Consultoría: Análisis y estimación del riesgo de la cuenca Vilcanota-Urubamba ante los efectos del cambio climático

Producto 3:
Estudio de riesgos climáticos en la cuenca Vilcanota-Urubamba

Instituto de Montaña

Lima, 15 de diciembre del 2022

Tabla de contenidos

Siglas y acrónimos 7

Introducción 9

Antecedentes 10

1. Objetivos 12

2. Alcances 12

3. Marco conceptual para la estimación del riesgo climático 13

4. Marco metodológico para la estimación del riesgo 16

5. La cuenca Vilcanota - Urubamba 22

Ubicación geográfica y geopolítica 22

Hidrología general 24

Ecosistemas y áreas naturales protegidas 26

Población y actividades económicas 26

6. El proceso e implementación de la estimación del riesgo climático para la cuenca Vilcanota-Urubamba 28

Etapa I: Preparación de la estimación del riesgo climático 28

Etapa II: Desarrollo de la estimación del riesgo climático 29

7. Resultados y discusión 51

Factor Peligro 51

Factor Exposición 64

Factor Vulnerabilidad 71

Riesgo climático 79

8. Conclusiones 112

9. Recomendaciones 116

Bibliografía 123

Anexos 125

Anexo 1. Actas de memoria de reuniones y talleres 125

Anexo 2. Lista de invitados y participantes del taller de estimación de riesgo climático de la cuenca Vilcanota-Urubamba 125

Anexo 3. Hoja de ruta para el cálculo de los indicadores 125

Anexo 4. Base de datos del cálculo de los indicadores 125

Anexo 5. Estimación del riesgo 125

Anexo 6. Cadenas de impacto 125

Anexo 7. Mapas de peligros, exposición, vulnerabilidad y riesgo 125

Anexo 8. Base de datos geoespacial 125

Lista de tablas

Tabla 1. Componentes, sujetos y área de análisis de las NDC Agua. 13
Tabla 2. Riesgo climático para la temática de Agua definida por el Plan Nacional de Adaptación. 15
Tabla 3. Relación entre peligros y principales sujetos de análisis a ser afectados. 17
Tabla 4. Cadenas de impacto retroalimentadas por uso del agua. 30
Tabla 5. Criterio utilizado para la relación de las categorías de intensidad del SPI. 34
Tabla 6. Criterio utilizado para la relación de las categorías de intensidad del cambio en la temperatura media anual 34
Tabla 7. Indicadores de extremos climáticos para la determinación de intensidad y frecuencia de precipitación. 35
Tabla 8. Criterio utilizado para la relación de las categorías de intensidad del índice de intensidad y frecuencia de lluvias 36
Tabla 9. Intensidad y frecuencia para la determinación de peligro. 37
Tabla 10. Variables, indicadores y ponderaciones para la estimación del riesgo climático del uso agrario del agua. 39
Tabla 11. Variables, indicadores y ponderaciones para la estimación del riesgo climático del uso poblacional del agua. 43
Tabla 12. Variables, indicadores y ponderaciones para la estimación del riesgo climático del uso energético del agua. 46
Tabla 13. Rangos de valoración para los índices de los factores y del riesgo climático. 51
Tabla 14 . Resultados del índice de peligro por aluviones debido al retroceso glaciar para el uso poblacional 52
Tabla 15. Resultados del índice de peligro por aluviones debido al retroceso glaciar para el uso energético 52
Tabla 16. Resultados del índice de peligro por aluviones debido al retroceso glaciar para el uso agrario 53
Tabla 17. Resultados del índice de peligro por disminución del caudal debido al retroceso glaciar para el uso poblacional 54
Tabla 18. Resultados del índice de peligro por disminución del caudal debido al retroceso glaciar para el uso energético 54
Tabla 19. Resultados del índice de peligro por disminución del caudal debido al retroceso glaciar para el uso agrario 55
Tabla 20. Resultados del índice del peligro por sequías para el uso poblacional, energético y agrario durante el periodo anual 56
Tabla 21. Resultados del índice del peligro por sequías para el uso poblacional, energético y agrario durante el periodo de verano austral (diciembre-enero-febrero) 57
Tabla 22. Resultados del índice del peligro por movimientos en masa para el uso poblacional 57
Tabla 23. Resultados del índice del peligro por movimientos en masa para el uso energético . 58
Tabla 24. Resultados del índice del peligro por movimientos en masa para el uso agrario 58
Tabla 25. Resultados del índice del peligro por inundaciones para el uso poblacional 60
Tabla 26. Resultados del índice del peligro por inundaciones para el uso energético. 60
Tabla 27. Resultados del índice del peligro por inundaciones para el uso agrario 61
Tabla 28. Resultados del índice del peligro por erosión hídrica en el suelo para el uso poblacional 62

Tabla 29. Resultados del índice del peligro por erosión hídrica en el suelo para el uso energético 63
Tabla 30. Resultados del índice del peligro por erosión hídrica en el suelo para el uso agrario 63
Tabla 31. Resultados de la exposición del peligro sequías y disminución del caudal para el uso poblacional..... 64
Tabla 32. Resultados de la exposición del peligro sequías y disminución del caudal para el uso poblacional..... 65
Tabla 33. Resultados de la exposición ante sequías y disminución del caudal para el uso agrario. 66
Tabla 34. Resultados de exposición ante sequías y disminución de caudal para el uso energético..... 67
Tabla 35. Resultados de la exposición del peligro movimientos en masa para el uso poblacional 68
Tabla 36. Resultados de la exposición del peligro movimientos en masa para el uso agrario... 69
Tabla 37. Resultados de la exposición del peligro de inundaciones para el uso energético. 69
Tabla 38. Resultados de la exposición del peligro de inundaciones para el uso energético..... 70
Tabla 39. Resultados de la vulnerabilidad de los peligros sequías y disminución del caudal para el uso poblacional 72
Tabla 40. Resultados de la vulnerabilidad de los peligros movimientos en masa e inundaciones para el uso poblacional 75
Tabla 41. Resultados de la vulnerabilidad del peligro incremento de la erosión hídrica del suelo para el uso agrario 76
Tabla 42. Resultados de vulnerabilidad ante aluviones por retroceso glaciar para el uso agrario. 77
Tabla 43. Resultados de vulnerabilidad del peligro para el uso energético..... 77
Tabla 44. Resultados de la vulnerabilidad del peligro incremento de la erosión hídrica del suelo para el uso..... 78
Tabla 45. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (sequías - uso poblacional). 79
Tabla 46. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (sequías - uso agrario) 80
Tabla 47. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (sequías - uso energético) 81
Tabla 48. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (disminución del caudal - uso poblacional)..... 82
Tabla 49. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (disminución del caudal - uso agrario)..... 83
Tabla 50. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (disminución del caudal - uso energético) 84
Tabla 51. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (movimientos en masa - uso poblacional)..... 85
Tabla 52. Número de distritos en riesgo y escenario (movimientos en masa - uso agrario). 85
Tabla 53. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (movimientos en masa - uso energético) 86
Tabla 54. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (inundaciones - uso poblacional) 87
Tabla 55. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (inundaciones - uso agrario).... 87
Tabla 56. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (inundaciones - uso energético) 88

Tabla 57. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (incremento de la erosión hídrica del suelo - uso poblacional). 89
Tabla 58. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (incremento de la erosión hídrica del suelo - uso agrario)..... 90
Tabla 59. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (incremento de la erosión hídrica del suelo - uso energético)..... 90
Tabla 60. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (aluviones - uso poblacional). . 91
Tabla 61. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (aluviones - uso agrario). 92
Tabla 62. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (aluviones - uso energético) 92
Tabla 63. Identificación de medidas de adaptación (NDC) al cambio climático por uso del agua. 119

Lista de figuras

Figura 1. Conceptos básicos sobre adaptación y vulnerabilidad del IPCC..... 14
Figura 2. Modelo conceptual para la estimación del riesgo climático en cuencas..... 15
Figura 3. Modelo metodológico para la estimación del riesgo climático en cuencas. 16
Figura 4. Estructura y elementos clave de una cadena de impacto. 17
Figura 5. Representación cromática de niveles de los componentes del riesgo..... 21
Figura 6. Mapa de Ubicación de la cuenca Vilcanota-Urubamba.Fuente: Elaboración propia. . 23
Figura 7. Mapa Hidrológico de la cuenca Vilcanota-Urubamba. 25
Figura 8. Proceso de preparación de la estimación del riesgo en la cuenca..... 28
Figura 9. Proceso de desarrollo de la estimación del riesgo en la cuenca..... 30
Figura 10. Cadena de impacto de sequías retroalimentada - uso poblacional del agua..... 31
Figura 11. Cadena de impacto de disminución del caudal retroalimentada - uso agrario del agua. 32
Figura 12. Cadena de impacto de incremento de la erosión hídrica - uso energético del agua. 32
Figura 13. Caracterización por distritos de la cuenca Vilcanota-Urubamba 38
Figura 14. Conversión de indicadores a una relación directa con el riesgo climático. 49
Figura 15. Agregación de los indicadores con sus pesos por componente 50
Figura 16. Índice de lluvias intensas anual (arriba) e índice de lluvias frecuentes anual (abajo) para los escenarios actual, 2030 y 2050 en la cuenca del río Vilcanota-Urubamba. 59
Figura 17. Mapa del riesgo – sequías, para uso poblacional del agua..... 94
Figura 18. Mapa del riesgo – movimientos en masa, para uso poblacional del agua. 95
Figura 19. Mapa del riesgo –disminución del caudal, para uso poblacional del agua..... 96
Figura 20. Mapa del riesgo – inundaciones, para uso poblacional del agua..... 97
Figura 21. Mapa del riesgo – incremento de la erosión hídrica del suelo, para uso poblacional del agua..... 98
Figura 22. Mapa del riesgo –aluviones por retroceso glaciar, para uso poblacional del agua. .. 99
Figura 23. Mapa del riesgo – sequías, para uso agrario del agua..... 100
Figura 24. Mapa del riesgo – movimientos en masa, para uso agrario del agua..... 101
Figura 25. Mapa del riesgo – disminución del caudal, para uso agrario del agua. 102
Figura 26. Mapa del riesgo – inundaciones, para uso agrario del agua. 103
Figura 27. Mapa del riesgo – incremento de la erosión hídrica del suelo, para uso agrario del agua. 104
Figura 28. Mapa del riesgo – aluviones por retroceso glaciar, para uso agrario del agua. 105

Figura 29. Mapa del riesgo – sequías, para uso energético del agua. 106
Figura 30. Mapa del riesgo –movimientos en masa, para uso energético del agua..... 107
Figura 31. Mapa del riesgo –disminución del caudal, para uso energético del agua. 108
Figura 32. Mapa del riesgo –inundaciones, para uso energético del agua. 109
Figura 33. Mapa del riesgo –incremento de la erosión hídrica del suelo, para uso energético del agua. 110
Figura 34. Mapa del riesgo –aluviones por retroceso glaciar, para uso energético del agua... 111

Siglas y acrónimos

AICCA	Proyecto Adaptación a los impactos del cambio climático en recursos hídricos en los Andes
ANA	Autoridad Nacional del Agua
CENEPRED	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONDESAN	Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina
CRHC	Consejo de Recursos Hídricos en Cuencas
EGEMSA	Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A.
EPS	Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento
GIZ	siglas en alemán de la Cooperación Alemana para el Desarrollo
GREMH	Gerencia Regional de Energía, Minas e Hidrocarburos
GTM	Grupo de Trabajo Multisectorial
IDH	Índice de Desarrollo Humano
IdM	Instituto de Montaña
INAIGEM	Instituto Nacional de Glaciares y Ecosistemas de Montaña
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INGEMMET	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
IPCC	Panel Intergubernamental en Cambio Climático (siglas en inglés)
JASS	Junta Administradora de Servicios de Saneamiento
LMCC	Ley Marco sobre Cambio Climático
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
NAP	Plan Nacional de Adaptación (por sus siglas en inglés)
NDC	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (por sus siglas en inglés)
RLMCC	Reglamento de la Ley Marco sobre Cambio Climático
PMA	Plan de Manejo Ambiental
PMACC	Plan de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático

PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable
SAT	Sistema de Alerta Temprana
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SNIRH	Sistema Nacional de Información de los Recursos Hídricos
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento

Introducción

El Perú es uno de los países más vulnerables frente al cambio climático a nivel mundial, con consecuencias que afectan a su población, sus medios de vida y su seguridad (MINAM, 2021a). Mediante la ratificación del Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el país se ha comprometido a alcanzar Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) que ayuden a la mitigación y adaptación ante este fenómeno global. En la adaptación, una de las áreas temáticas priorizadas es "Agua", siendo las cuencas hidrográficas las unidades territoriales base para el análisis y gestión del riesgo ante los efectos del cambio climático (MINAM, 2021a). A nivel nacional, se han formulado 31 medidas de adaptación en el marco de las NDC Agua, cuya implementación en las cuencas se puede orientar con una estimación integral del riesgo climático.

La cuenca del río Vilcanota-Urubamba se encuentra entre la región Cusco (73.84%) y Ucayali (26.16%). Es una unidad andino-amazónica con un área total de 58,735 km², que en la mayor parte de su territorio ya ha presentado cambios en el clima. En la región Cusco, la información histórica observada ha revelado un incremento sostenido de las temperaturas máximas y mínimas anuales desde 1965, del orden de 0.01 a 0.04 °C al año en promedio. De igual manera, se han observado cambios en el comportamiento de las precipitaciones, en cuanto a cantidad, temporalidad e intensidad (Gobierno Regional de Cusco, 2012).

Estos efectos ocasionados por el cambio climático repercuten en la cuenca alterando la disponibilidad hídrica, lo cual termina afectando negativamente a los ecosistemas, medios de vida y servicios públicos que requieren del agua para su funcionamiento. Aunque la cuenca Vilcanota-Urubamba presenta una gran oferta de agua, hablar de disponibilidad no siempre implica acceso real al recurso por diversos motivos: ubicación, caudal, ineficiencia en el uso del recurso, etc. (Gobierno Regional de Cusco, 2012). En ese sentido, una estimación del riesgo del agua y sus diferentes usos (Ley N° 29338) ante los efectos del cambio climático aportará a visibilizar los factores que lo generan y, además, ayudará a la identificación de las medidas o soluciones que permitan su reducción.

El presente documento contiene los objetivos y alcances del estudio, así como el marco conceptual y metodológico que orientan la estimación del riesgo climático de la cuenca. De manera general, se describen las principales características de la unidad hidrográfica. Posteriormente, se detalla el proceso de la estimación, los resultados, y la discusión y conclusiones a partir de los mismos. Al final del documento, se dan recomendaciones, que incluye la identificación de medidas de adaptación a la luz de los riesgos identificados y en base al catálogo de medidas de adaptación de las NDC Agua.

Antecedentes

El Perú ratificó el Acuerdo de París en el marco de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) a través del Decreto Supremo N° 058-2016-RE. Mediante Resolución Suprema N° 005-2016-MINAM, se conformó el Grupo de Trabajo Multisectorial (GTM), de naturaleza temporal, encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés). En este marco se identificaron medidas de adaptación y mitigación para diferentes sectores y temáticas, entre ellas la de Agua.

Las NDC de Agua tienen como objetivo impulsar y promover acciones y proyectos que incrementen la disponibilidad del agua frente al cambio climático, incorporando las áreas transversales de gestión del riesgo, infraestructura pública resiliente, el enfoque de pobreza, el enfoque de género, interculturalidad e intergeneracional. Las NDC Agua se agrupan en 4 subcomponentes: uso multisectorial del agua, uso agrario, uso poblacional y uso energético. Para su implementación, gran parte de ellas demanda conocer cuáles son las cuencas vulnerables ante el cambio climático.

Con el apoyo del Proyecto "Adaptación a los impactos del cambio climático en recursos hídricos en los Andes (AICCA)" y el Ministerio del Ambiente, en el año 2020, se empieza la construcción de un modelo conceptual y metodológico que permita analizar el riesgo en las cuencas hidrográficas ante los efectos del cambio climático, considerando los diferentes usos del agua. En el 2021, estas mismas instituciones vuelven a unir esfuerzos para retroalimentar este modelo, poniéndolo a prueba en un piloto de 3 cuencas de las diferentes vertientes del país (Santa, Mantaro y Mauri), sentando un avance significativo de cómo evaluar e identificar las cuencas vulnerables al cambio climático.

El Proyecto NDC Perú, a cargo de la Cooperación Alemana para el Desarrollo - GIZ, tiene como primer componente la mejora de las condiciones habilitantes para la implementación de las NDC en dos Ministerios y dos Gobiernos Regionales. Los sectores priorizados por el proyecto son energía y agricultura, mientras que el departamento de Cusco ha sido seleccionado con el objetivo de trabajar de forma articulada en acciones de adaptación al cambio climático, contribuyendo a la implementación de las medidas de agua para uso energético.

En este marco, el Proyecto NDC Perú consideró pertinente el desarrollo de una propuesta de Guía metodológica para la estimación y análisis de riesgos ante los efectos del cambio climático en cuencas hidrográficas, así como la ejecución de un estudio que permita analizar y estimar el riesgo ante los efectos del cambio climático en la cuenca Vilcanota-Urubamba. Estos productos facilitarán la implementación de condiciones habilitantes de varias medidas de adaptación, con énfasis en las NDC del área temática de agua. Asimismo, pueden contribuir a la actualización de

la estimación del potencial hidroeléctrico nacional en cuencas hidrográficas en un contexto de cambio climático, y ser un insumo para la elaboración de planes de gestión de recursos hídricos.

1. Objetivos

General:

Desarrollar un estudio para el análisis y estimación del riesgo ante los efectos del cambio climático en la cuenca Vilcanota-Urubamba, considerando las orientaciones de la propuesta de guía metodológica[1].

Específicos

- Evaluar el riesgo climático de la cuenca por los usos del agua poblacional, agrario, energético y multisectorial, según los peligros priorizados por el Consejo de Recursos Hídricos.
- Identificar medidas de adaptación para gestionar los riesgos ante los efectos del cambio climático identificados en la cuenca Vilcanota-Urubamba, en base al catálogo de NDC Agua.

2. Alcances

El presente trabajo se basa en la propuesta del modelo conceptual y metodológico para el análisis y estimación del riesgo climático en cuencas hidrográficas, en el marco de las NDC de Agua (MINAM, 2021b). Si bien la estimación del riesgo climático se centra en la cuenca hidrográfica como unidad de análisis, la escala de trabajo para el cálculo de los indicadores es a nivel distrital. La estimación incluye solo a aquellos distritos cuya superficie sea representativa, dentro del límite hidrográfico: más del 5% del área distrital dentro de la cuenca.

Si bien el estudio aborda las características biofísicas de la cuenca, el modelo propuesto por MINAM, 2021 es estático, pues no llega a representar la dinámica y precisión que modelos hidrológicos pueden aportar. Los resultados obtenidos en todos los peligros de la cuenca Vilcanota-Urubamba han sido categorizados en base a la información contenida sobre la serie de datos correspondiente a dicha cuenca y, por tanto, los rangos y niveles de peligrosidad no son comparables con los de otras cuencas.

[1] En paralelo al estudio, se ha llevado a cabo un proceso de construcción de una guía metodológica para la estimación y el análisis de riesgos ante los efectos del cambio climático, que toma como base conceptual y metodológica el modelo propuesto por MINAM (2021b).

3. Marco conceptual para la estimación del riesgo climático

El **riesgo climático** se define como los "daños, pérdidas o cambios que pueden generarse sobre uno o más sujetos de análisis como consecuencia de la ocurrencia de un peligro asociado al cambio climático" (Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM. Reglamento de la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático., 2019).

En la estimación del riesgo climático, los **sujetos de análisis** pueden ser poblaciones, medios de vida, ecosistemas, cuencas, territorios, infraestructura, bienes y/o servicios, que se encuentran expuestos y/o son vulnerables ante los peligros climáticos (MINAM, 2021a). De acuerdo al Plan Nacional de Adaptación, en el área temática de Agua, los sujetos de análisis son la disponibilidad hídrica y la infraestructura asociada, para cada uso del agua (Tabla 1). El presente estudio se centra en ellos a partir de los peligros que los afectan.

Tabla 1. Componentes, sujetos y área de análisis de las NDC Agua.

Área temática	Componente	Sujeto de análisis	Área de análisis
Agua	Agua para uso poblacional	Disponibilidad hídrica e Infraestructura asociada	Cuencas hidrográficas
	Agua para uso agrario		
	Agua para uso hidroenergético		
	Agua para uso multisectorial		

Fuente: MINAM (2021a).

La Ley Marco sobre Cambio Climático (LMCC) y su reglamento (RLMCC) describen al riesgo a partir de la interacción de sus tres factores (IPCC, 2022; MINAM, 2021a): peligro, exposición y vulnerabilidad (Figura 1):

- Los **peligros** climáticos pueden ser eventos meteorológicos extremos como también tendencias de procesos lentos, que afectan de manera diferenciada y predominante a la disponibilidad hídrica y a la infraestructura hidráulica.

- La **exposición** es la presencia de personas, medios de subsistencia, infraestructura, servicios y recursos ambientales, en lugares con alta probabilidad de ser afectados de forma negativa por los peligros.

- La **vulnerabilidad** es el grado de predisposición de un sujeto de análisis a ser afectado de forma negativa debido a sus características; estas pueden incrementar o disminuir los posibles impactos de un peligro climático. Dentro de la vulnerabilidad, existe:
    - La **sensibilidad o fragilidad** es condición de los sujetos en análisis, de resistir el impacto de un peligro específico, que se explica por sus condiciones intrínsecas como las características físicas, biológicas, bioquímicas y naturales (MINAM, 2021a)
    - La **capacidad adaptativa o resiliencia** es la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático, para aminorar los daños potenciales, aprovechar las oportunidades o enfrentar las consecuencias.

Figura 1. Conceptos básicos sobre adaptación y vulnerabilidad del IPCC.

Fuente: IPCC (2022)

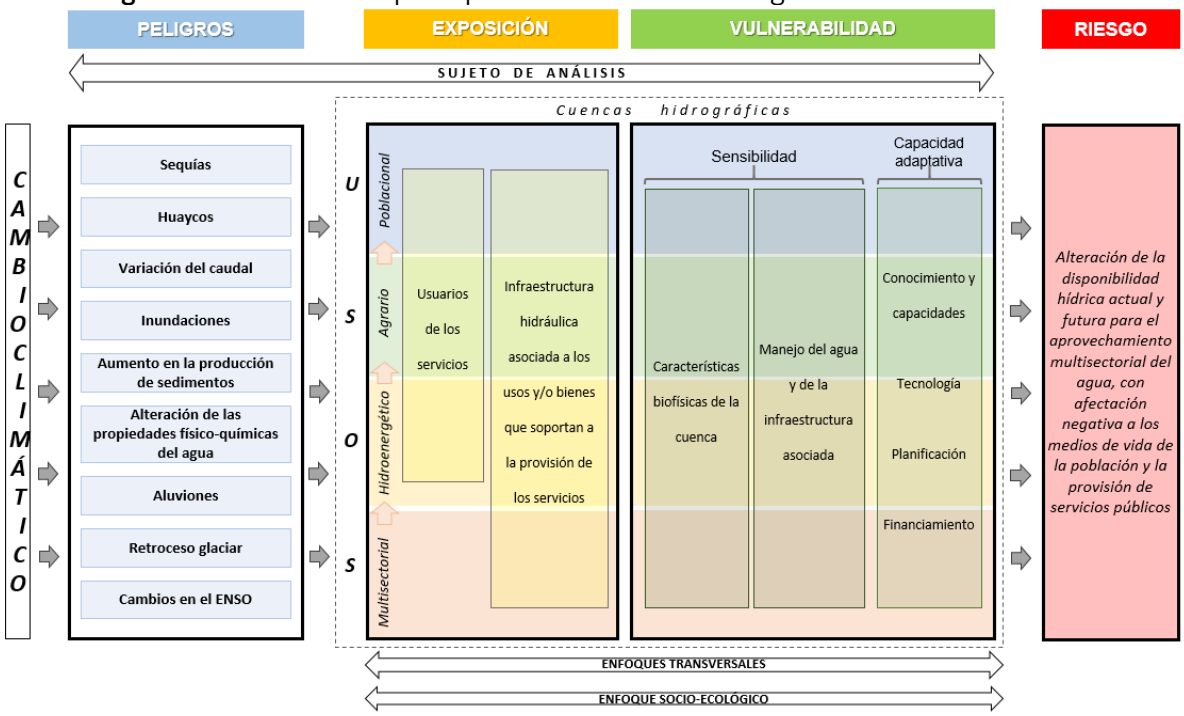
Con esta base conceptual, se evalúa el riesgo climático definido para las NDC en la temática de agua, considerando los usos poblacional, agrario, energético y multisectorial, que se dan en las cuencas hidrográficas (Tabla 2). Siguiendo el modelo conceptual para el análisis y estimación del riesgo climático de MINAM (2021b), se evalúa el uso multisectorial del agua en cada uno de los otros usos, ya que "la gestión multisectorial del agua puede también entenderse como un mecanismo para reducir la vulnerabilidad en los usos del agua" (MINAM, 2021a).

Tabla 2. Riesgo climático para la temática de Agua definida por el Plan Nacional de Adaptación.

Riesgo climático para la temático de agua
"La alteración de la disponibilidad hídrica actual y futura para el aprovechamiento multisectorial del agua, con afectación negativa a los medios de vida de la población y la provisión de servicios públicos." (MINAM, 2021a).

La estimación parte de la potencial afectación de los efectos del cambio climático a cada sujeto de análisis (disponibilidad hídrica o infraestructura hidráulica asociada), por cada uso del agua y por peligro identificado. En la Figura 2 se observan los principales componentes del riesgo y aspectos clave de cómo abordarlos según MINAM (2021b). Cabe destacar que, sobre todo en el componente de vulnerabilidad, se maneja una perspectiva socio-ecológica e institucional, asociadas a variables clave en el marco de la oferta y demanda hídrica, así como a la gestión y gobernanza en la cuenca. Se consideran tanto las características y capacidades de las instituciones proveedoras del servicio, así como la de los usuarios del agua, frente al potencial impacto que pueda acaecer sobre la disponibilidad hídrica y la infraestructura hidráulica, por influencia de los peligros climáticos.

Figura 2. Modelo conceptual para la *estimación* del riesgo climático en cuencas.

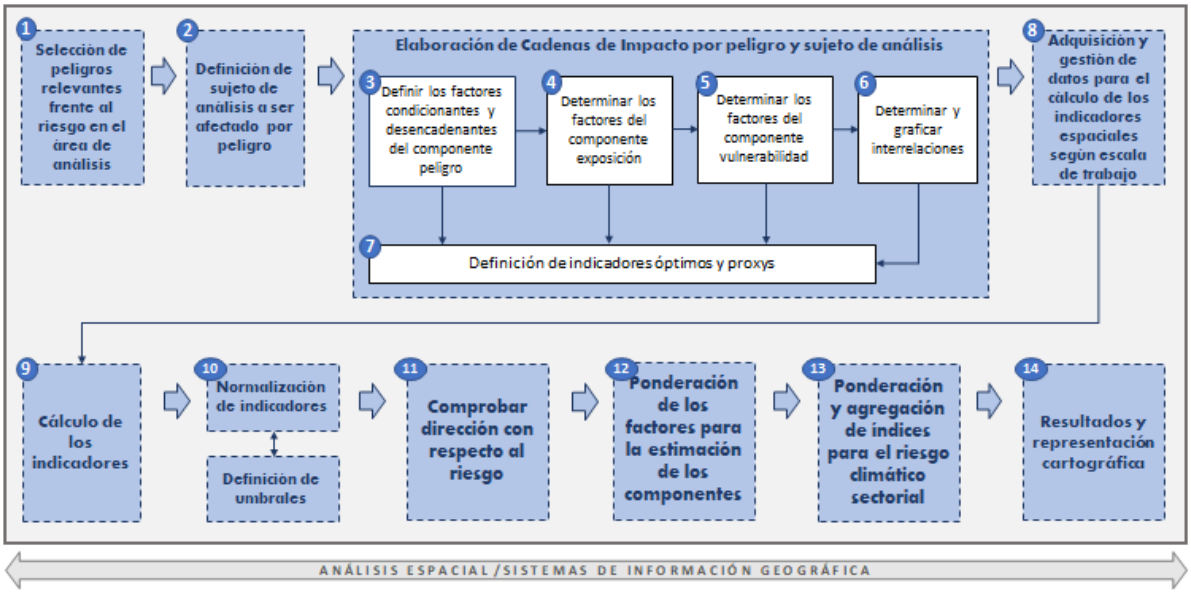


Fuente: MINAM (2021b).

4. Marco metodológico para la estimación del riesgo

En la Figura 3 se observan los pasos del modelo metodológico para la estimación del riesgo climático en cuencas hidrográficas, en el marco de las NDC de agua, que orienta el presente estudio.

Figura 3. Modelo metodológico para la estimación del riesgo climático en cuencas.



Fuente: MINAM (2021b).

- **Selección de peligros y sujetos de análisis**: considerando a la cuenca como área de estudio, se seleccionan aquellos peligros que potencialmente podrían desencadenar el riesgo. En segundo lugar, se define el sujeto de análisis que será afectado por cada peligro seleccionado. Un peligro puede afectar a más de un sujeto de análisis. No obstante, metodológicamente, el modelo sugiere seleccionar uno por peligro, ya que de esta priorización se guiará la construcción de los factores de exposición y vulnerabilidad. MINAM (2021b) recomienda seguir la siguiente relación para este paso (Tabla 3).

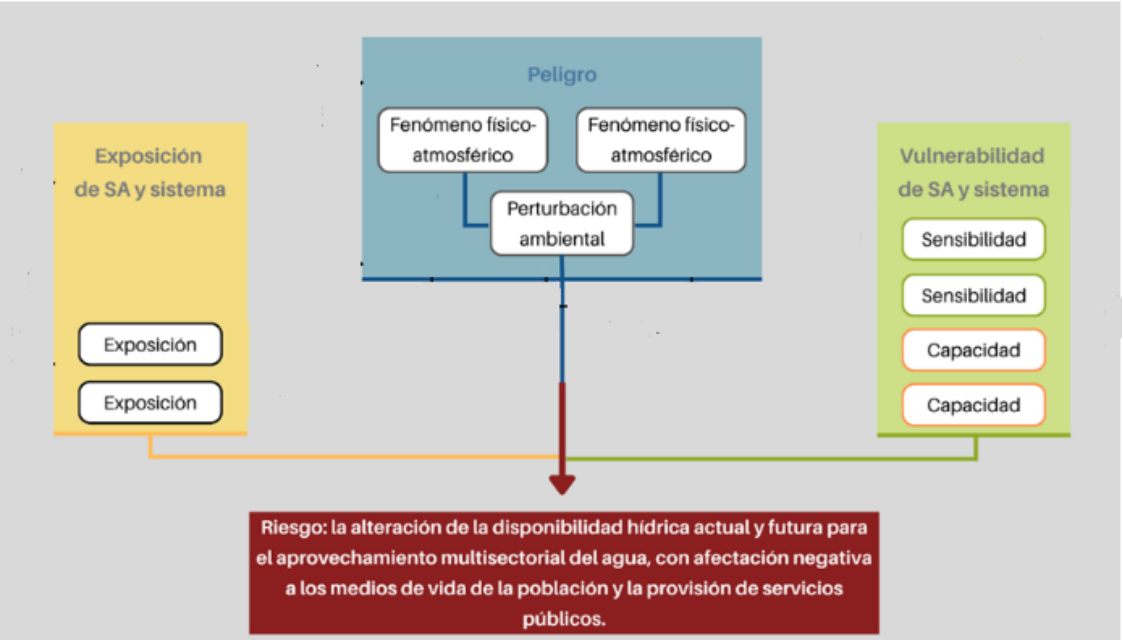
- **Elaboración de cadenas de impacto:** las cadenas de impacto son herramientas clave para organizar y priorizar las variables que conducen al riesgo climático, y facilitan la identificación de sus indicadores (MINAM, 2021a). En ellas se grafican los componentes del riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad) y se definen las variables de cada uno (Figura 4).

Tabla 3. Relación entre peligros y principales sujetos de análisis a ser afectados.

Peligro actual y futuro	Alteración en el agua	Sujeto de Análisis
Sequías	Disminución / escasez	Disponibilidad hídrica
Movimientos en Masa	Exceso	Infraestructura hídrica asociada
Disminución de caudal	Disminución / escasez	Disponibilidad hídrica
Inundaciones	Exceso	Infraestructura hídrica asociada
Incremento de la erosión hídrica del suelo	Exceso	Infraestructura hídrica asociada
Aluviones por retroceso glaciar	Exceso	Infraestructura hídrica asociada

Fuente: MINAM (2021b).

Figura 4. Estructura y elementos clave de una cadena de impacto.



Fuente: Guía metodológica.

En la cadena de impacto, para los **peligros** se determinan las variables que lo generan o desencadenan (fenómenos físico-atmosféricos asociados a la temperatura y las precipitaciones), así como aquellos que los pueden estar condicionando (por ejemplo, las características biofísicas de la cuenca). Otras variables de los peligros están asociados a sus impactos, que se evidencian en las perturbaciones en el ambiente (MINAM, 2021b).

En cuanto a los variables de **exposición**, para el sujeto de análisis *disponibilidad hídrica*, serán principalmente los usuarios según uso quienes se verán expuestos. En cambio,

para el sujeto *infraestructura hidráulica*, esta va a ser la única que va a estar expuesta por cada sector o uso del agua (MINAM, 2021b).

Las variables de **vulnerabilidad** se determinan por la sensibilidad y la capacidad adaptativa. Como plantea el modelo conceptual para la estimación del riesgo climático (Figura 2), en la **sensibilidad**, las variables estarán relacionados a características biofísicas de la cuenca, así como a características de los usuarios del agua e instituciones proveedoras del servicio, que puedan aumentar o reducir el riesgo según sujeto de análisis. Dichas características sociales estarán relacionadas comúnmente al manejo del recurso hídrico y la infraestructura asociada. Cabe señalar que en la sensibilidad se pueden incluir variables relacionadas a los enfoques transversales (género, intercultural e intergeneracional).

Las variables de vulnerabilidad relacionados a la **capacidad adaptativa** estarán vinculadas a aspectos como los conocimientos, la tecnología, la planificación y el financiamiento. Se consideran las capacidades de quienes proveen y reciben el servicio, de responder y adaptarse frente al potencial impacto que pueda afectar a los sujetos de análisis.

Definidas las variables de los factores de riesgo se definen los indicadores para cada una de ellas (MINAM, 2021b).

Adquisición de datos según escala de trabajo: si bien el área de análisis es la cuenca hidrográfica, para la estimación del riesgo se utiliza la escala distrital como escala de trabajo para la adquisición y gestión de datos que se requieren para el cálculo de los indicadores (MINAM, 2021b). Los datos para el cálculo del riesgo climático a nivel distrital ayudarán a orientar la planificación de potenciales medidas de adaptación, al ser una escala más fina. Por otra parte, el cálculo del riesgo requiere de una evaluación bajo condiciones climáticas actuales (como referencia), así como futuras. Bajo las recomendaciones del Plan Nacional de Adaptación (MINAM, 2021a) se considera el cálculo del riesgo para los años 2030 y 2050.

- **Cálculo y normalización de indicadores:** se procede con el cálculo de cada indicador definido por factor, detallando su procedimiento y protocolo de cálculo[2] (MINAM, 2021b). Los resultados de estos indicadores a nivel distrital deben normalizarse, es decir, transformar los valores de los indicadores medidos en diferentes unidades, en valores sin unidades a una escala común (GIZ et al., 2018). Para normalizar los resultados, en el

[2] En la guía metodológica para la estimación y el análisis de riesgos ante los efectos del cambio climático (Guía metodológica), en el anexo 2, 3 y 4 se detallan variables e indicadores que pueden ser empleados en posteriores estudios de estimación. Asimismo, se halla anexo el procedimiento para el cálculo de dichos indicadores.

caso de los indicadores cuantitativos (escala métrica) se utiliza el método o fórmula de máximos y mínimos. Este método transforma todos los resultados a valores que van de 0 a 1, con la siguiente fórmula:

$$Valor\ normalizado = \frac{(Valor\ inicial - Valor\ mínimo)}{(Valor\ máximo - Valor\ mínimo)}$$

En el caso de los indicadores cualitativos (categóricos), la normalización se realiza definiendo una escala de clasificación, que varía de acuerdo con el indicador. A estas nuevas clases se les asigna un valor entre 0 y 1.

- **Comprobación de la dirección de los indicadores respecto al riesgo:** Los valores normalizados más bajos deben estar indicando menores condiciones de riesgo y los valores más altos, mayores condiciones (MINAM, 2021b). Si la relación de los resultados normalizados es inversa al riesgo, se invierte el valor normalizado a una relación directa, a través de la fórmula:

$$1 - Valor\ normalizado$$

- **Ponderación de las variables**: con el cálculo de los indicadores, se procede a la ponderación de los mismos, asignando pesos que determinarán la mayor o menor influencia en un factor de riesgo sobre otros (GIZ et al., 2018).

- **Estimación de los factores y del riesgo climático**: Se estiman los índices de cada uno de los factores del riesgo climático (peligro, vulnerabilidad y exposición) para cada tipo de uso del agua, a partir de los resultados de los indicadores normalizados y con dirección de riesgo comprobada a escala distrital, utilizando las siguientes ecuaciones (Guía metodológica; MINAM, 2021b):

$$Peligro_x = \frac{(F_{Pi} * W_{Pi}) + (F_{Pj} * W_{Pj}) + \cdots . + (F_{Pn} * W_{Pn})}{W_{Pi} + W_{Pj} + W_{Pn}}$$

Donde:

$Peligro_x$	Índice del peligro
F_{Pi}	Factor de peligro *i, j.... n*
W_{Pi}	Coeficiente de ponderación del factor de peligro *i, j, ... n*

$$Exp_x = \frac{(F_{Ei} * W_{Ei}) + (F_{Ej} * W_{Ej}) + \cdots . + (F_{En} * W_{En})}{W_{Ei} + W_{Ej} + W_{En}}$$

Donde:

Exp_x	Índice de exposición
F_{Ei}	Factor de exposición *i, j…. n*
W_{Ei}	Peso del factor de exposición *i, j, … n*

$$Vul_{Ux} = \frac{(SBF_x * W_{SBFx}) + (SSE_x * W_{SSEx}) - (CAx * W_{CAx})}{W_{SBFxi} + W_{SSEx} + W_{CAx}}$$

Donde:

Vul_x	Índice de vulnerabilidad
SBF_x	Índice de sensibilidad biofísica
W_{SBFx}	Peso del índice de sensibilidad biofísica
SSE_{Ux}	Índice de sensibilidad socioeconómica
W_{SSEx}	Peso del índice de sensibilidad socioeconómica
CA_x	Índice de capacidad de adaptación
W_{CAx}	Peso del índice capacidad de adaptación

Para el cálculo del riesgo climático del uso sectorial distrital del agua se usará la fórmula de promedio ponderado:

$$Riesgo_{Ux} = \frac{(Peligro_{Ux} * W_{PUx}) + (Vuln_{Ux} * W_{VUx}) + (Exp_{Ux} * W_{EUx})}{W_{PUx} + W_{VUx} + W_{EUx}}$$

Donde:

$Riesgo_{Ux}$	Índice del riesgo climático del uso sectorial x
$Peligro_{Ux}$	Índice del peligro del uso sectorial x
W_{PUx}	Coeficiente de ponderación del peligro del uso sectorial x
$Vuln_{Ux}$	Índice de vulnerabilidad del uso sectorial x

W_{VUx}	Coef. de ponderación de la vulnerabilidad del uso sectorial x
Exp_{Ux}	Índice de exposición del uso sectorial x
W_{EUx}	Coeficiente de ponderación de la Exposición del uso sectorial x

- **Representación cartográfica:** en base a los resultados distritales de la estimación de los factores de peligro, exposición, vulnerabilidad y del riesgo climático, se generan los mapas para la cuenca. Los resultados se especifican por peligro, sujeto de análisis y escenario (actual, 2030 y 2050). En los mapas, los niveles de peligro, exposición, vulnerabilidad y riesgo se representan con los colores sugeridos por CENEPRED (2014).

Figura 5. Representación cromática de niveles de los componentes del riesgo.

Fuente: CENEPRED (2014).

5. La cuenca Vilcanota - Urubamba

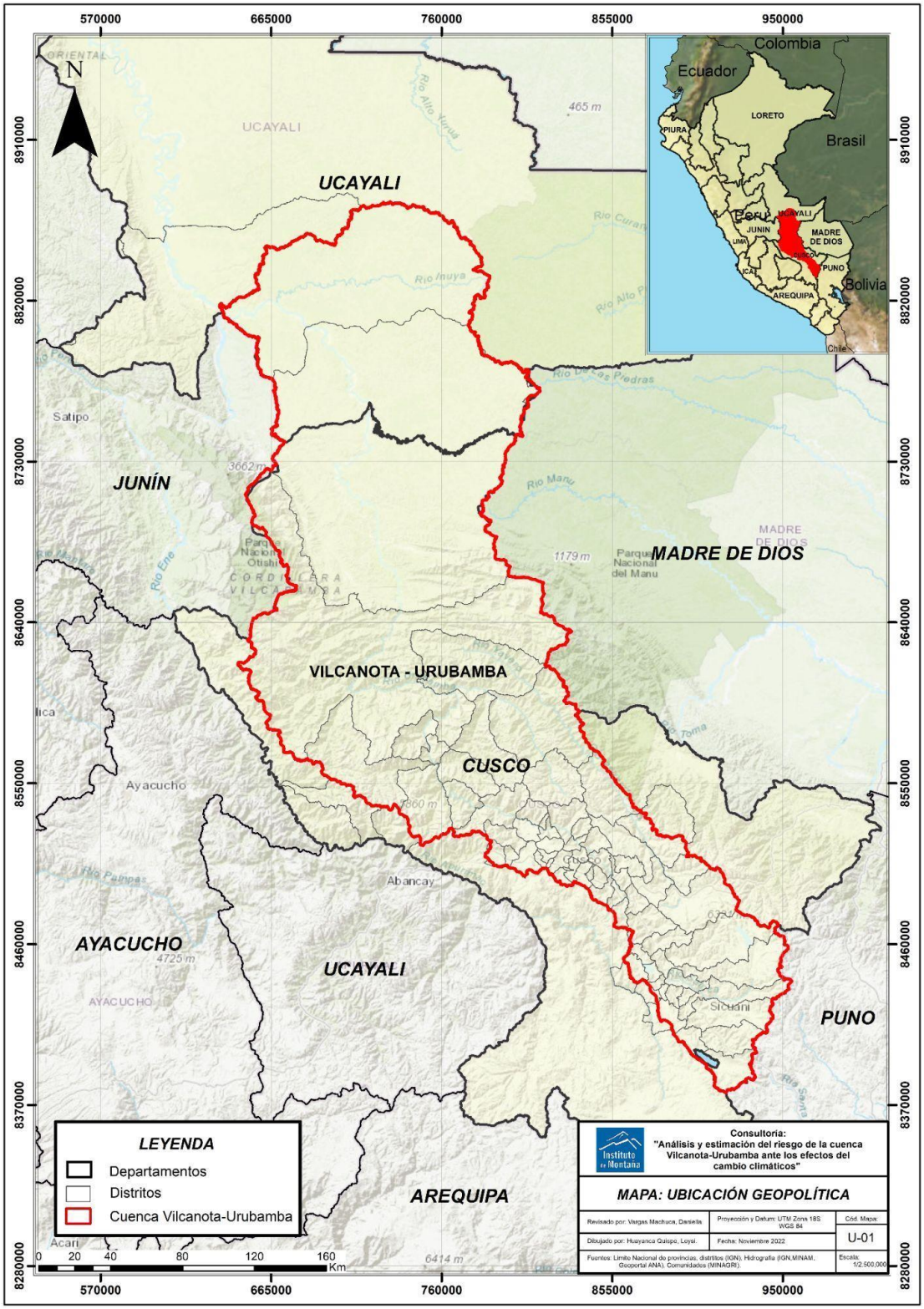
Ubicación geográfica y geopolítica

La cuenca del río Vilcanota-Urubamba (Figura 6) se encuentra comprendida entre los territorios de la región Cusco (73.84%) y Ucayali (26.16%). Altitudinalmente se extiende desde la zona de confluencia con el río Tambo en la formación del río Ucayali con una altitud de poco más de 180 m s.n.m. hasta la línea de cumbres de la Cordillera Oriental de los Andes, cuyos puntos más elevados llegan a superar los 6,300 m s.n.m. (Nevado Ausangate) (AAA Vilcanota-Urubamba, 2010).

Los límites de la cuenca son, por el Norte con la cuenca del Medio Bajo Ucayali, intercuenca Alto Yurua. Por el Este con la cuenca Tarau, intercuenca 49 299, intercuenca Alto Medio Madre de Dios y cuenca Inambari. Por el sur con la cuenca Pucara, Azángaro, y por el oeste con la intercuenca Bajo Apurímac y Alto Apurímac (AAA Vilcanota-Urubamba, 2010).

La cuenca del río Vilcanota - Urubamba pertenece a la vertiente del Amazonas, originándose de la confluencia de los ríos Vilcanota, Yanatile y Yavero (Mapacho). Políticamente transcurre a través de las provincias de Anta, Acomayo, Canas, Cusco, Canchis, Quispicanchi, Paucartambo, Calca, Urubamba y La Convención en el departamento del Cusco y termina en la provincia de Atalaya en Ucayali; abarcando un total de 71 distritos.

Figura 6. Mapa de Ubicación de la cuenca Vilcanota-Urubamba.



Fuente: Elaboración propia.

Hidrología general

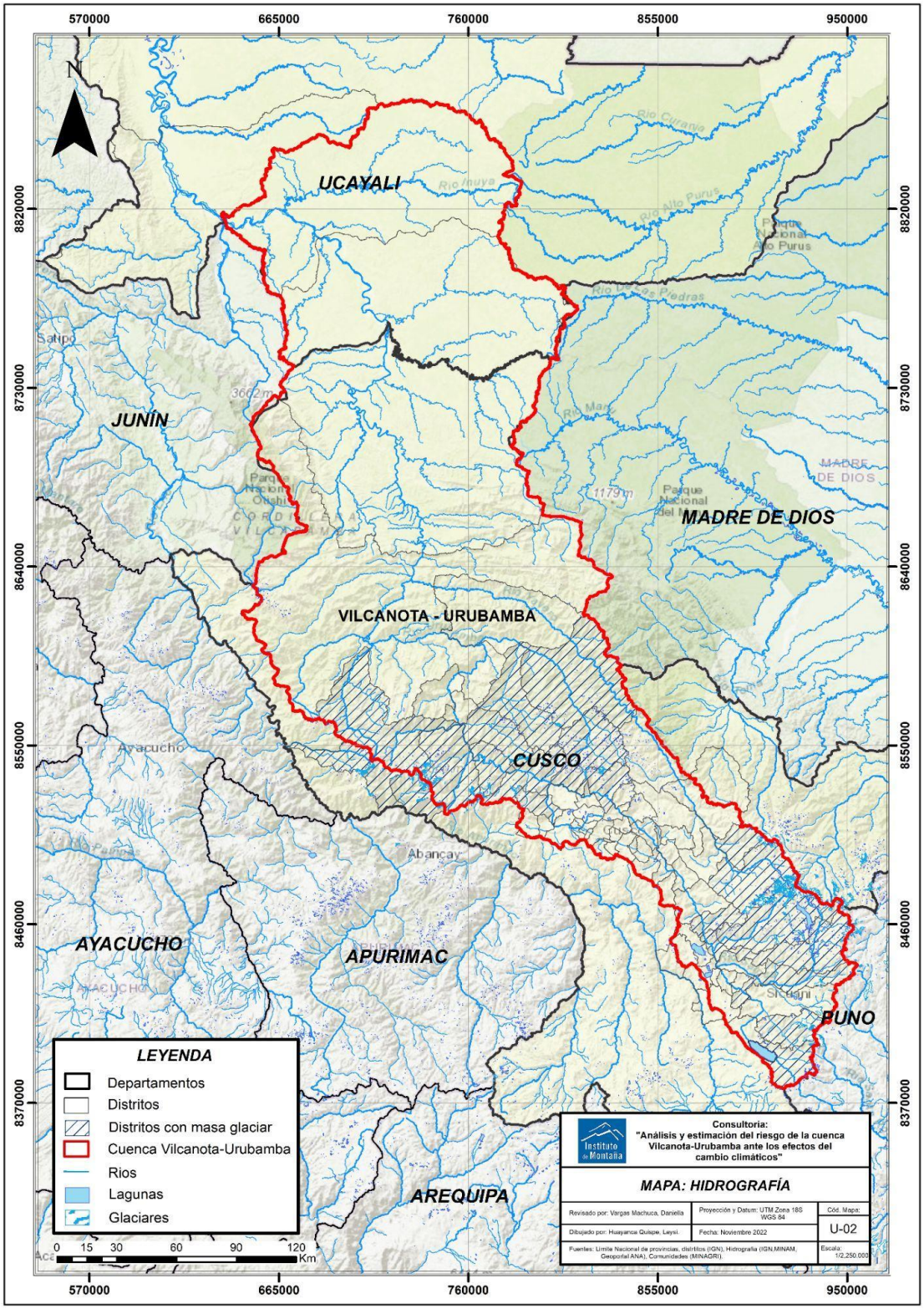
El ámbito de la cuenca Vilcanota - Urubamba se encuentra localizada entre la Cordillera Oriental y la zona de altiplanicies, estando caracterizada por tener un río andino-amazónico de 928.76 km de largo, formando en su recorrido de sur a norte un extenso y complejo sistema de drenaje. El río Vilcanota tiene su naciente en la cordillera del Nudo de Vilcanota, se origina en el nevado Kunurana, cerca del Abra La Raya, localizado en la provincia de Melgar en el departamento de Puno (AAA Vilcanota-Urubamba, 2010).

Presenta tres ejes principales de drenaje (ríos Vilcanota, Yanatile y Mapacho) que se unen para formar el río Urubamba con una superficie total de 58,734.9 km² (Figura 7), discurriendo por zonas montañosas caracterizadas por un relieve accidentado y valles interandinos encañonados. Tiene cuatro subcuencas importantes: la subcuenca del río Vilcanota con 12,828.5 km² (21.84%), la subcuenca del río Mapacho con 5,465.5 km² (9.31%), la subcuenca del río Yanatile con 2,925.5 km² (4.98%), y la subcuenca del río Urubamba con 37,515.4 km² (63.87%) (CESEL Ingenieros, 2013).

La presencia de nevados y altas precipitaciones en la época húmeda dentro de la cuenca ha dado origen a la formación de numerosas lagunas, muchas de las cuales son alimentadas por los deshielos de los nevados y otras son consecuencia del almacenamiento de las aguas de precipitación. El río Vilcanota nace en los nevados del Abra La Raya recibiendo aportes del río Hercca, Salcca, Sibinacocha, Pitumarca, Huarocondo, Santa Teresa, Tacuyoc, originados en la Laguna Langui-Layo, Laguna Sibinacocha. El río Mapacho nace principalmente de las lagunas y los deshielos de la cordillera del Nevado Ocongate, recibiendo afluentes de los ríos Ccatoc, Pichihua, Quencomayo, Huilluca, Chunchusmayo, Matoriato. El río Yanatile nace en el Abra de Amparaes, producto del almacenamiento de lagunas y frecuentes precipitaciones durante todo el año. Su cabecera se localiza en una región convectiva, cuya característica es que durante la época de estiaje hay precipitaciones permanentes, lo que mantiene el recurso hídrico durante todo el año. (AAA Vilcanota-Urubamba, 2010).

Según el Informe de la Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña del INAIGEM (2019), el Perú cuenta con alrededor de 2,259 glaciares en un área de 1,118.11 km². El departamento del Cusco tiene el 32% del área glaciar nacional siendo la provincia de Quispicanchi el que concentra un 13 % (145.07 km²). Encontrándose así en la cuenca Vilcanota-Urubamba 20 distritos con masa glaciar: Yucay, Lares, San Pablo, Urubamba, Calca, Ocongate, Vilcabamba, Layo, Marangani, Pitumarca, Checacupe, Cusipata, Ocobamba, Yanatile, Ccarhuayo, Santa Teresa, Huayopata, Huarocondo, Ollantaytambo y Macchupicchu. De las 8,577 lagunas a nivel nacional el departamento de Cusco tiene 1,294 que representan un total de 164.66 km² y la cuenca Vilcanota - Urubamba tiene 175.66 km² de área de lagunas.

Figura 7. Mapa Hidrológico de la cuenca Vilcanota-Urubamba.



Fuente: Elaboración propia.

Ecosistemas y áreas naturales protegidas

La cuenca comparte sus horizontes entre tierras y valles interandinos de un lado y ceja de selva y llanura amazónica del otro. Se puede ver la configuración variada, pues en ella se conjugan alineamientos montañosos, nudos, altiplanos y mesetas, así como profundos valles y cañones. La parte sur está vinculada a la meseta alto andina por encima de los 3,800 m s.n.m. y es ideal para el desarrollo de pastos naturales, alimento de los camélidos andinos. Alrededor de los 3,000 m s.n.m., se encuentra la zona quechua, de clima templado y con áreas rodeadas de comunidades y parcelas campesinas. En la parte norte, algunos espacios geográficos se sitúan por debajo de los 400 m s.n.m. con precipitaciones abundantes y producción vinculada al mercado regional e internacional. En esta zona se concentran también las manifestaciones arqueológicas más importantes de la región: Pisac, Ollantaytambo y el pueblo de Urubamba, centro agrícola por excelencia. (AAA Vilcanota-Urubamba, 2010).

Según el Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2018), la cuenca Vilcanota-Urubamba tiene ecosistemas de bofedales, bosques altimontanos (pluvial) de Yunga, bosques aluviales inundables, bosques basimontanos de yunga, bosques de colinas altas, bosques de colinas bajas, bosques de terraza no inundables, bosques estacionalmente secos interandinos y orientales, bosques montanos de Yunga, bosques relictos altoandinos y mesoandinos, glaciares, ríos, lagos y lagunas, matorrales andinos, pacales, pajonales de puna húmeda, áreas periglaciares, plantaciones forestales, vegetación secundaria y zonas agrícolas y urbanas.

Además, en la cuenca Vilcanota-Urubamba predominan tres ecorregiones: el bosque tropical amazónico en la zona norte de la cuenca, perteneciente a los distritos del departamento de Ucayali y distrito de Megantoni en Cusco; la selva alta en la zona central de la cuenca y la puna predominando en alrededor de 18 distritos de la zona sur. El área de la cuenca incluye tres Áreas Naturales Protegidas; la Reserva Comunal Machiguenga, el Santuario Nacional Megantoni y el Santuario Histórico de Machupicchu.

Población y actividades económicas

Dentro de la cuenca del río Vilcanota-Urubamba se encuentran 71 distritos cuya superficie es representativa, perteneciendo 69 al departamento de Cusco y 2 al departamento de Ucayali. Además, se encuentran asentadas en la cuenca, 523 comunidades campesinas y 189 comunidades nativas. Los distritos que se encuentran ubicados a lo largo del río Vilcanota y con mayor desarrollo en actividades económicas como el turismo, agricultura, acuicultura, ganadería y comercio son: Sicuani, Urcos, Calca, Urubamba, Ollantaytambo, Machupicchu, Quillabamba y Sepahua.

En la parte baja de la cuenca Vilcanota-Urubamba la actividad agrícola es una de las principales produciendo café, cacao, achiote y en menor medida el arroz, maní, frijol, la yuca, maíz, camote, plátano, destinados principalmente para el autoconsumo. La actividad pesquera y caza son principalmente practicadas por las comunidades nativas y/o indígenas, pues son sus principales fuentes de proteínas y alimentación. Mientras que la actividad ganadera es una actividad aún muy incipiente en el ámbito rural, sin embargo, junto con la crianza de vacunos y pastos cultivados es de suma importancia para las áreas urbanas. La actividad de comercio se muestra como una tendencia creciente pero aún no es aprovechada debido a la falta de infraestructura necesaria para ello. Las actividades de cerámica y textilería aún mantienen vigencia en la economía de las familias nativas, aunque al parecer, la cerámica tiende a desaparecer. (Cueto et al., 2013).

En la parte media y alta de la cuenca, la actividad agrícola es una de las actividades más importantes seguida de la pecuaria mientras que la pesca aún se encuentra en plena expansión y resulta una buena alternativa para el desarrollo económico. Los productos agrícolas más relevantes en producción y consumo son la papa en un 55.73%, maíz amiláceo con 10.42%, maíz choclo con 7.87% y otros con 25.98%. Asimismo, el gran potencial para las actividades pecuarias se debe a la disponibilidad de pastos naturales, clima adecuado y buenos recursos hídricos (AAA Vilcanota-Urubamba, 2010).

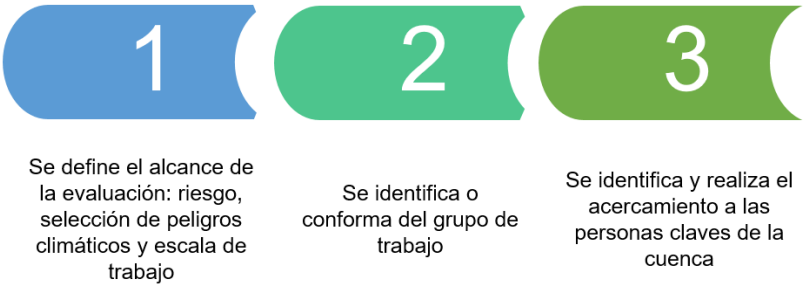
6. El proceso e implementación de la estimación del riesgo climático para la cuenca Vilcanota-Urubamba

Siguiendo los pasos de la guía metodológica para la estimación del riesgo climático, que se construye al paralelo del desarrollo del presente estudio, se detalla por etapa cómo se llevó a cabo este trabajo para la cuenca Vilcanota-Urubamba:

Etapa I: Preparación de la estimación del riesgo climático

Durante esta etapa, se realizaron los 3 pasos referidos a la preparación para la estimación en el siguiente orden (Figura 8):

Figura 8. Proceso de preparación de la estimación del riesgo en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia

1. Alcance de la estimación: riesgo, selección de peligros climáticos y escala de trabajo

El equipo consultor del Instituto de Montaña, encargado de la estimación, empezó un proceso de acercamiento con el Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca (CRHC), a través del Grupo de Trabajo Agua y Energía, el día 15 de julio de 2022. La primera reunión consistió en la presentación de la metodología y alcance del estudio, que siguen el marco metodológico de MINAM (2021b). En esta reunión (Anexo 1) se compartió el riesgo climático a contemplar según el Plan Nacional de Adaptación (MINAM, 2021a): *la alteración de la disponibilidad hídrica actual y futura para el aprovechamiento multisectorial del agua, con afectación negativa a los medios de vida de la población y la provisión de servicios públicos.*

Los participantes del CRHC priorizaron 6 peligros para la estimación del riesgo climático: ***sequías, movimientos en masa, disminución del caudal, inundaciones, incremento de la erosión hídrica del suelo y aluviones por retroceso glaciar.***

2. **Identificación o conformación del grupo de trabajo**

A través del grupo de trabajo Agua y Energía del CRHC Vilcanota-Urubamba, el equipo consultor convocó un taller el 19 de septiembre de 2022 para la preparación de la estimación a nivel regional, donde se planificaron acciones conjuntas referidas principalmente a la retroalimentación de las cadenas de impacto y ponderación de sus variables (Anexo 1). En esa misma reunión, se determinó que el mismo grupo de trabajo fuera asignado para liderar la estimación del riesgo climático en la región.

3. **Identificación y acercamiento a las personas claves de la cuenca:**

Con la identificación del grupo de trabajo de Agua y Energía como la instancia que lidera la estimación del riesgo climático en el CRHC, el grupo se encargó de reconocer a las personas claves de la cuenca que tendrían que estar participando de la siguiente etapa. La Gerencia Regional de Energía, Minas e Hidrocarburos (GREMH), en conjunto con la presidencia del CRHC, y el apoyo del equipo consultor, validaron una lista de personas e instituciones que fueron invitadas para los próximos pasos de la estimación (Anexo 2).

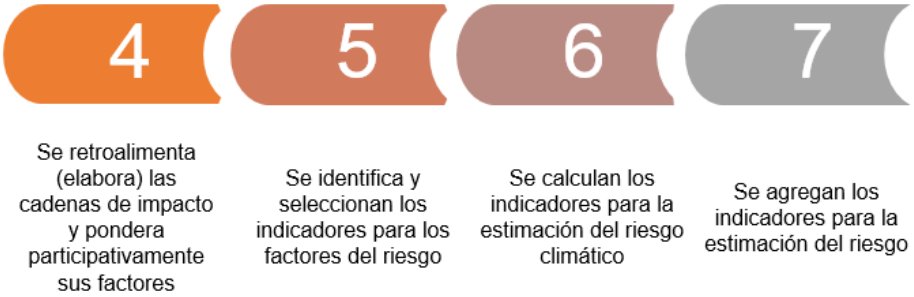
Para este proceso, se buscó que las personas e instituciones clave de la cuenca fueran aquellas que gestionan los ecosistemas que captan o regulan el agua, como comunidades campesinas o juntas de regantes, así como también quienes brindan o se benefician de los servicios públicos que requieren del agua, como las empresas generadoras de energía o prestadoras de servicios de saneamiento. También se consideró a instituciones cuyos especialistas trabajan en temas de climatología, hidrología, así como en la gestión sectorial y multisectorial del agua (Guía metodológica). La lista de asistentes a los talleres se encuentra adjunta en el anexo 2.

Etapa II: Desarrollo de la estimación del riesgo climático

Para esta etapa, tal como sugiere la guía metodológica, se tomó como referencia la implementación del marco conceptual y metodológico propuesto por MINAM (2021b) en 3 cuencas piloto. Los variables e indicadores de dicho trabajo han sido formulados y revisados por diversos sectores e instituciones a nivel nacional, competentes en los usos del agua y relacionadas a la materia de cambio climático. De igual manera, dichas variables e indicadores han sido revisados y retroalimentados por las personas e instituciones clave de la cuenca identificadas en el paso 3.

A continuación, se detalla cómo se desarrolló la estimación del riesgo climático (Figura 9).

Figura 9. Proceso de desarrollo de la estimación del riesgo en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

4. Retroalimentación (elaboración) de cadenas de impacto y ponderación participativa de las variables

En base a las cadenas de impacto recomendadas por la guía metodológica para la estimación del riesgo climático, se llevó a cabo un proceso de retroalimentación de las variables de peligros, exposición y vulnerabilidad, por uso del agua, con las personas e instituciones clave del CRHC mediante un taller presencial en la región de Cusco, los días 11 y 12 de octubre de 2022 (Anexo 1). Dado que este fue un primer acercamiento práctico a la metodología, previamente se explicó a los participantes las principales etapas de la estimación del riesgo climático en cuencas hidrográficas, en el marco de las NDC de la temática de agua.

Para la retroalimentación de las cadenas de impacto, se consideraron 2 peligros por cada uso del agua, y con diferente sujeto de análisis (Tabla 4):

Tabla 4. Cadenas de impacto retroalimentadas por uso del agua.

Uso del agua	Cadena de impacto por peligros	Sujeto de análisis
Poblacional	Sequías	Disponibilidad hídrica
	Movimientos en masa	Infraestructura hidráulica
Agrario	Disminución del caudal	Disponibilidad hídrica
	Inundaciones	Infraestructura hidráulica
Energético	Sequías	Disponibilidad hídrica
	Incremento de la erosión hídrica	Infraestructura hidráulica

Fuente: Elaboración propia.

En el ejercicio de retroalimentación se formaron 3 grupos de trabajo por uso del agua,

donde los participantes intercambiaron ideas y propusieron cambios en las cadenas, en base al contexto regional de la cuenca (Figura 10, 11 y 12). Aquellos representantes de instituciones relacionadas con la gestión multisectorial del agua y otros temas transversales a la estimación, como, por ejemplo, la ANA, INAIGEM, SENAMHI o INDECI, se integraron indistintamente a los 3 grupos sectoriales formados.

Posterior a la revisión y ajuste de las variables, los participantes asignaron un peso del 1 al 4 a cada uno de estos, por peligro analizado (Anexo 1). Esta ponderación permite determinar la mayor o menor influencia en un factor (GIZ et al., 2018), la cual ha sido considerada para el cálculo final de la estimación del riesgo.

Figura 10. Cadena de impacto de sequías retroalimentada – uso poblacional del agua.

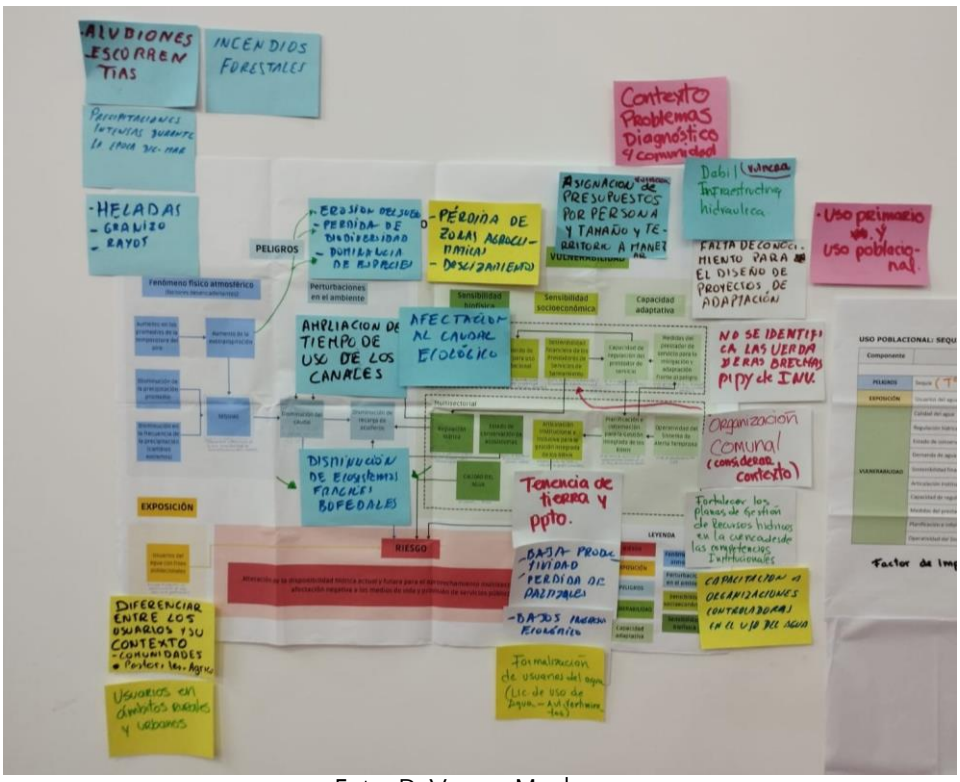


Foto: D. Vargas Machuca.

Figura 11. Cadena de impacto de disminución del caudal retroalimentada – uso agrario del agua.

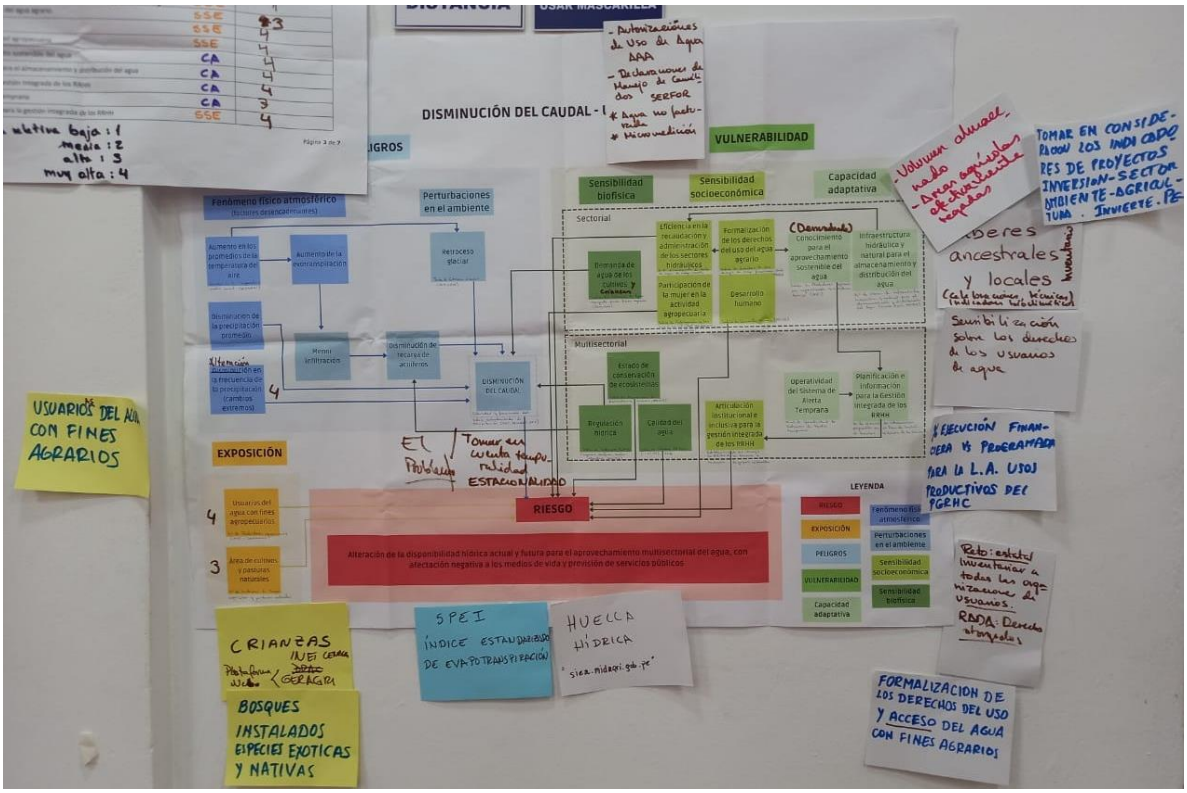


Foto: R. Castro.

Figura 12. Cadena de impacto de incremento de la erosión hídrica – uso energético del agua.

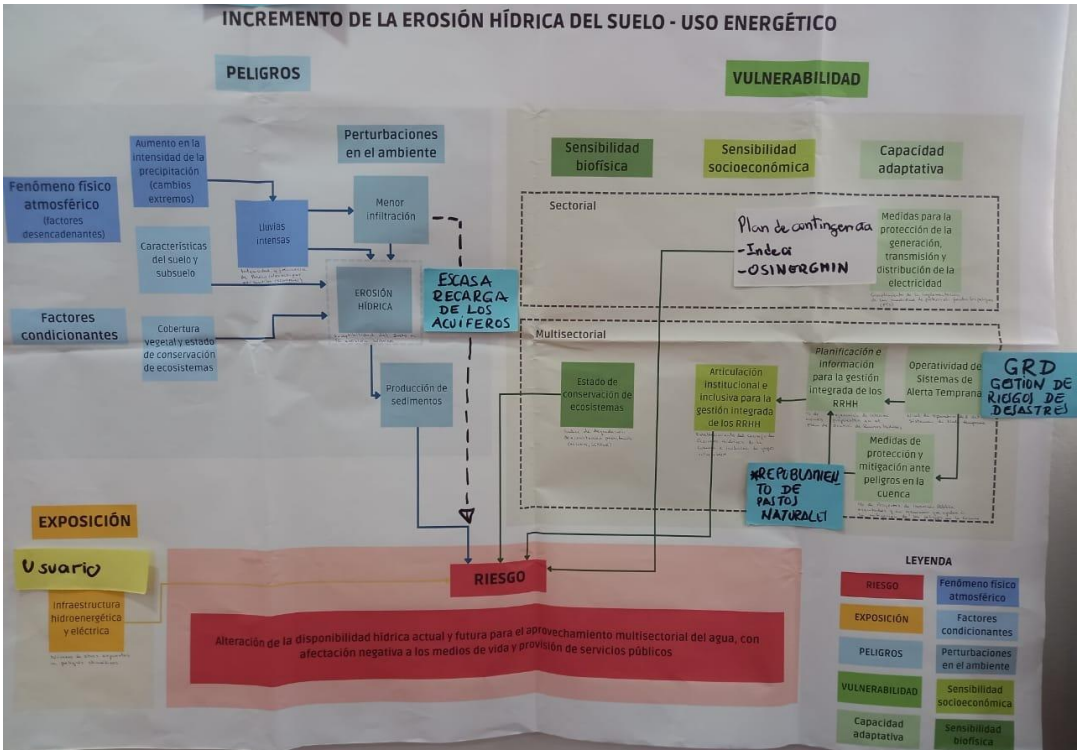


Foto: R. Castro.

5. Identificación y selección de indicadores para los factores del riesgo

En base a la retroalimentación de las cadenas de impacto por parte de las personas e instituciones clave de la cuenca, la disponibilidad de información, así como las recomendaciones de la guía metodológica para la estimación del riesgo climático, se seleccionaron los indicadores mostrados en las Tablas 10, 11 y 12.

6. Cálculo de los indicadores para la estimación del riesgo climático

- ***Indicadores del componente de peligros***

Los indicadores del componente de peligros se han estimado a partir de los métodos de cálculo consultados a las instituciones técnicas competentes en cada materia. Respecto a la información meteorológica, se ha utilizado información de los escenarios climáticos oficiales del SENAMHI publicados el año 2021 a una resolución espacial de 5 km en base a modelos globales del Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5 por sus siglas en inglés) y regionalizados dinámicamente por el modelo Weather Research Forecast (WRF por sus siglas en inglés). Esta base de datos oficial ha permitido realizar la evaluación del comportamiento de los peligros en el periodo actual (1981-2005) y futuros, centrados al año 2030 (2016-2045) y al 2050 (2036 – 2065).

Los datos recogidos fueron procesados a través del lenguaje de programación en R para optimizar el tratamiento de la información en formato NetCDF (Network Common Data Form). Asimismo, se utilizaron herramientas SIG para procesar la información a nivel de cuenca y distritos.

a. <u>Cálculo de los indicadores por peligro:</u>

Peligro ante sequías:

Se calculó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) a una escala anual (SPI12) y estacional (SPI3) durante el verano austral (diciembre-enero-febrero). Este indicador fue calculado utilizando la precipitación acumulada mensual (mm/mes) en los tres periodos de evaluación (actual, 2030 y 2050) con el ajuste a la distribución gamma. Las categorías para determinar su intensidad se establecieron de acuerdo al criterio (OMM, 2012) detallado en la Tabla 5.

Posteriormente, para cada una de las escalas temporales, se realizó el cálculo de la frecuencia contando el número de veces que ocurrió el evento para cada punto de grilla considerando los valores de SPI menores a -1.0 (de categoría moderadamente seco a extremadamente seco).

Tabla 5. Criterio utilizado para la relación de las categorías de intensidad del SPI.

Definición	Criterio	Escala de Intensidad
Extremadamente seco	SPI <-2.0	Muy Alta (4)
Severamente seco	-2.0 ≤ SPI < -1.5	Alta (3)
Moderadamente seco	-1.5 ≤ SPI < -1.0	Media (2)
Normal	-1.0 ≤ SPI < 0.0	Baja (1)

Fuente: Elaboración propia.

Peligro por aluviones debido al retroceso glaciar:

Este peligro fue calculado usando como indicador de factor desencadenante el "cambio de la temperatura media anual", solamente para los distritos con presencia de glaciar, según el shapefile de glaciares de INAIGEM del 2018. La información de este peligro ha resultado del promedio simple de la información de los escenarios oficiales del SENAMHI (2021) del cambio en la temperatura máxima y mínima del aire. El indicador fue caracterizado de acuerdo al nivel de peligro por la Tabla 6.

Tabla 6. Criterio utilizado para la relación de las categorías de intensidad del cambio en la temperatura media anual

Nivel de Peligro	Cambio de la temperatura media anual (°C)
Muy Alto	>2.0°C
Alto	1.5 - 2.0°C
Medio	1.0 – 1.5°C
Bajo	<1.0°C

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se sumaron los índices de pendiente del glaciar, índice de distancia a una laguna, e índice de masa glaciar, para obtener el peligro final combinados con pesos homogéneos entre cada uno de ellos.

Peligro por disminución de caudal debido al retroceso glaciar

El peligro por disminución de caudal debido al retroceso glaciar fue analizado en base a las variables: Índices y frecuencia del SPI e índice de retroceso glaciar. El primero de ellos fue calculado de forma anual (SPI12) y estacional (SPI3) durante el verano (diciembre-enero-febrero) caracterizado previamente en la Tabla 5.

Por otro lado, se determinó el índice de retroceso glaciar, el cual considera el cambio en la temperatura media y las categorías de la Tabla 6.

Peligro por movimientos en masa e inundaciones

El peligro de movimientos en masa e inundaciones ha sido caracterizado a través del cruce entre el indicador de extremos denominado "CWD" o "máximo número de días húmedos consecutivos con lluvias superiores a 0.1 mm" para determinar la frecuencia, mientras que, para determinar la intensidad, se ha empleado el uso del índice "R95p" o "precipitación total anual superior al percentil 95" como se sintetizan en la Tabla 7.

La categorización por niveles de peligro para ambos subindicadores (*CWD y R95p*) ha sido en base a los valores determinísticos de la cuenca y dividido entre cuatro a partir del máximo y mínimo valor respectivamente.

Tabla 7. Indicadores de extremos climáticos para la determinación de intensidad y frecuencia de precipitación.

Siglas del índice	Nombre del índice	Definición	Unidad	Tipo de índice
CWD	Días húmedos consecutivos	Máximo número de días consecutivos al año con pp<=0.1 mm	Días	Frecuencia
R95p	Días muy húmedos	Total anual de PRCP cuando RR>95 avo percentil	mm	Intensidad

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para asignarles niveles de peligrosidad se analizó cada periodo en base al mínimo y máximo valor. Para este caso, el índice R95p y CWD pasaron por una

categorización donde se aplicó el uso de los cuantiles para determinar cuatro rangos con los puntos de los cuartiles 0.25 (Q1); 0.50 (Q2) y 0.75(Q3).

Tabla 8. Criterio utilizado para la relación de las categorías de intensidad del índice de intensidad y frecuencia de lluvias

Indicador (Ind)	Escala de Intensidad
Ind ≥ Q3	Muy Alta (4)
Q2 ≤ Ind < Q3	Alta (3)
Q1 ≤ Ind < Q2	Media (2)
Ind < Q1	Baja (1)

Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar que, para la determinación del peligro de movimientos en masa, al índice de intensidad y frecuencia de lluvias se le adiciona el mapa de susceptibilidad de movimientos en masa (INGEMMET, 2012), mientras que, para el peligro de inundaciones se incorporó el mapa de peligro ante inundaciones (INGEMMET, 2018).

Peligro por incremento en la erosión hídrica del suelo:

Este peligro fue analizado en base a la metodología RUSLE empleada por el SENAMHI (2017). En este método se incluyen factores tales como: erosividad (factor R), cobertura vegetal (factor C), erodabilidad (factor K), topográfico (factor LS) y el factor de prácticas de conservación (factor P). El primero de ellos fue calculado en base a la precipitación mensual y anual de los escenarios climáticos oficiales y vigentes del SENAMHI en el periodo futuro (2030 y 2050) con sus respectivos periodos de referencia mediante la siguiente ecuación:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 log_{10}(P_i^2/p) - 0.08188)}$$

Donde:

i= Meses del año

Pi= Precipitación mensual acumulada en mm

p= Precipitación anual acumulada en mm

b. Determinación del peligro en base a su intensidad y frecuencia

Para el peligro ante sequías, luego de obtener la intensidad y frecuencia de los indicadores de esta componente, se determinó el peligro en base a la definición del MIDAGRI (2019) donde se obtienen diferentes niveles de peligro en base a la interacción entre intensidad y frecuencia tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9. Intensidad y frecuencia para la determinación de peligro.

		Peligro			
Frecuencia	Muy alta	Medio	Alto	Muy alto	Muy alto
	Alta	Medio	Alto	Alto	Muy alto
	Media	Bajo	Medio	Alto	Alto
	Baja	Bajo	Bajo	Medio	Medio
		Baja	Media	Alta	Muy alta
		Intensidad			

Fuente: MIDAGRI (2019)

c. Caracterización por distritos

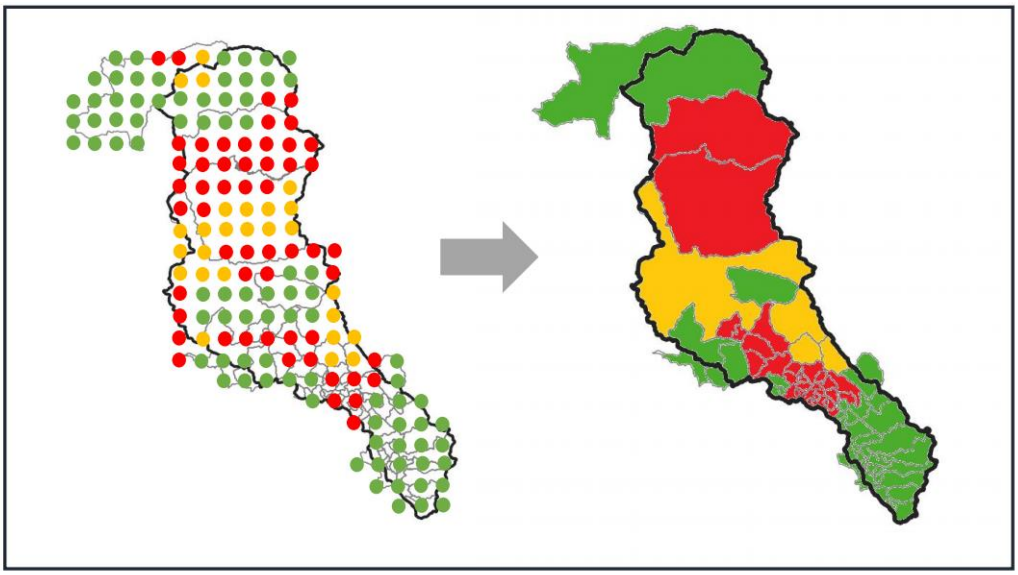
Luego de haber obtenido los resultados por cada punto de grilla en los peligros y sus indicadores mencionados en el acápite "a", se realizó un resampleo de las grillas con la finalidad de aumentar la densidad de la información sin alterar el valor del peligro (1 punto por kilómetro), a través del método Nearest neighbor (vecino más cercano).

Luego, se encontraron todos los puntos dentro de cada distrito, para lo cual se contaron los puntos por cada categoría. Posteriormente, para obtener el valor final, se siguieron 3 criterios:

- El primero, si una sola categoría tiene más del 60% de puntos, el valor del distrito asume dicha categoría.
- El segundo, para todos los distritos que no hayan cumplido con el primer criterio y si solo existen 2 categorías, el valor final será la categoría que represente mayor peligro.
- El tercero, para los distritos que no hayan cumplido los 2 primeros criterios, consiste en obtener el promedio ponderado de la cantidad de puntos con sus respectivos valores por categoría.

En la Figura 13 se muestra el resultado después de aplicar la caracterización por distritos en la cuenca del río Vilcanota-Urubamba ejemplificando la distribución de las grillas (puntos) y su resultado final de forma uniforme y espacial (lado derecho).

Figura 13. Caracterización por distritos de la cuenca Vilcanota-Urubamba



Fuente: Elaboración propia

- *Indicadores del componente de exposición y vulnerabilidad*

  La metodología de la estimación de estos indicadores se encuentra disponible en el Anexo 3, por uso de agua. La metodología se apoyó principalmente en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la gestión de base de datos de libre acceso de instituciones públicas (Geoservidor del MINAM, SNIRH del ANA, REDATAM del INEI, geocatmin del INGEMMET, etc.). Además, se llevó a cabo una serie de solicitudes a instituciones sectoriales y regionales competentes para la recopilación de información.

  Luego de la obtención y procesamiento de datos, en el caso de los indicadores cuantitativos se han normalizado los resultados, siguiendo la fórmula de máximos y mínimos (MINAM, 2021b), para obtener valores entre el 0 y 1. Para el caso de los indicadores cualitativos (categóricos), la normalización se realizó a partir de una escala de clasificación, que varía de acuerdo con el indicador, pero que igualmente se le asigna un valor entre 0 y 1 según la clase. Dentro de los indicadores cualitativos, también existen aquellos que han sido evaluados por la presencia o ausencia de una característica y en estos casos, los indicadores van a presentar únicamente los valores de 0 y 1.

La base de datos que consolida el cálculo de indicadores se encuentra en el Anexo 4.

Tabla 10. Variables, indicadores y ponderaciones para la estimación del riesgo climático del uso agrario del agua[3].

Componente	Sub componente	Variable	Indicadores	Símbolo	Sequía	Movimientos en masa	Disminución del caudal	Inundaciones	Incremento de la erosión hídrica del suelo	Aluviones por retroceso glaciar
				Sujeto de análisis	DH	IH	DH	IH	IH	IH
PELIGROS	Fenómeno físico atmosférico	Sequía	Índice de intensidad y frecuencia de SPI	IF_SPI			**1**			
		Lluvias intensas	Índice de intensidad y frecuencia de lluvias intensas	IF_PP		**4 / 2**		**4 / 2**		
		Aumentos en promedios de temperatura del aire	Índice de cambio en la temperatura media anual	TMP						**1**
	Características condicionantes	Relieve y geomorfología / Cobertura vegetal / Características del suelo y subsuelo	Susceptibilidad a movimientos en masa	MM		**3**				
		Relieve y geomorfología / Características del suelo y subsuelo	Susceptibilidad a inundación fluvial	INUND				**3**		
		Relieve y geomorfología / Características del suelo y subsuelo	Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica	EROS					**1**	
		Retroceso glaciar	Índice de área glaciar	I_RGlac			**1**			
		Estabilidad geológica de las lagunas	Índice de superficie de lagunas alrededor de cobertura glaciar	I_ESTAB_LA						**1**
EXPOSICIÓN		Usuarios del agua con fines agropecuarios	Índice del número de productores agropecuarios	I_PRODUCT	**4**		**4**			

[3] Leyenda: (DH): sujeto de análisis disponibilidad hídrica, (IH): sujeto de análisis infraestructura hídrica asociada.

Componente	Sub componente	Variable	Indicadores	Símbolo	Sequía	Movimientos en masa	Disminución del caudal	Inundaciones	Incremento de la erosión hídrica del suelo	Aluviones por retroceso glaciar
				Sujeto de análisis	DH	IH	DH	IH	IH	IH
		Infraestructura hidráulica de riego	Índice de obras de infraestructura hidráulica de riego expuesta	I_INFRAEST		**1**		**1**	**1**	**1**
		Área de cultivos y pastos naturales	Índice de hectáreas de tierras agrícolas y pasturas naturales	I_CULT_PAST	**3**		**3**			
		Ganado Agropecuario	Índice del número de cabezas del ganado agropecuario	I_GANADO	**3**		**3**			
VULNERABILIDAD	SBF	Estado de conservación de ecosistemas	Índice de degradación de ecosistemas prioritarios	I_DEG_ECO	**4**		**4**		**4**	
		Regulación Hídrica	Índice de retención hídrica	I_RET_HID	**3**		**3**			
		Demanda de Agua de los cultivos	Índice de volumen de agua otorgado para fines agrarios	I_VOL	**4**		**4**			
		Calidad del agua	Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales	ICARHS	**3**		**3**		**3**	
	SSE	Eficiencia de riego	Índice de riego tecnificado para la producción agrícola	I_RIEGO_TEC	**4**		**4**			
		Eficiencia en la recaudación y administración de los sectores hidráulicos	Índice del porcentaje de la recaudación de la tarifa de agua de riego	I_EFIC_RECAUD						

Componente	Sub componente	Variable	Indicadores	Símbolo	Sequía	Movimientos en masa	Disminución del caudal	Inundaciones	Incremento de la erosión hídrica del suelo	Aluviones por retroceso glaciar
				Sujeto de análisis	DH	HI	DH	HI	HI	HI
		Formalización de los Derechos del uso del agua agrario	Índice de derechos de uso de agua de riego formalizados	I_DER_FORM	**3**		**3**			
		Desarrollo Humano	Índice de Desarrollo Humano	IDH	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**	4
		Participación de la mujer en la actividad agropecuaria	Índice de la participación de las mujeres en la actividad agropecuaria	I_MUJER	**4**		**4**			
		Articulación institucional e inclusiva para la gestión integrada de los recursos hídricos	Establecimiento del Consejo de Gestión de Recursos Hídricos de Cuencas	ART_CRHC	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**
	C_ADAP	Conocimiento para el aprovechamiento sostenible del agua	Índice de productores agropecuarios con capacitación y asistencia técnica	I_CAP_ASIST	**4**		**4**			
		Conocimiento para la gestión de riesgo de desastres	Índice de productores con capacitación y asistencia técnica	I_CAP_ASIST		**4**		**4**	**4**	**4**
		Infraestructura hidráulica y natural para el almacenamiento y distribución del agua	Índice del número de obras de infraestructura hidráulica y natural para el almacenamiento y distribución del agua	INF_HID_NATU	**4**		**4**			
		Medidas de prevención ante fenómenos hidrológicos en zonas agrarias	Índice del porcentaje de puntos críticos en riberas de rio o quebradas protegidas ante peligros	I_PTO_CRITICO		**3**		**3**	**3**	
		Planificación e Información para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos	Nivel de avance en la elaboración del Plan de Gestión de recursos Hídricos de la Cuenca	PGRHC	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**

Componente	Sub componente	Variable	Indicadores	Símbolo	Sequía	Movimientos en masa	Disminución del caudal	Inundaciones	Incremento de la erosión hídrica del suelo	Aluviones por retroceso glaciar
				Sujeto de análisis	DH	IH	DH	IH	IH	IH
		Medidas de protección y mitigación ante los peligros en la cuenca	Índice del porcentaje de proyectos de inversión pública ejecutados y en ejecución	INSTR_PLAN						
		Operatividad de Sistemas de Alerta Temprana	Índice de densidad de estaciones de la red de monitoreo hidrometeorológico en la cuenca	D_METEO	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Variables, indicadores y ponderaciones para la estimación del riesgo climático del uso poblacional del agua.

Componente	Sub componente	Variable	Indicadores	Símbolo	Sequía	Movimientos en masa	Disminución del caudal	Inundaciones	Incremento de la erosión hídrica del suelo	Aluviones por retroceso glaciar
				Sujeto de análisis	DH	IH	DH	IH	IH	IH
PELIGROS	Fenómeno físico atmosférico	Sequía	Índice de intensidad y frecuencia de SPI	IF_SPI			1			
		Lluvias intensas	Índice de intensidad y frecuencia de lluvias intensas	IF_PP		**4/2**		**4/2**		
		Aumentos en promedios de temperatura del aire	Índice de cambio en la temperatura media anual	TMP						**1**
	Características condicionantes	Relieve y geomorfología / Cobertura vegetal / Características del suelo y subsuelo	Susceptibilidad a movimientos en masa	MM		**3**				
		Relieve y geomorfología / Características del suelo y subsuelo	Susceptibilidad a inundación fluvial	INUND				**3**		
		Relieve y geomorfología / Características del suelo y subsuelo	Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica	EROS					**1**	
		Retroceso glaciar	Índice de área glaciar	I_RGlac			**1**			
		Estabilidad geológica de las lagunas	Índice de superficie de lagunas alrededor de cobertura glaciar	I_ESTAB_LA						**1**
EXPOSICIÓN		Usuarios del agua con fines poblacionales	Índice de la población que accede a agua potable por red pública	I_VIV_POB	**1**		**1**			

Componente	Sub componente	Variable	Indicadores	Símbolo	Sequía	Movimientos en masa	Disminución del caudal	Inundaciones	Incremento de la erosión hídrica del suelo	Aluviones por retroceso glaciar
				Sujeto de análisis	DH	IH	DH	IH	IH	IH
		Infraestructura para la provisión del servicio de agua potable	Índice de obras de infraestructura para la provisión de agua potable expuesta	I_INFRAEST		**1**		**1**	**1**	**1**
VULNERABILIDAD	SBF	Estado de conservación de ecosistemas	Índice de degradación de ecosistemas prioritarios	I_DEG_ECO	**4**		**4**		4	
		Regulación Hídrica	Índice de retención hídrica	I_RET_HID	**4**		**4**			
		Calidad del agua	Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales	ICARHS	**3**		**3**			
	SSE	Demanda de agua para uso poblacional	Índice del volumen de la demanda anual de agua para uso poblacional	I_DEM_POB	**4**		**4**			
		Articulación institucional e inclusiva para la gestión integrada de los recursos hídricos	Establecimiento del Consejo de Gestión de Recursos Hídricos de Cuencas	ART_CRHC	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**
	C_ADAP	Medidas del prestador del servicio para la mitigación y adaptación frente al peligro	Nivel de avance del Plan de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático	AVNC_PMAC	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**
		Planificación e Información para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos	Nivel de avance en la elaboración del Plan de Gestión de recursos Hídricos de la Cuenca	PGRHC	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**
		Medidas de protección y mitigación ante los peligros en la cuenca	Índice del porcentaje de proyectos de inversión pública ejecutados y en ejecución	INSTR_PLAN						

Componente	Sub componente	Variable	Indicadores	Símbolo	Sequía	Movimientos en masa	Disminución del caudal	Inundaciones	Incremento de la erosión hídrica del suelo	Aluviones por retroceso glaciar
				Sujeto de análisis	DH	IH	DH	IH	IH	IH
		Operatividad de Sistemas de Alerta Temprana	Índice de densidad de estaciones de la red de monitoreo hidrometeorológico en la cuenca	D_METEO	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Variables, indicadores y ponderaciones para la estimación del riesgo climático del uso energético del agua.

Componente	Sub componente	Factor	Indicadores	Símbolo	Sequía	Movimientos en masa	Disminución del caudal	Inundaciones	Incremento de la erosión hídrica del suelo	Aluviones por retroceso glaciar
				Sujeto de análisis	DH	IH	DH	IH	IH	IH
PELIGROS	Fenómeno físico atmosférico	Sequía	Índice de intensidad y frecuencia de SPI	IF_SPI			**1**			
		Lluvias intensas	Índice de intensidad y frecuencia de lluvias intensas	IF_PP		**4/2**		**4/2**		
		Aumentos en promedios de temperatura del aire	Índice de cambio en la temperatura media anual	TMP						**1**
	Factor condicionantes	Relieve y geomorfología / Cobertura vegetal / Características del suelo y subsuelo	Susceptibilidad a movimientos en masa	MM		**3**				
		Relieve y geomorfología / Características del suelo y subsuelo	Susceptibilidad a inundación fluvial	INUND				**3**		
		Relieve y geomorfología / Características del suelo y subsuelo	Susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica	EROS					**1**	
		Retroceso glaciar	Índice de área glaciar	I_RGlac			**1**			
		Estabilidad geológica de las lagunas	Índice de superficie de lagunas alrededor de cobertura glaciar	I_ESTAB_LA						**1**
EXPOSICIÓN		Usuarios del servicio energético	Índice de viviendas con alumbrado eléctrico por red pública	I_VIV_ALUMB	**1**		**1**			

Componente	Sub componente	Factor	Indicadores	Símbolo	Sequía	Movimientos en masa	Disminución del caudal	Inundaciones	Incremento de la erosión hídrica del suelo	Aluviones por retroceso glaciar
				Sujeto de análisis	DH	IH	DH	IH	IH	IH
		Infraestructura hidroenergética y eléctrica	Índice de obras de infraestructura hidroenergética y eléctrica expuesta	I_INFRAEST		**1**		**1**	**1**	**1**
VULNERABILIDAD	SBF	Estado de conservación de ecosistemas	Índice de degradación de ecosistemas prioritarios	I_DEG_ECO	**4**		**4**		**4**	
		Regulación Hídrica	Índice de retención hídrica	I_RET_HID	**4**		**4**			
		Potencial Hidroeléctrico	Índice del potencial hidroeléctrico teórico	POT_HIDRO	**3**		**3**			
		Calidad del agua	Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales	ICARHS	**3**		**3**			
	SSE	Demanda de energía eléctrica	Índice del consumo anual de energía eléctrica	I_DEM_ENER	**1**		**1**			
		Articulación institucional e inclusiva para la gestión integrada de los recursos hídricos	Establecimiento del Consejo de Gestión de Recursos Hídricos de Cuencas	ART_CRHC	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**
	C_ADAP	Capacidad de regulación hídrica para la producción hidroenergética	Índice del volumen promedio embalsado del sistema hidroenergético	I_V_EMBALSE	**4**		**4**			
		Eficiencia de la generación hidroenergética	Índice de la tasa de variación porcentual del factor planta	I_F_PLANTA	**3**		**3**			
		Medidas para la protección de la generación, transmisión y distribución de la electricidad	Nivel de implementación de medidas de protección frente a los peligros	I_MED_PROT		**3**		**3**	**3**	

Componente	Sub componente	Factor	Indicadores	Símbolo	Sequía	Movimientos en masa	Disminución del caudal	Inundaciones	Incremento de la erosión hídrica del suelo	Aluviones por retroceso glaciar
				Sujeto de análisis	DH	IH	DH	IH	IH	IH
		Planificación e Información para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos	Nivel de avance en la elaboración del Plan de Gestión de recursos Hídricos de la Cuenca	PGRHC	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**	**4**
		Medidas de protección y mitigación ante los peligros en la cuenca	Índice del porcentaje de proyectos de inversión pública ejecutados y en ejecución	INSTR_PLAN						
		Operatividad de Sistemas de Alerta Temprana	Índice del nivel de operatividad de Sistemas de Alerta Temprana	D_METEO	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**

Fuente: Elaboración propia.

7. Agregación de los indicadores para la estimación del riesgo

Antes de operar los indicadores por factor, se verificó su dirección a la contribución del riesgo climático, principalmente para el componente de vulnerabilidad. Con los valores normalizados, se procedió a invertir aquellos resultados de indicadores que tenían una relación indirecta con el riesgo, a través de la fórmula propuesta por el modelo metodológico (1 – valor normalizado) en la base de datos. En la Figura 14, se observa cómo los resultados del indicador índice de desarrollo humano (IDH) del sector agrario han sido invertidos para que tenga una relación directa con el riesgo.

Figura 14. Conversión de indicadores a una relación directa con el riesgo climático.

1	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	IDDIST	DISTRITO	AREA_DIST	IDH	INVERSO
2	CUSCO	CUSCO	80101	CUSCO	10,160.9732	0.6591	0.3409
3	CUSCO	CUSCO	80103	POROY	1,338.1217	0.5274	0.4726
4	CUSCO	CUSCO	80104	SAN JERONIMO	9,574.2435	0.6549	0.3451
5	CUSCO	CUSCO	80105	SAN SEBASTIAN	6,850.6980	0.6806	0.3194
6	CUSCO	CUSCO	80106	SANTIAGO	5,922.6286	0.6349	0.3651
7	CUSCO	CUSCO	80107	SAYLLA	2,419.1476	0.5197	0.4803
8	CUSCO	CUSCO	80108	WANCHAQ	567.7306	0.7389	0.2611
9	CUSCO	ACOMAYO	80202	ACOPIA	7,158.7771	0.2869	0.7131
10	CUSCO	ACOMAYO	80204	MOSOC LLACTA	4,400.9430	0.2362	0.7638
11	CUSCO	ACOMAYO	80205	POMACANCHI	26,794.5743	0.2943	0.7057

Fuente: Elaboración propia.

Comprobada la direccionalidad de los indicadores, se procedió a agregarlos por factor con los respectivos pesos que fueron acordados colectivamente por los actores regionales clave de la cuenca (Figura 15), mediante las fórmulas de promedio ponderado que el marco metodológico de MINAM (2021b) y la guía metodológica sugieren. La base de datos que consolida la estimación del riesgo se halla en el Anexo 5.

Figura 15. Agregación de los indicadores con sus pesos por componente

/2 fx =((N2*O2)+(Q2*R2)+(T2*U2))/(O2+R2+U2)

	A	B	C	D	F	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	IDDIST	DISTRITO	CUENCA	Avnc_PMACC	INVERSO	Peso	PGRHC	INVERSO	Peso	D_METEO	INVERSO	Peso	I_CA	I_VUL
2	CUSCO	CUSCO	80101	CUSCO	CUENCA VILCANO	1	0	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.2865	0.2266
3	CUSCO	CUSCO	80103	POROY	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
4	CUSCO	CUSCO	80104	SAN JERONIMO	CUENCA VILCANO	1	0	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.2865	0.2266
5	CUSCO	CUSCO	80105	SAN SEBASTIAN	CUENCA VILCANO	1	0	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.2865	0.2266
6	CUSCO	CUSCO	80106	SANTIAGO	CUENCA VILCANO	1	0	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.2865	0.2266
7	CUSCO	CUSCO	80107	SAYLLA	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
8	CUSCO	CUSCO	80108	WANCHAQ	CUENCA VILCANO	1	0	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.2865	0.2266
9	CUSCO	ACOMAYO	80202	ACOPIA	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
10	CUSCO	ACOMAYO	80204	MOSOC LLACTA	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
11	CUSCO	ACOMAYO	80205	POMACANCHI	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
12	CUSCO	ACOMAYO	80207	SANGARARA	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
13	CUSCO	ANTA	80301	ANTA	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
14	CUSCO	ANTA	80302	ANCAHUASI	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
15	CUSCO	ANTA	80303	CACHIMAYO	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
16	CUSCO	ANTA	80305	HUAROCONDO	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
17	CUSCO	ANTA	80308	PUCYURA	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
18	CUSCO	ANTA	80309	ZURITE	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
19	CUSCO	CALCA	80401	CALCA	CUENCA VILCANO	0.7	0.3	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.3865	0.4433
20	CUSCO	CALCA	80402	COYA	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
21	CUSCO	CALCA	80403	LAMAY	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
22	CUSCO	CALCA	80404	LARES	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933
23	CUSCO	CALCA	80405	PISAC	CUENCA VILCANO	0	1	4	1	0	4	0.14	0.86	4	0.6199	0.3933

Fuente: Elaboración propia.

7. Resultados y discusión

Los resultados desagregados por cada variable evaluada según uso del agua se encuentran en el Anexo 4, mientras que la estimación del riesgo a partir de los factores de peligro, exposición y vulnerabilidad se adjunta en el Anexo 5. Por otra parte, en el Anexo 6 se encuentran las cadenas de impactos revisadas y retroalimentadas, que detallan cada variable considerada para el análisis y estimación.

En este capítulo, se describen y discuten los resultados de la estimación del riesgo climático en la cuenca Vilcanota-Urubamba por factor y sector o uso del agua. Asimismo, se ilustran los resultados en mapas (Anexo 7) y tablas, considerando los siguientes rangos para definir los niveles bajo, medio, alto y muy alto (Tabla 13).

Tabla 13. Rangos de valoración para los índices de los *factores* y del riesgo climático.

Rango de referencia de los índices	Nivel
0.7501 - 1	Muy alto
0.501 - 0.75	Alto
0.2501 - 0.5	Medio
0 - 0.2500	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los resultados del riesgo, estos se analizan por escenario (actual, 2030 y 2050), por uso del agua y por peligro.

Factor Peligro

➔ Peligro por aluviones debido al retroceso glaciar:

El retroceso glaciar en el contexto del cambio climático, ha sido estimado en base a proyección de la temperatura media del aire bajo el escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera del SENAMHI (2021) aunado a la tasa de retroceso glaciar derivada de información del INAIGEM (1989, 2018). Sin embargo, es preciso recalcar que el peligro por aluviones tiene una dinámica más compleja que la sola suposición que el incremento generalizado de las temperaturas desencadenará el peligro, es así que los indicadores propuestos se mantienen como proxy.

De acuerdo con los resultados, son un total de 20 distritos ubicados predominantemente sobre la parte central y sureste de la cuenca del río Vilcanota-Urubamba los que presentan masa glaciar en el periodo actual. Por otro lado, considerando los efectos del retroceso glaciar, hacia

el año 2030 sólo quedarán 12 distritos con glaciares y finalmente, al año 2050, se estima retrocedan todos quedando sólo los que están ubicados en los distritos de Pitumarca y Ocongate.

Los distritos con pérdida total de glaciares desde el 2030 al 2050 serían Huarocondo, Lares, Checacupe, Huayopata, Santa Teresa, Vilcabamba, Ccarhuayo, Cusipata, Machu Picchu y Yucay.

- ***Uso poblacional del agua***

Para el uso poblacional, el único distrito que se encuentra expuesto al peligro por aluviones debido al retroceso glaciar es el distrito de Calca, el cual presenta un nivel medio de peligro durante el periodo actual; sin embargo, para los periodos futuros 2030 y 2050, este peligro desaparece debido a que se proyecta retroceda la cobertura glaciar en las montañas de este distrito.

Tabla 14 . Resultados del índice de peligro por aluviones debido al retroceso glaciar para el uso poblacional

Distrito	Índice de Peligro Actual
CALCA	0.5

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso energético del agua***

Durante el periodo actual, 8 distritos de la cuenca se encuentran expuestos al peligro por aluviones debido al retroceso glaciar afectando potencialmente el uso energético. Hacia el 2030, el peligro incrementará de nivel en los distritos de Pitumarca y Santa Teresa pasando de un nivel alto a uno muy alto. Asimismo, al 2050 el único distrito con el nivel de peligrosidad más alto sería el de Pitumarca debido a que en esta sección aún se conservarán glaciares aledaños.

Tabla 15. Resultados del índice de peligro por aluviones debido al retroceso glaciar para el uso energético

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
PITUMARCA	0.5833	0.8333	0.8333
SANTA TERESA	0.6667	0.8333	-
MACHUPICCHU	0.5000	0.5833	-
OLLANTAYTAMBO	0.6667	-	-

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso agrario del agua***

Los distritos que durante el periodo actual presentan un nivel de peligro bajo y medio ante aluviones debido al retroceso glaciar son 15, dentro de ellos Pitumarca, Santa Teresa y Ocongate, los cuales permanecerán expuestos a este peligro al 2030; sin embargo, hacia el 2050 sólo Pitumarca y Ocongate presentarán el nivel más alto de peligro (muy alto) ya que aún conservaría parte de su cobertura glaciar.

Tabla 16. Resultados del índice de peligro por aluviones debido al retroceso glaciar para el uso agrario

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
PITUMARCA	0.5833	0.8333	0.8333
SANTA TERESA	0.6667	0.8333	-
OCONGATE	0.5833	0.7500	0.8333
CUSIPATA	0.5000	0.6667	-
MACHUPICCHU	0.5000	0.5833	-

Fuente: Elaboración propia.

➔ Peligro por disminución de caudal debido al retroceso glaciar

El peligro por disminución de caudal es analizado considerando la intensidad y frecuencia de sequías en todos los distritos de la cuenca, pero, además, considerando el índice de retroceso glaciar como factor adicional que acentúa el peligro en distritos con presencia de glaciares.

Dado que las sequías, tienen una distribución compleja dentro de la cuenca por la dinámica atmosférica sumado a la presencia de dos regímenes de lluvia entre región andina al sur y la amazónica al norte, los resultados pueden estar sesgados en ciertos distritos debido a la resolución espacial de la información climática pero también considerando que las diferencias estacionales que existen que pueden estar siendo más críticas en la temporada de verano por ejemplo para la sierra sur.

Para el escenario actual, las sequías alcanzan la categoría alta en casi toda la cuenca acentuada sobre la cuenca media y alta del río Vilcanota-Urubamba. El escenario al 2030 evidencia que el peligro alto pasa a extenderse hacia la cuenca baja (selva) donde predominaba la categoría media. Finalmente, para el 2050 casi toda la región presenta un alto y muy alto peligro ante sequías.

- ***Uso poblacional del agua***

La disminución del caudal para el uso poblacional presenta una categoría alta en 18 distritos de la cuenca, mientras que los demás distritos se encuentran con un peligro de categoría baja a media en el periodo actual. No así, para el año 2030, el peligro aumenta a la categoría muy alta en los distritos de Layo, Yanatile, Urubamba, Santa Teresa, Calca y Marangani. Finalmente, como se puede observar en la Tabla 17, los distritos de mayor peligro (muy alto) al 2050 serán los distritos de Layo, Urubamba y Ocobamba.

Tabla 17. Resultados del índice de peligro por disminución del caudal debido al retroceso glaciar para el uso poblacional

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
LAYO	0.40	0.88	0.88
URUBAMBA	0.19	0.88	0.88
OCOBAMBA	0.31	0.75	0.88
SANTA TERESA	0.75	0.88	0.75
CALCA	0.34	0.88	0.75

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso energético del agua***

Para el uso energético, 17 distritos tienen un nivel de peligro alto, y los demás distritos alcanzan categorías menores (entre baja y media). Al 2030, 7 distritos aumentarán de peligro a muy alto, dentro de ellos Ocobamba, Urubamba y Yucay, los cuales se proyecta permanecerán con el mismo nivel de peligro hacia el 2050. Más aún, los distritos de Yanatile, Layo, Ccarhuayo, Huarocondo y Huaypata también presentarán este nivel de peligro muy alto por disminución del caudal hacia el año 2050.

Tabla 18. Resultados del índice de peligro por disminución del caudal debido al retroceso glaciar para el uso energético

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
OCOBAMBA	0.31	0.88	0.88
URUBAMBA	0.19	0.88	0.88
YUCAY	0.25	0.38	0.88
SANTA TERESA	0.75	0.88	0.75
CALCA	0.34	0.88	0.75

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso agrario del agua***

Para el uso agrario, si bien la mayor parte de distritos de la cuenca presentan un nivel bajo y medio ante el peligro de disminución de caudal, son 19 distritos que tienen un nivel alto en el periodo actual (p. ej. Santa Teresa, Pisac, Acopia). Mientras tanto, las proyecciones indican que hacia el horizonte 2030, el índice de peligro aumenta en los distritos de Layo, Ocobamba, Yanatile, Yucay, Urubamba, Santa Teresa y Calca a una categoría muy alta. Para el año 2050, varían los índices estimados en algunos distritos como Huayopata, Huarocondo, Ccarhuayo y Cusipata que alcanzan un nivel máximo de peligro con la categoría muy alta.

Tabla 19. Resultados del índice de peligro por disminución del caudal debido al retroceso glaciar para el uso agrario

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
LAYO	0.40	0.88	0.88
OCOBAMBA	0.31	0.88	0.88
YANATILE	0.30	0.88	0.88
URUBAMBA	0.19	0.88	0.88
YUCAY	0.25	0.38	0.88

Fuente: Elaboración propia.

➔ Peligro por Sequías

El peligro actual por sequías presenta un nivel medio en gran parte de la cuenca Vilcanota-Urubamba (44 distritos), mientras que el nivel de peligro alto resalta en 18 distritos y el nivel bajo en 3. Sin embargo, saliendo del análisis distrital y visualizando el contraste geográfico cada 5 km, es importante notar que por ejemplo los distritos de Raimondi y Sepahua presentan diferencias en el nivel de peligrosidad marcadas ya que en la porción occidental de los distritos predomina el nivel bajo por sequías, mientras que en el lado oriental sobresale el peligro de nivel alto.

Hacia el 2030, el peligro por sequías aumenta de medio a alto en varios distritos de la cuenca y prevalece en 32 distritos de la cuenca media y baja. Por otro lado, el estado del peligro por sequías hacia el 2050 continúa evidenciando incrementos del nivel de peligrosidad de categoría media a alta en más distritos haciendo un total de 43 distritos con el nivel de peligro alto, seguidos por otros 26 distritos con categoría media y otros 2 distritos con un nivel bajo.

Es importante considerar que en distritos de gran extensión territorial como los ubicados en la parte baja de la cuenca, el nivel de peligro puede estar sesgado por la ponderación distrital que trata de resumir las características del peligro. Por otro lado, se ha visto que en general, el peligro por sequías incrementa a futuro, sin embargo, aun así, persisten variaciones entre los horizontes

2030 y 2050 que estarían asociados a cambios en la variabilidad natural relacionados a oscilaciones decadales e interanuales como los eventos ENOS (El Niño-Oscilación Sur). Hacia un horizonte de tiempo mayor, existe más incertidumbre en el comportamiento de las precipitaciones y su distribución espacial.

Debido a que las sequías por periodo de evolución son incluso más relevantes en la temporada húmeda, se ha extraído información estacional de este peligro durante el trimestre diciembre-enero-febrero por ser climáticamente los meses de mayores acumulados de precipitación según su ciclo anual. En este periodo, se observa que en el escenario al 2016-2045 (centrado al 2030) las sequías son de categoría muy alta en la parte central de la cuenca, lo cual no es evidenciado dentro de la escala anual. En el mismo sentido, las proyecciones en el período 2036-2045 (centrado al 2050) revelan que las sequías serán de gran intensidad y frecuencia con el mayor nivel peligro (muy alto) acentuados hacia la cuenca baja y central y parte de la región suroriental del Vilcanota-Urubamba.

- ***Uso poblacional, agrario y energético del agua***

En el periodo actual, 18 distritos presentan un nivel alto de peligro ante sequías, mientras que otros 45 distritos tienen un índice de peligrosidad medio, seguido por 9 distritos que se encuentran en la categoría baja. Para el año 2030, gran parte de los distritos de la cuenca aumentarán de peligro (bajo y medio) a alto en este horizonte temporal; dentro de ellos los distritos de Urubamba y Machu Picchu. Hacia el 2050, 43 distritos se encontrarán en nivel de peligrosidad alto frente a las sequías con excepción de San Jerónimo y Saylla que tendrían un nivel bajo de peligro.

Tabla 20. Resultados del índice del peligro por sequías para el uso poblacional, energético y agrario durante el periodo anual

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
COMBAPATA	0.75	0.75	0.75
URUBAMBA	0.25	0.75	0.75
HUAYOPATA	0.75	0.5	0.75
SAN SALVADOR	0.75	0.25	0.75
MACHUPICCHU	0.5	0.75	0.5

Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar que durante el periodo de verano austral (diciembre-enero-febrero) el peligro por sequías alcanza niveles muy altos en Ccatca en el periodo actual. Por otro lado, las sequías también evidencian mayor nivel de peligrosidad en los distritos de Maranura, Yucay y Pomacanchi hacia el año 2050.

Tabla 21. Resultados del índice del peligro por sequías para el uso poblacional, energético y agrario durante el periodo de verano austral (diciembre-enero-febrero)

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
ACOPIA	0.25	0.50	0.75
MARANURA	0.75	0.75	1.00
YUCAY	0.75	0.75	1.00
POMACANCHI	0.50	0.50	1.00
CCATCA	1.00	0.75	0.75

Fuente: Elaboración propia.

➔ Peligro por movimientos en masa:

El peligro por movimientos en masa presenta en general, para las tres escalas temporales, un nivel de peligrosidad predominantemente medio, no obstante, para los diversos usos existen diferencias entre los distritos de ubicados en la cuenca alta y media. Para complementar los resultados, la Figura 16. proporciona información de la distribución espacial a una escala de 5 km, resultado de los indicadores de lluvias intensas y frecuentes analizados independientemente ya que pueden jugar un rol muy importante en los impactos para cada uno de los usos en los distritos más susceptibles a movimientos en masa.

- ***Uso poblacional del agua***

Para este uso, el peligro por movimientos en masa presenta un nivel medio en los distritos de Cusco, San Jerónimo, San Sebastián, Santiago, Wanchaq, Calca, Sicuani, Santa Ana y Paucartambo. Esta característica responde en parte a la distribución de los distritos, los cuales están ubicados entre el centro y sur de la cuenca. Asimismo, tienen dimensiones espaciales pequeñas lo que puede estar sumando en los resultados que anuncian poco contraste entre los valores de los índices.

Tabla 22. Resultados del índice del peligro por movimientos en masa para el uso poblacional

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
CUSCO	0.4722	0.4722	0.4722
SAN JERÓNIMO	0.4722	0.4722	0.4722
CALCA	0.4722	0.4722	0.4722
SICUANI	0.4722	0.4722	0.4722
WANCHAQ	0.3333	0.3333	0.3333

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso energético del agua***

Para el uso energético, el índice de peligro es medio en 40 distritos y alto en 2 de ellos (Pampamarca y Echarate) durante los tres horizontes temporales (actual, 2030 y 2050). Estos resultados reflejan lo analizado anteriormente, donde el nivel de peligro menor se mantiene hacia el sur de la cuenca y mayor en el norte.

Tabla 23. Resultados del índice del peligro por movimientos en masa para el uso energético

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
PAMPAMARCA	0.5278	0.5278	0.5278
SICUANI	0.4722	0.4722	0.4722
MARAS	0.3889	0.3889	0.3889
SANTA ANA	0.4722	0.4722	0.4722
ECHARATE	0.5833	0.5833	0.5833

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso agrario del agua***

Son 53 distritos en total que para el periodo actual muestran un nivel de peligro medio para el peligro por movimientos en masa para el uso agrario; sin embargo, presenta un nivel alto en los distritos de San Salvador, Pampamarca y Echarate. Al 2030 y 2050, los niveles se mantienen y los menores niveles de peligro se evidencian en la parte alta de la cuenca Vilcanota-Urubamba.

Tabla 24. Resultados del índice del peligro por movimientos en masa para el uso agrario

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
SAN SALVADOR	0.5278	0.5278	0.5278
PAMPAMARCA	0.5278	0.5278	0.5278
SICUANI	0.4722	0.4722	0.4722
SAN PEDRO	0.3333	0.3333	0.3333
ECHARATE	0.5833	0.5833	0.5833

Fuente: Elaboración propia.

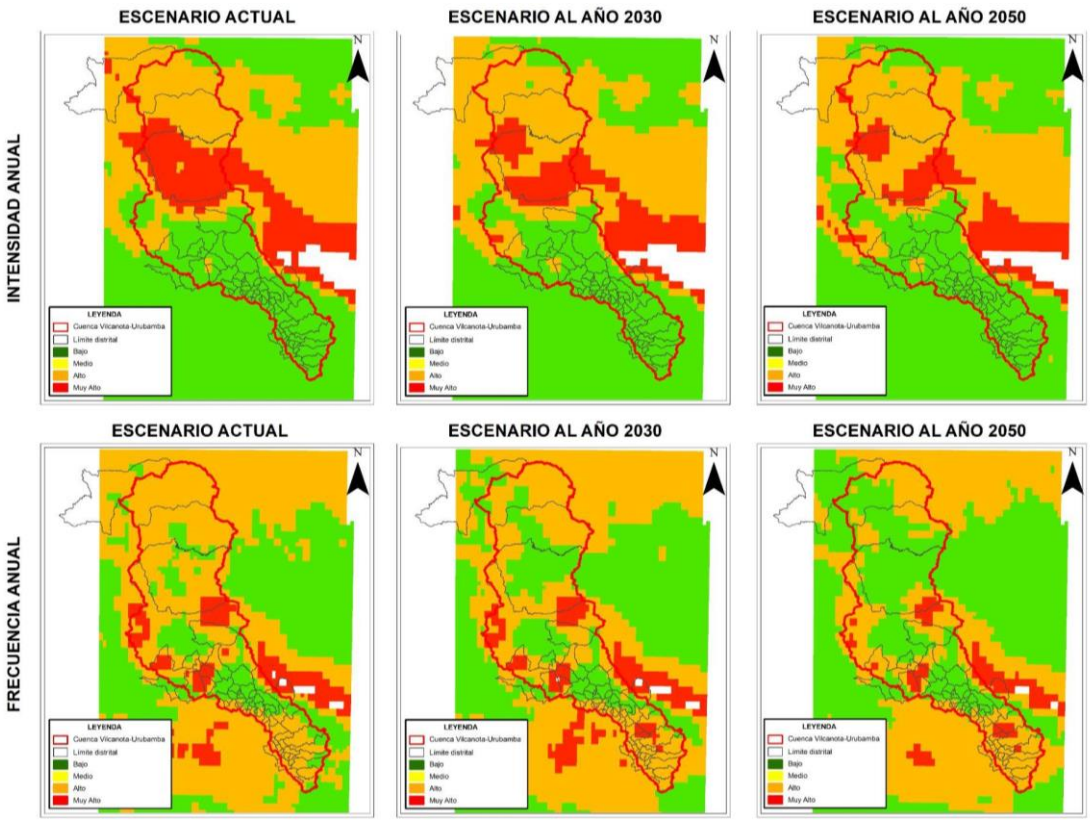
Como se ha remarcado en los resultados del peligro por movimientos en masa, existen variaciones en intensidad y frecuencia de lluvias dentro de un mismo distrito es por ello que, para una mejor descripción de los escenarios actual y futuro, se expresan los resultados de los indicadores de intensidad y frecuencia de lluvia en la Figura 16.

Por un lado, el escenario actual ante lluvias intensas muestra un contraste marcado entre la región andina y amazónica. El peligro de categoría alta se ubica en la cuenca baja, en donde incluso, alcanza valores de peligrosidad muy altos sobre la parte oriental de Megantoni, mientras que en el sur de la cuenca, predominan valores de peligro bajo. Complementando esto, el indicador de frecuencia de lluvias delinea un comportamiento similar entre estas regiones climáticas y además destaca la categoría muy alta sobre los distritos de Santa Teresa, Machu Picchu y Huayopata.

El escenario hacia el 2030 continúa predominando el nivel de peligro alto en la cuenca baja respecto a las lluvias intensas y se hace menos crítico en Megantoni. La frecuencia de lluvias se mantiene con el mismo patrón espacial del escenario actual.

Las proyecciones al 2050 muestran una disminución de lluvias intensas de categoría muy alto a alto en Megantoni, asimismo, se mantiene la categoría alta en el norte y baja en el sur de la cuenca del Vilcanota-Urubamba. La frecuencia de lluvias se mantiene alta en los distritos de Santa Teresa, Machu Picchu y Huayopata y destaca un aumento de categoría de medio a alto en la cuenca alta respecto a lo visto en el escenario actual.

Figura 16. Índice de lluvias intensas anual (arriba) e índice de lluvias frecuentes anual (abajo) para los escenarios actual, 2030 y 2050 en la cuenca del río Vilcanota-Urubamba.



Fuente: Elaboración propia.

➔ **Peligro por inundaciones:**

El peligro por inundaciones durante el periodo actual presenta una categoría de baja a media predominante en toda la cuenca. Los indicadores proyectados al 2030 y 2050 estiman mayores niveles de peligrosidad que resalta en la sección norte de la cuenca Vilcanota-Urubamba. Sin embargo, al sumarse la susceptibilidad ante inundaciones existen variaciones del peligro para el uso energético y agrario principalmente.

- ***Uso poblacional del agua***

El peligro por inundaciones para el uso poblacional mantiene un nivel de peligro medio en todos los distritos relevantes. Lo proyectado al 2030 y 2050 mantienen los mismos niveles del índice de peligro y considerando las dimensiones de los distritos amenazados, es posible que continúe influyendo los promedios distritales que generalizan los resultados y no permiten reflejar la señal correcta cuando existen marcados contrastes geográficos y climáticos.

Tabla 25. Resultados del índice del peligro por inundaciones para el uso poblacional

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
CUSCO	0.3056	0.3056	0.3056
SAN SEBASTIÁN	0.3889	0.3889	0.3889
SANTIAGO	0.3056	0.3056	0.3056
WANCHAQ	0.4167	0.4167	0.4167
CALCA	0.3056	0.3056	0.3056

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso energético del agua***

Para el uso energético, se muestran valores de peligrosidad media en 42 distritos frente a 4 de ellos que posee un nivel de peligro bajo (Saylla, Coya, Taray y Oropesa).

Tabla 26. Resultados del índice del peligro por inundaciones para el uso energético.

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
ZURITE	0.3889	0.4444	0.4444
COYA	0.2500	0.2500	0.2500
PISAC	0.3333	0.3333	0.3333
TARAY	0.2500	0.2500	0.2500
PAMPAMARCA	0.4444	0.4444	0.4444

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso agrario del agua***

Para el periodo actual, 52 distritos presentan un nivel de peligro medio en la cuenca mientras que sólo los distritos de Saylla, Coya, Huayopata y Oropesa alcanzan el nivel de peligro bajo. Al 2030 y 2050 se proyecta que sean 53 y 50 distritos que presenten el nivel medio respectivamente en todos los horizontes temporales.

Tabla 27. Resultados del índice del peligro por inundaciones para el uso agrario

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
ZURITE	0.3889	0.4444	0.4444
CALCA	0.3056	0.3056	0.3056
COYA	0.2500	0.2500	0.2500
LAMAY	0.3889	0.3889	0.3889
OCONGATE	0.3889	0.3889	0.3889

Fuente: Elaboración propia.

➔ **Peligro por erosión hídrica en el suelo:**

El peligro por erosión hídrica en el suelo durante el periodo actual tiene un nivel de peligrosidad bajo en los distritos ubicados hacia el norte de la cuenca y en contraste, distritos hacia el sur y sureste, destacan con un nivel de peligrosidad de media a muy alta. Los distritos que presentan el nivel de peligrosidad muy alto son: Huarocondo, Calca, Layo, Checacupe, Combapata, Marangani, Pitumarca, San Pablo, Cusipata, Machu Picchu y Ollantaytambo.

Es importante destacar que esta caracterización se encuentra asociada a la distribución de las precipitaciones en la cuenca, tomando en cuenta sus acumulados mensuales, aun así, no sólo condiciona la variable climática, sino que también influyen las de suelo, relieve y vegetación.

Es así que, tomando en cuenta un escenario de altas emisiones, se proyecta que debido a una disminución de lluvias (escenario de precipitación acumulada media) hacia la zona norte el peligro se mantenga bajo, tanto para el 2030 y 2050; sin embargo, distritos como Huarocondo, San Salvador y Calca podrían continuar presentando un nivel muy alto de peligro por erosión hídrica del suelo en ambos horizontes temporales.

A diferencia de los peligros de movimientos en masa, inundaciones y aluviones por retroceso glaciar, es importante mencionar que los distritos de Cusco, Wanchaq, Santiago, San Jerónimo y San Sebastián no se han considerado en el análisis del peligro de incremento de la erosión hídrica del suelo, dado que la mayor superficie de los distritos se encuentra urbanizada. Esta característica reduce significativamente la erosión del suelo a comparación de otros distritos.

El *incremento de la erosión hídrica del suelo* es de naturaleza acumulativa, es decir, la cantidad de sedimentos aumenta progresivamente a medida que la red de drenaje fluye. Se debe considerar que la metodología empleada no permite abordar esta dinámica que afecta a la infraestructura. Por ello, será importante identificar dónde se dan los mayores niveles del peligro, para formular intervenciones que ayuden a mitigarlo. Asimismo, para una mejor aproximación y evaluación del grado de peligro, es clave las mediciones en campo que permitan cuantificar el transporte de sedimentos en ríos y quebradas.

- ***Uso poblacional del agua***

En la Tabla 28, se muestran los índices de peligro actual y futuro ante la erosión en los distritos que tienen infraestructura para el uso poblacional. De ellos, destaca el distrito de Calca que para el escenario actual y futuro (2030 y 2050) presenta un nivel de peligro muy alto. Por otro lado, Sicuani y Paucartambo presentan en el periodo actual un nivel de peligro alto sin embargo, de acuerdo con las proyecciones, este nivel disminuye a la categoría media en los horizontes al 2030 y 2050. En tanto, el distrito de Santa Ana se encuentra con un nivel de peligro bajo para todos los escenarios previstos.

Tabla 28. Resultados del índice del peligro por erosión hídrica en el suelo para el uso poblacional

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
CALCA	1.00	1.00	1.00
SICUANI	0.75	0.50	0.50
PAUCARTAMBO	0.75	0.50	0.50
SANTA ANA	0.25	0.25	0.25

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso energético del agua***

De los distritos que presentan infraestructura para el uso energético, Pitumarca y Machu Picchu tienen un nivel de peligro muy alto en el periodo actual. En tanto, los distritos de Langui y Santa Ana presentan un nivel medio y bajo respectivamente.

Por otro lado, de lo proyectado al 2030 y 2050 se prevé que Pitumarca disminuya el nivel de peligrosidad baja de categoría muy alto a alto. Asimismo, en Machu Picchu también se proyecta cambios hacia futuro donde disminuye el peligro hacia la categoría media.

Tabla 29. Resultados del índice del peligro por erosión hídrica en el suelo para el uso energético

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
PITUMARCA	1.00	0.75	0.75
MACHUPICCHU	1.00	0.50	0.50
LANGUI	0.50	0.25	0.25
SANTA ANA	0.25	0.25	0.25

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso agrario del agua***

Alrededor de 51 distritos dentro de la cuenca presentan infraestructura para el uso agrario y un resumen de los índices de peligrosidad ante la erosión hídrica en el suelo que destacan evidenciados en la Tabla 30. En el periodo actual, los distritos de Calca, Marangani, Pitumarca, San Pablo, Ollantaytambo, Machu Picchu, Layo, Combapata y Cusipata resaltan con un nivel de peligro muy alto, de ellos solo Calca prevalece con este nivel de peligro hacia los años 2030 y 2050. Por otro lado, los distritos de Huarocondo y San Salvador incrementan su nivel de peligro a futuro de alto y medio a la categoría muy alta respectivamente.

Tabla 30. Resultados del índice del peligro por erosión hídrica en el suelo para el uso agrario

Distrito	Índice de Peligro Actual	Índice de Peligro al 2030	Índice de Peligro al 2050
CALCA	1.00	1.00	1.00
HUAROCONDO	0.75	1.00	1.00
SAN SALVADOR	0.50	1.00	1.00
MARANGANI	1.00	0.75	0.75
MARAS	0.50	0.75	0.75

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, resaltar que la erosión hídrica del suelo según la metodología RUSLE incorpora información acumulada mensual y anual; sin embargo, se podría asimilar incluso información más específica de lluvias que permitan complementar los resultados y el análisis de este peligro como, por ejemplo, hacer uso de información de lluvias horaria y a medida de lo posible, obtener escenarios climáticos que puedan dar información a este nivel de resolución temporal.

Factor Exposición

El sujeto de análisis *disponibilidad hídrica* es afectado principalmente por las sequías y la disminución de caudal, mientras que el sujeto de análisis *infraestructura asociada* es especialmente impactado por los peligros de movimientos en masa, inundaciones, incremento de la erosión hídrica del suelo y aluviones por retroceso glaciar. En ese sentido, dada las similitudes en el análisis, se exponen los resultados por el grupo de peligros que afectan principalmente a cada sujeto de análisis y por cada uso del agua. Cabe mencionar que al igual que en el factor anterior, solo se considera en el análisis a aquellos distritos de la cuenca que tengan elementos expuestos. Para una mayor ilustración de los resultados, revisar el Anexo 7.

➔ Exposición a sequías y disminución de caudal

– ***Uso poblacional del agua***

Para este uso del agua, la única variable evaluada en la exposición ante los mencionados peligros son los usuarios del agua con fines poblacionales, cuyo indicador se basa en el índice de la población que accede a agua potable por red pública, según la Encuesta Nacional de Programas Presupuestales (INEI, 2020). Los distritos cuyos niveles de exposición recaen en la categoría muy alto son Cusco, San Sebastián y Santiago, los cuales conforman parte de la ciudad del Cusco, que cuentan con la Empresa Prestadora del Servicio (EPS) SEDACUSCO. Asimismo, el distrito de Wanchaq de la ciudad del Cusco tiene un nivel de exposición alto y el distrito de San Jerónimo un nivel medio. Por otro lado, Sicuani, abastecida por la EPS a EMPSSAPAL S.A., resulta con un nivel de exposición medio (Tabla 31).

Tabla 31. Resultados de la exposición del peligro sequías y disminución del caudal para el uso poblacional

DISTRITO	Índice de exposición
CUSCO	1.0000
SAN SEBASTIÁN	0.9816
SANTIAGO	0.8249
WANCHAQ	0.5060
SICUANI	0.4997
SAN JERÓNIMO	0.4931

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados muestran que los distritos con la población más expuesta en la cuenca son los que tienen mayor población con acceso al servicio. Los restantes 65 distritos de la cuenca muestran un nivel de exposición bajo, debido a que la población con acceso al servicio no supera los 17,000 habitantes (25% del valor máximo proyectado para la cuenca, Cusco). Cabe señalar

que, si bien estos 65 distritos resultan en el análisis con menor nivel de exposición, serían los que tienen mayor población sin acceso al servicio, lo cual se puede verificar con los datos del censo poblacional del INEI (2017) en la Tabla 32.

El cálculo de la exposición evalúa a la población que se provee por prestadores del servicio, siguiendo el marco conceptual y metodológico que prioriza el Plan Nacional de Adaptación y las NDC Agua. Sin embargo, una mejor estimación debería diferenciar los usuarios que tienen acceso a agua potable y quienes realizan un uso primario, considerando pesos diferenciados, tal como los actores regionales han propuesto en los talleres de retroalimentación (Anexo 1). No obstante, el marco del análisis no prioriza el abordaje de esta brecha.

Tabla 32. Resultados de la exposición del peligro sequías y disminución del caudal para el uso poblacional

Distrito	Población distrital sin acceso al servicio (%)[1]	Nivel de exposición[2]
Quellouno	47.32	Bajo
Megantoni	31.24	Bajo
Echarate	27.26	Bajo
Layo	24.59	Bajo

Fuente: Subíndice 1: INEI (2017), subíndice 2: este estudio. Elaboración propia.

- ***Uso agrario del agua***

Las variables evaluadas para este uso del agua son los usuarios del agua con fines agropecuarios, las áreas de cultivos y pasturas naturales, y las cabezas de ganado. Para destacar la importancia de los usuarios del agua sin dejar de reconocer la relevancia que tienen las variables que abordan sus medios de vida (agricultura y ganadería), la ponderación de estas se ha redistribuido de la siguiente manera: usuarios del agua con fines agropecuarios (4), áreas de cultivos y pasturas naturales (3), y cabezas de ganado (3), con el fin de obtener resultados más representativos. Con esta ponderación se trata de balancear la influencia que tienen los distritos andinos frente a los de la amazonía, ya que sobre todo el área de pasturas naturales y el número de ganado están predominantemente en las zonas de mayor altitud de la cuenca.

Tabla 33. Resultados de la exposición ante sequías y disminución del caudal para el uso agrario.

DISTRITO	Índice de productores	Índice de cultivos y pasturas	Índice de cabezas de ganado	Índice de exposición
OCONGATE	0.3198	0.8772	0.9430	0.6740
PITUMARCA	0.1507	1.0000	1.0000	0.6603
SICUANI	0.5160	0.7806	0.7807	0.6483
LARES	0.2222	0.9042	0.5776	0.5334
ECHARATE	1.0000	0.2908	0.0563	0.5041

Fuente: Elaboración propia.

De los 71 distritos evaluados, 5 obtuvieron un nivel de exposición alto (Tabla 33), mientras que 17 distritos, un nivel medio y los restantes una exposición baja. De estos 5 distritos se puede observar que Ocongate y Pitumarca son los que registran mayores elementos expuestos, por los altos índices de áreas de pasturas naturales y cabezas de ganado que poseen los distritos altoandinos. Estos resultados están directamente relacionados con la importancia de la actividad pecuaria de la zona. De manera similar, este patrón se puede advertir en el distrito de Sicuani y Lares, aunque con menores cantidades de ganado. En el caso del distrito de Echarate, que se ubica en la parte baja amazónica de la cuenca, es importante notar que posee el mayor número de productores agropecuarios y a su vez el índice más bajo de áreas de cultivos y pasturas entre estos 5 distritos. Si se hubiera considerado un mismo peso para todas las variables, Echarate no estaría destacando en estos resultados, por lo explicado en el párrafo anterior. Este ejercicio refleja la importancia de manejar un mayor peso para la variable de los usuarios, en este sector.

Cabe señalar que, en el distrito de Wanchaq no se han encontrado productores agropecuarios, ni áreas de cultivo y pastizales, ni cabezas de ganado, por lo que no ha sido considerado para la estimación del riesgo, al no tener elementos que puedan ser afectados. Finalmente, es importante notar que los datos del número de productores agropecuarios y las cabezas de ganado provienen del último Censo Nacional Agropecuario registrado en el país, del año 2012. La actualización de estos datos permitirá evaluar con mayor precisión estas variables.

- ***Uso energético del agua***

Para los peligros ***sequías y disminución del caudal***, la única variable evaluada para la exposición es el número de viviendas con alumbrado eléctrico por red pública, información tomada del último Censo Nacional de Población (INEI, 2017). De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 34), los distritos de San Sebastián, Cusco y Santiago presentan un nivel muy alto de exposición, seguidos de Wanchaq y Sicuani con un nivel alto, y San Jerónimo con un nivel medio. Estos resultados se explican a partir de la concentración de viviendas con acceso al servicio energético

que estos distritos albergan en la ciudad de Cusco, a diferencia de otros distritos como Santa Ana y Echarate que no llegan ni al 25% de las viviendas que tienen alumbrado eléctrico en San Sebastián (menos de 5600 viviendas).

Tabla 34. Resultados de exposición ante sequías y disminución de caudal para el uso energético.

DISTRITO	Índice de exposición
SAN SEBASTIÁN	1.0000
CUSCO	0.9606
SANTIAGO	0.8321
WANCHAQ	0.5868
SICUANI	0.5039
SAN JERÓNIMO	0.4188
SANTA ANA	0.2041
ECHARATE	0.1945

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que, por la misma naturaleza y funcionamiento del sector, los datos no distinguen las fuentes de energía por las que son provistos las viviendas. El país posee un Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) que capta la energía térmica, hidráulica, solar, eólica, etc., generada en diversos puntos del territorio, para distribuirla a quienes acceden al servicio energético. Para un mayor análisis respecto al uso hidroenergético del agua, sería pertinente que el sector pueda discriminar por región o cuenca hidrográfica cuántas personas o viviendas dependen del recurso hídrico para acceder al servicio, de manera que los resultados sean más representativos.

➔ **Exposición a movimientos en masa, inundaciones, incremento de la erosión hídrica del suelo y aluviones por retroceso glaciar**

- ***Uso poblacional del agua***

Para estos peligros, el nivel de exposición se trabaja en base a la infraestructura expuesta, donde se consideran Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y reservorios, únicamente de las EPS. Por esta razón, se observa en los resultados que el mayor nivel de exposición se encuentra en el distrito de Cusco, seguido por Santiago con un nivel de exposición medio, donde se concentra la infraestructura de la EPS SEDACUSCO. Los distritos de San Sebastián y San Jerónimo, que también albergan infraestructura de SEDACUSCO, presentan un nivel de exposición bajo. Del mismo modo, el distrito de Santa Ana ha obtenido una exposición baja, ya que la infraestructura de la EPS EMAQ SRL se encuentra en su territorio. Existen también otros

distritos como Calca y Sicuani, que son provistos por EPS (EMSAPA Calca S.A y EMPSSAPAL S.A respectivamente), que también presentan niveles de exposición bajo, en comparación con Cusco, distrito que concentra mayor infraestructura (42 elementos).

Tabla 35. Resultados de la exposición del peligro movimientos en masa para el uso poblacional

DISTRITO	Índice de exposición
CUSCO	1.0000
SANTIAGO	0.3095
SAN SEBASTIÁN	0.2143
SAN JERÓNIMO	0.1667
SANTA ANA	0.1429

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en los distritos cuyos principales prestadores de servicio son organizaciones comunales como las juntas administradoras de servicios de saneamiento (JASS) o municipalidades, relacionadas al ámbito rural, no se tiene acceso a información pública de la ubicación de su infraestructura. La inclusión de estos últimos datos puede complementar los resultados a nivel de cuenca, ya que actualmente solo se están considerando 9 distritos para el análisis. En el peligro de ***aluviones por retroceso glaciar*** esta deficiencia de información es más notoria, ya que la ocurrencia del mismo se da en distritos altoandinos, principalmente del ámbito rural. Solamente Calca, distrito con masas glaciares y provisto por una EPS, está expuesto a los aluviones y es parte de los resultados (ver Anexo 7)

- ***Uso agrario del agua***

En el sector agrario, la única variable evaluado es la infraestructura hidráulica de riego, que reúne obras como represas, reservorios, