señal climática.
Generación de DAR	Puntos de generación del DAR: puntos identificados dentro del ámbito de estudio donde ya se están generando aguas ácidas antes de entrar en contacto con otros cuerpos de agua.
	Parámetros de calidad de agua: con valores que sobrepasan la normativa de ECA.

### Componente 2: Exposición

Las variables que operacionalizan los elementos en riesgo conforman los indicadores de exposición. A nivel económico, las actividades agrícolas y ganaderas se han reagrupado en sistemas de producción. Además, se han incorporado como indicadores otras actividades económicas que podrían estar siendo afectadas por el DAR, permitiendo una evaluación integral de los medios de vida expuestos a este fenómeno.

**Tabla 4. Indicadores de exposición**

Elementos expuestos	Indicador
Población	Habitantes expuestos: cantidad de habitantes dentro de la zona de potenciales impactos por el DAR con niveles alto y muy alto.
Infraestructuras hidráulicas	Infraestructuras de riego y agua potable: sistemas de riesgo, agua potable y saneamiento que captan agua de fuentes contaminadas por el DAR.
Sistemas de producción	Cultivos, plantaciones forestales y pastizales expuestos: superficies donde se desarrolla estas actividades dentro de las zonas de potenciales impactos alto y muy alto por el DAR. Ganadería y crianza de animales menores expuestos: cabezas de ganado y animales de cría en zonas de potenciales impactos alto y muy alto por el DAR. Otras actividades expuestas: por ejemplo, procesamiento y acopio, actividades turísticas, etc., en zonas de potenciales impactos alto y muy alto por el DAR.
Ecosistemas de montaña	Pastizales: superficie de pastizales expuestos al DAR. Matorrales: superficie de matorrales expuestos al DAR. Bofedales: superficie de bofedales expuestos al DAR.

### Componente 3: Vulnerabilidad

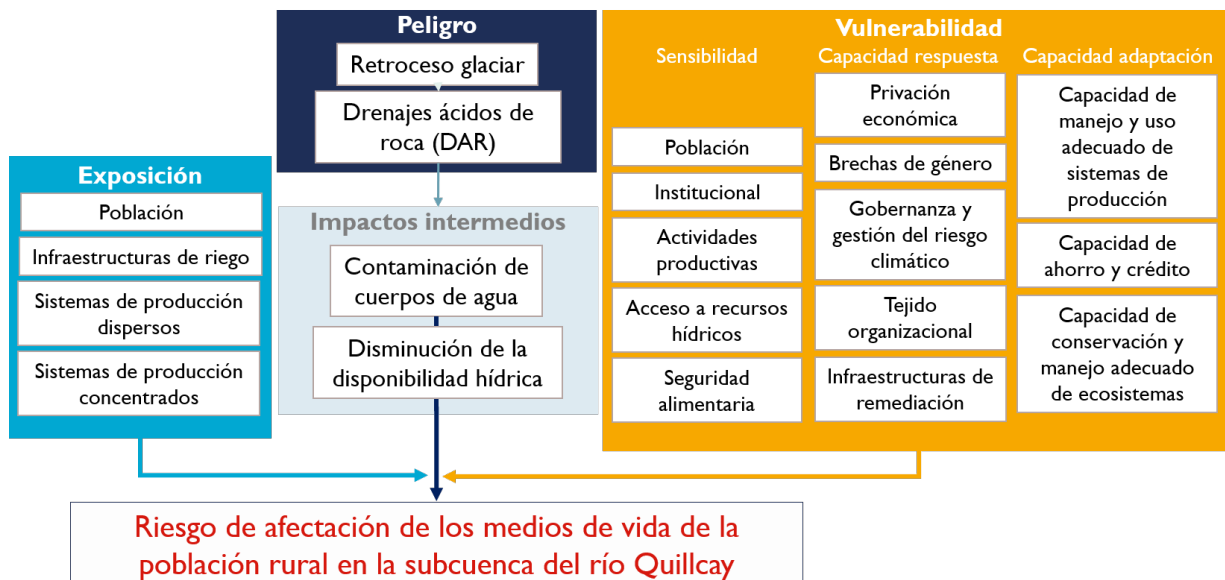
En la siguiente tabla se presentan los indicadores definidos para evaluar la vulnerabilidad según sus tres dimensiones constitutivas: sensibilidad del sistema, capacidad de respuesta y capacidad de adaptación. Estos indicadores permiten analizar de manera sistemática los factores que determinan la susceptibilidad de las comunidades frente al DAR.

**Tabla 5. Indicadores de vulnerabilidad**

Función	Indicador
Sensibilidad	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Sensibilidad de la población:</b> características sociales y demográficas de la población que la vuelven sensible al peligro.</li> <li><b>Sensibilidad institucional:</b> confianza e índice de corrupción</li> <li><b>Actividades productivas:</b> se refiere a la dependencia de actividades económicas que están muy expuestas a los DAR como la agricultura y ganadería.</li> <li><b>Acceso a recursos hídricos:</b> el estrés hídrico empeora las condiciones del productor rural en caso de una sequía.</li> <li><b>Seguridad alimentaria:</b> hace referencia a la participación de la producción alimentaria rural en la seguridad alimentaria local. Específicamente se refiere a la cantidad de productos destinados al autoconsumo y para satisfacer la demanda local.</li> </ol>
Capacidad de respuesta	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Privación económica:</b> nivel relativo de ingresos.</li> <li><b>Brechas de género:</b> las disparidades existentes entre géneros respecto a las oportunidades de acceso y control de recursos económicos, sociales, culturales, políticos, entre otros, que exacerba la capacidad de respuesta al cambio climático.</li> <li><b>Gobernanza del riesgo:</b> acciones institucionalizadas para la gobernanza y gestión del riesgo, así como la interpretación cognitiva de los actores interesados sobre el riesgo.</li> <li><b>Tejido organizacional:</b> tejidos sociales comunitarios formales y no formales que existen en el ámbito de estudio y que permiten a las familias rurales recibir ayuda durante una crisis.</li> <li><b>Infraestructura de remediación:</b> la existencia de infraestructura y/o prácticas de remediación del agua impactada por el DAR.</li> </ol>
Capacidad de adaptación	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Capacidad de manejo y uso adecuado de sistemas de producción:</b> comprende el conjunto de planes, acciones, presupuesto destinado, y nivel de conocimiento para el manejo de sistemas de producción agropecuaria.</li> <li><b>Capacidad de ahorro y crédito:</b> posibilidad que tienen las personas de separar un porcentaje de sus ingresos y reservarlo para su uso en el futuro, o para acceder a un crédito.</li> <li><b>Capacidad de conservación y manejo adecuado de ecosistemas:</b> programas relacionados con el manejo de ecosistemas.</li> </ol>

Gráficamente, el modelo de riesgo de se puede representar así:

**Figura 12. Riesgo de afectación de los medios de vida de la población rural de la subcuenca del río Quillcay**



## 6.2.2. Instrumentos de recolección de información

Para comprender los impactos del DAR en los medios de vida de la población de la subcuenca del río Quillcay, se implementó una estrategia metodológica mixta que combinó técnicas cuantitativas y cualitativas, utilizando diversos instrumentos y fuentes de información.

El trabajo de campo se realizó en los centros poblados ubicados en la margen izquierda del río Auqui en la subcuenca del río Quillcay, en dos etapas: de agosto a diciembre de 2023, y de julio a setiembre de 2024. Al inicio, se realizaron visitas de presentación a autoridades locales y líderes comunales para socializar los objetivos del estudio y garantizar su participación en las diferentes fases de la investigación.

Los instrumentos de información aplicados incluyeron:

- **Talleres de identificación participativa de riesgos asociados al Drenaje Ácido de de Roca**

Se desarrollaron tres talleres donde se identificó la percepción comunal sobre los riesgos asociados al DAR, sus impactos en los medios de vida y las posibles acciones de adaptación y mitigación. Las herramientas metodológicas empleadas fueron mapas de riesgo, cadenas de impacto y evaluación de capacidades de adaptación<sup>2</sup>.

- **Encuesta a las unidades de producción familiar**

Se diseñó y aplicó una encuesta de 53 preguntas a 59 unidades de producción familiar seleccionadas mediante muestreo por oportunidad, priorizando a productores que utilizan aguas potencialmente afectadas por el DAR. Este instrumento permitió caracterizar los sistemas agropecuarios y evaluar su vulnerabilidad, proporcionando una visión general de los medios de vida y su exposición al fenómeno. Las encuestas se realizaron en los centros poblados de Jancu, Paquishca, Queropampa y Coyllur.

- **Entrevistas semiestructuradas**

Dirigidas a actores sociales públicos (funcionarios y especialistas), estas entrevistas buscaron recoger información sobre la capacidad institucional de respuesta y adaptación frente al DAR. Se elaboraron cuestionarios diferenciados según las competencias específicas de cada institución representada.

- **Revisión de fuentes secundarias**

Se recopiló información socioeconómica de bases de datos oficiales como los Censos Nacionales de Población y Vivienda del (2017) y Agropecuario (2012), complementando con datos sobre calidad de agua, suelo y posibles acumulaciones de metales en cultivos, pastos y productos lácteos.

- **Análisis de calidad agua**

Se realizaron muestreos en canales de riego y sistemas de agua potable durante épocas húmeda (2023) y seca (2024), analizando parámetros fisicoquímicos, inorgánicos, microbiológicos y parasitológicos. Los resultados se compararon con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (RCACH).

<sup>2</sup> Las herramientas participativas empleadas en el estudio fueron adaptadas del *Manual para el análisis de capacidad y vulnerabilidad climática* (CVCA), publicado en 2011 por Care Perú.

- **Análisis de suelo**

Se recolectaron muestras de suelos agrícolas regados con aguas del canal Shallap-Huapish-Toclla, siguiendo protocolos del MINAM (2014). Los análisis de metales totales<sup>3</sup> se contrastaron con los estándares del Decreto Supremo 011-2017-Minam, que aprueba los estándares de calidad ambiental para el suelo.

- **Análisis de cultivos y pastos**

Las muestras de especies cultivadas y pastos naturales se analizaron en laboratorios acreditados<sup>4</sup>. Dado que el Perú no cuenta con parámetros mínimos y máximos establecidos para la presencia de metales pesados en cultivos, se recurrió a marcos normativos internacionales para la evaluación de los resultados. En el caso de los cultivos, se utilizaron como referencia la Norma General para los Contaminantes y las Toxinas presentes en los Alimentos y Piensos (Codex STAN) y el Reglamento (CE) 1881/2006 de la Unión Europea. Por último, para el análisis de las muestras de pastos, se emplearon los criterios establecidos en el Real Decreto 747/2001 de España, de aplicación en toda la Unión Europea.

- **Análisis de leche**

El muestreo de leche buscó determinar la presencia de metales pesados en la leche cruda producida por vacas que pastorean en zonas impactadas por el DAR. Para ello, se recolectaron tres muestras de leche de ganado vacuno proveniente de Jancu y de las quebradas de Quillcayhuanca y Shallap. El análisis<sup>5</sup> se realizó para los siguientes elementos: arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, mercurio, manganeso, níquel, plomo, selenio, estaño y zinc. Los resultados obtenidos fueron evaluados según los límites establecidos por diversos marcos normativos internacionales, entre ellos el Codex Alimentarius-FAO, el Reglamento (UE) 2013/915, así como la Norma Técnica Rumana y la Norma Técnica Ecuatoriana.

3 Ensayo para metales totales según los métodos EPA 3051A-2007 y EPA 6020B-2014: Digestión ácida asistida por microondas de sedimentos, lodos, suelos y aceites, seguida de análisis mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Método validado y aplicado fuera del alcance en 2017.

4 Método Oficial AOAC 2013.06, 21<sup>a</sup> edición, 2019. Determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en alimentos mediante digestión en presión y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

5 AOAC Official Method 2013.06, 21st Edition, 2019. Determination of arsenic, cadmium, mercury, and lead in foods by pressure digestion and inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). Método validado y modificado en 2016.

## 7. RESULTADOS

La presente sección detalla los hallazgos derivados del análisis de la información recopilada. El desarrollo inicia con una caracterización de la subcuenca del río Quillcay a fin de contextualizar el ámbito geográfico de estudio. Seguidamente, se abordan la identificación de los factores de presión y la evaluación de la calidad de los recursos hídricos que han sido afectados por el Drenaje Ácido de Roca (DAR). La sección concluye con la descripción de los elementos expuestos, el análisis de su vulnerabilidad, la presentación de los impactos generados y la estimación de sus implicaciones económicas.

### 7.1. Caracterización del ámbito de estudio

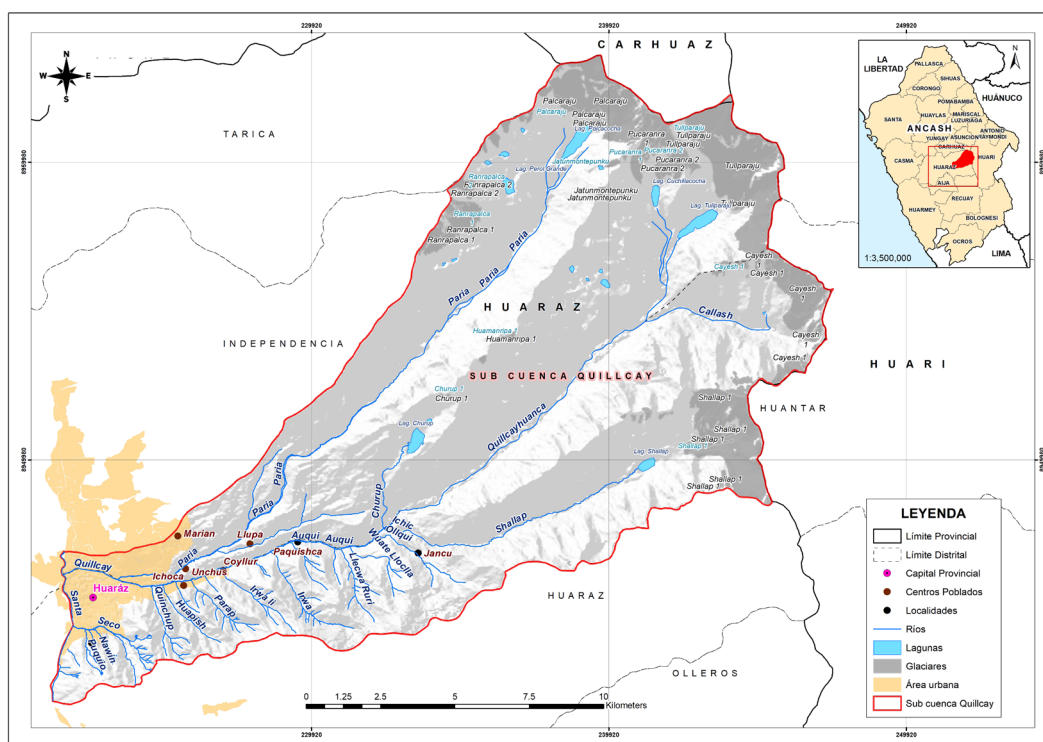
Se establecieron dos ámbitos de análisis según los niveles de impacto potencial: el de incidencia general (toda la subcuenca Quillcay) y el de incidencia específico (áreas con impacto potencial alto y muy alto) que corresponden a la microcuenca del río Auqui.

#### 7.1.1. Ubicación y extensión

La subcuenca del río Quillcay se ubica en la vertiente occidental de la cordillera Blanca, siendo la segunda más extensa (247,35 kilómetros cuadrados) de las 29 subcuencas tributarias del río Santa en la unidad del Alto Santa (ANA, 2015). Su red hidrográfica se compone de tres quebradas principales: Cojup, Quillcayhuanca y Shallap. La confluencia de estas quebradas forma las microcuencas de los ríos Paria y Auqui, que a su vez dan origen al río Quillcay antes de su desembocadura en el río Santa.

La zona de cabecera presenta 44 glaciares (siendo los más extensos Tullparaju y Shallap 1) y 40 lagunas de origen glaciar, destacando Palcacocha y Tullparaju (Randolph Glacier Inventory, 2017; ANA, 2015). Políticamente, abarca territorios de los distritos de Huaraz e Independencia en la provincia de Huaraz (Áncash), con el 76% de su superficie dentro del Parque Nacional Huascarán (189,7 kilómetros cuadrados).

Figura 13. Ubicación de la subcuenca del río Quillcay



Política y administrativamente, la subcuenca del río Quillcay pertenece a la provincia de Huaraz, en el departamento de Áncash. Se extiende entre los límites de los distritos de Huaraz e Independencia: la margen derecha del río Paria corresponde al distrito de Independencia, mientras que la margen izquierda pertenece al distrito de Huaraz. En la parte alta de la subcuenca, las quebradas de Cojup, Quillcayhuanca y Shallap se encuentran dentro del Parque Nacional Huascarán, el cual abarca aproximadamente 189,7 kilómetros cuadrados dentro de la subcuenca, lo que representa cerca del 76% de su superficie total (Muñoz, 2017). En la parte baja, el área urbana comprende la ciudad de Huaraz, capital del departamento de Áncash.



### 7.1.2. Aspectos sociales

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda (INEI, 2017), la subcuenca del río Quillcay alberga una población total de 117.180 habitantes, incluido el área urbana. De este total, apenas el 3% (aproximadamente 2.764 personas) reside en centros poblados rurales, concentrándose alrededor del 60% de esta población rural en la microcuenca del río Paria.

El ámbito rural de la subcuenca comprende 33 centros poblados entre caseríos, anexos y otros asentamientos, además de tres comunidades campesinas cuyos territorios se superponen total o parcialmente con la subcuenca, siendo las comunidades de Cahuide y Pedro Pablo Atusparia las de mayor influencia y representatividad en la zona.

La infraestructura de servicios públicos en el área rural, incluye cinco centros de salud, tres clasificados como I-1 y dos como I-2, correspondientes a postas de salud de atención básica y baja complejidad. En el ámbito educativo, existen aproximadamente 22 centros educativos rurales que cubren los niveles inicial y primaria, mientras que para la educación secundaria los estudiantes deben trasladarse a la ciudad de Huaraz.

El acceso a la zona se realiza principalmente mediante dos vías:

- La ruta PE-14A, una carretera nacional asfaltada que conecta Huaraz con las entradas a las quebradas de Cojup y Quillcayhuanca en el límite del Parque Nacional Huascarán.
- La ruta AN-1182, una vía regional sin asfaltar que llega hasta la entrada de la quebrada Shallap por el margen sur del río Auqui.

En materia de saneamiento, las coberturas oficiales alcanzan 31% en el distrito de Huaraz y 48% en Independencia (INEI, 2017). Sin embargo, en la práctica, mientras los centros poblados de Independencia cuentan con cierta cobertura formal, aquellos ubicados en Huaraz carecen de reconocimiento oficial pese a contar con servicio de agua potable administrado por juntas administradoras de servicio de saneamiento (JASS) sin licencia de uso.

Actividades productivas

- **Agricultura:** la agricultura constituye la principal actividad económica en la zona rural de la subcuenca del río Quillcay. Esta área cuenta con una amplia red de canales de irrigación que permite el desarrollo de una agricultura de riego permanente. Sin embargo, también se identifican zonas de cultivo en secano, dependientes de las precipitaciones estacionales. Los cultivos predominantes incluyen papa, maíz cancha, trigo, oca, habas, olluco y cebada. En cuanto a los pastos, destacan la alfalfa, el trébol y la avena forrajera. Asimismo, los huertos de hortalizas son frecuentes y cumplen una doble función: asegurar la autosuficiencia alimentaria de las familias y generar ingresos mediante la comercialización en los mercados de la ciudad de Huaraz. Es común que los agricultores realicen rotación de cultivos por temporada y que siembren más de dos productos por campaña. La tenencia de la tierra presenta un régimen mixto, combinando propiedad individual y comunitaria, según el sector.



- **Ganadería:** la actividad ganadera en la subcuenca del río Quillcay se desarrolla de manera extensiva, bajo un sistema que combina el pastoreo en terrenos comunales o privados ubicados cerca de los centros poblados y en las quebradas, en zonas asignadas a los comités de usuarios de pastos (CUP)<sup>6</sup>. El ganado vacuno permanece la mayor parte del tiempo en las quebradas de Shallap y Quillcayhuanca. Sin embargo, durante los periodos de parto, lactancia y engorde, es trasladado a las chacras de los propietarios. No se implementan prácticas de mejoramiento genético, y predomina la raza criolla, valorada por su rusticidad, mayor resistencia a la sequía, tolerancia a enfermedades y capacidad de adaptación a las bajas temperaturas y a las variaciones en las precipitaciones.



- **Turismo:** en la subcuenca del río Quillcay, las quebradas de Cojup, Quillcayhuanca y Shallap constituyen espacios de alto valor paisajístico y natural, siendo reconocidas como destinos clave para el turismo de aventura. En particular, la quebrada de Cojup ofrece condiciones favorables para la realización de caminatas y campamentos, destacando en su recorrido la presencia de nevados y lagunas de origen glaciar, como la emblemática laguna Palcacocha (Zimmer, 2016).

En la quebrada de Quillcayhuanca es posible apreciar pinturas rupestres y vestigios arqueológicos que evidencian la presencia ancestral en la zona. Además, su geografía la convierte en un espacio propicio para la aclimatación de visitantes, siendo la laguna Churup el principal atractivo turístico del sector y una de las más visitadas anualmente. En contraste, la quebrada de Shallap presenta un menor flujo turístico, al igual que la microcuenca del río Auqui, a pesar de que ambos espacios albergan restos arqueológicos y ofrecen paisajes de gran belleza escénica, comparables a los de las quebradas vecinas (Zimmer, 2016).

<sup>6</sup> Los comités de usuarios de pastos (CUP) son organizaciones comunitarias reconocidas y autorizadas por el Parque Nacional Huascarán (PNH) como los principales beneficiarios de los pastos naturales dentro de su jurisdicción. En la subcuenca del río Quillcay, existen dos comités: el CUP de Quillcayhuanca y el CUP de Shallap (PNH, 2024).



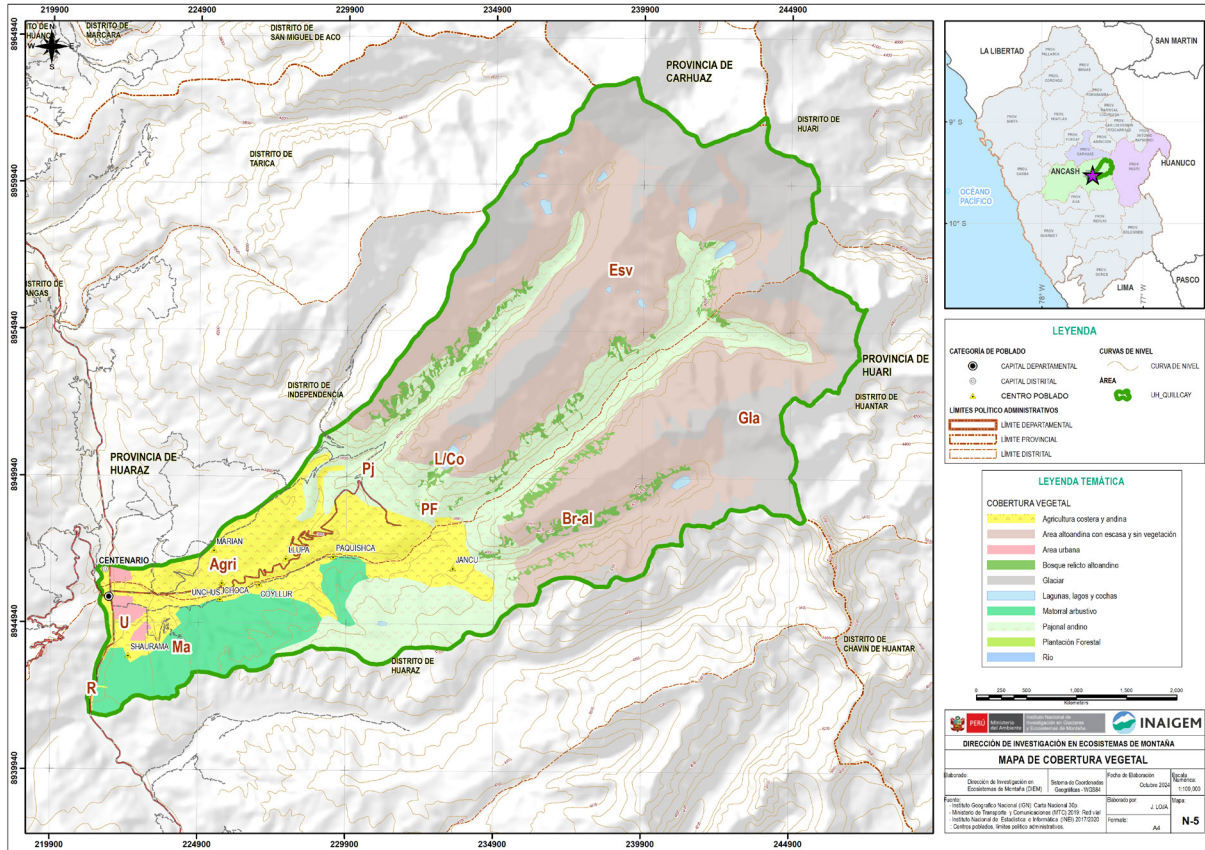
- **Las actividades comerciales** en la zona rural, tanto de bienes como de servicios, están estrechamente relacionadas con el flujo de turistas y la demanda de la población local. En la microcuenca del río Paria se observa una mayor oferta de servicios turísticos (como transporte público, restaurantes, hoteles y hospedajes) favorecida por la existencia de vías de acceso asfaltadas, como la ruta PE-14A. En contraste, en la microcuenca del río Auqui, el turismo aún no constituye una fuente significativa de ingresos, pese a su alto potencial para el desarrollo de esta actividad (Zimmer, 2016).

### 7.1.3. Cobertura vegetal

Para este estudio, se elaboró un mapa de cobertura vegetal<sup>7</sup> de la subcuenca del río Quillcay, a partir del cual se determinó que el 21% de la superficie corresponde a pajonal altoandino (5.389 hectáreas), mientras que un 12% está conformado por áreas agrícolas (3.170 hectáreas). En la figura siguiente se presentan todos los tipos de cobertura vegetal identificados en el ámbito de estudio.

<sup>7</sup> Se elaboró el mapa de cobertura vegetal utilizando datos proporcionados por el Ministerio del Ambiente (Minam, 2016).

Figura 14. Mapa de cobertura vegetal de la subcuenca del río Quillcay



La subcuenca del río Quillcay constituye un territorio estratégico para la ciudad de Huaraz, desempeñando roles fundamentales en tres dimensiones clave: seguridad alimentaria (abasteciendo los principales mercados locales), desarrollo turístico (atrayendo visitantes nacionales e internacionales) y provisión de servicios ecosistémicos hídricos (garantizando el suministro de agua para una población en crecimiento). Sin embargo, esta área enfrenta presiones crecientes derivadas de múltiples factores, siendo el objeto de este estudio analizar aquellos que ejercen influencia directa y significativa sobre sus recursos hídricos.

## 7.2. Análisis de factores de presión

Siguiendo en enfoque metodológico se han identificado tres factores principales que generan presión sobre los recursos hídricos del ámbito de estudio.

### 7.2.1. Crecimiento demográfico

El crecimiento demográfico de la ciudad de Huaraz ha sido considerado un indicador clave de presión, dado que el área urbana se encuentra en la parte baja de la subcuenca del río Quillcay, mientras que las fuentes de agua para su abastecimiento se ubican en las zonas altas de esta subcuenca.

La ciudad de Huaraz, capital de la provincia del mismo nombre, se localiza en una planicie formada por la confluencia del río Quillcay y el río Santa, dentro del piso ecológico quechua (2.300-3.500 metros sobre el nivel del mar) (Inaigem, 2023). Se trata de una ciudad que ha experimentado un importante crecimiento demográfico en las últimas décadas. De 1993 a 2017<sup>8</sup>, la población total de la provincia

<sup>8</sup> Se tomó como referencias de 1993 a 2017 porque se cuenta con información demográfica de estos dos censos de

aumentó en 35%. Sin embargo, al analizar esta variación en función del entorno geográfico, se observa que la población rural disminuyó en un 13%, mientras que la población urbana se incrementó en un 66%, lo cual evidencia un marcado proceso de urbanización.

**Tabla 6. Variación porcentual de la población en la provincia de Huaraz**

Indicador	Año		Variación porcentual 1993-2017
	1993	2017	
Población rural-provincia Huaraz	46.902	40.867	-13%
Población urbana-provincia Huaraz	74.126	123.069	66%
Población total-provincia de Huaraz	121.028	163.936	35%

Nota: Elaboración propia con los datos del sistema de consultas de resultados censales. Cuadros Estadísticos. Censos Nacionales 1993. IX Población y IV de Vivienda.

### 7.2.2. Urbanización intensa

Las zonas urbanas se han extendido en particular en áreas que eran consideradas como rurales, observándose marcados cambios en los últimos catorce años, es así que el número de viviendas en el área urbana se ha incrementado en más de 100%, mientras que en zonas rurales también hay un incremento en más de 60%.

**Tabla 7. Incremento del número de viviendas en la provincia de Huaraz 1993-2017**

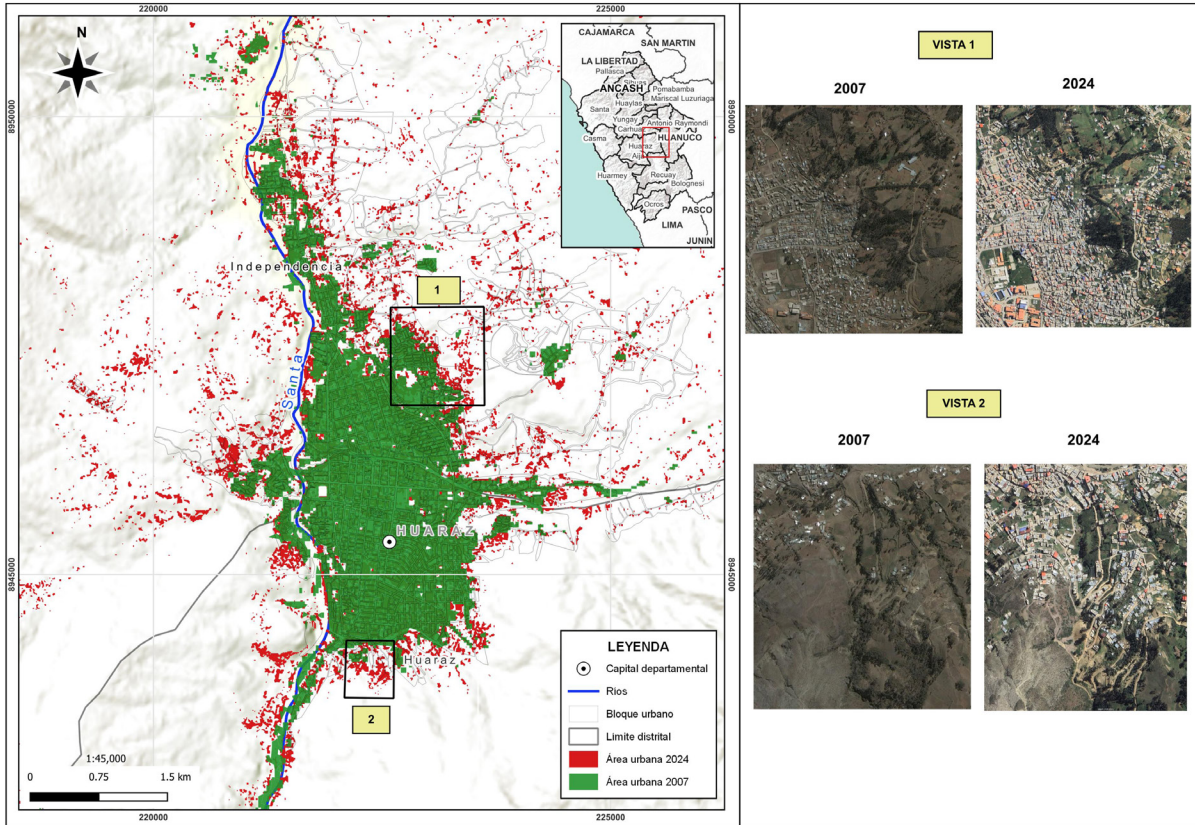
Indicador	Año		Variación porcentual 1993-2017
	1993	2017	
Viviendas urbanas-Huaraz (provincia)	17.183	36.368	112%
Viviendas rurales-Huaraz (provincia)	13.230	21.269	61%
Total de viviendas en la provincia de Huaraz	30.413	57.637	90%

Nota: Elaboración propia con los datos del sistema de consultas de resultados censales. Cuadros Estadísticos. Censos Nacionales 1993. IX Población y IV de Vivienda<sup>9</sup>.

población y vivienda realizados por el INEI.

9 Sistema de consultas de resultados censales. Cuadros estadísticos. Censos Nacionales 1993. IX Población y IV de Vivienda. <https://censos.inei.gob.pe/bcoCuadros/CPV93Cuadros.htm>

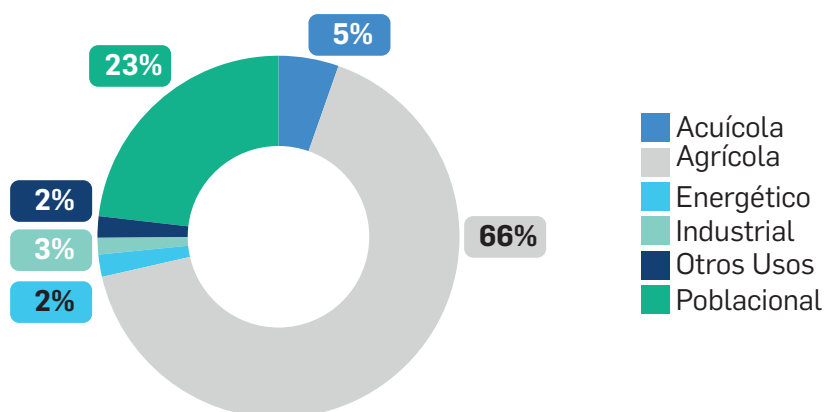
**Figura 15. Evolución de la zona urbana de la ciudad de Huaraz de 2007 a 2024**



La comparación de las imágenes de Huaraz en 2007 y 2024 evidencia una expansión urbana acelerada. La conversión de tierras agrícolas en áreas urbanizadas ha reducido la superficie de cultivo y plantaciones forestales. Este crecimiento ha sido impulsado por factores como el aumento de la población, la migración del campo a la ciudad y la demanda de vivienda. La expansión urbana ha generado mayor demanda de servicios básicos entre ellos el agua y saneamiento.

### 7.2.3. Demanda de recursos hídricos

El análisis de los usos del agua en la subcuenca del río Quillcay revela una distribución diversificada de las licencias y autorizaciones otorgadas tanto para fuentes superficiales como subterráneas. Según los registros oficiales, el 66% de las licencias corresponden al uso agrícola, destacándose como la principal actividad en términos de número de autorizaciones. En segundo lugar se ubica el uso poblacional, con el 23% de las licencias, mientras que el uso energético, aunque representa un menor porcentaje en cantidad de autorizaciones, consume volúmenes significativamente mayores de agua en comparación con los otros usos. Esta distribución de los derechos de uso del agua se presenta detalladamente en la figura 16, donde se visualiza la proporción de licencias por tipo de uso, complementada con la tabla 8 que especifica los volúmenes exactos de agua (en metros cúbicos) autorizados para cada categoría de uso.

**Figura 16. Derecho de uso de agua en la subcuenca del río Quillcay**

Nota: Elaboración propia con datos de la Autoridad Nacional del Agua (s/f). Observatorio Nacional de Recursos Hídricos (ONRH). Consulta: setiembre de 2023<sup>10</sup>.

**Tabla 8. Derecho de uso de agua en la subcuenca del río Quillcay por metros cúbicos (m<sup>3</sup>)**

Tipo de derecho de uso	Millones de m <sup>3</sup>
Energético	22.075.200
Poblacional	15.311.698
Agrícola	12.607416
Acuícola	5.928.768
Industrial	13.797
Otros usos	1.440
Total	55.938.319

Nota: Elaboración propia con datos de la Autoridad Nacional del Agua (s/f). Observatorio Nacional de Recursos Hídricos (ONRH). Consulta: setiembre de 2023.

La tabla 8 evidencia la relevancia del uso poblacional y agrícola del agua en la subcuenca del río Quillcay. En la zona rural, donde las actividades económicas predominantes son la agricultura, ganadería y crianza de animales menores (Zimmer, 2016), esta dinámica se refleja claramente tanto en el número de licencias como en los volúmenes de agua autorizados para uso agrícola.

En el ámbito urbano de Huaraz, el servicio de agua potable es administrado por la EPS Chavín<sup>11</sup>, que cuenta con 24.587 conexiones activas (Cerna Rubio et al., 2022). Esta entidad tiene derechos de aprovechamiento en los ríos Paria y Auqui, aunque solo utiliza las aguas del río Auqui solo en estiaje (falta de lluvias), debido a problemas de calidad que exceden los parámetros permitidos para consumo humano (ANA, 2020). Esta situación ha generado una dependencia casi exclusiva del río Paria, incrementando la vulnerabilidad del sistema, particularmente durante la época de estiaje cuando se presentan déficits hídricos.

<sup>10</sup> Observatorio Nacional de Recursos Hídricos (ONRH). <https://snirh.ana.gob.pe/onrh/>

<sup>11</sup> Las entidades prestadoras de servicios de saneamiento (EPS) pueden ser públicas, privadas o mixtas, y se encargan de proveer servicios de agua potable, alcantarillado sanitario, tratamiento de aguas residuales para disposición final o reúso, así como la disposición sanitaria de excretas en las zonas urbanas, conforme a lo establecido en la Ley General de Servicios de Saneamiento.

En el sector rural, los servicios de agua y saneamiento son brindados por organizaciones comunitarias<sup>12</sup> denominadas JASS. En la subcuenca existen catorce JASS, de las cuales nueve (ubicadas en la microcuenca del Paria) cuentan con licencia de uso de agua. Las cinco restantes, localizadas en la microcuenca del Auqui, operan sin licencia pero proveen servicio a los centros poblados de Jancu, Paquishca, Queropampa, Coyllur e Ichoca.

El uso agrícola se estructura en siete bloques de riego<sup>13</sup> que cubren aproximadamente 1.104 hectáreas de cultivos. El bloque más extenso es Huapish-Shallap-Toclla, que capta agua de la quebrada Shallap, zona afectada por problemas del DAR.



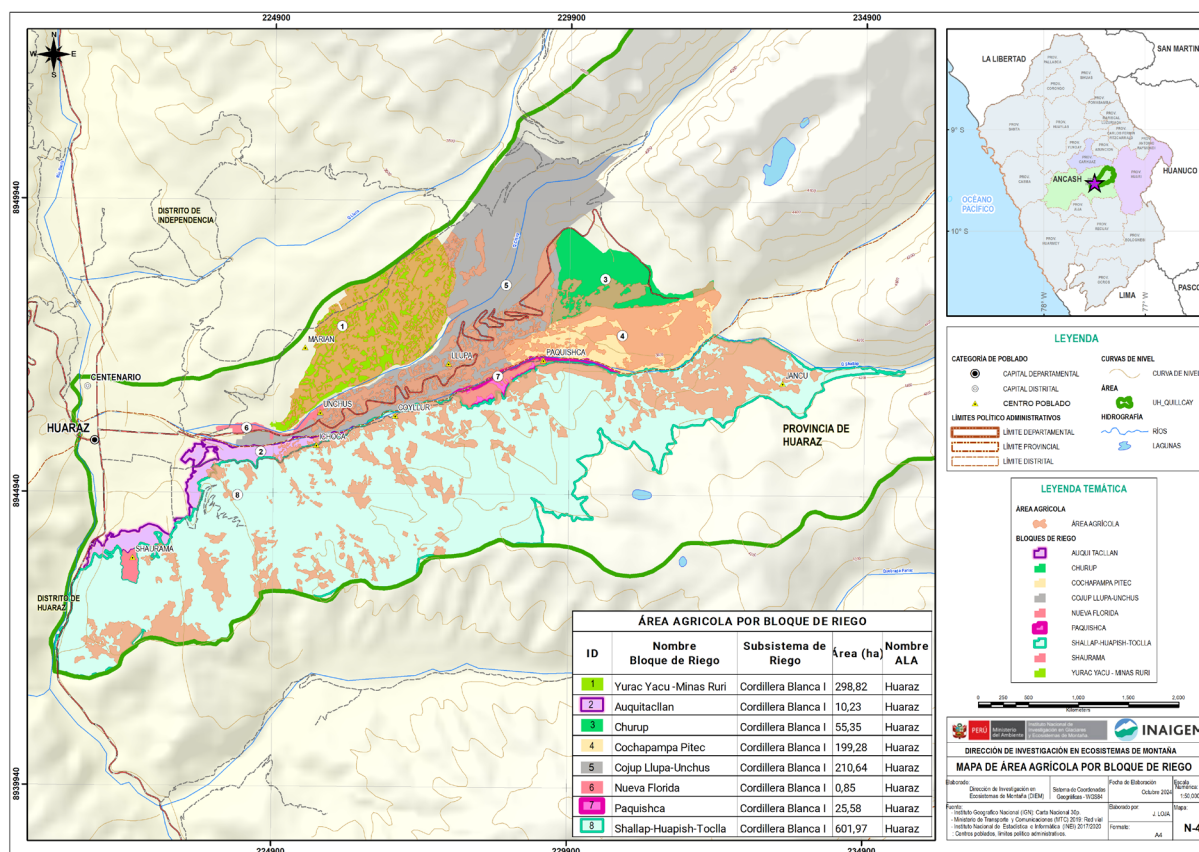
- 12 Estas organizaciones se encargan de administrar, operar y mantener los servicios de saneamiento en uno o más centros poblados. Las formas asociativas más comunes son las juntas administradoras de servicios de saneamiento (JASS), aunque también pueden adoptar modalidades como asociaciones, comités, cooperativas, juntas de vecinos u otras opciones seleccionadas voluntariamente por la comunidad.
- 13 Los usuarios de agua para riego en la subcuenca del río Quillcay, formalizados ante la administración local de agua (ALA) de Huaraz, están organizados en comités de usuarios. Estos comités constituyen el nivel básico de organización de los usuarios de agua para riego y representan la base estructural sobre la cual se conforman las comisiones de regantes y la junta de usuarios. Además, estos comités agrupan uno o más bloques de riego, los cuales se definen como la unidad básica de demanda de agua, compuesta por el conjunto de predios bajo riego, ya sean de uso agrícola o unidades agrícolas productivas (Mallqui, 2014, p. 8).

**Tabla 9. Área agrícola por bloque de riego**

Bloque de riego	Hectáreas	Porcentaje
Auqui-Tacllan	10	0,7
Churup	55	3,9
Cochapampa Pitec	199	14,2
Cojup Llupa-Unchus	211	15,0
Nueva Florida	1	0,1
Paquishca	26	1,8
Shallap-Huapish-Toclla	602	42,9
<b>Total</b>	<b>1.104</b>	<b>79</b>

Nota: Elaboración propia con datos del ALA.

**Figura 17. Mapa de bloques de riego en la subcuenca del río Quillcay**



### 7.3. Calidad de los recursos hídricos en la subcuenca del río Quillcay

La subcuenca del río Quillcay está conformada por las microcuencas Cojup, Quillcayhuanca y Shallap. Debido al acelerado retroceso glaciar y su impacto en la disponibilidad y calidad del agua<sup>14</sup>, se han realizado diversos estudios al respecto. Resultados recientes (Montano et al., 2023) evidencian una marcada diferencia en la calidad del agua entre estas microcuencas. Mientras que todas las estaciones de monitoreo en Cojup registran valores de pH y concentraciones de metales pesados dentro de los rangos permisibles, las microcuencas Quillcayhuanca y Shallap presentan, en su mayoría, condiciones ácidas y concentraciones elevadas de hierro, manganeso, plomo y zinc. En este sentido, estas dos microcuencas son las principales impactadas por el DAR, como se muestra por la siguiente tabla:

**Tabla 10. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua de la microcuenca Quillcayhuanca<sup>15</sup>**

Ubicación		Microcuenca Quillcayhuanca							ECA-Agua	
Punto de muestreo		QUI_08	QUI_09	QUI_10	QUI_11	QUI_12	QUI_13	QUI_14	Cat. 4 <sup>16</sup>	Cat. 3-D1 <sup>17</sup>
Fuente de muestra		Río	Río	Río	Río	Río	Río	Río		
pH	Und. pH	7,17	3,41	7,27	7,48	7,48	4,33	3,37	6,5-9,0	6,5-8,5
CE	μ/cm	162,50	624,50	96,00	81,50	64,00	271,00	599,5000	1.000	2.500
Aluminio	mg/L	0,2280	3,1240	0,0750	0,0485	0,0425	1,4060	2,9700		5
Arsénico	mg/L	<0,00010	0,0011	0,0800	0,0010	0,0007	<0,00010	<0,00010	0,15	0,1
Boro	mg/L	<0,006	<0,006	0,0070	<0,006	0,0007	<0,006	0,0150		1
Cadmio	mg/L	<0,00003	0,0008	<0,00003	<0,00003	0,0090	0,0014	0,0010		0,01
Cobalto	mg/L	0,0001	0,0341	<0,00003	<0,00003	<0,00003	0,0130	0,0317		0,05
Cobre	mg/L	0,0004	0,0074	<0,00009	0,0005	0,0002	0,0111	0,0070	0,1	0,2
Cromo	mg/L	0,0008	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,0003		0,1
Hierro	mg/L	0,2799	5,2443	0,0797	0,0462	0,0326	0,0107	2,8545		5
Manganeso	mg/L	0,0040	1,1431	0,0020	0,0014	0,0014	0,0806	1,0566		0,2
Mercurio	mg/L	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	0,001	0,001
Plomo	mg/L	<0,0006	0,0048	<0,0006	0,0060	<0,0006	<0,0006	0,0048	0,0025	0,05
Zinc	mg/L	<0,0026	0,3695	<0,0026	0,0039	<0,0026	0,1230	0,3350	0,12	2

El análisis de parámetros presentados en la tabla 10, evidencian una grave afectación en la calidad del agua en tres puntos específicos, donde se registraron valores de pH muy por debajo de los rangos establecidos en los ECA tanto para conservación de ecosistemas acuáticos como para riego agrícola. Particularmente alarmantes son los datos del punto QUI\_14, donde las concentraciones de metales superan ampliamente los límites máximos permisibles del Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano<sup>18</sup>: el aluminio alcanza niveles 15 veces superiores al límite (0,2 mg/L), el hierro excede cuatro veces el valor permitido (0,3 mg/L) y el manganeso triplica el límite establecido (0,4 mg/L). Estas condiciones extremas, sumadas a la presencia elevada de plomo y zinc, determinan que estas aguas no sean aptas ni para consumo humano ni para riego de cultivos, especialmente vegetales de consumo directo, representando un riesgo significativo para la salud pública y los ecosistemas acuáticos.

14 El término «calidad del agua» es usado para describir las características físicas, químicas y biológicas del agua. Por ejemplo, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), turbiedad, metales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fosfatos, nitratos, coliformes, entre otros, dependiendo principalmente del uso que se le dé (Montano et al., 2023).

15 Resultados del monitoreo de agua realizado en 2024 por la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM), se presentan los promedios de los resultados de la época de estiaje y la época de lluvia.

16 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

17 Categoría de riego y bebida de animales, D1: riego de vegetales.

18 Decreto Supremo 031-2010-SA.

**Tabla 11. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua de la microcuenca Shallap en la microcuenca del río Auqui<sup>19</sup>**

Ubicación		Microcuenca Shallap						ECA-Agua	
Punto de muestreo		SHA_01	SHA_02	SHA_03	SHA_04	SHA_06	SHA_10	Cat. 4	Cat. 3-D1
Fuente de muestra		Río	Laguna	Río	Río	Río	Río		
pH	Und. pH	3,57	3,31	5,81	6,65	7,8	3,48	6,5-9,0	6,5-8,5
CE	μ/cm	596,5	464,0	99	107	34	309	1.000	2.500
Aluminio	mg/L	11,1700	4,8160	0,518	0,0810	0,081	3,3100		5
Arsénico	mg/L	0,0039	<0,00010	<0,00010	<0,00010	0,00067	0,0003	0,15	0,1
Boro	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006		1
Cadmio	mg/L	0,0019	0,0014	0,00013	0,0002	<0,00003	0,0017		0,01
Cobalto	mg/L	0,0643	0,0352	0,00612	0,0004	<0,00003	0,0238		0,05
Cobre	mg/L	0,0113	0,0069	0,00351	0,0337	0,00037	0,0046	0,1	0,2
Cromo	mg/L	0,0013	0,0004	0,0006	<0,0003	<0,0003	0,0004		0,1
Hierro	mg/L	26,0730	2,9613	0,1689	0,0966	0,024	1,5712		5
Manganeso	mg/L	1,7321	0,8682	0,03778	0,0055	0,00162	0,6111		0,2
Mercurio	mg/L	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	0,001	0,001
Plomo	mg/L	0,0177	0,0095	0,0172	0,0010	<0,0006	0,0070	0,0025	0,05
Zinc	mg/L	0,5263	0,3271	0,0502	0,0183	<0,0026	0,2551	0,12	2

La tabla 11 presenta datos de la microcuenca de Shallap que muestran una grave afectación de la calidad del agua, con valores de pH muy por debajo de los estándares permitidos y concentraciones alarmantes de metales pesados que exceden los límites normativos. Particularmente preocupantes son los datos del punto SHA\_10, donde el aluminio supera 16 veces el límite máximo (0,2 mg/L), el hierro quintuplica el valor permitido (0,3 mg/L) y el manganeso duplica el estándar (0,4 mg/L) según el Reglamento de Calidad del Agua para Consumo Humano. Estas condiciones hacen que las aguas de Shallap sean totalmente inadecuadas tanto para consumo humano como para riego agrícola, representando un serio riesgo para la salud pública y los ecosistemas.

Complementariamente, el estudio incluyó datos en la microcuenca del río Auqui, evaluando específicamente las fuentes de agua utilizadas para consumo humano, riego y abrevadero de animales, cuyos resultados —organizados según tipo de uso— revelan el impacto diferenciado del DAR en las diversas actividades socioeconómicas que dependen de estos recursos hídricos en la subcuenca. Los hallazgos evidencian la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación y sistemas alternativos de abastecimiento para proteger la salud de la población y la sostenibilidad de las actividades productivas en la región.

<sup>19</sup> Resultados del monitoreo de agua realizado en 2024 por la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM). Se presentan los promedios de los resultados de la época de estiaje y la época de lluvia.

**Tabla 12. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua para consumo humano de cinco puntos<sup>20</sup>**

Ubicación		Microcuenca del río Auqui					ECA-A1	LMP
Punto de muestreo <sup>21</sup>		JCY-01	JCY-02	JICH-01	JICH-02	JJN-02		
Fuente de muestra		Entrada del reservorio	Salida del reservorio	Manantial	Manantial	Pileta		
pH	Und. pH	6,995	7,06	7,4	7,325	7,195	6,5-8,5	6,5-8,5
CE	μ/cm	211,5	129,5	57,5	66	44,5	1.500	1.500
Aluminio	mg/L	0,1410	0,151	0,3745	0,7735	0,0065	0,9	0,2
Arsénico	mg/L	0,0022	0,00166	0,00593	0,00785	0,00038	0,01	0,01
Boro	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	2,4	1
Cadmio	mg/L	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	<0,00003	0,003	0,003
Cobalto	mg/L	0,0009	0,000045	0,000465	0,000955	0,00157		
Cobre	mg/L	0,0009	0,000545	0,001055	0,00183	0,00235	2	2
Cromo	mg/L	0,0049	<0,0003	0,00205	0,0004	0,00195	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,1717	0,1309	0,77135	1,2932	0,0174	0,3	0,3
Manganeso	mg/L	0,0094	0,008525	0,040855	0,055535	0,00042	0,4	0,4
Mercurio	mg/L	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	0,001	0,001
Plomo	mg/L	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0,01	0,01
Zinc	mg/L	0,0038	<0,0026	<0,0026	<0,0026	<0,0026	3	3

La tabla 12 presenta los resultados de los análisis realizados en las fuentes de captación y reservorios de tres JASS de la microcuenca. Las dos captaciones de la JASS Ichoca (JICH-01 y JICH-02) presentan altas concentraciones de aluminio (Al), superando en casi dos veces los LMP del Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano. Además, se ha identificado la presencia de hierro (Fe) en las dos captaciones, ambos puntos superan en casi dos veces los valores establecidos en los ECA en la Categoría A 1<sup>22</sup> y los LMP.

20 Se presentan los promedios de los resultados del análisis de agua realizado en época de lluvia en 2023 y en época seca en 2024.

21 Se presentan los promedios de los resultados del análisis de agua realizado en época de lluvia en 2023 y en época seca en 2024. Los puntos son los siguientes: JCY-01(entrada del reservorio) y JCY-02 (salida del reservorio) de la JASS Coyllur, JICH-01 y JICH-02 son captaciones de la JASS Ichoca, el punto JJN-02 pileta de una casa abastecida para la JASS Jancu se tomó este punto porque no se tuvo las facilidades para acceder a la infraestructura de conducción.

22 Categoría A1 agua que pueden ser potabilizadas con desinfección.

**Tabla 13. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua para consumo humano de cuatro puntos en la microcuenca del río Auqui <sup>23</sup>**

Ubicación		Microcuenca del río Auqui				ECA-A1	LMP
Punto de muestreo <sup>24</sup>		P7-01	JQ-01	JPQ-01	JPQ-02		
Fuente de muestra		Reservorio	Reservorio/ Quebrada	Caja rompe presión	Reservorio		
pH	Und. pH	10,83	7,225	6,37	6,67	6,5-8,5	6,5-8,5
CE	μ/cm	233	123	75,5	552	1.500	1.500
Aluminio	mg/L	0,581	0,327	0,081	0,0415	0,9	0,2
Arsénico	mg/L	0,00118	0,001905	<0,00010	<0,00010	0,01	0,01
Boro	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	2,4	1
Cadmio	mg/L	<0,00003	0,00005	0,000445	0,000365	0,003	0,003
Cobalto	mg/L	0,00039	0,00017	0,000865	0,00084		
Cobre	mg/L	0,01392	0,00251	0,00017	0,001135	2	2
Cromo	mg/L	0,0069	<0,0003	0,00305	0,0007	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,9067	0,55425	0,0101	0,01325	0,3	0,3
Manganeso	mg/L	0,00884	0,006995	0,030005	0,02738	0,4	0,4
Mercurio	mg/L	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	0,001	0,001
Plomo	mg/L	0,0181	0,0007	0,0025	0,00075	0,01	0,01
Zinc	mg/L	0,032	0,0037	0,02495	0,11205	3	3

Los análisis realizados en época seca revelan condiciones preocupantes en varios puntos críticos del sistema de abastecimiento de agua. En el reservorio P7-01 del sistema Ichoca-Coyllur<sup>25</sup> se registraron valores de pH superiores a los LMP, mientras que en el punto JPQ-01 (caja rompe presión de la JASS Paquishca) el pH se mantuvo ligeramente por debajo del estándar. Resulta significativo que en el punto JPQ-02 (agua de salida del reservorio) los valores se encontraban dentro de los rangos permitidos, lo que sugiere cierta capacidad de autorregulación del sistema.

Sin embargo, la situación más crítica se presenta con las concentraciones de hierro (Fe), donde el reservorio P7 del nuevo sistema de Ichoca-Coyllur supera en casi tres veces el LMP. Esta problemática se agrava en los puntos de la JASS Ichoca (JICH-01 y JICH-02), que exceden los límites en más de dos y cuatro veces respectivamente, mientras que en la JASS Queropampa (punto JQ-01) se observa un ligero exceso del LMP para hierro<sup>26</sup>. Estos hallazgos demuestran una afectación generalizada de la calidad del agua en los sistemas de abastecimiento durante el periodo seco, particularmente por la presencia elevada de hierro, lo que plantea serios desafíos para garantizar agua segura a la población.

También se analizaron tanto en época seca como época de lluvia diez fuentes de agua, entre riachuelos, ríos y canales usados para riego de cultivos y bebida de animales los resultados se presentan en las dos siguientes tablas:

23 Se presentan a continuación los promedios de los resultados del análisis de agua realizados durante la época de lluvias (2023) y la época seca (2024). Los puntos de muestreo fueron los siguientes: JCY-01 (entrada del reservorio) y JCY-02 (salida del reservorio) de la JASS Coyllur; JICH-01 y JICH-02, correspondientes a las captaciones de la JASS Ichoca; y JN-02, una pileta domiciliar abastecida por la JASS Jancu. En este último caso, el punto fue seleccionado debido a la imposibilidad de acceder a la infraestructura de conducción principal.

24 El punto P7-01 corresponde al reservorio del nuevo sistema de agua Ichoca-Coyllur. El punto JQ-01 hace referencia al reservorio de la JASS Queropampa. Por último, los puntos JPQ-01 y JPQ-02 se ubican en la caja rompe presión y en el reservorio de la JASS Paquishca, respectivamente.

25 Este sistema es una nueva infraestructura financiada por la Municipalidad Provincial de Huaraz, y comenzó a operar en julio de 2024 para abastecer de agua potable a los centros poblados de Queropampa, Coyllur e Ichoca. Sin embargo, en conversaciones con los pobladores, estos manifestaron que el suministro era insuficiente, especialmente durante la época de estiaje, por lo que se ven en la necesidad de continuar utilizando los sistemas de conducción anteriores.

26 El muestreo solo se realizó en época seca, ya que el sistema de agua potable fue construido e implementado en 2024.

**Tabla 14. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua para riego de cultivos y bebida de animales en la microcuenca del río Auqui**

Ubicación		Microcuenca del río Auqui					ECA-D1	ECA-D2
Punto de muestreo		P1	P2	P3	P4	P5		
Fuente de muestra		Canal	Riachuelo	Riachuelo	Quebrada	Quebrada		
pH	Und. pH	3,64	6,915	7,03	5,72	7,05	6,5-8,5	6,5-8,4
CE	μ/cm	251	63,05	58	82	90	2.500	5.000
Aluminio	mg/L	3,093	0,075	0,5845	1,024	1,042	5	5
Arsénico	mg/L	<0,00010	0,000545	0,000885	0,00114	0,004535	0,1	0,2
Boro	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	1	5
Cadmio	mg/L	0,000985	0,000035	0,000185	0,00042	0,00006	0,01	0,05
Cobalto	mg/L	0,022855	0,00009	0,00367	0,005235	0,00041	0,05	1
Cobre	mg/L	0,003915	0,00039	0,00078	0,002515	0,002955	0,2	0,5
Cromo	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,1	1
Hierro	mg/L	1,29045	0,31525	0,19235	0,324	1,20885	5	N,A,
Manganeso	mg/L	0,61424	0,013325	0,10295	0,160095	0,01309	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	0,001	0,001
Plomo	mg/L	0,00535	<0,0006	0,00075	0,0009	0,00135	0,05	0,05
Zinc	mg/L	0,2633	0,00405	0,0432	0,08915	0,00315	2	24

En la tabla 14 se presentan los promedios obtenidos de los resultados en época seca y de lluvia correspondientes a los siguientes puntos de monitoreo: P1, ubicado en el canal Shallap-Huapish-Toclla (muestra tomada cerca del sector Jancu Grande); P2, en la quebrada Ichicollqui; P3, en la quebrada Huayte; P4, en la quebrada Llecwa Ruri; y P5, en la quebrada Irwa.

Los resultados para el canal Shallap-Huapish-Toclla evidencian un pH ácido, fuera del rango establecido para las subcategorías D1 y D2 de la categoría 3 del estándar de calidad ambiental (ECA) para riego de vegetales y agua para bebida de animales, respectivamente. Asimismo, este punto presenta una concentración de manganeso que triplica los valores permitidos por la normativa vigente en dicha categoría.

En la tabla 15, se detallan los promedios de las evaluaciones de calidad del agua, realizadas tanto en época seca como en época de lluvia, para seis puntos adicionales: P6, ubicado en la quebrada Irwa 2; P18, en la quebrada Paquishca; P9, en la captación del canal Auqui-Tacllan (ubicado en Coyllur); P8, en la quebrada Quinchup; P7, en la quebrada Parapu; y finalmente, el CPA-P10, en el río Auqui, en el punto de captación de agua para el canal Paquishca-Queropampa (tabla 15)..

**Tabla 15. Resultados de análisis de los principales parámetros de calidad de agua para riego de cultivos y bebida de animales en la microcuenca del río Auqui**

Ubicación		Microcuenca del río Auqui						ECA-D1	ECA-D2
Punto de muestreo		P6	P18	P9	P8	P7	CPA-P10		
Fuente de muestra		Riachuelo	Quebrada	Río	Río	Riachuelo	Río		
pH	Und. pH	7,19	6,755	3,84	7,04	7,63	3,82	6,5-8,5	6,5-8,4
CE	μ/cm	75,5	194,5	342	176	66	486,5	2.500	5.000
Aluminio	mg/L	0,407	0,35	2,612	1,4165	3,479	2,564	5	5
Arsénico	mg/L	0,001345	0,004995	0,00068	0,0044	0,00788	0,0008	0,1	0,2
Boro	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,0075	<0,006	<0,006	1	5
Cadmio	mg/L	0,0001	<0,00003	0,00088	0,00008	0,00004	0,000835	0,01	0,05
Cobalto	mg/L	0,000925	0,00035	0,02451	0,004095	0,00072	0,024435	0,05	1
Cobre	mg/L	0,000405	0,001735	0,005575	0,003165	0,0054	0,00522	0,2	0,5
Cromo	mg/L	0,001	0,00045	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,1	1
Hierro	mg/L	0,3467	0,66225	2,5032	1,54065	2,2613	2,81065	5	N,A,
Manganeso	mg/L	0,050015	0,014015	0,75576	0,492495	0,01922	0,76633	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	<0,00009	0,001	0,001
Plomo	mg/L	<0,0006	<0,0006	0,00385	0,00115	0,0024	0,0037	0,05	0,05
Zinc	mg/L	0,01585	<0,0026	0,2344	0,01095	<0,0026	0,23975	2	24

Los puntos P9 (captación del canal Auqui-Tacllan) y CPA-P10 (río Auqui) presentan valores de pH ácidos, muy por debajo de los rangos establecidos para la categoría 3 del ECA, correspondiente al riego de vegetales y al abastecimiento de agua para bebida de animales. Además, ambos puntos exceden los límites permitidos de manganeso: el primero casi cuadruplica el valor máximo, mientras que el segundo lo duplica.

Dada la importancia del río Auqui para la zona, se compararon también los resultados del punto CPA-P10 con los valores establecidos para la categoría A1 del ECA, que corresponde a aguas aptas para potabilización con tratamiento convencional. En este caso, se observó que el contenido de aluminio (0,9 mg/L) supera en casi tres veces el valor permitido, mientras que la concentración de hierro (0,3 mg/L) excede el límite en nueve veces. Asimismo, el contenido de manganeso (0,4 mg/L) también supera ligeramente el valor establecido.

Debido al incumplimiento de la normativa nacional en tres categorías distintas (uso doméstico, riego de cultivos y consumo animal), se concluye que estas aguas no son aptas para ninguno de estos fines.

## 7.4. Elementos expuestos al Drenaje ácido de roca

Como se ha descrito en la sección anterior, el DAR afecta la calidad del agua a lo largo de las microcuencas de Quillcayhuanca y Shallap, desde las zonas altas hasta los centros poblados, debido a su desplazamiento por la subcuenca<sup>27</sup>. Ante esta situación, resulta fundamental identificar qué elementos están expuestos a la contaminación por el DAR.

El análisis se centró en la microcuenca del río Auqui, identificada como la zona de mayor impacto potencial, donde se ubican los centros poblados de Jancu, Paquishca, Queropampa, Coyllur e Ichoca, junto con

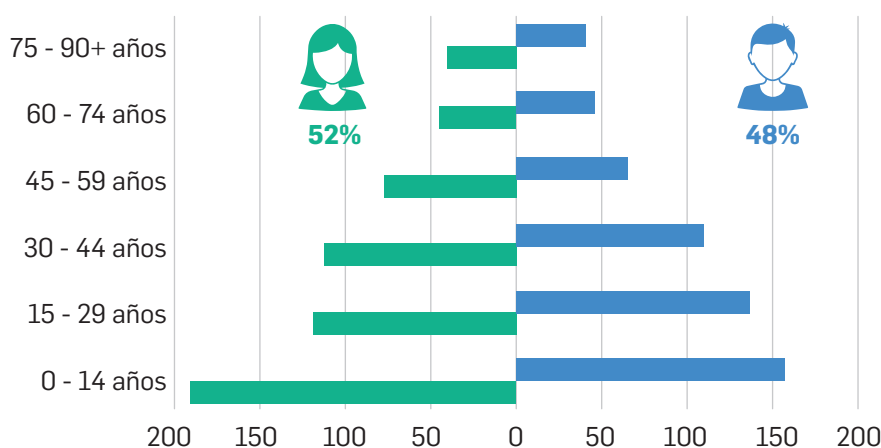
<sup>27</sup> Las aguas de las microcuencas Quillcayhuanca y Shallap se unen para formar el río Auqui, el cual fluye hasta el sector de Nuevo Florida, donde se encuentra con el río Paria. A partir de esta confluencia se forma el río Quillcay, que atraviesa la ciudad de Huaraz y desemboca en el río Santa.

sus respectivos caseríos y anexos. En cuanto a las áreas agrícolas, se consideraron los bloques de riego identificados en la zona: Shallap-Huapish-Toclla, Paquishca-Queropampa, Auqui-Taclán (ver figura 17).

### 7.4.1. Población expuesta

En la margen izquierda del río Auqui se ubican cinco centros poblados y sus respectivos anexos: Ichoca, Coyllur, Paquishca, Queropampa y Jancu. La población total asciende a 1.128 habitantes, siendo Ichoca-Coyllur el centro poblado con mayor concentración, albergando el 72% del total. En contraste, Jancu es el menos poblado, con solo el 5%. En cuanto a la distribución por género, se observa una mayor proporción de mujeres respecto a los hombres. Por su estructura etaria, la población se caracteriza por ser mayoritariamente joven, con una presencia significativa de personas en edad de trabajar (mayores de 14 años).

**Figura 18. Distribución de la población en la microcuenca del río Auqui**



Nota: Elaboración propia con los datos del Midis (2024).

En cuanto al nivel educativo de los jefes de hogar, el 28% cuenta con educación primaria incompleta, el 18% ha culminado la primaria, y el 15% presenta secundaria incompleta. En menor proporción, se registra también educación superior no universitaria incompleta.

**Tabla 16. Nivel educativo alcanzado por el jefe del hogar**

Nivel educativo alcanzado por el jefe del hogar	Porcentaje de respuesta
Sin educación	19
Educación primaria incompleta	29
Educación primaria completa	18
Educación secundaria completa	16
Educación secundaria incompleta	15
Educación superior no universitaria incompleta	2
Educación superior no universitaria completa	1

Nota: Elaboración propia con datos del Midis (2024).

En relación con la oferta de servicios educativos, se han identificado tres instituciones de nivel primaria<sup>28</sup>. Además, existen dos jardines de nivel A2 y cinco centros de educación inicial del Programa No Escolarizado (UGEL, 2023). No se cuenta con centros educativos de nivel secundario, por lo que los estudiantes deben trasladarse hasta la ciudad de Huaraz para continuar sus estudios.

#### 7.4.2. Acceso a servicios básicos

El acceso a servicios básicos es limitado. Solo el 49% de la población accede al servicio de agua potable a través de red pública o pilón, mientras que apenas el 28% de las viviendas cuenta con desagüe mediante red pública o pozo séptico. Es decir, menos de la mitad de la población dispone de servicios adecuados de agua y saneamiento.

**Tabla 17. Porcentaje de viviendas con acceso a servicios básicos por centro poblado**

Centros poblados	Porcentaje de viviendas con acceso a agua potable (%)	Porcentaje de viviendas con saneamiento o pozo séptico (%)	Porcentaje de viviendas con electricidad (%)	Porcentaje de viviendas que usan gas para cocinar (%)
Ichoca-Coyllur	49	35	51	10
Paquishqa	51	16	43	5
Queropampa	52	21	51	4
Jancu	42	4	44	2

Nota: Elaboración propia con datos del Midis (2024).

En general, el 49% de las viviendas cuenta con electricidad en su interior, mientras que solo el 8% utiliza gas para cocinar. En ese sentido, la mayoría de los pobladores recurre a otras fuentes de energía. Por último, el 40% de las viviendas tiene acceso a servicios de telefonía fija o móvil.

#### 7.4.3. Recursos sociales

Las organizaciones más importantes son dos comunidades campesinas: Cahuide y Pedro Pablo Atusparia. Sus territorios se ubican en las zonas medias y altas de la microcuenca del río Auqui, abarcando tanto tierras agrícolas como pastizales naturales.

En cuanto a la gestión hídrica, se han identificado: cinco JASS<sup>29</sup>, responsables del abastecimiento de agua para uso doméstico. Así como tres comités de usuarios para riego agrícola: comité del canal Shallap-Huapish-Toclla<sup>30</sup>, el comité de usuarios del canal Paquishca-Queropampa y, por último, el comité de usuarios del canal Auqui-Tacllán-Picup.

28 Las instituciones educativas 86003, Virgen de Fátima, ubicada en Coyllur-Queropampa; 86079, en el centro poblado de Ichoca; y 86696, en el centro poblado de Jancu, brindan servicio educativo en la zona. La escuela más alejada de la ciudad de Huaraz es el centro educativo Plumita de Oro, ubicado en Jancu. Debido al mal estado de la carretera sin asfaltar (ruta AN-1182) y a la escasa población en las zonas altas, no llega transporte público hasta Jancu. Por ello, los docentes que provienen de Huaraz deben caminar desde Paquishqa por aproximadamente una hora.

29 Durante el trabajo de campo, se identificaron las siguientes juntas administradoras de servicios de saneamiento (JASS): JASS Paquishca, JASS Queropampa, JASS Jancu, JASS Nuevo Amanecer-Ichoca y JASS Luz Esperanza-Coyllur.

30 Este comité está organizado en diferentes sectores como censo, Ichoca, Huapish, Parapu, entre otros.

Los resultados de las encuestas muestran que los niveles de participación más altos se observaron en las JASS y los comités de regantes, con tasas del 17% y 12% respectivamente. Incluso, un 19% de los encuestados participa en ambas organizaciones.

La activa participación en organizaciones sociales que gestionan los recursos hídricos es un indicador del significado y valor que el agua posee para las comunidades rurales. El acceso a agua de calidad tanto para uso doméstico, como para la agricultura, condiciona la vida de las comunidades.

#### 7.4.4. Infraestructura de riego

En la microcuenca del río Auqui, se han identificado tres bloques de riego con sus respectivos canales de riego: Shallap-Huapish-Toclla, Paquishca-Queropampa y Auqui-Tacllán (**ver figura 17**).

Se han observado marcadas diferencias en la infraestructura de riego. El canal Shallap-Huapish-Toclla tiene una longitud de 22 kilómetros y su construcción y mejoras se han extendido por más de cuarenta años, iniciándose en 1974. Debido a la magnitud del proyecto, su ejecución se realizó en varias etapas, que culminaron en 2015. En la actualidad, la infraestructura consta de una captación desviada de la margen izquierda del río Shallap, un canal trapezoidal de concreto, dos sifones invertidos, dos trasvases aéreos, tuberías enterradas y diversas compuertas<sup>31</sup>.

El sistema abastece desde aguas abajo de la captación en Jancu hasta el final de la tubería de conducción en la zona de Campanayoc, donde el agua es conducida por un canal rústico de tierra para irrigar parcelas ubicadas en la zona de Toclla. Se han identificado 18 sectores que se desprenden del sistema principal de canales y ductos, cada uno representado en el comité rector del canal. En total, el sistema cuenta con 480 usuarios de agua<sup>32</sup>.

El bloque Paquishca-Queropampa, que capta agua del río Auqui, está conformado por 258 usuarios y 362 predios agrícolas, con un área total de 45 hectáreas y 43 hectáreas bajo riego. El riego se realiza a través del canal principal de Paquishca, que tiene una longitud de 3 kilómetros y una capacidad de conducción aproximada de 24 litros por segundo. Este canal es completamente de tierra y de sección irregular, al igual que sus canales laterales (Mallqui, 2014, p. 87).

Durante el trabajo de campo realizado en 2024<sup>33</sup>, se constató que se está realizando el mejoramiento del canal, con una inversión de 3.196.000 soles, ejecutada por la Municipalidad Provincial de Huaraz<sup>34</sup>. El objetivo es incrementar la producción agrícola de diversos cultivos: se proyectan 15 hectáreas para pastos, 11 para papa, 4 para arveja, 5 para trigo y 8 para maíz, sumando un total de 43,23 hectáreas (Valdez y Antúnez, 2023, p. 212).

El bloque de riego Auqui-Tacllán está conformado por 340 usuarios y 445 predios agrícolas, con un área bajo riego de 120 hectáreas. El riego se realiza mediante el canal principal Auqui-Tacllán, que tiene una longitud de 7,7 kilómetros y una capacidad de conducción aproximada de 60 litros por segundo. Solo el tramo inicial del canal, de 5 metros, está revestido. El resto es de tierra. Además, existe una tubería derivadora que capta las aguas del canal Auqui-Tacllán y atraviesa la ciudad de Huaraz hasta el sector de La Florida, en la cordillera Negra (Mallqui, 2014, p. 96).

31 Información basada en el recorrido de campo para el diagnóstico de infraestructura de riego.

32 Comunicación personal con el presidente del canal, febrero de 2024.

33 En setiembre de 2024, los trabajos de mejoramiento del canal se encontraban paralizados. En una entrevista con el presidente del canal, este manifestó que era necesaria una ampliación del presupuesto, la cual estaba siendo gestionada ante la Municipalidad Provincial de Huaraz.

34 Proyecto de inversión «Mejoramiento del servicio de agua para riego Paquishca-Querupampa en el centro poblado de Coyllur, distrito de Huaraz, provincia de Huaraz-Áncash». Sistema de Seguimiento de Inversiones, 2024.

Sin embargo, la bocatoma no funciona adecuadamente, ya que la ventana de captación quedó por encima del nivel del agua del río Auqui. Asimismo, el canal no está revestido, lo que ocasiona pérdidas por filtraciones, y se encuentra colmatado en varios sectores (Mallqui, 2014, p. 97).

Estas diferencias en la infraestructura para la conducción del agua de riego influyen directamente en el acceso al recurso. Debido al estado óptimo del canal Shallap-Huapish-Toclla, los comités de usuarios pueden regar sus parcelas durante todo el año, favoreciendo principalmente el cultivo de papa, pastos y hortalizas. En cambio, el canal Paquishca-Queropampa, que se encuentra en construcción, no está disponible para el riego, lo que obliga a los usuarios a buscar fuentes alternas para sus cultivos<sup>35</sup>.

Por su parte, el canal Auqui-Tacllán, cuya captación se ubica en Coyllur y atraviesa zonas urbanas, presenta además áreas afectadas por deslizamientos y contaminación biológica de fuentes hídricas (Mallqui, 2014, p. 98). Por ello, su uso es ocasional y, de hecho, solo se utiliza durante algunos meses en la época de estiaje<sup>36</sup>.

#### 7.4.5. Infraestructura de conducción de agua para consumo humano

En el ámbito rural de la microcuenca del río Auqui, operan cinco JASS que no cuentan con licencia de uso de agua otorgada por la ANA. Estas JASS brindan el servicio de agua a los centros poblados de Jancu, Paquishca, Queropampa, Coyllur e Ichoca<sup>37</sup>.

**Tabla 18. Fuentes de agua de las JASS de la microcuenca del río Auqui**

Nombre de la JASS	Fuente de agua	Tipo de fuente	Número de usuarios
JASS-Jancu	Puhirca	Subterránea-manantial de fondo	-
JASS-Paquishca	Manantial Paquishca	Subterránea-manantial de fondo	76
JASS-Queropampa	Irwa Lloclla	Superficial-río/quebrada riachuelo	100
JASS-Coyllur	Río Cojup	Superficial-río/quebrada riachuelo	120
JASS Ichoca-Nuevo Amanecer	Manantial Coyllur, quebrada Parapu	Superficial-río/quebrada riachuelo	145

En la microcuenca del río Auqui habitan 1097 personas (INEI, 2017) que dependen de las fuentes de agua de la zona para consumo y para realizar actividades domésticas como la preparación de alimentos, lavado de ropa e higiene. En los centros poblados con mayor número de habitantes, como Coyllur e Ichoca, hasta 2017 se captaba agua directamente del río Auqui para uso poblacional. Sin embargo, debido a disposiciones oficiales<sup>38</sup>, se prohibió el uso de estas aguas, lo que obligó a la población a buscar fuentes alternas para el abastecimiento de agua potable<sup>39</sup>.

35 Entrevistas con productores del sector de Paquishca, octubre de 2024.

36 El canal permanece seco la mayor parte del año. Solo en agosto de 2024 se constató que estaba funcionando.

37 El tratamiento del agua que emplean estas JASS consiste en limpieza, desinfección y cloración.

38 La Dirección Regional de Salud (Diresa) es la entidad pública que prohibió el uso de las aguas del río Auqui para consumo humano, debido a que estas no cumplían con los LMP establecidos para metales pesados.

39 Se realizaron entrevistas con los presidentes de las JASS de Ichoca y Coyllur, además de talleres participativos desarrollados en Ichoca y Paquishca en abril y mayo de 2025.

### 7.4.6. Sistemas de producción agropecuaria

En la microcuenca del río Auqui, los sistemas agropecuarios han estado profundamente influenciados por diversos procesos sociales e históricos (Kneib y De Lanversin, 2022). A partir de la reforma agraria de 1969, los ganaderos de ovinos y los agricultores de las zonas altas comenzaron a diversificar sus actividades económicas. Los movimientos migratorios hacia la ciudad, junto con el deterioro de las condiciones económicas y políticas del país, han llevado a que los pobladores combinen la actividad agrícola con otras ocupaciones, como la cría de animales menores, el turismo rural y el trabajo como mano de obra en el sector construcción (Kneib y De Lanversin, 2022). Sin embargo, la agricultura y la ganadería continúan siendo actividades fundamentales en el territorio.

#### Agricultura

Los principales cultivos incluyen papa, maíz cancha, trigo, oca, habas, olluco, cebada, quinua, alfalfa, mashua y hortalizas, con menor presencia de chocho, linaza, avena, cebolla y maíz choclo. Los agricultores practican rotación de cultivos y suelen sembrar múltiples variedades por temporada, destinando principalmente su producción al autoconsumo (solo el 13% combina autoconsumo con venta).

La estructura de tenencia de tierras refleja una agricultura familiar a 32% de productores posee menos de 0,25 hectáreas, 31% más de 1 hectárea, y 20% entre 0,25-0,5 hectáreas. Las prácticas agrícolas realizadas incluyen la utilización de fertilizantes orgánicos como humus, compost y biol. También se emplean pesticidas químicos, semillas mejoradas y fertilización química de suelo. La preparación del terreno generalmente es manual o con tracción animal (yunta), sin emplear maquinaria agrícola.

#### Ganadería

La caracterización de la actividad ganadera<sup>40</sup> en la zona priorizada del estudio de la subcuenca del Quillcay se elaboró a partir de las encuestas aplicadas a productores pertenecientes a los comités de usuarios de pastos naturales (CUP) de las quebradas Quillcayhuanca y Shallap, del centro poblado de Jancu, y de la Comunidad Campesina de Cahuide. Con base en esta información, se identificaron los siguientes aspectos relevantes.

El ganado vacuno en la zona se caracteriza por pertenecer a razas criollas, sin haber pasado por procesos de mejora genética ni tecnificación. Debido a su rusticidad, estos animales se adaptan con facilidad a condiciones climáticas adversas. Sin embargo, presentan bajos niveles de productividad. La crianza se desarrolla principalmente en las quebradas de Shallap y Quillcayhuanca, así como en parcelas familiares ubicadas en zonas altas y medias. Según lo reportado, el 24% de los productores cría su ganado en sus chacras; el 48%, en la quebrada de Quillcayhuanca y el 25%, en Shallap. Durante los periodos de parto y lactancia, el ganado es trasladado a las parcelas familiares, donde permanece entre uno y tres meses. Cabe resaltar que el 100% de los encuestados indicó no contar con infraestructura adecuada, como cobertizos o establos, para la crianza de sus animales.

40 La caracterización de la actividad ganadera en la zona se ha basado en Aguirre, C. (2023), en su tercer entregable de servicio titulado Coordinación de trabajo de campo de estudio de línea de base (Documento interno, no publicado, Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña). Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

La alimentación del ganado vacuno varía según el lugar de crianza. Aquellos que permanecen en las quebradas se alimentan principalmente de pastos naturales, forrajes y, ocasionalmente, de suplementos vitamínicos, los cuales se administran solo durante los procesos de desparasitación. En cambio, el ganado criado en parcelas familiares consume pastos cultivados, como alfalfa, avena y *ray grass*.

Las fuentes de agua también dependen del entorno de crianza: el ganado en las quebradas accede al agua proveniente de los ríos Shallap y Quillcayhuanca, mientras que los animales en parcelas se abastecen de puquiales o acequias cercanas.

Por su parte, la crianza del ganado ovino se realiza de forma extensiva, sin procesos de mejoramiento genético. Se trata mayoritariamente de ovinos criollos, valorados por su rusticidad, resistencia a enfermedades, adaptación a climas fríos y tolerancia a sequías. El promedio de cabezas por productor es de 128 ovinos, aunque en zonas como Jancu —reconocida por su vocación ganadera— algunos criadores superan las 200 cabezas.

Según las encuestas realizadas, el 67% de los productores cría a sus ovinos en sus propias unidades productivas; el 20%, en la quebrada de Quillcayhuanca y el 13%, en Shallap.

La alimentación del ganado ovino en la microcuenca se basa principalmente en el uso de pastos naturales y cultivados. En el sector de Jancu, por ejemplo, los ovinos se alimentan mayormente de pastos naturales como ichu, calamagrostis, bromus, festuca entre otros. Entre los pastos cultivados más utilizados destacan la avena forrajera, rye grass y la alfalfa. En este contexto, los pastizales constituyen la fuente principal de alimentación del ganado, siendo complementadas ocasionalmente con suplementos vitamínicos.

En cuanto al acceso al agua, los ovinos se abastecen principalmente de canales de riego, puquiales y ríos. En el caso específico de Jancu, el ganado ovino suele beber de filtraciones naturales, y en algunas ocasiones de las quebradas Quillcayhuanca y Shallap.

Tanto la crianza del ganado vacuno como del ovino es realizada por algún integrante del núcleo familiar. La esposa o madre de familia desempeña un rol fundamental en las labores de cuidado y pastoreo, mientras que el varón participa principalmente en actividades específicas como la desparasitación, esquila y marcación. Los encuestados señalaron no haber recibido ningún tipo de capacitación ni asistencia técnica, lo que repercute negativamente en la productividad ganadera de la zona.

La producción de carne y leche se destina principalmente al autoconsumo familiar. El excedente se emplea para la alimentación de las crías, la elaboración de derivados lácteos y, en menor medida, para la venta de leche fresca. En ese sentido, puede deducirse que la leche representa uno de los principales aportes a la seguridad alimentaria, especialmente en la zona de Jancu. En cuanto a la carne, tanto de ganado vacuno como ovino, también está orientada mayoritariamente al consumo familiar, constituyendo una importante fuente de proteínas para la población.

El comercio vinculado a la actividad ganadera se basa principalmente en la venta de ganado ovino en pie, leche fresca, queso y ganado vacuno en pie. Según las encuestas realizadas, el 50% de los productores comercializa sus productos en el mercado agropecuario de Challhua, en la ciudad de Huaraz. Un 12% lo hace en el mercado local<sup>41</sup>, el 17% vende a través de acopiadores, mientras que el 21% destina su producción exclusivamente al autoconsumo.

41 El mercado local comprende las actividades de venta de bienes y productos dentro del ámbito territorial de la microcuenca del río Auqui.

## 8. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

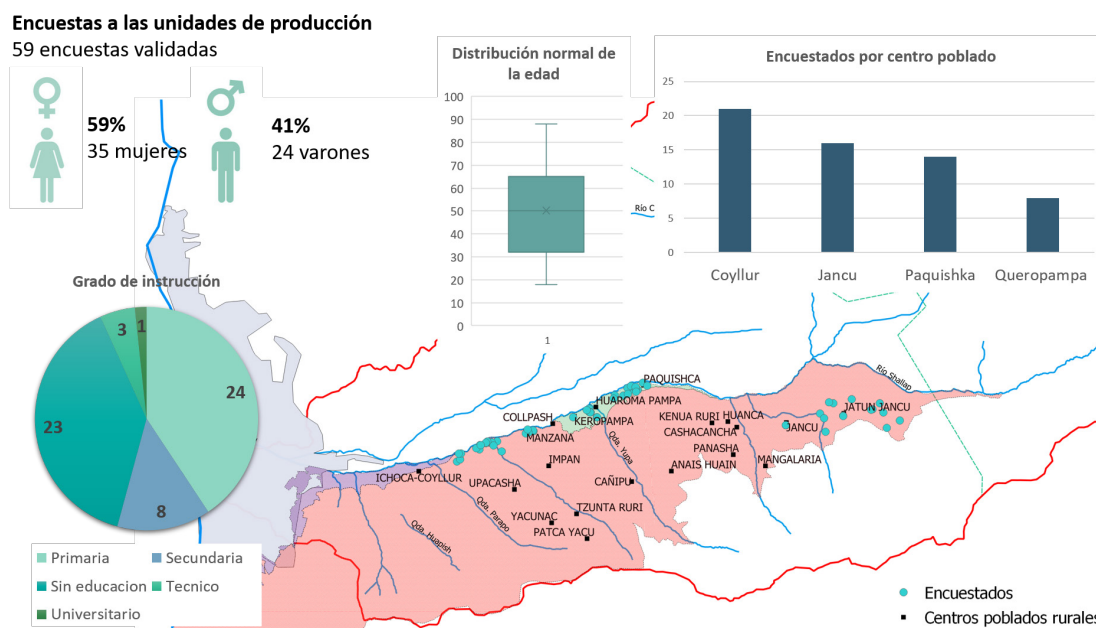
En esta sección se presentan los resultados del análisis de vulnerabilidad del sistema expuesto al peligro del DAR. En particular, se identifica el nivel de vulnerabilidad de la población y sus medios de vida, considerando factores como la sensibilidad, así como la capacidad de respuesta y adaptación de las comunidades. Este análisis permitirá definir acciones prioritarias orientadas a reducir la exposición de la población y proteger sus medios de vida.

### 8.1. Indicadores de vulnerabilidad

Para el procesamiento y análisis de los indicadores de vulnerabilidad definidos en el diseño de la investigación, se emplearon fuentes de información tanto primarias como secundarias. Las fuentes primarias corresponden a los datos obtenidos mediante encuestas aplicadas a las unidades de producción familiar<sup>42</sup>.

El resumen del análisis de las principales variables estadísticas de carácter descriptivo se presenta en la siguiente figura:

**Figura 19. Variables descriptivas de las encuestas realizadas**



Las fuentes secundarias incluyen las solicitudes de información dirigidas a las entidades públicas competentes en cada área temática<sup>43</sup>, así como los datos recolectados de las plataformas de datos abiertos de estas entidades.

<sup>42</sup> Se aplicaron un total de 60 encuestas, de las cuales 59 fueron validadas para el análisis. El trabajo de campo se desarrolló de agosto a octubre de 2023.

<sup>43</sup> Se solicitó y recibió información de diversas instituciones, entre ellas la Dirección Regional de Salud de Áncash (Diresa), el Centro de Salud de Nicrupampa-Red de Salud Huaylas Sur, la Unidad de Gestión Educativa Local (UGEL Huaraz), la Administración Local del Agua (ALA Huaraz) y el Parque Nacional Huascarán (PNH).

Tras identificar las principales fuentes de información, se establecieron rangos de valoración para cada indicador de vulnerabilidad, determinando de manera práctica el nivel de vulnerabilidad asociado a cada valor del indicador. A continuación, se describen con detalle los procedimientos empleados para la cuantificación de estos indicadores.

## 8.2. Indicadores de sensibilidad

### 8.2.1. Sensibilidad de la población

En total, la población que habita en las áreas de alto y muy alto impacto potencial por el DAR en la zona priorizada de la subcuenca del río Quillcay (sectores aledaños al río Auqui) asciende a 1.128 personas. Las principales características demográficas de este grupo poblacional se describen en la sección anterior (ver sección 7.4.1 Población expuesta). Para cuantificar los rangos de sensibilidad de esta población, se tomaron como referencia los clasificadores del INEI, así como los factores socioeconómicos que orientan el significado de los indicadores de vulnerabilidad. La **tabla 27** presenta un resumen del sentido asignado a cada indicador para la cuantificación de la sensibilidad poblacional, junto con los resultados obtenidos en el análisis de datos.

Respecto a la estructura de la población, el 45% de los habitantes expuestos al peligro por el DAR pertenecen a los grupos etarios más vulnerables, como niños y adultos mayores. En cuanto al acceso a servicios de salud, la zona cuenta solo con dos centros de salud de categoría I-1, lo que indica un alto nivel de sensibilidad en este aspecto.

Para evaluar la sensibilidad relacionada con el nivel educativo, se consideró el grado de instrucción de los jefes de hogar. Así, el 45% de ellos tiene educación limitada a nivel primario, ya sea completo o incompleto.

Además, para medir la sensibilidad poblacional se tomó en cuenta el acceso a servicios básicos como agua, saneamiento y electricidad, con base en una encuesta realizada a 531 viviendas dentro del ámbito de intervención. De estas viviendas, el 50% dispone de agua potable proveniente de red pública o pilón, el 29% tiene saneamiento mediante red pública o pozo séptico, y el 50% cuenta con electricidad.

Los resultados de este análisis se resumen en la siguiente tabla, con los datos destacados en negrita.

**Tabla 19. Criterios de valoración para los indicadores de sensibilidad de la población.**

Sentido del indicador	Rangos de sensibilidad			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy alto (4)
Estructura de la población: determinados grupos etarios de la población son más sensibles a las amenazas relacionadas al cambio climático.	De 15 a 29 años (adolescentes y jóvenes)	De 30 a 44 años (adultos jóvenes)	De 45 a 59 años (adultos)	<b>De 0 a 14 años (niños) y de 60 años más (adultos mayores)</b>
Salud: centros de salud más especializados disminuyen la sensibilidad.	Al menos 1 establecimiento II-1 y II-2, I-3	Al menos 1 establecimiento I-2	<b>Al menos 1 establecimiento I-1</b>	Sin establecimiento
Educación: un mayor grado de instrucción facilita el acceso a información para enfrentar la amenaza relacionada con el cambio climático.	Superior universitaria y no universitaria	Secundaria completa e incompleta	<b>Primaria completa e incompleta</b>	Sin educación
Acceso a servicios: un mayor acceso a servicios de agua potable disminuye la sensibilidad de la población expuesta.	<= 25% de hogares sin servicio	<b>50% a 26% de hogares sin servicio</b>	De 75% a 51% de hogares sin servicio	> 75% de hogares sin servicio
Acceso a servicios: un mayor acceso a servicios de saneamiento disminuye la sensibilidad de la población expuesta.	<= 25% de hogares sin servicio	50% a 26% de hogares sin servicio	<b>De 75% a 51% de hogares sin servicio</b>	> 75% de hogares sin servicio
Acceso a servicios: un mayor acceso a electricidad disminuye la sensibilidad de la población expuesta.	<= 25% de hogares sin servicio	<b>50% a 26% de hogares sin servicio</b>	De 75% a 51% de hogares sin servicio	> 75% de hogares sin servicio

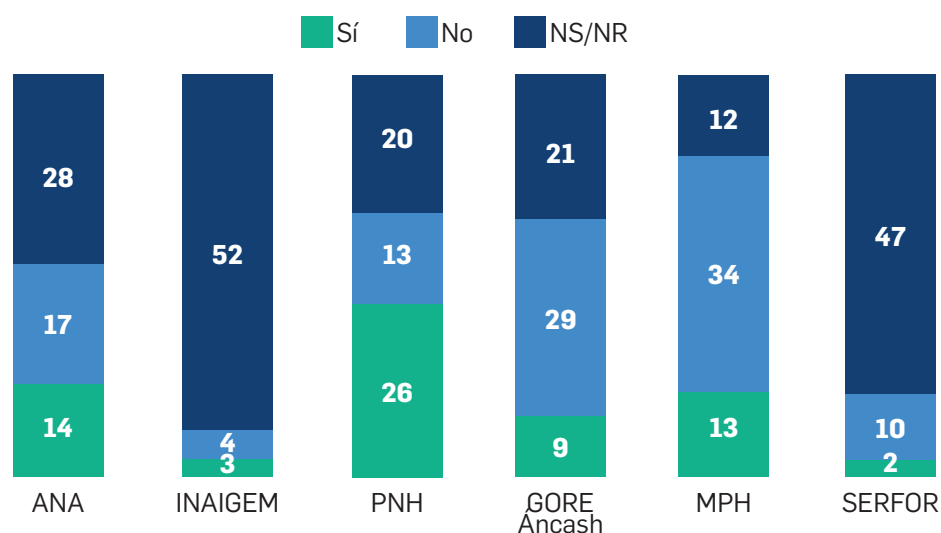
A partir del análisis de los indicadores relacionados con la estructura poblacional, salud, educación y acceso a servicios básicos, se identificó que la sensibilidad de la población frente al peligro por el DAR es alta.

## 8.2.2. Sensibilidad institucional

La sensibilidad institucional se refiere a los procesos políticos e institucionales que condicionan la vulnerabilidad del sistema expuesto al peligro por el DAR. En este estudio, se consideran dos indicadores para medir esta sensibilidad: primero, la percepción de la población sobre las instituciones públicas relacionadas con la gestión del riesgo asociado al cambio climático y la gestión hídrica; y segundo, el Índice de Corrupción e Inconducta Funcional (INCO), elaborado anualmente por la Contraloría General de la República<sup>44</sup>.

Para este análisis, se consideraron las instituciones vinculadas a la gestión del riesgo asociado al cambio climático y a la gestión hídrica, como el GORE Áncash, la ANA, el Inaigem, el Programa Nacional de Conservación de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (PNN), a través del Sernanp, el Serfor y la MPH. En la encuesta realizada a productores agropecuarios, el 81% de los participantes indicó que no confía en estas entidades o no las reconoce ni identifica (ver figura 21), lo que evidencia un nivel de vulnerabilidad institucional muy alto.

**Figura 20. Confianza de la población encuestada en las entidades públicas con injerencia local en la gestión de riesgo**



Por otro lado, según la evaluación de 2022 realizada por la Contraloría, las entidades públicas a nivel provincial en Huaraz presentan un INCO promedio de 63,8, lo que corresponde a un nivel alto de corrupción. Al analizar específicamente las instituciones vinculadas a la gestión del riesgo climático e hídrico, el GORE Áncash obtuvo el puntaje INCO más alto a nivel nacional, con 84,1, seguido por la ANA con 68,2, y la Municipalidad Provincial de Huaraz con 58.

La institución con el menor índice INCO es el Inaigem, con un puntaje de 20,2, como se muestra en la siguiente tabla.

44 Contraloría General de la República. (2023). Indicadores de la corrupción. <https://observatorioanticorruption.contraloria.gob.pe/indicadoresdecorrupcion/index.html>

**Tabla 20. Ranking de corrupción de entidades públicas vinculadas a la gestión del riesgo en el ámbito de interés**

Ranking nacional	Entidad pública	Puntaje INCO 2022
1	Gobierno Regional de Áncash	<b>84,1</b>
68	Autoridad Nacional del Agua	<b>68,2</b>
235	Municipalidad Provincial de Huaraz	<b>58</b>
559	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp)	<b>44</b>
901	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor)	<b>32,3</b>
1758	Instituto de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem)	<b>20,2</b>

Nota: Elaborado con datos de la Contraloría General de la República (2023).

En promedio, las instituciones evaluadas presentan un INCO de 51,1, lo que indica un nivel de vulnerabilidad media para el sistema expuesto al peligro por el DAR.

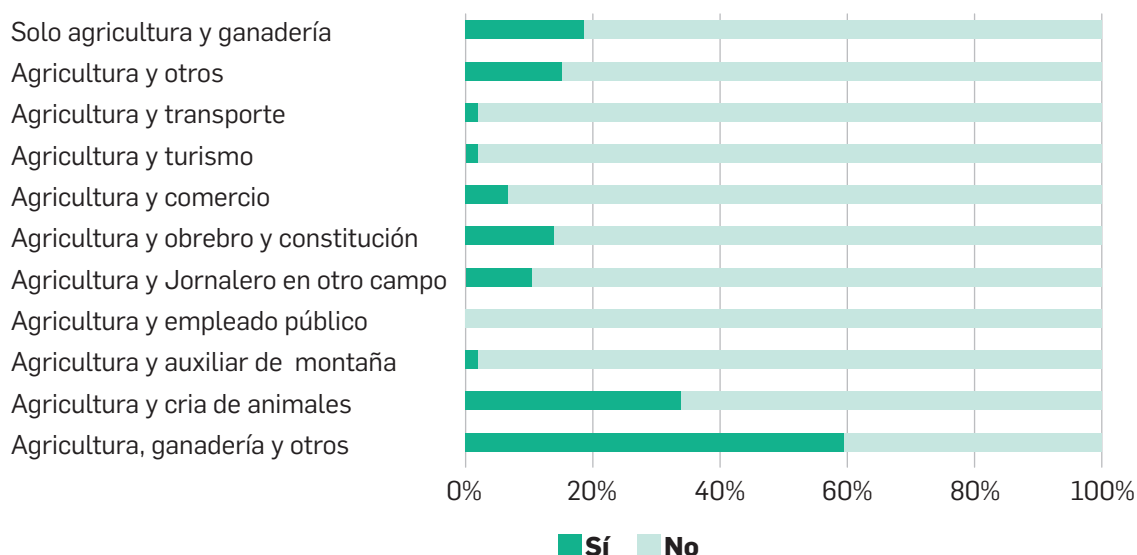
**Tabla 21. Rangos de valoración por los indicadores de sensibilidad institucional.**

Sentido del indicador	Rangos de sensibilidad			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy alto (4)
Confianza y reconocimiento: la confianza en las entidades públicas vinculadas a la gestión del riesgo disminuye la sensibilidad del sistema. Esta confianza está determinada por el nivel de reconocimiento que tienen estas entidades públicas ante la población.	<= 25% de la población no confía o reconoce la entidad pública	26% a 50% de la población no confía o reconoce la entidad pública	51% a 75% de la población no confía o reconoce la entidad pública	<b>&gt; 75% de la población no confía o reconoce la entidad pública</b>
Corrupción e inconducta funcional: un mayor nivel de corrupción e inconducta funcional genera una mayor sensibilidad a las amenazas climáticas.	<=30 puntos	31-60 puntos	61-75 puntos	>75 puntos

### 8.2.3. Sensibilidad de las actividades productivas

El público objetivo de las encuestas fueron productores agropecuarios, de los cuales el 100% se dedica a la agricultura. Sin embargo, al preguntar sobre otras actividades productivas, se evidenció una diversificación económica más allá de la ganadería y la crianza de animales menores. Entre estas actividades adicionales que aportan ingresos a las familias se encuentran el trabajo como jornaleros en otras chacras, labores como obreros de construcción, comercio y otros.

**Figura 21. Diversificación de actividades en el ámbito de estudio**



Las actividades agropecuarias son las más expuestas al peligro del DAR. Los resultados indican que solo el 22% de los participantes se dedica solo a la agricultura, ganadería y crianza de animales menores, lo que representa un nivel de sensibilidad bajo. Es importante destacar que, aunque estas actividades primarias constituyen una fuente de ingresos para las familias —que va desde muy importante hasta medianamente importante—, su nivel de relevancia disminuye cuando las familias diversifican sus actividades económicas.

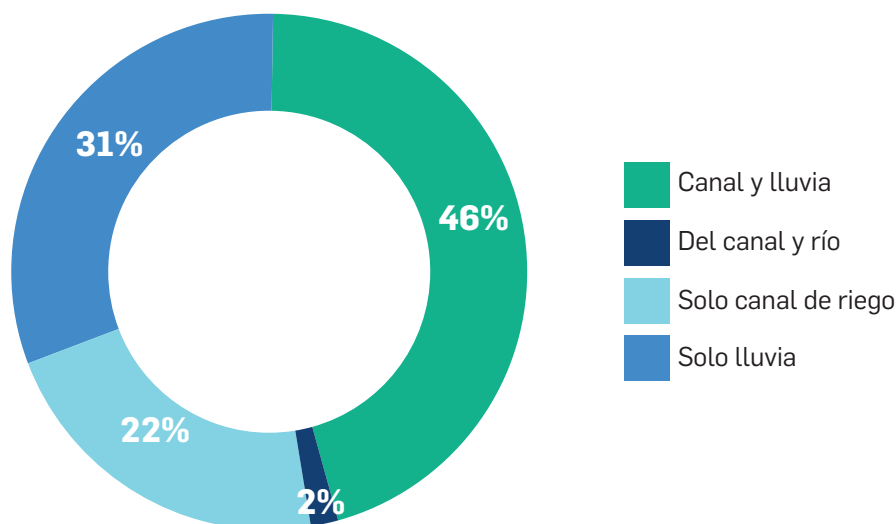
**Tabla 22. Rangos de valoración para los indicadores de dependencia agropecuaria**

Sentido del indicador	Rangos de sensibilidad			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy alto (4)
Dependencia agropecuaria: una alta dependencia a la producción agropecuaria aumenta la sensibilidad del sistema de estudio	<b>&lt;= 25% de la población que se dedica solo a la agricultura, ganadería y crianza de animales</b>	De 26% a 50% de la población que se dedica solo a la agricultura, ganadería y crianza de animales	De 51% a 75% de la población que se dedica solo a la agricultura, ganadería y crianza de animales	> 75% de la población que se dedica solo a la agricultura, ganadería y crianza de animales

### 8.2.4. Acceso a recursos hídricos

Según la encuesta realizada en el ámbito de intervención específico, el 30% de las tierras de cultivo se maneja en secano. Es decir, la producción depende solo de las lluvias estacionales. En cambio, el 70% restante cuenta con al menos un canal de regadío como fuente de agua, el cual está expuesto al peligro del DAR. Por lo tanto, el nivel de vulnerabilidad es alto debido a la dependencia directa de los recursos hídricos para la agricultura.

Figura 22. Fuentes de agua para riego de tierras agrícolas



En cuanto a los sistemas de producción concentrada, la ganadería se identifica como la actividad más representativa para este indicador. De los participantes encuestados, el 59% cría algún tipo de ganado (vacuno, ovino, porcino o equino). Entre estos productores ganaderos, el 40% depende al menos de una fuente de agua afectada por el DAR, lo que implica que el sistema presenta un nivel de vulnerabilidad media.

Tabla 23. Rangos de valoración para los indicadores de dependencia de recursos hídricos

Sentido del indicador	Rangos de sensibilidad			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy alto (4)
Agua para sistemas de producción dispersos: una alta dependencia de agua para el cultivo con riego aumenta la sensibilidad del sistema.	> 75% de cultivos con autonomía	De 51% a 75% de cultivos con autonomía	<b>De 26% a 50% de cultivos con autonomía</b>	<= 25% de cultivos con autonomía
Agua para sistemas de producción concentrados: una alta dependencia de agua para otros sistemas de producción aumenta la sensibilidad del sistema.	> 75% de centros de producción con autonomía	<b>De 51% a 75% centros de producción con autonomía</b>	De 26% a 50% centros de producción con autonomía	<= 25% centros de producción con autonomía

### 8.2.5. Seguridad alimentaria

Del total de participantes cuyos cultivos están directamente expuestos a las aguas ácidas de las quebradas de Quillcayhuanca o Shallap (n=41), el 78% produce principalmente para autoconsumo, mientras que el 22% restante destina su producción tanto al autoconsumo como a la venta. Por lo tanto, el nivel de vulnerabilidad del sistema alimentario es muy alto, dado que la mayor parte de la producción está destinada a la alimentación familiar (tabla 24).

**Tabla 24. Rangos de valoración para los indicadores de seguridad alimentaria**

Sentido del indicador	Rangos de sensibilidad			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy alto (4)
Seguridad alimentaria: una alta producción agropecuaria destinada para el autoconsumo aumenta la vulnerabilidad interna del sistema.	<= 25% producción para autoconsumo	De 26% a 50% producción para autoconsumo	De 51% a 75% producción para autoconsumo	<b>&gt; 75% producción para autoconsumo</b>

#### Resumen de los indicadores de sensibilidad

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos para los indicadores de sensibilidad de la población, sensibilidad institucional, actividades productivas, acceso a recursos hídricos y seguridad alimentaria.

**Tabla 25. Valoración de los indicadores de sensibilidad**

1. Sensibilidad de la población	Rangos de sensibilidad			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy alto (4)
Estructura de la población:				4
Salud			3	
Educación			3	
Acceso a servicios de agua potable		2		
Acceso a servicios de saneamiento			3	
Acceso a servicios de electricidad		2		
Total	0	4	9	4
Total acumulado	17			

2. Sensibilidad institucional	Rangos de sensibilidad			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy alto (4)
Confianza y reconocimiento				4
Corrupción e inconducta funcional		2		
Total	0	2	0	4
Total acumulado	6			
3. Actividades productivas	Rangos de sensibilidad			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy alto (4)
Dependencia agropecuaria	1			
Total acumulado	1			Sensibilidad baja
4. Acceso a recursos hídricos	Rangos de sensibilidad			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy alto (4)
Agua para sistemas de producción agrícola			3	
Agua para sistemas de producción ganadera		2		
Total	0	2	3	0
Total acumulado	5			Sensibilidad alta
5. Seguridad alimentaria	Rangos de sensibilidad			
	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)	Muy alto (4)
Seguridad alimentaria interna				4
Total	4			
Valor total	32			Sensibilidad alta

El valor total para la sensibilidad se determinó mediante la suma de los valores asignados a cada indicador. El resultado obtenido (32) se clasificó según la siguiente escala:

<b>Baja:</b> menor de 12
<b>Media:</b> entre 13 y 24
<b>Alta:</b> entre 25 y 36
<b>Muy alta:</b> entre 37 y 48

De este análisis se tuvo como resultado una sensibilidad alta al proceso del DAR.

## 8.3. Indicadores de capacidad de respuesta

### 8.3.1. Pobreza

Para el análisis de la capacidad de respuesta de las comunidades del ámbito de estudio, se ha considerado como referencia las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) de la población expuesta al DAR. Este indicador agrupa un conjunto de variables relacionadas con las condiciones estructurales de los hogares, como el hacinamiento, el acceso a desagüe, la dependencia económica, la infraestructura física inadecuada, el nivel educativo, entre otros. En consecuencia, a mayor número de carencias, mayor es el nivel de pobreza.

La información disponible sobre las NBI se encuentra a nivel distrital. En el ámbito rural del distrito de Huaraz, el 93% de los hogares presenta al menos una necesidad insatisfecha, lo que indica un nivel muy bajo de capacidad de respuesta. En total, 1.408 hogares (60,8%) registran al menos un NBI; 543 hogares (23,5%) tienen dos NBI; 176 hogares (7,6%) presentan tres NBI; y 33 hogares (1,4%) cuentan con cuatro o cinco NBI.

En cuanto a la relación de dependencia demográfica<sup>45</sup>, en el ámbito de estudio la tasa es del 74,3%, lo que representa una capacidad de respuesta baja para el sistema analizado, dado que una tasa de dependencia elevada implica una mayor carga para la población en edad de trabajar.

**Tabla 26. Rangos de valoración para los indicadores de privación socioeconómica**

Sentido del indicador	Rangos de sensibilidad			
	Alto (4)	Medio (3)	Bajo (2)	Muy Bajo (1)
Pobreza: un nivel alto de pobreza disminuye la capacidad de respuesta de la población ante los peligros climáticos.	<= 25% de hogares con una o más necesidades	De 50% a 26% de hogares con una o más necesidades	De 75% a 51% de hogares con una o más necesidades	<b>&gt; 75% de hogares con una o más necesidades</b>
Relación de dependencia demográfica: una alta tasa de dependencia representa una mayor carga para la población en edad de trabajar.	<= 25% tasa de dependencia	De 26% a 50% tasa de dependencia	<b>De 51% a 75% tasa de dependencia</b>	> 75% tasa de dependencia

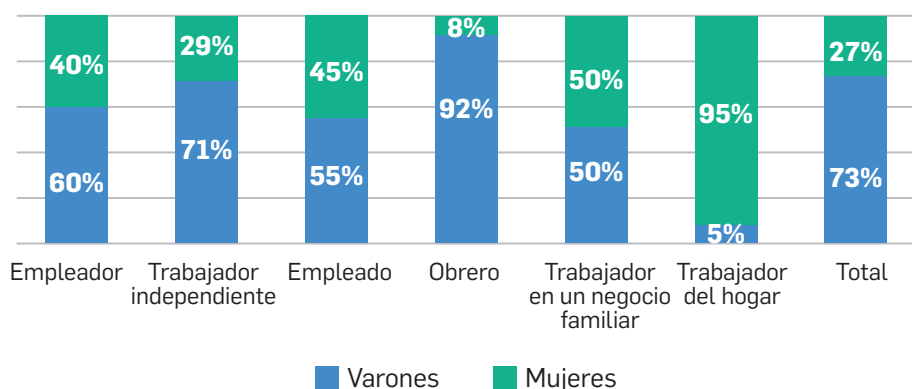
<sup>45</sup> La relación de dependencia demográfica corresponde al cociente entre la población dependiente —personas de 0 a 14 años y adultos mayores de 60 años— y la población en edad potencialmente activa, que comprende a individuos de 15 a 59 años (INEI, 2020).

### 8.3.2. Brechas de género

En un contexto de cambio climático, «cuando hombres y mujeres tienen iguales oportunidades, la familia tiene más probabilidad de salir adelante después de un evento climático extremo» (Mussetta et al., 2017, p. 130). En el Perú, la brecha de género favorece a los hombres en un 12,1% (Del Carpio y Avolio, 2023). Respecto a América Latina, el país presenta una de las brechas de género más altas en la región. A nivel nacional, la región Áncash destaca por su bajo desempeño en los indicadores de brechas de género en ingresos laborales (IPE, 2023), lo que indica que, más allá de la participación laboral femenina, las inequidades se manifiestan en las condiciones laborales, tales como el tipo de empleo, la calidad y el nivel de ingresos.

Para describir la importancia de este indicador en el estudio, se ha tomado como fuente de información los datos disponibles del INEI a nivel distrital y por ámbito. Así, en el ámbito rural del distrito de Huaraz, se observa que el 74% de la población en edad de trabajar (PET) son mujeres, mientras que el 73% de la población económicamente activa (PEA) son hombres. Sin embargo, se observa diferencias significativas en el tipo de empleo remunerado, es así que en caso de trabajador independiente el 71% son hombres, mientras que el 29% son mujeres. Esto evidencia una marcada desigualdad en la participación laboral, con una notable subrepresentación de las mujeres en el ámbito productivo, donde menos de un tercio de la participación laboral son población femenina. La única actividad en la que las mujeres registran una mayor participación es el trabajo no remunerado en el hogar, lo que refleja una división tradicional del trabajo y limita sus oportunidades económicas.

**Figura 23. Participación laboral en el ámbito rural del distrito de Huaraz, según el género**



Respecto a la agricultura, las mujeres representan el 47% de la mano de obra agrícola a nivel nacional. En la microcuenca del río Auqui, desempeñan un rol fundamental en actividades clave como la siembra, el mejoramiento del suelo y el pastoreo de ganado en las unidades de producción familiar (Kneib y De Lanversin, 2022).

Su trabajo no solo asegura la seguridad alimentaria de sus hogares, sino que también contribuye a la economía local, al estar a cargo de la huerta y el corral familiar, así como de la comercialización de excedentes agrícolas y de la siembra de hortalizas. Sin embargo, pese a su importante contribución, la participación laboral de las mujeres en el ámbito rural continúa siendo menos reconocida y valorada que la de los hombres, lo que evidencia una persistente brecha en el acceso a oportunidades, reconocimiento y cualificación en el trabajo agrícola.

En relación con los años promedio de escolaridad, los varones alcanzan mayores niveles educativos que las mujeres en todos los estratos sociales a nivel nacional. Esta brecha también se evidencia en el ámbito rural del distrito de Huaraz, donde, entre la población de 30 años a más, los hombres tienen un promedio de 7,7 años de estudios, mientras que las mujeres alcanzan solo 4,6 años.

**Tabla 27. Rangos de valoración para los indicadores de brechas de género**

Sentido del indicador	Rangos de sensibilidad			
	Alto (4)	Medio (3)	Bajo (2)	Muy Bajo (1)
Brechas de género: participación laboral femenina.	> 50%	50-40%	40-30%	<b>&lt;30%</b>
Brechas de género: promedio de años de escolarización.	<0.5 años de brecha	0,5-1 años de brecha	1-2 años de brecha	<b>&gt;2 años de brecha</b>

### 8.3.3. Gobernanza del riesgo

En el marco de este estudio, la gobernanza del riesgo se entiende como un enfoque orientado a institucionalizar los esfuerzos de reducción del riesgo, mediante la articulación de políticas públicas, arreglos institucionales y mecanismos de coordinación. Para el análisis de este factor de capacidad de respuesta, la gobernanza se concibe más como una forma de actuar que como un proceso formal. En ese sentido, los indicadores considerados se relacionan con la manera en que la población responde en función de su percepción y conocimiento del riesgo, así como con su interacción con las instituciones responsables de la gestión del mismo.

En cuanto al conocimiento del riesgo, si bien el 73% de las personas encuestadas manifestó haber oído hablar de las aguas ácidas provenientes de las quebradas de Quillcayhuanca y Shallap, solo el 16% ha recibido alguna charla o capacitación sobre el tema. Este resultado refleja una capacidad de respuesta baja por parte de la población frente al riesgo ambiental.

Respecto a la percepción del riesgo, se analizaron tanto los sistemas agrícolas como ganaderos. Entre los agricultores que utilizan agua de canales de regadío impactados por el DAR (n1=41), solo el 39% considera que dicha agua podría ser perjudicial para sus cultivos. Asimismo, entre quienes además poseen ganado (n2=35), únicamente el 37% cree que el agua consumida por sus animales podría afectar su salud. En conjunto, solo el 38% de los encuestados percibe el riesgo asociado al DAR, lo que refuerza la conclusión de que la capacidad de respuesta es baja.

En relación con la gestión del riesgo, el GORE Áncash cuenta con una partida presupuestaria específica denominada «Gestión de riesgos y emergencias» (meta 02), cuya ejecución, al cuarto trimestre de 2023, alcanzó el 76%. De este total, el 81,4% fue destinado a la adquisición de activos no financieros. A nivel local, la Municipalidad Provincial de Huaraz registra solo un proyecto o actividad relacionada con la gestión del riesgo de aluvión en la subcuenca del río Quillcay, el cual se encuentra dentro de la partida presupuestaria de orden público y seguridad. No se han identificado, sin embargo, proyectos ni actividades específicas orientadas a la gestión del riesgo por el DAR ni partidas presupuestarias asignadas para tal fin, lo que evidencia una capacidad de respuesta institucional muy baja frente a este tipo de riesgo.

Por otro lado, cuando se consultó a los funcionarios entrevistados si sabían que el DAR representa un peligro latente en algunas subcuencas de la cordillera Blanca, el 90% respondió que sí tiene conocimiento de la presencia de estas aguas ácidas. Sin embargo, no las reconocen como un riesgo vinculado al cambio climático. Además, admitieron que, hasta la fecha, no se vienen implementando acciones —ni directas ni indirectas— orientadas a la gestión del riesgo asociado al DAR, lo que refuerza la evidencia de una capacidad de respuesta institucional muy limitada frente a esta amenaza.

**Tabla 28. Rangos de valoración para los indicadores de la gobernanza del riesgo**

Sentido del indicador	Rangos de sensibilidad			
	Alto (4)	Medio (3)	Bajo (2)	Muy Bajo (1)
Percepción del riesgo: una población que percibe el riesgo tiene una mayor capacidad de respuesta al mismo.	> 75% de la población percibe el riesgo	De 51% a 76% de la población percibe el riesgo	<b>De 26% a 50% de la población percibe el riesgo</b>	<= 25% de la población percibe el riesgo
Identificación del peligro: reconocimiento del peligro para una mejor toma de decisiones.	<b>&lt;= 25% de la población no reconoce el peligro</b>	De 26% a 50% de la población no reconoce el peligro	De 51% a 75% de la población no reconoce el peligro	> 75% de la población no reconoce el peligro
Conocimiento del riesgo: capacitaciones en temas vinculados al peligro y riesgo climático.	> 75% población capacitada	De 51% a 75% población capacitada	De 26% a 50% población capacitada	<b>&lt;= 25% de la población capacitada</b>
Gestión del riesgo: planes/programas de reducción del riesgo climático.	> 75% ejecución	De 26% a 74% ejecución	<= 25% a 10% ejecución	<b>Sin planes ni programas</b>
Gestión del riesgo: presupuesto local destinado a la gestión del riesgo climático.	> 75% presupuesto	De 26% a 74% presupuesto	<= 25% a 10% presupuesto	<b>Sin presupuesto asignado</b>
Gestión del riesgo: conocimiento de los funcionarios públicos y tomadores de decisión sobre el riesgo climático.	> 76% funcionarios identifican el riesgo	De 51% a 75% funcionarios identifican el riesgo	De 26% a 50% funcionarios identifican el riesgo	<b>&lt;= 25% funcionarios identifican el riesgo</b>

### 8.3.4. Tejido organizacional

El tejido organizacional se vincula a la existencia de redes de organización relacionadas, en este caso, con la gestión del agua. Estas redes constituyen una de las formas más comunes de capital social, al promover vínculos de cooperación y trabajo colectivo orientados al bienestar comunitario (Mussetta et al., 2017). En ese sentido, la presencia y participación activa en los comités de usuarios de agua y en las JASS se considera un indicador clave del tejido organizacional en el sistema de análisis.

Del total de organizaciones presentes en el territorio, solo dos están directamente vinculadas al uso y gestión del agua. Asimismo, únicamente el 56% de los encuestados reporta participar en al menos una organización, como los comités de usuarios de agua o las JASS.

**Tabla 29. Rangos de valoración para los indicadores de tejido organizacional**

Sentido del indicador	Rangos de sensibilidad			
	Alto (4)	Medio (3)	Bajo (2)	Muy Bajo (1)
Participación en organizaciones: una mayor participación facilita la respuesta del sistema ante el riesgo.	> 75% participación en organizaciones	<b>De 51% a 75% participación en organizaciones</b>	De 26% a 50% participación en organizaciones	<= 25% participación en organizaciones

### 8.3.5. Resumen de los indicadores de capacidad de respuesta

La siguiente tabla sintetiza los valores asignados para los indicadores de capacidad de respuesta.

**Tabla 30. Valoración de los indicadores de la capacidad de respuesta**

1. Privación socioeconómica	Rangos de capacidad de respuesta			
	Alta	Medio	Bajo	Muy baja
Pobreza				1
Relación de dependencia demográfica			2	
Total acumulado	3			
2. Brechas de género	Rangos de sensibilidad			
	Alta	Medio	Bajo	Muy baja
Participación laboral femenina.				1
Promedio de años de escolarización.				1
Total acumulado	2			

2. Gobernanza del riesgo	Rangos de sensibilidad			
	Alta	Medio	Bajo	Muy baja
Percepción del riesgo			2	
Identificación del peligro	4			
Conocimiento del riesgo				1
Planes/programas de reducción del riesgo climático				1
Presupuesto local destinado a la gestión del riesgo climático				1
Conocimiento de los funcionarios públicos y tomadores de decisión sobre el riesgo climático				1
Total	4	0	2	4
Total acumulado	10			
4. Tejido organizacional	Rangos de sensibilidad			
	Alta	Medio	Bajo	Muy baja
Participación en organizaciones		3		
Total	0	3	0	0
Total acumulado	18			

Capacidad de respuesta

El valor total para la capacidad de respuesta se determinó mediante la suma de los valores asignados a cada indicador. El resultado obtenido (18) se clasificó según la siguiente escala:

**Muy baja:** menor de 11

**Baja:** entre 12 y 22

**Medía:** entre 23 y 33

**Alta:** entre 34 y 44

De este análisis se tuvo como resultado una capacidad de respuesta baja frente al proceso del DAR.

## 8.4. Indicadores de capacidad de adaptación

### 8.4.1. Capacidad de manejo y uso de sistemas de producción

Los programas y proyectos vinculados al manejo y uso adecuado de los sistemas de producción en el ámbito de estudio son fundamentales para el desarrollo de estrategias frente a emergencias, ya que fortalecen los medios de vida y contribuyen a la generación de capacidades en la población. A nivel local, se ha identificado que la MPH solo cuenta con programas o proyectos relacionados con el manejo de plantaciones de palta en sectores distintos a la subcuenca del río Quillcay. Asimismo, no se han identificado iniciativas orientadas al manejo de pastos ni al manejo ganadero dentro del ámbito de estudio.

Es importante señalar que la MPH cuenta con el programa presupuestario 0042: «Aprovechamiento de los recursos hídricos para el uso agrario», en el cual se programó para el año 2023 un monto superior a los 3,5 millones de soles, correspondiente a seis proyectos ubicados en centros poblados y caseríos de otros distritos.

En el ámbito de estudio, se identificó un PIP orientado al mejoramiento de los sistemas de agua potable para los centros poblados de Ichoca y Coyllur (código 2197798), con un presupuesto asignado de 3,3 millones de soles<sup>46</sup>. Este proyecto tiene como objetivo optimizar el sistema de agua potable para beneficiar a las poblaciones de Coyllur, Queropampa e Ichoca. Cabe resaltar que la captación de agua para este sistema proviene de tres manantiales ubicados en la parte alta del centro poblado de Jancu, una zona potencialmente expuesta al impacto del DAR.

Por otro lado, el fortalecimiento de capacidades en producción agropecuaria resulta fundamental para incrementar la capacidad adaptativa de los productores. En este sentido, los resultados de las encuestas muestran que el 86% de los participantes nunca ha recibido capacitación ni asistencia técnica agropecuaria, lo cual limita significativamente su capacidad de adaptación.

Otro factor relevante para los sistemas productivos expuestos al DAR es la tenencia de la tierra. Como señalan Mussetta et al. (2017), existen «mayores costos de producción para quienes alquilan la tierra para producir, incapacidad para acceder a créditos, inseguridad económica por depender de empleos temporales en predios ajenos» (p. 130). En el ámbito de estudio, del total de encuestados cuyas tierras agrícolas están directamente expuestas al DAR, el 39% indicó que estas son de propiedad comunal, mientras que el 44% afirmó ser propietario privado. Sin embargo, solo el 78% de estos últimos cuenta con título de propiedad, por lo que el porcentaje de población con acceso seguro a la tierra asciende al 73%.

---

46 Este proyecto se culminó en julio de 2024

**Tabla 31. Rangos de valoración para los indicadores de la capacidad de manejo y uso de sistemas de producción**

Sentido del indicador	Rangos de capacidad de adaptación			
	Alto (4)	Medio (3)	Bajo (2)	Muy Bajo (1)
Planes/programas de manejo: la ejecución de planes o programas aumenta la capacidad de adaptación del sistema.	> 75% ejecución de planes	De 51% a 75% ejecución de planes	De 26% a 50% ejecución de planes	<b>&lt;= 25% ejecución de planes</b>
Presupuesto destinado al apoyo de productores: un mayor presupuesto destinado a los productores aumenta su capacidad de adaptación.	> 75% presupuesto	De 26% a 74% presupuesto	<= 25% a 10% presupuesto	<b>Sin presupuesto asignado</b>
Conocimiento en prácticas de manejo adecuadas: la aplicación de conocimientos adecuados de producción aumenta la capacidad de adaptación del sistema.	> 75% población capacitada	De 51% a 75% población capacitada	De 26% a 50% población capacitada	<b>&lt;= 25% población capacitada</b>
Acceso a tierras: mayores derechos de propiedad aumenta la capacidad de adaptación.	> 75% población propietaria o comunal	De 51% a 75% población propietaria o comunal	De 26% a 50% población propietaria o comunal	<= 25% población propietaria o comunal

#### 8.4.2. Capacidad de ahorro y crédito

En este estudio, la capacidad de ahorro y acceso al crédito se entiende como la posibilidad que tiene la población de generar ahorros o acceder a financiamiento para afrontar gastos imprevistos, lo cual incrementa la capacidad de adaptación del sistema frente a situaciones de emergencia.

A nivel nacional, se observa que la población perteneciente a los quintiles más ricos accede con mayor facilidad a los circuitos financieros formales, mientras que los sectores más pobres recurren principalmente a mecanismos informales de ahorro (INEI, 2017).

En el ámbito del estudio, se consultó a los productores agrícolas sobre la facilidad para acceder a un crédito. El 85% de los encuestados manifestó que no es fácil obtener un préstamo. Entre las principales razones mencionadas destacan las altas tasas de interés, el temor a perder sus propiedades en caso de no poder cumplir con el pago, y la dificultad para cumplir con los requisitos exigidos por las entidades financieras.

**Tabla 32. Rangos de valoración para los indicadores de la capacidad de ahorro y crédito**

Sentido del indicador	Rangos de capacidad de adaptación			
	Alto (4)	Medio (3)	Bajo (2)	Muy Bajo (1)
Ahorro y crédito: un mayor acceso a ahorros y crédito aumenta la capacidad de adaptación del sistema.	<= 25% población sin acceso	De 26% a 50% población sin acceso	De 51% a 75% población sin acceso	<b>&gt; 76% población sin acceso</b>

### 8.4.3. Capacidad de conservación y manejo de ecosistemas

A nivel regional, el principal instrumento de gestión orientado a reducir los riesgos asociados al cambio climático es la Estrategia Regional de Cambio Climático (ERCC) a 2021. Este documento representa un esfuerzo del GORE Áncash y de diversas entidades vinculadas a la temática ambiental por establecer acciones concretas para reducir la vulnerabilidad del departamento frente al cambio climático.

Sin embargo, hasta la fecha, la ERCC no ha sido actualizada, y la ausencia de un sistema de monitoreo y seguimiento ha impedido la evaluación efectiva de los resultados y metas planteadas.

A nivel local, destaca la subcuenca del río Quillcay, principal fuente de abastecimiento de agua para la EPS Chavín. Desde 2021, se cuenta con un mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos hídricos (Merese-hídrico), instrumento de mercado orientado a la conservación de los servicios ecosistémicos mediante acuerdos entre contribuyentes (usuarios del servicio) y retribuyentes (quienes conservan los ecosistemas que los proveen).

En el caso de la subcuenca del río Quillcay, el Merese busca implementar acciones de conservación en la cabecera de cuenca para mejorar la calidad del recurso hídrico que utiliza la EPS Chavín para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Huaraz. Sin embargo, la iniciativa aún se encuentra en una fase incipiente, sin indicadores claros de monitoreo o seguimiento que permitan evaluar su implementación y efectividad.

Por otro lado, se ha identificado que la MPH cuenta con el programa presupuestal «0144: Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos». A pesar de contar con un presupuesto asignado de 31.300 soles para el año 2023, este programa registró un porcentaje de ejecución del 0%, lo que afecta negativamente la capacidad de adaptación del sistema.

**Tabla 33. Rangos de valoración para los indicadores de la capacidad de conservación y manejo de ecosistemas**

Sentido del indicador	Rangos de capacidad de adaptación			
	Alto (4)	Medio (3)	Bajo (2)	Muy Bajo (1)
Planes/programas de manejo/conservación: la ejecución de planes o programas aumenta la capacidad de adaptación del sistema.	> 76% ejecución de planes	De 51% a 75% ejecución de planes	De 26% a 50% ejecución de planes	<b>&lt;= 25% ejecución de planes</b>

## Resumen de indicadores para la capacidad de adaptación

En la tabla siguiente, se muestran un resumen de las puntuaciones para los indicadores de capacidad de adaptación.

**Tabla 34. Valoración de los indicadores de capacidad de adaptación**

1. Capacidad de manejo y uso de sistemas de producción	Rangos de capacidad de adaptación			
	Alta	Medio	Bajo	Muy baja
Planes/programas de manejo				1
Presupuesto destinado al apoyo de productores				1
Conocimiento en prácticas de manejo adecuadas				1
Acceso a tierras		2		
Total	0	2	0	3
Total acumulado	5			
2. Capacidad de ahorro y crédito	Rangos de capacidad de adaptación			
	Alta	Medio	Bajo	Muy baja
Ahorro y crédito				1
Total acumulado	1			
3. Capacidad de conservación y manejo de ecosistemas	Rangos de capacidad de adaptación			
	Alta	Medio	Bajo	Muy baja
Planes/programas de manejo/ conservación				1
Total	0	0	0	1
Total acumulado	7	Capacidad de adaptación baja		

El valor total para la capacidad de adaptación se determinó mediante la suma de los valores asignados a cada indicador. El resultado obtenido (7) se clasificó según la siguiente escala:

**Muy baja:** menor de 6

**Baja:** entre 7 y 12

**Medía:** entre 13 y 18

**Alta:** entre 19 y 24

Del análisis realizado, se concluye que la capacidad de adaptación frente al proceso del DAR es baja.

El objetivo principal del estudio fue analizar la vulnerabilidad de los medios de vida ante el riesgo que representa dicho proceso. Para ello, se construyó un índice de vulnerabilidad compuesto por un conjunto de indicadores que consideraron tres dimensiones: sensibilidad, capacidad de respuesta y capacidad de adaptación. Cada indicador fue ponderado con el mismo peso para facilitar la comparación entre componentes.

Los resultados muestran que una alta sensibilidad, combinada con capacidades de respuesta y adaptación limitadas, da como resultado una alta vulnerabilidad de los medios de vida ante el DAR.

***sensibilidad muy alta + capacidad de respuesta baja + capacidad de adaptación baja = vulnerabilidad alta***

Es importante reconocer las limitaciones inherentes a este tipo de análisis. Factores como la disponibilidad de datos de calidad, la escala de análisis y la inevitable subjetividad en la selección y ponderación de los indicadores pueden influir en los resultados obtenidos. Además, la vulnerabilidad es un concepto complejo y multidimensional que difícilmente puede ser captado en su totalidad mediante un conjunto limitado de indicadores.

En ese sentido, si bien los hallazgos de este estudio no pretenden ofrecer una representación exhaustiva de la realidad, sí constituyen una aproximación valiosa para identificar los aspectos más críticos de vulnerabilidad y orientar estrategias y acciones que fortalezcan las capacidades de respuesta y adaptación.

## 9. IMPACTOS SOCIALES

Esta sección presenta los resultados de la identificación de impactos sociales generados por el DAR, a partir de un enfoque cualitativo basado en las percepciones de la población directamente afectada, así como en los riesgos que esta identifica en relación con sus medios de vida ante la presencia de aguas ácidas. El análisis se realizó a partir de la información recopilada en talleres participativos, entrevistas a pobladores, complementada con el análisis del equipo investigador.

Los hallazgos se han organizado en dos dimensiones principales: el impacto en las actividades productivas y el impacto en la disponibilidad de recursos hídricos.

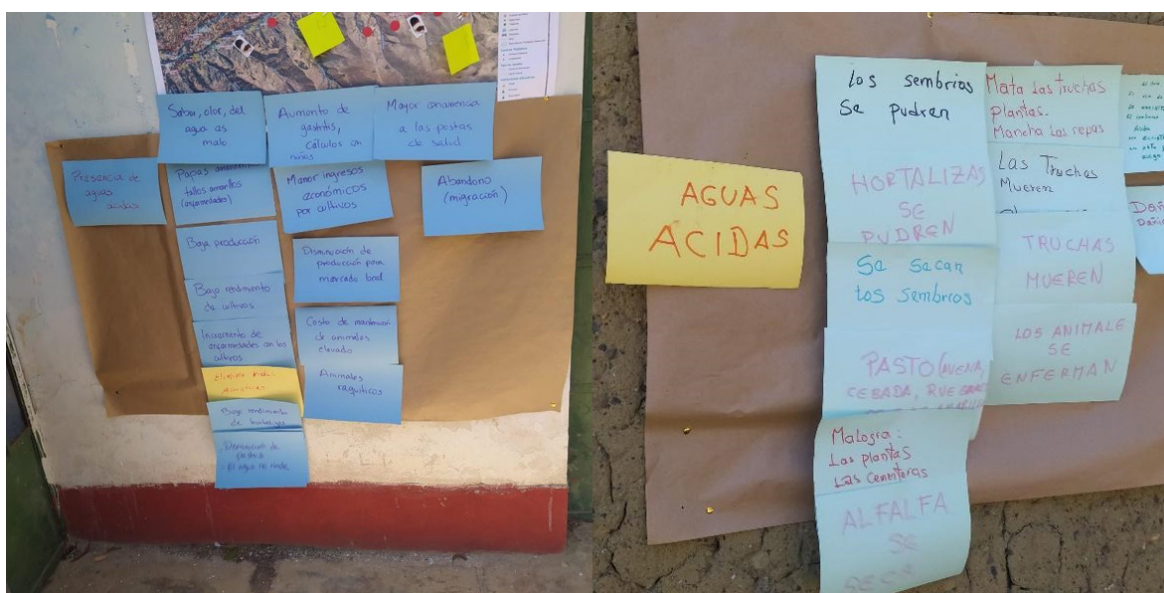
### 9.1. Impactos en las actividades productivas

Si bien la población del ámbito de estudio ha diversificado sus actividades como estrategia de subsistencia, la agricultura y la ganadería siguen siendo fundamentales, ya que contribuyen directamente a la seguridad alimentaria de las familias y generan ingresos a través de la venta de excedentes.

Los cultivos más relevantes en la zona —por su extensión, volumen de producción y aporte a la dieta familiar— son la papa, el maíz, el trigo, la oca y diversas hortalizas. Entre estos, los cultivos más expuestos al DAR son la papa, el maíz, las hortalizas y, entre los pastos cultivados, la alfalfa, debido a su dependencia del riego para su desarrollo.

Como se ha documentado en este estudio, existen canales de riego impactados por el DAR, como el canal Shallap-Huapish-Toclla (ver **tabla 14** y **tabla 15**). Los agricultores han identificado, entre los principales efectos del uso de aguas ácidas en sus cultivos, una disminución en el crecimiento de las plantas, así como una mayor susceptibilidad a enfermedades como la marchitez y las pudriciones radiculares. En el caso específico de la alfalfa, también se reporta amarillamiento de las hojas.

**Figura 24. Impactos del Drenaje ácido de roca identificados por comuneros de la Comunidad Campesina de Cahuide<sup>47</sup>**



47 Taller participativo de identificación de riesgos e impactos del DAR realizado en Jancu, octubre de 2023.

También se ha identificado cultivos que son más sensibles al riego con aguas ácidas, como es el caso de la cebolla china.

«Por decir, cuando quieres sembrar hortalizas, también el agua lo mata. Porque yo empecé a sembrar cebolla china, ¿qué es lo que pasó? Se lo atacó enfermedad, y eso que regaba con asequia, con puquial, pero seguro ese canal filtra ya hasta ahí». (Poblador, comunicación personal, 10 de setiembre de 2023).

Esto influye en los rendimientos de los cultivos y, por lo tanto, en los ingresos, causando incertidumbre entre los agricultores.

«A raíz de eso [de las aguas ácidas], muchas veces no invertimos en la agricultura porque es una inversión grande. Entonces esa inversión ya no lo recuperamos, por eso es que no hay resultados con la producción, ya no es ventajoso».

(Poblador, comunicación personal, 10 de setiembre de 2023).

La producción de la zona es pequeña, basada en la mano de obra familiar, pero importante porque complementa los ingresos familiares y en algunos casos es el único ingreso lo que pone en situación de vulnerabilidad a los agricultores.

«Preparas terreno, compras abono, insecticidas, pero ya no sale, ya no da buenas cosechas, por más que vendas, poco te pagan, ya no recuperas, más bien pierdes». (Poblador, comunicación personal, 10 de setiembre de 2023).

«Ahora para producción para venta es mínimo, antes yo despachaba por toneladas. Pero antiguamente sí daba de todo, empezando por hortalizas, sino que, por esta situación [aguas ácidas], prácticamente nada ya».

(Poblador, comunicación personal, 10 de setiembre de 2023).

Como ya se ha mencionado en este documento, hay varios factores que han influido en la disminución de las áreas cultivadas en la microcuenca del río Auqui. Sin embargo, el proceso del DAR es mencionado como un factor relevante que limita la producción agrícola y contribuye a buscar otras alternativas productivas.

«Justamente porque ya no hay producción (por las aguas ácidas), a veces la gente ya no siembra ya». (Poblador, comunicación personal, setiembre de 2023).

Por otro lado, la crianza de animales mayores, principalmente vacunos y ovinos, así como de animales menores, como cuyes y aves de corral, constituye una actividad relevante para las comunidades. En el caso de la ganadería de vacunos, esta se desarrolla de manera extensiva en las quebradas de Shallap y Quillcayhuanca —zonas afectadas por el DAR—, con bajo nivel de tecnificación y una alta dependencia de la disponibilidad de pastos. En este contexto, resulta complejo determinar con precisión los impactos del DAR en la ganadería, más allá de las percepciones de los pobladores, quienes señalan que sus animales presentan un crecimiento lento o se enferman con mayor frecuencia. Sin embargo, es importante resaltar que la actividad ganadera se encuentra en situación de riesgo debido al DAR, aspecto que será analizado y cuantificado más adelante.

También se han identificado impactos en los recursos hidrobiológicos, en particular en la presencia de peces en las aguas impactadas por el DAR, como el río Auqui.

«Más atrás hemos consumido trucha del riachuelo de Paquishca». (Poblador Paquishca, comunicación personal, abril de 2024).

«El agua es contaminada [refiriéndose al río Auqui] porque ya no hay peces. Antes había, pero en esa quebrada ha habido contaminación por mineral». (Poblador, comunicación personal, agosto de 2024).

Los pobladores manifiestan que, aproximadamente hace cincuenta años, se inició la acidificación de las aguas del río Auqui, ubicándose en el tiempo, cuando eran niños y jóvenes.

«Cuando tenía 5 años, veía trucha [señalando el río Auqui]». (I. Jamanca, comunicación personal, agosto de 2024).

«Las truchas eran grandazas. Ahora, ni sacamos. Poco por poco se ha acabado. Ahora no se ve nada». (Poblador, comunicación personal, 9 de agosto de 2024).

«Cuando, era joven, había una cantidad de truchas. Antes ahí había un tanque y cuando lo lavaban sacaban cantidad de truchas» (Poblador, comunicación personal, 9 de agosto de 2024).

En relación con la calidad del agua, en la microcuenca del río Auqui se ha identificado que esta limita el desarrollo de la producción piscícola. Según las entrevistas realizadas a la población, en la década de 1990 se impulsaron iniciativas para la crianza de truchas que no lograron prosperar debido al impacto de las aguas ácidas. Esta situación contrasta con otros sectores de la subcuenca del río Quillcay, donde operan piscigranjas que utilizan aguas del río Paria, provenientes de la microcuenca Cojup, la cual no presenta problemas asociados al DAR.

## 9.2. Impactos en la disponibilidad de recursos hídricos

La población de la microcuenca del río Auqui se beneficia del servicio ecosistémico hídrico, tanto para el consumo doméstico como para el desarrollo de actividades económicas como la agricultura y la ganadería.

Sin embargo, la presencia de metales pesados en las aguas de las quebradas Shallap y Quillcayhuanca — afluentes del río Auqui— como consecuencia del DAR, limita el uso de estos recursos hídricos y ha generado diversos impactos en la zona.

Un ejemplo de ello es el caso del agua destinada al consumo humano en los centros poblados de Coyllur e Ichoca, los más poblados de la microcuenca, que hasta 2017 captaban agua directamente del río Auqui para abastecer sus sistemas de agua potable. Sin embargo, debido al alto contenido de metales pesados, la Diresa prohibió el uso de estas aguas. Ante esta situación, la población se vio obligada a buscar fuentes alternativas.

En el caso de Coyllur, actualmente se capta agua de una fuente ubicada en Llupa, lo que ha generado costos adicionales para las familias. Además, este sistema no logra abastecer a toda la población, por lo que aún existen sectores sin acceso regular al agua potable y que, en consecuencia, deben recurrir al uso de aguas del canal Shallap, que atraviesa la parte más alta del centro poblado.

«No todos tenemos agua potable. Nosotros justamente arriba tomamos esa agua que viene de Shallap, canal, porque no tenemos ahí. Más antes había cuando yo era niño había filtraciones, todo eso había, en estos últimos se ha secado y, por lo tanto, nos obliga, no tenemos recursos para llevar agua de lejos. Necesitamos apoyo o ¿qué es lo que debemos hacer?». (Poblador de Paquishca, comunicación personal, 28 de abril de 2024).

«Gente de Ichoca y Coyllur estaban tomando esa agua, pues. Nosotros, ya teníamos una filtración, de un puquial. Como el agua es ácida han clausurado». (Poblador, comunicación personal, 29 de julio de 2024)».

En el caso del centro poblado de Ichoca, la población está usando aguas de la quebrada Parapu, mediante un sistema de entubado, sin ningún tratamiento. Estas aguas además contienen aluminio y hierro sobre los LMP (ver tabla 12), por lo que no debieran consumirse.

«Hasta el 2018 uso JASS de Ichoca, de ahí vino la notificación de Diresa y por emergencia se puso el sistema. Eso nosotros mismos lo hicimos, con nuestro propio dinero y se realizaron faenas. Por eso nuestra captación es artesanal porque era temporal» (Poblador, comunicación personal, 12 de abril de 2024).

En julio de 2024, entró en funcionamiento un sistema de agua potable financiado por la MPH, para los centros poblados de Coyllur, Queropampa e Ichoca, que se espera abastezca del servicio a la población. En las entrevistas con la población, se ha expresado la preocupación de que este sistema tenga la capacidad de abastecer permanentemente a los centros poblados, en especial en época de estiaje.

«Estamos incluidos en el proyecto del sistema de agua potable de Jancu, pero en tiempos de sequía no se abastece». (Poblador, comunicación personal, 12 de abril de 2024)

«El agua de Jancu es buena, pero no abastece. Queropampa, Ichoca, Coyllur [con respecto al nuevo sistema de agua potable]. Ya no abastece para todos. Dijeron que iban a buscar otro ojo de agua para poder ampliar». (Poblador, comunicación personal, 8 de agosto de 2024).

Dada la situación, está en riesgo la provisión del servicio de agua para consumo humano, y si bien se han ejecutado proyectos como el nuevo sistema mencionado, es insuficiente. Asimismo, las JASS no reciben soporte técnico, ni económico, dependiendo exclusivamente del aporte de los usuarios, para el funcionamiento de sus sistemas.

«No recibimos ningún asesoramiento de la ATM. Claro, ha habido capacitaciones de la misma municipalidad cuando nos han hecho llamar a la directiva, pero, así como asociados no hemos tenido». (C. Cochachín, presidente de la JASS de Ichoca, comunicación personal, 12 de abril de 2024).

En el caso de las actividades agropecuarias, como se ha descrito, se usan las aguas del canal Shallap-Huapish-Toclla que no cumplen las ECA para riego de vegetales y bebida de animales (ver tabla 14). Sin embargo, al no contar con otras fuentes, se siguen usando poniendo en riesgo la producción.

«Nosotros utilizamos el agua del canal de Huapish para riego [manguera y aspersores]. Por la suciedad, a veces, se tapa, pero se limpia». (Poblador, comunicación personal, 12 de abril de 2024)

«Esta agua es más usada en época de sequía». (Poblador de Paquishca, comunicación personal, 28 de abril de 2024).

### 9.3. Estado de los suelos agrícolas y cultivos importantes

Para determinar el impacto del DAR, se evaluó la presencia de metales pesados en suelos agrícolas ubicados en la microcuenca del río Auqui. Estos suelos son irrigados con aguas provenientes de las quebradas Shallap y Quillcayhuanca, las cuales presentan indicios de contaminación por DAR. Para ello, se compararon las concentraciones de metales pesados encontradas en los suelos con los valores establecidos en el ECA para suelos de uso agrario<sup>48</sup> que fija LMP para arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo. A continuación, se presentan los resultados, organizados por cada uno de estos elementos.

48 D.S. N° 011-2017- MINAM que aprueba los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo

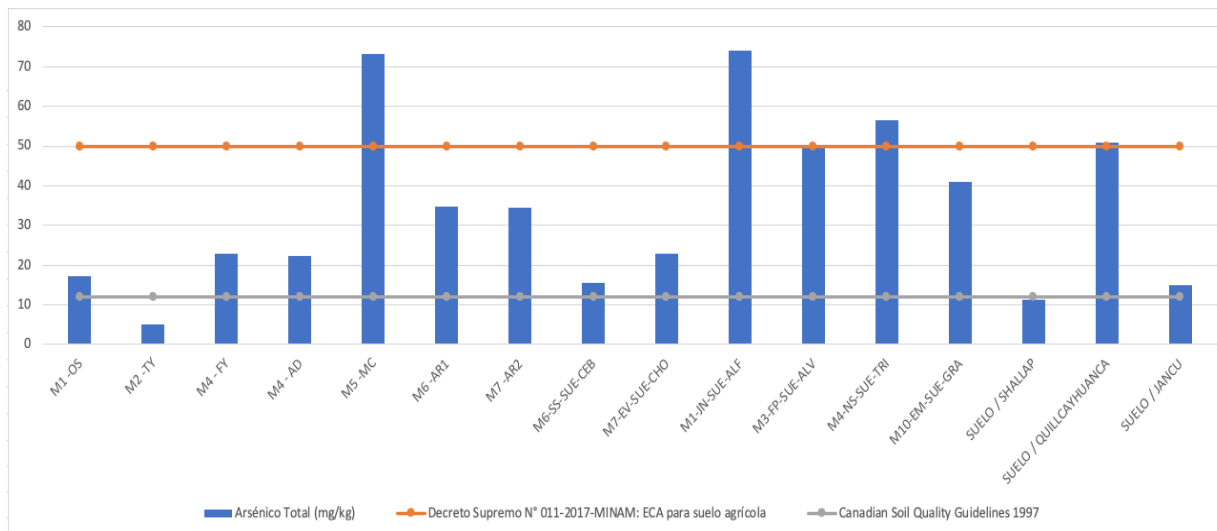
**Tabla 35. Resultados por muestra de suelo comparadas con la normativa ECA para suelo agrícola**

Parámetro	Arsénico Total (mg/kg)	Bario Total (mg/kg)	Cadmio Total (mg/kg)	Mercurio Total (mg/kg)	Plomo Total (mg/kg)
ECA SUELO AGRÍCOLA (Perú)	50	750	1,4	6,6	70
M1-OS (Jancu)	17,15	20,12	0,22	<0,262	14,97
M2-TY (Jancu)	4,94	29,25	0,21	<0,262	9,62
M4-FY (Jancu)	22,86	33,36	0,16	<0,262	17,59
M4-AD (Jancu)	22,26	28,08	0,16	<0,262	16,60
M5-MC (Jancu)	<b>73,28</b>	47,31	0,27	<0,262	28,90
M6-AR1 (Paquishca)	34,82	33,92	0,23	<0,262	15,49
M7-AR2 (Paquishca)	34,39	37,91	0,37	<0,262	16,52
M6-SS-SUE-CEB (Jancu)	15,65	40,48	<0,333	<0,020	8,95
M5-AC-SUE-MAN (Jancu)	4,71	51,65	<0,333	<0,020	7,30
M7-EV-SUE-CHO (Jancu)	22,80	42,83	<0,333	<0,020	17,19
M1-JN-SUE-ALF (Ichoca)	<b>74,06</b>	57,45	<0,333	<0,020	24,76
M3-FP-SUE-ALV (Toclla)	49,82	77,23	<0,333	<0,020	7,54
M4-NS-SUE-TRI (Toclla)	<b>56,49</b>	92,93	<0,333	<0,020	7,54
M10-EM-SUE-GRA (Jancu Chico)	40,88	71,43	<0,333	<0,020	8,26
Shallap	11,163	15,826	<0,144	<0,262	8,815
Quillcayhuanca	<b>50,76</b>	28,074	0,47	<0,262	24,47
Jancu	15,08	50,25	1,11	<0,262	17,90

En el caso del arsénico, cuatro muestras de suelo superan los LMP establecidos en el ECA para suelos de uso agrícola. Estas muestras corresponden a suelos de las localidades de Jancu, Ichoca, Toclla y de la quebrada Quillcayhuanca. En contraste, los niveles de bario, cadmio, mercurio y plomo se encuentran muy por debajo de los valores permitidos por la normativa.

Además, se compararon los resultados con la normativa canadiense<sup>49</sup> para suelos agrícolas, la cual establece los LMP para 19 metales o elementos traza, a diferencia de la normativa peruana que contempla solo 5. En el caso del arsénico, los resultados revelaron que 14 de las 16 muestras analizadas superan los LMP establecidos por la norma canadiense, debido a que esta establece valores más estrictos para este elemento.

**Figura 25. Contenido de arsénico de las muestras analizadas**



El contenido de arsénico en los suelos no parece tener una relación directa con el DAR, dado que el agua del canal Shallap-Huapish-Toclla presenta concentraciones de arsénico muy por debajo de los LMP establecidos en el ECA para riego de cultivos, bebida de animales y conservación de ambientes acuáticos (ver tabla 14). La presencia de arsénico en los suelos podría estar más bien asociada al uso agrícola, ya que es común encontrar concentraciones elevadas de metales pesados como cromo, cadmio, zinc, níquel y plomo debido a la aplicación de fertilizantes químicos fosfatados o plaguicidas que pueden contener arseniato de plomo u otros compuestos con arsénico utilizados para el control de plagas (Anaya y Solan, 2016, p. 53). Por tanto, es probable que la presencia de arsénico esté vinculada al uso de pesticidas y fertilizantes en áreas agrícolas. En el caso específico de la quebrada Quillcayhuanca<sup>50</sup>, la presencia de arsénico podría deberse a factores geológicos propios de la zona.

Por otro lado, en el caso de los metales como antimonio, berilio, boro, cadmio, cobalto, cobre, cromo, estaño, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, torio, uranio, vanadio y zinc, todas las muestras de suelo se encuentran muy por debajo de los LMP establecidos por la normativa canadiense. Esto indica que a la fecha, no existe una afectación significativa en los suelos analizados para estos elementos.

En ese sentido, según los resultados obtenidos, no hay un impacto verificable del DAR sobre los suelos analizados, ya que las concentraciones no superan los valores establecidos en el ECA para suelos agrícolas conforme a la normativa nacional. Sin embargo, se detectó presencia de arsénico en 14 de las 16 muestras de suelo, incluida una correspondiente a la quebrada Quillcayhuanca, ubicada dentro de un área natural protegida, lo cual requiere una evaluación más detallada sobre su posible origen y riesgos asociados.

49 Canadian Standard: Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG) de 2007 para suelo agrícola.

50 La quebrada Quillcayhuanca se encuentra dentro de los límites del Parque Nacional Huascarán. Al ser un área natural protegida, no se permite la actividad agrícola. Sin embargo, sí se practica ganadería extensiva.

### 9.3.1. Resultados para cultivos

El análisis de cultivos en la zona de estudio tuvo como objetivo identificar posibles riesgos para la salud humana. Para ello, se consideraron los cultivos más relevantes tanto para la alimentación de las familias como para su comercialización en los mercados locales. En ese sentido, los análisis se centraron en las partes comestibles de los productos agrícolas: las hojas y bulbos de la cebolla china (*Allium fistulosum*), la raíz de la zanahoria (*Daucus carota*) y los tubérculos de la papa (*Solanum tuberosum*).

Dado que el país no cuenta con un marco normativo que regule los niveles de metales pesados en alimentos frescos, se utilizaron como referencia dos normas internacionales: el Codex Stan 193-1995, «Norma General para los Contaminantes y las Toxinas Presentes en los Alimentos y Piensos», elaborado por la FAO y la OMS, y la normativa técnica de la Unión Europea, que establece LMP para el cadmio y el plomo.

#### 1. Resultados en el cultivo de cebolla china (*Allium fistulosum*)

Se recolectaron dos muestras de cebolla china. La primera proviene de una parcela ubicada en el centro poblado de Jancu y fue codificada como M1-OS. La segunda muestra se obtuvo en la zona denominada Shirapampa y recibió el código M6-AR1. Los resultados que se presentan a continuación corresponden al análisis de las hojas de cebolla china, que es generalmente la parte consumida.

**Tabla 36. Resultados de análisis de metales en hojas del cultivo de cebolla china (*Allium fistulosum*)**

Parámetro (mg/kg)	Reglamento (CE) 1881/2006 (UE) (mg/kg)	Codex STAN 193-1995 (mg/kg)	Foliar/cebolla china (M1-OS)/ Fen: Cosecha	Foliar/cebolla china (M6-AR1)/ Fen: Cosecha
Arsénico	-	-	0,43	0,31
Cadmio	0,2	0,3	0,36	0,18
Cromo	-	-	3,09	0,66
Cobre	-	-	4,83	4,59
Mercurio	-	-	<0,010	<0,010
Manganeso	-	-	75,92	34,01
Níquel	-	-	1,17	0,26
Plomo	0,3	0,3	0,56	<0,24
Selenio	-	-	0,12	< 0,12
Estaño	-	-	No detectable	No detectable
Zinc	-	-	23,84	14,88

En cuanto a las muestras recolectadas, se observa que la parcela M1-OS supera los LMP de cadmio y plomo, tanto según el Codex como la normativa europea. En contraste, la muestra M6-AR1 no excede los límites establecidos.

Asimismo, los resultados muestran valores elevados de manganeso (75,92 mg/kg en una muestra y 34,01 mg/kg en la otra). Aunque la normativa no establece un valor toxicológico específico para el ser humano, la bibliografía revisada indica una ingesta total de manganeso de 40 mg/día (Ribani y Azcona, 2017; Rubio et al., 2007). Otras referencias, como Long et al. (2003), citadas por Gómez (2023), señalan un valor máximo de 20 mg/kg para zinc en las partes comestibles de cultivos de 20 mg/kg para el zinc (Gómez J., 2023). Solo la muestra M1-OS de cebolla china supera este valor referencial, lo cual podría evidenciar una posible acumulación de zinc proveniente del DAR.

También es relevante mencionar la capacidad acumuladora de la cebolla china respecto a ciertos metales. Existen estudios cuyos resultados indican la predisposición de esta planta a acumular plomo y cadmio. Por ejemplo, Paredes y Sifuentes (2024), en un ensayo realizado con suelo afectado por relaves mineros, demostraron que esta especie vegetal es capaz de acumular elevadas concentraciones de metales pesados en raíces, tallos y hojas. De igual forma, Ríos et al. (2019) concluyen que la cebolla de verdeo o cebolla china posee una alta capacidad de acumulación de plomo cuando se cultiva en sustrato o en sistemas de acuaponía.

Por otro lado, el plomo también ha sido vinculado directamente con la aplicación de agroquímicos y fertilizantes, como la urea y el superfosfato (Micó et al., 2006, citado en Machelo-Pulida et al., 2020), lo que podría afectar a los cultivos, especialmente a aquellos más sensibles, como la cebolla china.

Dado que los bulbos de la cebolla china también son consumidos por la población, se recolectaron muestras de esta parte de la planta. Los resultados (tabla 37) muestran valores por debajo del límite detectable para arsénico, mercurio, níquel y estaño. Asimismo, las muestras de bulbos se encuentran muy por debajo de los LMP de cadmio y plomo establecidos por las normativas internacionales utilizadas como referencia (tabla 37).

**Tabla 37. Resultados de análisis de metales por muestra en raíces del cultivo de cebolla china (*Allium fistulosum*)**

Parámetro (mg/kg)	Reglamento (CE) 1881/2006 (UE) (mg/kg)	Codex STAN 193-1995 (mg/kg)	Foliar/cebolla china (M1-OS)/ Fen: Cosecha	Foliar/cebolla china (M6-AR1)/ Fen: Cosecha
Arsénico	-	-	No detectable	0,02
Cadmio	0,1	0,05	0,008	0,014
Cromo	-	-	<0,025	<0,025
Cobre	-	-	0,23	0,31
Mercurio	-	-	4,12	3,84
Manganeso	-	-	No detectable	No detectable
Níquel	-	-	0,89	0,9
Plomo	-	-	No detectable	<0,025
Selenio	-	0,1	<0,005	0,006
Estaño	-	-	<0,100	No detectable
Zinc	-	-	No detectable	No detectable

## 2. Resultados del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Se recolectaron dos muestras del cultivo de papa. Una de ellas, de la variedad yungay, provino de la parcela M4-FY y, al momento de la toma de muestra, se encontraba en la etapa del primer aporque. La otra muestra correspondió a la variedad huayro, proveniente de la parcela M5-MC, la cual estaba lista para la cosecha.

**Tabla 38. Resultados de análisis de metales por muestra de raíces y tubérculos del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)**

Parámetro (mg/kg)	Reglamento (CE) 1881/2006 (UE) (mg/kg)	Codex STAN 193-1995 (mg/kg)	Foliar/cebolla china (M1-OS)/ Fen: Cosecha	Foliar/cebolla china (M6-AR1)/ Fen: Cosecha
Arsénico	-	-	0,03	0,04
Cadmio	0,1	0,1	0,008	0,011
Cromo	-	-	0,28	<0,025
Cobre	-	-	0,93	0,88
Hierro			22,43	16,43
Mercurio	-	-	No detectable	No detectable
Manganeso	-	-	4,99	0,98
Níquel	-	-	0,04	0,05
Plomo		0,1	0,023	0,018
Selenio	-	-	<0,100	No detectable
Estaño	-	-	No detectable	No detectable
Zinc	-	-	3,32	1,78

Los resultados presentados en la tabla 38 muestran que el contenido de metales en ambas muestras de raíces y tubérculos del cultivo de papa muestra valores por debajo de los LMP establecidos por las normativas internacionales para cadmio y plomo. En cuanto a los demás metales identificados, los niveles son bajos, y no se detectó la presencia de mercurio ni estaño en ninguna de las muestras. Solo se reportó la presencia de selenio en una de ellas.

Por otro lado, el hierro y el manganeso presentan valores elevados. Sin embargo, no existe una normativa que establezca límites permisibles para estos metales en alimentos.

### 3. Resultados del cultivo de la zanahoria (*Daucus carota*)

También se recolectó una muestra del cultivo de zanahoria, proveniente de la parcela M7-AR2, ubicada en Shirapampa, localidad cercana a Paquishca. La muestra se encontraba lista para la cosecha al momento del muestreo.

Los resultados (tabla 39) mostraron que la zanahoria presenta contenidos no detectables de mercurio, selenio y estaño. Además, los niveles de cadmio y plomo no sobrepasan los LMP establecidos por ambas normativas internacionales utilizadas como referencia.

**Tabla 39. Resultados de análisis de metales para el cultivo de zanahoria (*Daucus carota*)**

Parámetro	Reglamento (CE) 1881/2006 (UE) (mg/kg)	Codex STAN 193-1995 (mg/kg)	Raíz/ zanahoria / Lote 8 (M7-AR2)/ Fen: Cosecha
Arsénico	-	-	0,01
Cadmio	0,1	0,1	0,081
Cromo	-	-	<0,025
Cobre	-	-	0,4
Hierro			4,66
Mercurio	-	-	No detectable
Manganeso	-	-	1,16
Níquel	-	-	0,03
Plomo		0,1	0,013
Selenio	-	-	No detectable
Estaño	-	-	No detectable
Zinc	-	-	2,98

En cuanto a los resultados obtenidos para los cultivos de papa y zanahoria, ambas muestras se encuentran por debajo de los LMP para cadmio y plomo, según las normativas internacionales consultadas. Esta comparación permite concluir que el consumo de estos cultivos, producidos en la zona de estudio, no representa un riesgo para la salud humana en relación con la presencia de dichos metales.

Para evaluar el riesgo potencial de otros metales identificados en los análisis, se revisó la literatura científica disponible. En el caso del cobre, Kirk, Sawger y Egan (2008) reportan un rango de 10 a 200 mg/kg en alimentos, y los valores encontrados en este estudio se ubicaron muy por debajo de ese intervalo. En cuanto al zinc, los mismos autores establecen un límite de hasta 50 mg/kg en alimentos frescos, el cual tampoco fue superado por ninguno de los cultivos analizados, cuyos niveles se encontraron considerablemente por debajo del valor referencial.

Asimismo, se identificó un grupo de metales esenciales para la nutrición humana, cuyos requerimientos diarios son inferiores a 100 mg. Entre ellos se encuentran el hierro, cromo, cobre, selenio, zinc, cobalto, manganeso y molibdeno (Anaya y Solano, 2016). Los resultados de los cultivos analizados no sobrepasan los valores recomendados de ingesta diaria para estos elementos.

Por otro lado, es importante considerar el efecto fitotóxico de algunos metales no esenciales para las plantas, como el arsénico, el cromo y el plomo, los cuales pueden generar efectos negativos incluso en bajas concentraciones. Estos efectos incluyen alteraciones en el crecimiento, el metabolismo vegetal, la fotosíntesis y la asimilación de nutrientes a largo plazo (Hirve et al., 2020; Gómez, 2023).

Cabe señalar que los resultados de los cultivos analizados varían entre especies, debido tanto a la capacidad diferencial de absorción de metales pesados por parte de las plantas como a la variedad cultivada (Safwan et al., 2020, p. A177). Así, la papa y la zanahoria presentaron niveles muy por debajo de los LMP para plomo y cadmio. En contraste, una de las muestras de cebolla china superó los límites establecidos, mientras que la otra, si bien no los excedió, presentó concentraciones detectables de cadmio por encima del límite de cuantificación.

Para evaluar de manera más precisa la relación entre el contenido de metales en suelos irrigados con aguas contaminadas por el DAR y sus posibles repercusiones en el desarrollo de los cultivos, se requiere la realización de ensayos en condiciones controladas que permitan determinar su impacto sobre el crecimiento y la productividad vegetal.

#### **4. Resultados para pastos y forrajes**

Para el análisis de metales pesados en pastos y forrajes, se recolectaron muestras de alfalfa (*Medicago sativa*), un pasto cultivado, y dos muestras del pasto conocido comúnmente como kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), una gramínea considerada maleza, pero con un alto valor nutricional para el ganado vacuno y ovino. Las muestras se obtuvieron en el centro poblado de Jancu y en la quebrada de Quillcayhuanca. Asimismo, se incluyó una muestra de cebada, que, aunque no es un pasto, sino un cereal, sus resultados se agruparon con los de los pastos debido a que el propietario de la parcela indicó que la utiliza para alimentar a su ganado ovino y a animales menores.

Para el análisis de los resultados de los pastos, y dado que no existe una normativa específica aplicable en el país, se utilizó como referencia el Real Decreto 747/2001<sup>51</sup>, el cual establece los parámetros para sustancias y productos indeseables en la alimentación animal.

---

51 Real Decreto del 29 de junio de 2001, publicado en España, pero de aplicación en la Unión Europea.

**Tabla 40. Resultados de análisis de metales para pastos y forrajes  
(*Medicago sativa*) (*Pennisetum clandestinum*)**

Parámetro	Real Decreto 747/2001	Foliar/Jancu/kikuyo (tallo y follaje)	Foliar/quillcay-huanca/kikuyo (pasto-follaje-crecimiento a plenitud)	Foliar/alfalfa (criolla)/Lote 3 (M3-OS1)/ Fen: Crecimiento	Foliar/cebada (criolla)/Lote 2 (M2-TY)/ Fen: Crecimiento
Arsénico (mg/kg)	UE (alimentos para animales)	0,61	0,42	1,11	<0,17
Cadmio (mg/kg)	2	<0,10	0,13	0,3	0,14
Cromo (mg/kg)	1	1,56	1,24	1,2	0,99
Cobre (mg/kg)	-	4,9	5,03	9,81	2,9
Mercurio (mg/kg)	-	<0,010	<0,010	0,01	No detectable
Manganeso (mg/kg)	0,1	83,59	102,19	127,49	123,56
Níquel (mg/kg)	-	0,64	0,47	1,74	1,17
Plomo (mg/kg)	-	0,51	0,31	1,1	<0,24
Selenio (mg/kg)	40	0,18	0,22	0,15	< 0,12
Estaño (mg/kg)	-	No detectable	No detectable	No detectable	No detectable
Zinc (mg/kg)	-	52,33	44,54	109,16	66,32

Según los resultados, ninguna de las muestras analizadas correspondientes a la parte aérea (hojas y tallos) de las plantas superó los LMP para metales pesados como arsénico, cadmio, mercurio y plomo, según la normativa española. Por lo tanto, su uso no representa un riesgo para la alimentación del ganado y los animales menores. Sin embargo, destacan los elevados contenidos de manganeso y zinc en todas las muestras, lo cual podría estar asociado al uso de agua contaminada con DAR para el riego de estos cultivos.

## 5. Resultados de muestras de leche de vacuno

La recolección de leche cruda<sup>52</sup> se realizó en coordinación con los Comités de Usuarios de Pastos (CUP) de las quebradas de Quillcayhuanca y Shallap, así como con ganaderos de la comunidad campesina Cahuide en Jancu. Los análisis de laboratorio evaluaron doce metales pesados: arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), mercurio (Hg), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb), selenio (Se), estaño (Sn) y zinc (Zn)<sup>53</sup>.

Al carecer Perú de normativa nacional específica sobre metales en leche bovina, los resultados se compararon con los LMP establecidos por Codex (FAO/OMS), Reglamento (UE) 2023/915, Norma Técnica Rumana y Norma Técnica Ecuatoriana, se consideraron estas normativas internacionales con el objetivo de tener diversas referencias para las comparaciones respectivas.

**Tabla 41. Límites máximos permisibles de metales en leche de vacuno en diversas normas internacionales**

Parámetro	Codex Alimentarius-FAO	Unión Europea-Reglamento (UE) 2023/915	Norma Técnica Rumana	Norma Técnica Ecuatoriana NTE-2008
Arsénico (mg/kg)	-	-	-	0,015 mg/kg
Cadmio (mg/kg)	-	0,005 mg/kg	0,01 mg/kg	-
Mercurio (mg/kg)	-	0,01 mg/kg-1	-	0,005 mg/kg
Zinc (mg/kg)	-	-	5,0	-
Plomo (mg/kg)	0,020 mg/kg	0,020 mg/kg	0,10	-
Cobre (mg/kg)	-	-	0,5	-

A continuación, se presentan los resultados del contenido de metales de la leche cruda analizada.

52 El recojo de las muestras de leche se realizó siguiendo las buenas prácticas de ordeño y cumpliendo con las medidas higiénicas establecidas, para evitar posibles contaminaciones.

53 El método utilizado para el análisis de leche cruda fue el AOAC Official Method 2013.06, 21.ª edición (2019): Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead in Foods. Pressure Digestion and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (validado y modificado en 2016).

**Tabla 42. Resultados del análisis de metales en leche de ganado vacuno**

Puntos de muestra	Leche/ Quillcayhuanca	Leche/Shallap	Leche/Jancu
Arsénico (mg/kg)	No detectable	No detectable	No detectable
Cadmio (mg/kg)	No detectable	No detectable	No detectable
Mercurio (mg/kg)	No detectable	No detectable	No detectable
Manganeso (mg/kg)	< 0,05	0,07	0,06
Zinc (mg/kg)	4,15	5,11	5,07
Plomo (mg/kg)	No detectable	No detectable	No detectable

En las tres muestras de leche cruda de vaca analizadas no se detectaron metales pesados como arsénico, cadmio, mercurio ni plomo. Sin embargo, se identificó la presencia de manganeso y zinc en las muestras, siendo la de mayor concentración la proveniente de la quebrada de Shallap. En el caso del zinc, los valores detectados en las muestras de Shallap y Jancu superaron ligeramente los LMP establecidos por la Norma Técnica Rumana. Por otro lado, aunque se confirmó la presencia de manganeso, no existe una normativa internacional que establezca LMP específicos para este metal en leche cruda de vaca.

Cabe mencionar que estos minerales, como el zinc y el manganeso —también conocidos como oligoelementos—, son fundamentales para el metabolismo del ganado, ya que intervienen en su crecimiento, en las funciones reproductivas y en diversas reacciones bioquímicas del organismo. Aunque su deficiencia o exceso puede generar desequilibrios, por lo general no representan un riesgo significativo, ya que son eliminados a través de la orina, las heces o la leche. Si bien las concentraciones de manganeso y zinc detectadas en la leche no representan un riesgo para la salud humana, los resultados pueden aportar información sobre la trazabilidad de estos metales en relación con el DAR, desde el suelo y el forraje consumido por el ganado hasta su presencia final en la leche.

## 10. IMPACTOS ECONÓMICOS DEL DRENAJE ÁCIDO DE ROCA

El proceso del DAR en la microcuenca del río Auqui representa una amenaza inminente para la provisión de servicios ecosistémicos hídricos, esenciales tanto para el consumo humano como para las actividades agropecuarias. La acidificación del agua y la presencia de metales pesados comprometen la seguridad hídrica y alimentaria de la zona.

En este contexto, resulta relevante estimar el impacto económico de este fenómeno para dimensionar la magnitud de las pérdidas económicas asociadas a la disminución de la producción agrícola y ganadera, así como los costos potenciales de adaptación y mitigación. Uno de los objetivos principales de este estudio fue precisamente la valoración económica de los impactos del DAR sobre los medios de vida y los servicios ecosistémicos hídricos en un sector priorizado de la subcuenca del río Quillcay.

Para ello, se diseñó una metodología específica, considerando la disponibilidad de información existente y las limitaciones de tiempo y recursos. Se optó por aplicar el método de precios de mercado y de costos de oportunidad, el cual permite estimar el valor económico de los impactos del DAR mediante la observación de los precios de mercado de los bienes y servicios afectados, así como la estimación de los costos de oportunidad asociados a su pérdida.

Para la evaluación de los impactos económicos, se consideró el valor de uso, entendido como el beneficio derivado del aprovechamiento directo o indirecto de los servicios ecosistémicos por parte de los individuos o la sociedad (Minam, 2016). Para realizar un análisis más detallado, este valor se dividió en valor de uso directo y valor de uso indirecto.

El valor de uso directo fue estimado mediante el cálculo del costo de oportunidad asociado a la captación de agua del río Auqui para consumo poblacional, utilizando para ello el método de precios de mercado. Por su parte, el valor de uso indirecto se estimó considerando el uso del agua para riego en la producción de cultivos y pastos destinados a la ganadería. En este caso, el servicio ecosistémico hídrico se concibe como un insumo fundamental para la obtención de productos agropecuarios que son comercializados en el mercado local, por lo que se recurrió también a precios de mercado para su valoración.

**Tabla 43. Criterios para la valoración económica de impactos del DAR**

Método de valoración	Tipo de Valor	Condiciones necesarias	Información requerida
Valor de mercado	Uso directo	Los bienes y servicios que se transan en el mercado	Precio Cantidades Costos
Cambios en la productividad	Uso indirecto	Los bienes y servicios ecosistémicos se constituyen en insumo de los productos de mercado	Precio Costos Cantidad o calidad del bien o servicio ecosistémico

Nota: Adaptado de la Guía de valoración económica del patrimonio natural (Minam, 2016).

Las fuentes de información utilizadas fueron tanto primarias como secundarias. Entre las fuentes primarias se incluyeron encuestas a productores pertenecientes a unidades de producción familiar, así como entrevistas a representantes de las JASS y a funcionarios de entidades estatales vinculadas al servicio de agua potable. Por otro lado, la información secundaria fue recopilada de portales oficiales y fuentes documentales relevantes.

## 10.1. Impactos económicos en el uso directo del servicio ecosistémico hídrico

El DAR es un proceso que deteriora la calidad del agua y pone en riesgo los sistemas de abastecimiento para uso poblacional, debido a que afecta directamente las fuentes de captación, como las quebradas Shallap, Quillcayhuanca y, aguas abajo, el río Auqui. Esta situación no solo genera problemas de inseguridad hídrica, sino que, dependiendo de su gravedad, obliga a cambiar las fuentes de captación, lo que a su vez se traduce en un aumento de los costos operativos por la necesidad de tratamientos más complejos y costosos para la potabilización del agua.

Para estimar los impactos económicos del DAR sobre los servicios ecosistémicos hídricos, se calculó el costo de oportunidad asociado a la captación de agua del río Auqui para consumo poblacional. Para ello, se recopiló información de los últimos diez años sobre los costos de proyectos de inversión relacionados con el cambio de fuentes de captación, así como datos sobre el incremento de los costos operativos y de tratamiento en los sistemas de agua potable de la ciudad de Huaraz y de los centros poblados de Jancu, Paquishca, Queropampa, Coyllur e Ichoca.

Para ampliar el análisis de los impactos económicos, este se dividió en dos partes: por un lado, los impactos en los sistemas de abastecimiento de agua en los centros poblados de Jancu, Paquishca, Queropampa, Coyllur e Ichoca; y, por otro, los impactos en la provisión de agua potable para la ciudad de Huaraz, gestionada por la EPS Chavín.

### 10.1.1. Impactos sobre los sistemas de abastecimiento en los centros poblados

En la microcuenca del río Auqui operan cinco JASS que brindan el servicio de agua potable a los centros poblados de Jancu, Paquishca, Queropampa, Coyllur e Ichoca. En los últimos diez años, estos sistemas de abastecimiento han sido directamente afectados por el DAR. Como medida de remediación, se ejecutaron PIP a cargo de la MPH. Para identificar estas intervenciones, se revisó el banco de proyectos del MEF, donde se encontraron tres proyectos cuya justificación señalaba expresamente la presencia de metales pesados en las fuentes de captación como motivo principal para su ejecución.

**Tabla 44. PIP ejecutados en el ámbito de estudio relacionados al servicio de agua potable**

Ítem	Nombre del proyecto	Código de SNIP o CUI	Sustento de intervención <sup>54</sup>
1	Instalación del sistema de saneamiento básico rural y ampliación del sistema de agua potable en el caserío de Jancu del C. P. de Coyllur, distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, Áncash.	129181	Cuenta con un sistema de abastecimiento de agua para consumo humano. Asimismo, parte de la población sigue tomando agua de pequeños riachuelos, los cuales se encuentra expuestos a la contaminación.
2	Mejoramiento del servicio de agua potable de los centros poblados de Ichoca y Coyllur del distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, Áncash	293309	Los centros poblados de Ichoca y Coyllur cuentan con sistema de captación del río Auqui, pero no es apto para el consumo humano porque contiene minerales.
3	Instalación del sistema de agua potable y desagüe del caserío de Paquishca, distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, Áncash.	2134409	Frecuentes casos de enfermedades gastrointestinales y parasitarias en el caserío de Paquishca, del centro poblado de Coyllur. Deficiente servicio de agua potable y consumo de agua de mala calidad.

Nota: Elaboración propia con información extraída del registro del Banco de Proyectos del MEF.

Para estimar el valor económico de los impactos del DAR, se tomó como referencia el costo de oportunidad<sup>55</sup>. En el caso de este estudio, el cambio de las fuentes de captación a nuevas ubicaciones resulta altamente costoso, ya que implica la pérdida del valor de la infraestructura existente, además de los gastos adicionales asociados a la ejecución de los nuevos proyectos de captación. Por tanto, el costo de oportunidad derivado de dicho cambio se refleja en las pérdidas económicas. Este enfoque se ajusta a la metodología de valoración económica basada en valores de mercado, dado que estos proyectos se han ejecutado utilizando insumos, materiales, equipos y servicios a precios vigentes del año en curso. Por ello, estos costos se consideran parte integral de los impactos económicos.

Con base en la información registrada en el aplicativo Sistema de Seguimiento de Inversiones (SSI) del MEF sobre los proyectos ejecutados por la Municipalidad Provincial de Huaraz en los últimos años, se realizó la actualización de los costos de inversión mediante un proceso de indexación. Esto consistió en actualizar a valores presentes (noviembre de 2024) los montos de inversión correspondientes al año de liquidación o ejecución del proyecto, utilizando para ello datos de inflación y del Índice de Precios al Consumidor (IPC).

54 Parte fundamental de la metodología para la formulación de un proyecto de inversión pública (PIP) es realizar un diagnóstico preciso de la unidad productora de servicios (UP), lo cual permite plantear soluciones óptimas ajustadas a las necesidades identificadas.

55 El costo de oportunidad es el valor de la alternativa sacrificada al tomar una decisión. Es decir, el beneficio que se deja de percibir al elegir una opción en lugar de otra (Samuelson, 1948).

**Tabla 45. PIP ejecutados y liquidados en los últimos diez años**

Ítem	Nombre del proyecto	Código de SNIP o CUI	Fecha de liquidación o última actualización	Monto ejecutado o liquidado (S/)	Monto actualizado (indexado) al 2024 (S/)
1	Instalación del sistema de saneamiento básico rural y ampliación del sistema de agua potable en el caserío de Jancu del centro poblado de Coyllur, distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, Áncash.	129181	5/3/2015	315.974	439.473
2	Mejoramiento del servicio de agua potable de los centros poblados de Ichoca y Coyllur del distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, Áncash.	293309	6/12/2024	3.463.336	3.463.335,62
3	Instalación del sistema de agua potable y desagüe del caserío de Paquishca, distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, Áncash.	2134409	12/12/2014	1.566.682	2.206.199
<b>Monto total invertido (S/)</b>				<b>5.345.991</b>	<b>6.109.007</b>

Nota: Elaboración propia con información del registro de SSI, actualizada al 6 de diciembre de 2024.

El monto actualizado a noviembre de 2024 correspondiente a los PIP ejecutados en los últimos diez años para remediar la afectación de las fuentes de captación por el DAR asciende a 6.109.007 soles. Esta cifra representa el impacto económico del DAR en los sistemas de abastecimiento de agua para uso poblacional en el ámbito rural.

Además, existen costos adicionales relacionados con la operación y mantenimiento, así como gastos que los usuarios han asumido para garantizar la continuidad del servicio de agua potable. Esto se respalda con los testimonios de los entrevistados, quienes indican que la captación de agua para los centros poblados de Queropampa, Coyllur e Ichoca provenía originalmente del río Auqui. Sin embargo, debido a la contaminación causada por metales pesados y agua ácida, en 2015 los usuarios decidieron cambiar la captación hacia el sector Llupa. La construcción de la infraestructura de captación y la línea de conducción fue realizada mediante autofinanciamiento.

«Antiguamente nuestra captación [de agua potable] era directo del río, pero de más al fondo, pero encontraron que estaba contaminado tanto con metales y que también la gente lavaba ropa y algunos desagües iban de frente al río, por eso se cambió hacia el sector Llupa». (Poblador, comunicación personal, 9 de agosto de 2024).

«Pusimos cuota cada familia, se hicieron polladas y otras actividades para poder financiar el proyecto de traer agua de Llupa, para comprar los materiales e insumos [...]. Aproximadamente se juntó entre treinta mil a treinta y cinco mil. Eso no incluye la mano de obra, los trabajos ser realizaron en faenas». (Poblador, comunicación personal, 10 de agosto de 2024)

**Tabla 46. Gastos asumidos por los usuarios para garantizar la continuidad del servicio**

Descripción de la actividad	Año	Monto invertido (S/)	Monto actualizado o indexado al 2024 (S/)
Costo de conducir agua del sector de Llupa, autofinanciado por los usuarios	2015	89.750	124.829

El monto estimado recaudado e invertido fue de 89.750 soles, que actualizado a noviembre de 2024 asciende a 124.829 soles. Esta cifra se considera parte de los impactos económicos que genera el DAR en la provisión del servicio ecosistémico hídrico.

### 10.2.1. Impactos en la provisión de agua potable para ciudad de Huaraz

La subcuenca del río Quillcay constituye la principal fuente de agua para la ciudad de Huaraz. La EPS Chavín es la responsable de brindar el servicio de agua potable a los distritos de Huaraz e Independencia. El abastecimiento se realiza principalmente mediante agua superficial captada del río Paria, a través de dos infraestructuras: Yarush y Unchus (Sunass, 2022).

En conjunto, ambas captaciones permiten recolectar un caudal total de 510 litros por segundo. Además, se cuenta con la captación del río Auqui, que aporta 20 litros por segundo. Sin embargo, según el estudio tarifario de 2022, esta fuente se utiliza solo durante épocas de estiaje severo o en situaciones de emergencia.

**Tabla 47. Captaciones para la ciudad de Huaraz**

Nombre de captación	Caudal (l/s)
Yarush	350
Unchus	160
Auqui <sup>56</sup>	20
Total	510

Nota: Elaboración propia con información extraída del registro del Banco de Proyectos del MEF.

Para estimar los impactos económicos en el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Huaraz, se utilizó el enfoque del costo de oportunidad. Este enfoque permite analizar los costos asociados al cambio de fuente de captación, así como estimar los gastos en los que incurre la EPS Chavín como consecuencia del DAR. Para ello, se recopiló información sobre proyectos ejecutados en los últimos diez años, implementados como respuesta a la acidificación de las aguas del río Auqui.

56 La captación del río Auqui se describe en el Estudio Tarifario de Sunass (2022), página 83 (disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6777525/5872622-estudio-tarifario-de-la-eps-chavin-s-a-periodo-2023-2027.pdf?v=1723667411>).

Cabe señalar que, hasta aproximadamente 2008, el río Auqui fue la principal fuente de abastecimiento de agua para la ciudad. La captación «Coyllur», ubicada al este de Huaraz, cerca del centro poblado del mismo nombre, fue construida en 1941 y tenía una capacidad de captación de 350 litros por segundo (EPS Chavín, 2012).

Sin embargo, debido al deterioro de la calidad del agua del río Auqui por efecto del DAR, se realizaron proyectos para migrar la captación hacia la microcuenca del río Paria. Según la Gerencia Operacional de la EPS Chavín, estos proyectos incluyeron la ampliación de las infraestructuras de captación, la implementación de sistemas de almacenamiento, la instalación de nuevas líneas de conducción y la construcción de plantas de tratamiento, todo ello para garantizar un abastecimiento seguro y sostenible para la población de Huaraz.

**Tabla 48. Proyectos ejecutados por la EPS Chavín en los últimos diez años**

Ítem	Nombre del proyecto	Código de SNIP o CUI	Fecha de liquidación o última actualización	Monto ejecutado o liquidado (S/)	Monto actualizado (indexado) al 2024 (S/)
1	Mejoramiento y ampliación del volumen de regulación del servicio de agua potable en el sector de abastecimiento de la planta de tratamiento de agua potable Paria, distrito de Independencia, provincia de Huaraz, Áncash.	303029	31/01/2016	2.763.484	3.713.625
2	Mejoramiento de captación Paria, Bellavista, Huaraz, Áncash.	330924	22/10/2017	1.387.165	1.787.237
3	Mejoramiento de las líneas de conducción de la captación Unchus a la planta de tratamiento de agua potable Bellavista.	-	26/03/2016	213.554	284.764
4	Mejoramiento de la captación de Unchus, río Paria, distrito de Independencia, provincia de Huaraz, Áncash.	-	4/04/2016	37.176	49.568
5	Mejoramiento de la captación de Yarush, río Paria, distrito de Independencia, provincia de Huaraz, Áncash.	-	4/04/2016	64.911	86.545
<b>Total</b>				<b>4.466.291</b>	<b>5.921.739</b>

Nota: Elaboración propia con información de la EPS Chavín, Gerencia Operacional<sup>57</sup>.

Los proyectos ejecutados fueron financiados directamente por la EPS Chavín. Dado que estas intervenciones se realizaron como medidas de adaptación frente a la acidificación del río Auqui, los costos incurridos pueden considerarse como costos adicionales o, en términos económicos, costos hundidos. Estos son gastos irreversibles, cuya recuperación no es posible, y en el presente estudio se asume que todas las acciones implementadas por la EPS para cambiar la fuente de captación corresponden a esta categoría.

El monto total invertido en estos proyectos asciende a 4.466.291 soles, correspondiente a 2016 y 2017. Para actualizar este valor a precios corrientes de noviembre de 2024, se aplicó una operación de indexación utilizando el IPC y la inflación acumulada. Como resultado, se estimó un monto ajustado de 5.921.739 soles. Este valor representa el impacto económico del DAR sobre los servicios ecosistémicos hídricos, específicamente en el abastecimiento de agua potable.

Adicionalmente, se dispone de información sobre los costos de producción de agua potable, proporcionada por la EPS Chavín. Estos datos permiten comparar el costo por metro cúbico de agua producida a partir del río Paria con el de la captación histórica del río Auqui, lo cual permite dimensionar con mayor precisión el impacto económico del cambio de fuente en términos operativos.

**Tabla 49. Costos de producción por m<sup>3</sup> de agua según fuente de captación**

Costos de producción por fuente de captación	Costo (S/)	Ratio o variación de costo
Costo de producción de agua del río Paria por m <sup>3</sup>	0,08	1
Costo de producción de agua del río Auqui m <sup>3</sup>	0,12	1,53
Diferencial	0,04	0,53

Nota: Elaboración propia con datos de EPS Chavín, Gerencia Operacional y Mantenimiento, octubre de 2024.

De la tabla anterior se concluye que producir agua potable a partir del río Auqui resulta un 53% más costoso en comparación con el río Paria. Este incremento se debe principalmente a los mayores requerimientos de insumos químicos para el tratamiento de aguas ácidas con alta concentración de metales.

A partir de esta diferencia, se estimaron nuevos impactos económicos, tomando como referencia un diferencial de 0,04 soles por metro cúbico, valor que representa el costo incremental de producción cuando se capta agua del río Auqui. Este monto puede interpretarse también como el valor del servicio ecosistémico hídrico perdido debido al deterioro de la calidad del agua por efecto del DAR.

En la siguiente tabla se presenta el costo promedio anual de producción de agua potable por fuente de captación, resultado de multiplicar el costo por metro cúbico por el volumen promedio anual de producción de la EPS Chavín. Con ello, se obtiene un costo total anual estimado de 1.002.442 soles, que refleja el impacto económico adicional atribuible al deterioro de los servicios ecosistémicos hídricos.

**Tabla 50. Costo promedio de producción anual por fuente de captación**

Fuente de captación (m <sup>3</sup> )	Costo por m <sup>3</sup> (S/)	Producción promedio anual (m <sup>3</sup> )	Costo de producción anual por fuente (S/)
Captación de río Paria	0,08	12.888.960	966.672
Captación de río Auqui	0,12	311.040	35.770
Diferencial/total	0,04	13.200.000	1.002.442

Nota: Elaboración propia con datos de la EPS Chavín S. A., octubre de 2024.

Asumiendo que la pérdida económica generada por el DAR sobre el servicio de provisión de agua potable en la ciudad de Huaraz equivale al diferencial de 0,04 soles por metro cúbico, se procedió a estimar el impacto económico anual para la EPS Chavín. Este cálculo se realizó multiplicando el costo incremental por la producción promedio anual de agua potable. El resultado es una pérdida económica estimada de 528.000 soles anuales, monto que representa el costo adicional que enfrenta la EPS por no poder utilizar de forma regular la fuente del río Auqui debido a la degradación de la calidad del agua.

**Tabla 51. Valor del SEH perdido en el horizonte de evaluación**

Diferencial de costos = Valor del SEH m <sup>3</sup>	Producción promedio anual (m <sup>3</sup> )	Valor del SEH impactado S/ / Año	Valor del SEH impacto en el horizonte de análisis (diez años) S/
0,04	13.200.000	528.000	6.336.000

Nota: Elaboración propia con datos de la EPS Chavín S. A., 2024.

Por otro lado, para realizar un análisis de prospección del costo de oportunidad, se consideró la tarifa social que actualmente cobra la EPS Chavín en la ciudad de Huaraz, la cual es de 0,61 soles por metro cúbico. En el escenario hipotético en que la única fuente de captación disponible fuera el río Auqui — en sus condiciones actuales de calidad del agua y con la tecnología e infraestructura de tratamiento disponibles—, se estima que la nueva tarifa necesaria para cubrir los costos operativos sería un 53% mayor, alcanzando aproximadamente 0,93 soles por metro cúbico. Esta variación representa un incremento de 0,32 soles por metro cúbico. Al multiplicar esta diferencia tarifaria por la producción promedio anual de agua potable, se obtiene un impacto económico estimado de 4.267.560 soles por año. Este valor representa el costo potencial que enfrentaría la población usuaria y la EPS en caso de depender solo del río Auqui como fuente de abastecimiento, reflejando así el valor del servicio ecosistémico hídrico afectado por el DAR.

**Tabla 52. Costo de oportunidad de captar las aguas del río Auqui**

Tarifa social doméstica S/	Costo incremental (CI) S/	Nueva tarifa social doméstica más el CI S/	Variación de tarifa S/	Producción promedio anual (m <sup>3</sup> )	Valor del impacto S/ / Año
0,61	53%	0,93	0,32	13.200.000	4.267.560

Nota: Elaboración propia con datos de la EPS Chavín S. A., 2024.

## 10.2. Valor económico de producción de cultivos en riesgo

Tomando en cuenta los criterios técnicos del método seleccionado, para el caso de los cultivos se realizó previamente una caracterización de la producción agrícola, que incluyó el cálculo del rendimiento por cultivo y la estimación de la producción total en toneladas métricas durante la última campaña. A partir de estos datos, se identificaron los cultivos con mayor dependencia del riego, lo cual permitió enfocar el análisis en aquellos más vulnerables frente a alteraciones en la calidad del agua.

La valoración económica de los impactos se ha desarrollado considerando el riesgo que representa el DAR para la producción agrícola, dado que los sistemas de riego de la zona dependen de fuentes como la quebrada Shallap y el río Auqui, ambas afectadas por dicho fenómeno. En un escenario en el que no se implementen medidas de mitigación, el problema podría agravarse, generando la acumulación progresiva de metales pesados en el suelo, lo que comprometería la fertilidad y la viabilidad agrícola en el mediano y largo plazo.

En este contexto, la valoración económica de uso indirecto de los servicios ecosistémicos hídricos, específicamente en su función de provisión de agua para riego agrícola. El DAR representa así un riesgo la producción de cultivos en la zona de estudio, con posibles pérdidas económicas significativas si no se controlan los impactos sobre la calidad del recurso hídrico.

El método aplicado para la estimación del impacto económico en la agricultura fue el de cambios en la productividad, el cual se basa en considerar el valor total de la producción agrícola de la última campaña que se encuentra en riesgo debido a la afectación de las fuentes hídricas por el DAR. En la **tabla 51** se presenta la producción total por cultivo, y para la valoración económica se multiplicaron dichos volúmenes por los precios de mercado locales a los que se comercializan los productos.

Como resultado, se estimó que el valor económico anual de la agricultura en la microcuenca del río Auqui asciende a 914.070 soles. Este valor representa el monto de la producción agrícola que podría verse comprometido en un escenario sin medidas de mitigación. Asimismo, el análisis arrojó un valor per cápita aproximado de 818 soles, reflejando el impacto potencial en los ingresos de las familias agrícolas de la zona.



**Tabla 53. Cantidades de producción según cédula de cultivos en la última campaña agrícola**

Especie de cultivo	Tipo de cultivo	Cantidad de unidades de producción familiar (UPF)	Rendimiento (tm/ha)	Cantidad cosechada campaña 2023-2024 (kg)	Área cultivada (ha)	Precio de mercado por kg (S/)	Valor (S/)
Tubérculos	Papa	237	12,49	123.240	9,9	1,7	209.640,60
	Oca	128	4,00	19.200	4,8	1,5	28.876,50
	Mashua	42	3,80	5.040	1,3	1,4	7.030,80
	Olluco	59	4,69	4.248	0,5	1,5	6.327,72
Cereales	Maíz	165	16,23	35.640	2,5	8	284.446,08
	Trigo	123	1,08	4.428	4,1	5	22.096,80
Legumbres	Chocho	86	1,01	3.096	3,1	6	18.681,84
	Arvejas	81	0,96	1.944	1,8	4	6.963,84
	Habas grano	86	1,08	2.322	2,2	2,5	5.838,08
Pastos y forrajes	Alfalfa y otros forrajes	187	54,05	55.165	2,8	2	110.288,70
Subtotal de valor de producción de cultivos en limpio							700.190,96
Otros cultivos							
Hortalizas y hierbas medicinales	Hortalizas						
	Hierbas medicinales	89	-	150	11,10	-	213.878,61
Valor total de la producción agrícola							914.069,57

Nota: Elaboración propia con información de campo y datos de estadísticas agrarias 2023-2024.

El método de cambios en la productividad permite estimar el impacto económico a partir de la variación en la cantidad de producción debido a la afectación de un servicio ecosistémico clave, en este caso, el agua para riego agrícola. Aunque actualmente no se dispone de datos específicos sobre las variaciones cuantitativas en la producción agrícola asociadas al uso de aguas ácidas provenientes del DAR, se reconoce un riesgo potencial significativo. Este riesgo radica en que, de persistir o agravarse la afectación en la calidad del agua, podría generarse una pérdida total o parcial del valor anual de la producción agrícola. Por ello, el monto estimado representa un impacto económico potencial, que debe ser considerado en la planificación de medidas de prevención y mitigación en la microcuenca del río Auqui.

### 10.3. Valor económico de la actividad pecuaria en riesgo

Para la estimación de los impactos económicos de la actividad pecuaria, previamente se realizó la caracterización de la actividad ganadera, tenencia de animales mayores y menores, lugares de pastoreo y exposición al canal Shallap y el río Auqui. Se estimó los valores económicos bajo el mismo método, considerando el riesgo potencial de la exposición de los ganados vacunos y ovinos al DAR en los ríos y canales donde consumen agua con metales y consumir pastos contaminados.

Asimismo, la crianza de cuyes está expuestas al DAR ya que la principal fuente de alimentación es la alfalfa, el cual se riega con agua del canal que proviene de la quebrada de Shallap.

Para estimar del valor económico de la actividad pecuaria en riesgo, se realizó el cálculo multiplicando el precio promedio referencial por unidad de ganado. El valor económico de la actividad pecuaria en riesgo representa la suma de 2.247791 soles y un valor per cápita de 2.009 soles.

**Tabla 54. Valor económico de la actividad ganadera en el área de estudio**

Tenencia de animales domésticos	Especie	Tipo de animales domésticos	Número promedio de cabezas	Número de UPF	Precio de mercado (S/)	Valor (S/)
Animales mayores	Vacunos	Vacas	8	104	500,00	416.000,00
		Toros	3		1.500,00	468.000,00
		Terneros	4		350,00	145.600,00
	Ovinos	Ovejas	89	57	200,00	1.014.600,00
Animales menores	Cuyes	Cuyes	34	222	27,00	203.591,38
<b>Total</b>						<b>S/ 2.247.791,38</b>

Nota: Los datos sobre tenencia de animales son del trabajo de campo y el documento de línea de base ganadera elaborado la DIEM en el 2023.



## 10.4. Infraestructura de riego en riesgo

En la microcuenca del río Auqui, se encuentran dos canales de irrigación principales que captan agua de la quebrada Shallap y del río Auqui. Estas infraestructuras hidráulicas están directamente expuestas al proceso del DAR. A mediano y largo plazo, la acidez del agua y la presencia de metales pesados representan un riesgo significativo de deterioro estructural, lo cual podría comprometer la integridad y limitar la vida útil de dichos canales.

Asimismo, existe la posibilidad de que, ante el agravamiento del problema del DAR, se tenga que suspender el uso de estos canales. Esta situación tendría impactos negativos directos sobre la actividad agropecuaria local, que depende fundamentalmente del abastecimiento hídrico que estos sistemas proveen para riego y consumo animal.

- **Canal Shallap-Huapish-Toclla**

Este canal fue intervenido mediante el proyecto de Mejoramiento y ampliación del sistema de riego Shallap-Huapish-Toclla, ubicado en el distrito y provincia de Huaraz<sup>58</sup>, Áncash. El proyecto contó con un presupuesto actualizado de 20.643.643,22<sup>59</sup> soles y culminó la obra física el 20 de agosto de 2015<sup>60</sup>. Sin embargo, debido a controversias, la inauguración oficial se realizó recién en 2018. El componente principal del proyecto fue la construcción de un canal de riego de 18,04 kilómetros revestido en concreto. No se contempló la implementación de sistemas de riego tecnificado parcelario.

- **Canal Paquishca-Queropampa**

En el segundo semestre de 2024, la MPH ejecuta el proyecto de mejoramiento del servicio de agua para riego Paquishca-Queropampa en el centro poblado de Coyllur, con un presupuesto actualizado de 3.002.349,06 soles.

Ambos canales captan aguas afectadas por el DAR, con presencia de aguas ácidas y concentraciones de metales pesados que superan los límites establecidos en las ECA para riego y consumo animal (ver tabla 14 y tabla 15). Sin embargo, en la planificación y presupuestos de estos proyectos no se consideró la inclusión de sistemas de tratamiento para mitigar estos contaminantes. Esta omisión representa un riesgo no solo para la producción agrícola que depende directamente de estos canales, sino también pone en entredicho la sostenibilidad de la inversión pública realizada.

A continuación, se presenta un resumen integral de la valoración económica de los impactos derivados del DAR en el ámbito de estudio:

58 El proyecto está registrado con el Código Único de Inversión (CUI) 2084981.

59 Información según la plataforma de banco de inversiones del MEF.

60 Según el cuaderno de obra Asiento 640 (Midagri, 2017).

**Tabla 55. Valor económico del impacto del DAR en la provisión del servicio ecosistémico hídrico**

Descripción de impactos	S/
Impactos en el sistema (infraestructura y gestión) de provisión agua potable en la microcuenca del río Auqui	6.233.836
Impacto al sistema (infraestructura y gestión) de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Huaraz	5.921.739
Impacto en el valor del servicio ecosistémico hídrico (disponibilidad y calidad) en la subcuenca del río Quillcay	5.280.000
<b>Valor total del impacto económico en los últimos diez años</b>	<b>17.435.575</b>



El impacto económico del DAR en la provisión de agua para uso poblacional en la subcuenca del río Quillcay se estima en más de 17 millones de soles durante un periodo de diez años.

Asimismo, se valoró el riesgo que representa el proceso del DAR para la provisión del servicio de agua potable en la ciudad de Huaraz, así como para los sistemas productivos y la infraestructura de riego, evidenciando la vulnerabilidad y posibles pérdidas económicas significativas en estos sectores.

**Tabla 56. Valor económico en riesgo para diferentes sistemas expuestos**

Descripción de elementos/sistemas en riesgo	Total en S/
Riesgo en el incremento de la tarifa del servicio de agua potable para la ciudad de Huaraz	4.267.560
Valor económico de producción de cultivos en riesgo	914.070
Valor económico de la producción ganadera en riesgo	2.247.791
Valor de la infraestructura de riego en riesgo	23.645.992
<b>Total</b>	<b>31.075.413</b>

En el caso del servicio de provisión de agua potable, se ha estimado que el costo para mantener el servicio superaría los 4 millones de soles en el escenario en que no se implementen medidas de mitigación frente al proceso del DAR, y este problema se agrave contaminando todas las fuentes hídricas. Esta situación generaría costos adicionales significativos para el tratamiento y potabilización del agua, afectando la garantía de acceso al recurso para la población.

Respecto al sector agropecuario, el valor en riesgo asciende a más de 3 millones de soles, debido a que la contaminación del agua podría reducir la productividad de los cultivos y afectar la salud del ganado. Esta situación comprometería la seguridad alimentaria de las comunidades rurales, que dependen en gran medida de la agricultura y la ganadería para su sustento. Además, la reducción en la producción agropecuaria impactaría negativamente los ingresos familiares y la economía local.

En resumen, se ha valorizado un riesgo económico superior a los 31 millones de soles atribuible al proceso del DAR en la subcuenca del río Quillcay. Sectores como el turismo y otras actividades económicas también podrían verse afectados, aunque actualmente no se dispone de estimaciones cuantitativas específicas para estos ámbitos. Sin embargo, su vulnerabilidad frente al DAR es un aspecto relevante a considerar.

Por lo tanto, la ausencia de acciones de mitigación no solo agravaría la problemática ambiental, sino que también incrementaría considerablemente los costos económicos asociados. La inversión en la prevención y gestión sostenible de la cuenca resulta fundamental para salvaguardar la economía local y el bienestar de las comunidades que dependen de estos servicios ecosistémicos.

## 11. CONCLUSIONES

El presente estudio evidencia la estrecha relación entre el cambio climático, el retroceso glaciar, la contaminación del agua con metales pesados y la afectación de los medios de vida en la subcuenca del río Quillcay. La degradación de la calidad del agua impacta directamente su disponibilidad, poniendo en riesgo la sostenibilidad de la agricultura y la ganadería, actividades fundamentales para las comunidades rurales, y comprometiendo la seguridad alimentaria y el bienestar de la población local.

Los medios de vida en las comunidades estudiadas son altamente vulnerables a los efectos del DAR, dada la situación social y económica de la zona. Aunque se reconoce que las aguas presentan un proceso de acidificación y contienen elevadas concentraciones de metales pesados, las acciones para enfrentar esta problemática son insuficientes. Esta falta de respuesta podría estar relacionada con que el DAR no se percibe aún como un riesgo directamente vinculado al cambio climático, a pesar de que afecta críticamente el servicio de provisión de agua para consumo humano y actividades agropecuarias. Por ello, resulta imprescindible la implementación de medidas integrales de mitigación y adaptación que permitan proteger los recursos hídricos y garantizar la sostenibilidad de los medios de vida en la región.

Existen soluciones técnicas que pueden contribuir a mejorar la calidad del agua en la zona. Una de ellas es la biorremediación; un sistema de este tipo fue implementado en el tramo final del canal Shallap y funcionó durante algún tiempo. Sin embargo, debido a la pandemia y a problemas organizativos entre los usuarios, actualmente dicho sistema ha dejado de operar. Para reactivar esta solución, es necesario realizar un trabajo intensivo de fortalecimiento de la organización de regantes, además de brindar apoyo en materiales y mano de obra.

Un aspecto clave para reducir la vulnerabilidad de las comunidades es fortalecer sus medios de vida, a través del apoyo a las actividades agrícolas y pecuarias mediante asistencia técnica, capacitación y acceso a crédito. En la zona existen potencialidades importantes, como en Jancu, donde se cría ganado vacuno y ovino en cantidades significativas. Además, se han identificado actividades con baja dependencia del recurso hídrico, como la apicultura, que podría potenciarse como alternativa para diversificar y complementar los ingresos. De igual forma, la transformación de lana de oveja en prendas de vestir representa otra opción viable para agregar valor a la producción local.

Por otro lado, las JASS son organizaciones fundamentales para la provisión de agua potable en las zonas rurales, aunque actualmente no reciben apoyo estatal. Estas entidades autogestionarias que dependen del compromiso y aporte de sus socios para su funcionamiento. Por ello, es indispensable fortalecerlas mediante asistencia técnica y la provisión de equipos básicos, garantizando así que el agua que gestionan cumpla con los estándares de calidad y no ponga en riesgo la salud de la población.

En este contexto, se hace evidente la urgencia de implementar medidas de mitigación y remediación efectivas para reducir el impacto del DAR y asegurar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos hídricos que provee la subcuenca del río Quillcay. Estas acciones deben contemplar la adopción de tecnologías adecuadas para el tratamiento del agua, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la restauración de los ecosistemas degradados. Además, es fundamental fortalecer la participación activa de las comunidades locales en la gestión y conservación de los recursos hídricos, así como promover la educación ambiental para generar conciencia sobre la importancia de preservar la calidad y disponibilidad del agua.

Finalmente, dada la relevancia hídrica de la subcuenca y frente a un proceso irreversible como el DAR, se requiere establecer una alianza estratégica entre los sectores público, privado y comunitario. Solo a través de una acción coordinada y multisectorial será posible diseñar e implementar estrategias integrales que mitiguen los impactos negativos del DAR, garanticen la seguridad hídrica y fomenten el desarrollo sostenible en la región.

## LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<b>ANA</b>	Autoridad Nacional del Agua
<b>ADMC</b>	Análisis de decisiones multicriterio
<b>ATM</b>	Administración técnica municipal
<b>Cepal</b>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
<b>CI</b>	Costo incremental
<b>CUI</b>	Código único de inversiones
<b>CUP</b>	Comités de usuarios de pastos
<b>CCPP</b>	Centro poblado
<b>DAR</b>	Drenaje ácido de roca
<b>DFID</b>	Departamento para el Desarrollo Internacional del Reino Unido
<b>DIEM</b>	Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña
<b>Diresa</b>	Dirección Regional de Salud
<b>ECA</b>	Estándares de calidad de ambiental
<b>EPS</b>	Empresa prestadora de servicios de saneamiento
<b>GIS</b>	Sistemas de información geográfica
<b>GIZ</b>	Cooperación Técnica Alemana
<b>GORE</b>	Gobierno regional
<b>IFRC</b>	Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja
<b>Inaigem</b>	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
<b>JASS</b>	Junta administradora de servicios de saneamiento
<b>LMP</b>	Límites máximos permisibles

<b>MI</b>	Muestreo de identificación
<b>Minam</b>	Ministerio del Ambiente del Perú
<b>Merese</b>	Mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos
<b>MVCS</b>	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú
<b>MP</b>	Metales pesados
<b>MPH</b>	Municipalidad Provincial de Huaraz
<b>NBI</b>	Necesidades básicas insatisfechas
<b>ONG</b>	Organización no gubernamental
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>PIP</b>	Proyectos de inversión pública
<b>PNH</b>	Parque Nacional Huascarán
<b>PNUD</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>RCACH</b>	Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano
<b>SEH</b>	Servicio ecosistémico hídrico
<b>SNIP</b>	Sistema Nacional de Inversión Pública
<b>Sernanp</b>	Servicio de Áreas Naturales Protegidas por el Estado
<b>Sunass</b>	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
<b>UPF</b>	Unidades producción familiar

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, C., Wester, P., Bhatt, I., Huggel, C., H., I., Morecroft, M. D., ... Prakash, A. (2022). Cross-Chapter Paper 5: Mountains. En: B. R. (eds.). H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (ed.), *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. 2273-2318). <https://doi.org/10.1017/9781009325844.022.2273>
- Anderson, K. A. (2016). *Concerns of Water Scarcity and Water Quality among two Andean Communities in Perú*. University of South Florida.
- Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA). (2015). *Evaluación de recursos hídricos en la cuenca del río Santa: Informe final*. Autoridad Nacional del Agua del Perú (ANA), ed.
- ANA. (2020). *Monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Santa* (H. García, ed.). Huaraz.
- ANA. (2024). *Problema y conflictos. Principales conflictos por el agua detectados en el ámbito Cuenca Pampas*. Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Pampas.
- ANA. (s/f.). *Observatorio Nacional de Recursos Hídricos-ONRH*.
- Anaya, K, Solano, J. (2016) *Determinación de metales pesados (plomo y arsénico) y oligoelementos (hierro, cobre y zinc) en hojas de Crotalaria longirostrata (chipilin) por método de absorción atómica* (Tesis para optar el grado de licenciado en Química y Farmacia). Universidad de El Salvador. El Salvador.
- Banco de Proyectos (2008). *Formato SNIO-03. Ficha de registro. Mejoramiento, ampliación del sistema de riego Shallap-Huapish-Toclla en el distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, Áncash*.
- Blaikie, P., Cannon, T., David, I. & Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: El entorno social, político, y económicos de los desastres* (Primera). Lima: La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Buckles, D. & Rusnak, G. (2000). *Introducción: conflicto y colaboración en el manejo de los recursos naturales*. En: D. Buckles (ed.), *Cultivar la paz: conflicto y colaboración en el manejo de los recursos naturales* (pp. 1-11).
- Caballero, J. (1981). *Economía agraria de la sierra peruana antes de la reforma agraria de 1969*. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.
- Cannon, T. (2006). *Análisis de vulnerabilidad, los medios de vida y los desastres*. En: *Gestión de riesgo y adaptación al cambio climático. Soluciones Prácticas ITDG*, pp. 8-21.
- Carey, M., Molden, O. C., Rasmussen, M. B., Jackson, M., Nolin, A. W. & Mark, B. G. (2017). *Impacts of Glacier Recession and Declining Meltwater on Mountain Societies*. *Annals of the American Association of Geographers*, 107(2), 350-359. <https://doi.org/10.1080/24694452.2016.1243039>
- Carrasco, J., Casassa, G., Pizarro, R. & Saravia, M. (2012). *Impactos del cambio climático, adaptación y desarrollo en las regiones montañosas de América Latina*. En: *Fao [Artículo]*. Chile. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2926.6804>
- Cerna Rubio, F., Rosas, J., Guanilo, M., Farfán, O., Reyes, D., Munarriz, F., ... Chamara, R. (2022). *Determinación del área de prestación de servicios del departamento de Áncash* (Sunass, ed.).

- Chambers, R. & Conway, C. (1992) Medios de vida rurales sostenibles: conceptos prácticos para el siglo XXI, Documento de debate de IDS B.º 296, Brighton: IDS.
- Development, Departament International. (1999). Hojas orientativas sobre los medios de vida sostenibles. Fragmento adaptado de Sustainable Rural Livelihoods: Practical Concepts for the 21 Century. DFID.
- Del Carpio, L. & Avolio, B. (2023). Índice del desarrollo social de la mujer y el hombre en los países de América Latina 2023 (Primera). Lima: Centrum PUCP. <https://centrumthink.pucp.edu.pe/>
- European Environment Agency. (1999). Environmental Indicators: Typology and Overview. Copenhagen: EEA.
- Furlong, C. & Tippett, J. (2013). Returning knowledge to the community: An innovative approach to sharing knowledge about drinking water practices in a peri-urban community. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 3(4), 629-637. <https://doi.org/10.2166/washdev.2013.071>
- Fow, A. (2021) Evaluación de la capacidad fitorremediadoras de tres especies vegetales altoandinas asistidas con biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayhuanca, Áncash. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales]. Universidad Nacional del Callao.
- GIZ; Eurac. (2017a). El libro de la vulnerabilidad: concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad. GIZ. [www.adaptationcommunity.net/?wpfb\\_dl=269](http://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=269)
- GIZ; Eurac. (2017b). Suplemento de riesgo para el Libro de la Vulnerabilidad. Guía sobre cómo aplicar el enfoque del Libro de la Vulnerabilidad con el nuevo concepto de riesgo climático del IE5 del IPCC. GIZ.
- Gómez, J. (2023) Humedales construidos para el tratamiento de drenaje ácido de roca en zonas altoandinas (Trabajo final de grado). Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech. Barcelona.
- Gottret, M. (2011). El enfoque de medios de vida sostenibles. Una estrategia para el diseño e implementación de iniciativas para la reducción de la pobreza. Centro Agronómico Tropical y Enseñanza (Catie) y Instituto de Desarrollo Rural (IDR). Turrialba, Costa Rica.
- Grande, J. A., Loayza-Muro, R., Alonso-Chaves, F. M., Fortes, J. C., Willems, B., Sarmiento, A. M., ... Luís, A. T. (2019). The Negro River (Áncash-Peru): A unique case of water pollution, three environmental scenarios and an unresolved issue. *En: Science of the Total Environment*, 648, 398-407. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.068>.
- Hirve, M. et al., 2020. Heavy metals, water deficit, and their interaction in plants: An overview. *Plant Life under Changing Environment: Responses and Management*. pp. 175-206. DOI 10.1016/B978-0-12-818204-8.00009-6.
- Federación Internacional de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja (IFRC). (2008). Directrices para evaluaciones de emergencia.
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem). (2020). Informe: calidad de Agua de la unidad hidrográfica Quillcay-microcuenca Quillcayhuanca.
- Inaigem. (2023). Memoria descriptiva del Inventario Nacional de Glaciares y Laguna de Origen Glaciar del Perú. Dirección de Investigación en Glaciares (DIG)-Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem), Huaraz, Perú.
- INEI. (2017). Censos Nacionales 2017:XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.
- IPCC. (2022). Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

- IPCC. (2022). Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Pötner, H. En: O., Roberts, DC, Tignor, M., Poloczanska, ES, Mintenbeck, K., Ale, A., Eds. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>. Front
- IPCC. (2023). Summary for Policymakers. En: H. L. & J. Romero (Ed.), *Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 36). Ginebra.
- IPE. (2023). Índice de Competitividad Regional-INCORE 2023. Instituto Peruano de Economía.
- Jara, F., Mejía, A., Mejía, T. & Revelo, G. (2023). Estimation of deglaciation in the sub-basin of the Quillcay river-Perú, in the fase of climate change. *Annals of Forest Research*, 66 (1): 2681-2695.
- Jones, R. N. (2001). An environmental risk assessment/management framework for climate change impact assessments. *Natural Hazards*, 23(2-3), 197-230. <https://doi.org/10.1023/A:1011148019213>
- Kirk, R., Sawyer, R. & Ega, H. (2008). *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. 9na. edición. Editorial Patria. pp. 151-183.
- Kneib, C. & De Lanversin, C. (2022). Tesis: La agricultura andina orientada hacia la ciudad: ¿declive o intensificación de las prácticas? Estudio de los sistemas de actividades en la cuenca de Quillcay (Áncash, Perú).
- Long, X, Yang, X., Ni, W. Z., Ye Z.D., He, Z.L. Calvert, D & Stofella, J (2003). Assessing Zinc Thresholds for Phytotoxicity and Potential Dietary Toxicity in Selected Vegetable Crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Vol. 34, pp. 1421-1434. [10.1081/CSS-120020454](https://doi.org/10.1081/CSS-120020454).
- Loayza-Muro, R. (2013). *Life at the edge: benthic invertebrates in high altitude Andean streams*. Amsterdam: Tesis de doctorado Universidad de Ámsterdam. ciones Unidas. Santiago de Chile.
- Machelo Pulida, J., Pérez, R. & García, M. (2020). Estudio sobre la contaminación por plomo en áreas agrícolas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 15(3), 123-135. <https://doi.org/10.1234/rca.2020.1503>
- Martel-Valverde, G., Torres-Lázaro, J. & Jara-Infantes, W. H. (2018). Variación del pH en Aguas Superficiales Debido a Drenajes Ácidos de Roca en la Subcuenca Quillcay, Huaraz, Áncash. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 5(5), 57-68. <https://doi.org/10.36580/rgem.i5.57-68>
- Malczewski, J. & Rinner, C. (2015) *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>
- Mallqui, H. (2014). *Proyecto Medidas de Adaptación al Cambio Climático en Cuencas Priorizadas BID-Minam PET 1168*.
- Mark, B. G., French, A., Baraer, M., Carey, M., Bury, J., Young, K. R., ... Lautz, L. (2017). Glacier loss and hydro-social risks in the Peruvian Andes. *Global and Planetary Change*, 159, 61-76. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.10.003>
- McDowell, G., Huggel, C., Frey, H., Wang, F. M., Cramer, K. & Ricciardi, V. (2019). Adaptation action and research in glaciated mountain systems: Are they enough to meet the challenge of climate change? *Global Environmental Change*, 54, 19-30.
- MinamBIENTE (2012). *Guía de aplicación de la valoración económica ambiental*. Oficina de Negocios Verdes y Sostenibles. Bogotá.
- Minam. (2015). *Manual de valoración económica del patrimonio natural*. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Minam y GIZ.

- Minam. (2016). Guía de valoración económica del patrimonio natural. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio natural. Segunda edición.
- Minam. (2019). Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú-Memoria descriptiva. En: Ministerio del Ambiente.
- Midis. (2024). REDinforma. <https://app.midis.gob.pe/redinforma/>
- Morales, B. & Santiago, A. (2017). La Unidad Norte de la cordillera Blanca y el cambio climático. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña* 2, pp. 9-12.
- Montaña, E. (2008). Las disputas territoriales de una sociedad hidráulica. Conflictos en torno al agua en Mendoza, Argentina. *Revista Interamericana de Economía Ecológica*.
- Mussetta, P., Barrientos, M. J., Acevedo, E., Turbay, S. & Ocampo, O. (2017). Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas de Colombia y Argentina. *Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, 0(36), 119. <https://doi.org/10.5944/empiria.36.2017.17862>
- Muñoz, R. (2017). Impacto Del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de la Subcuenca Quillcayhuanca, Perú. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ríos, M., Lacava, J. Curotto, I., Fuks, L. & Gargarello, R. (2019). Acumulación de plomo en especies: potencia para procesos de fitorremediación de suelos urbanos contaminados. *Revista Conhecimento Online*. A 11. V.3. 27-35.
- Rojas, L. & Rengifo R. (2022). Potenciales efectos en la salud de las comunidades situadas en la subcuenca de Quillcay tras exposición a metales pesados (As, Cd, Pb) originados por drenaje ácido de rocas producto del retroceso glaciar-Áncash (Perú) [Trabajo de Investigación para optar el grado de bachiller en Ciencias con mención en Biología]. Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- Rubio, C. & González Weller, D. (2007). El zinc: oligoelemento esencial. *Nutr. Hosp.*, 22(1), 101-107.
- O'Neill, B., Aalst, M. van, Ibrahim, Z. Z., Ford, L. B., Bhadwal, S., Buhaug, H., ... Warren., R. (2022). Key Risks Across Sectors and Regions. 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*.
- Paredes, M. & Sifuentes, M. (2023) Fitorremediación de plomo y cadmio presentes en suelos contaminados por relaves mineros mediante *Allium fistulosum* L. (Cebolla china) (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú.
- PNUMA & Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible. (2007). Manual de capacitación GEO para la realización de evaluaciones integrales y la elaboración de informes. Reino Unido.
- PNUMA & Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible. (2007). Módulo de capacitación 1. El enfoque GEO para la realización de evaluaciones ambientales integrales. En: Manual de capacitación GEO para la realización de evaluaciones integrales y la elaboración de informes. Reino Unido.
- PNUMA & Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible. (2007). Módulo de capacitación 2. El diseño y la organización del proceso de la EAI nacional. En: Manual de capacitación GEO para la realización de evaluaciones integrales y la elaboración de informes. Reino Unido.
- PNUMA & Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible. (2007). Módulo de capacitación 4. Monitoreo, datos e indicadores. En: Manual de capacitación GEO para la realización de evaluaciones integrales y la elaboración de informes. Reino Unido.

- Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). Decreto Supremo 016-2021-Vivienda. Decreto Supremo que aprueba el Texto único Ordenado del Reglamento del Decreto Legislativo 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo 019-2017-Vivienda
- Polk, M. H., Young, K. R., Baraer, M., Mark, B. G., McKenzie, J. M., Bury, J. & Carey, M. (2017). Exploring hydrologic connections between tropical mountain wetlands and glacier recession in Peru's Cordillera Blanca. *Applied Geography*, 78, 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.11.004>
- Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., ... Ranasinghe, R. (2020). The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross-Working Group Discussions. Intergovernmental Panel on Climate Change, setiembre, p. 15.
- Ribani R., A. y Azcona C., M. I. (2017). Efectos tóxicos del manganeso. *Rev Esp Méd Quir*. Vol. 22, pp. 71-76.
- Safwan, A., Izzuddin, M., Asyraf, M., Empina, M. & Syafiiqah, N. (2020) Phytoremediation of lead in Mineral, distilled and surface water using *Pennisetum purpureum* and *Allium fistulosum*. *Materials Today: Proceedings* 31. A175-A179.
- Smith, J., Schellnhuber, J., Fankhauser, S., Leemans, R., Lin, E., Ogallo, L., ... Rosenzweig, C. (2001). Vulnerability to climate change and reasons for concern: A synthesis. En: *Climate Change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability* (pp. 913-967).
- Scoones, I. (2015). *Medios de vida rurales sostenibles y desarrollo rural*. Practical Action Publishing y Winnipeg, CA: Fernwood Publishing.
- Valdez, A. & Antúnez, F. (2023). Expediente técnico. Estudios Básicos. Proyecto: Mejoramiento del servicio de agua para riego Paquishca-Queropampa en el centro poblado de Coyllur, distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, Áncash.
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: design and methods*. En: *Adoption Quarterly* (tercera edición, vol. 5). SAGE Publications. [https://doi.org/10.1300/J145v03n03\\_07](https://doi.org/10.1300/J145v03n03_07)
- Zimmer, A. (2016). Proyecto Asegurando el Agua y los Medios de Vida en la Montaña: Diagnóstico de la subcuenca Quillcay.
- Zimmer, A., Brito Rodríguez, K., Alegre Oropeza, M., J., Sánchez León, C., W. & Recharte Bullard, J. (2018). Implementación de dos sistemas de biorremediación como estrategia para la prevención y mitigación de los efectos del drenaje ácido de roca en la cordillera Blanca, Perú. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 4(4), 57-76. <https://doi.org/10.36580/rgem.i4.57-76>





**INAIGEM**

INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA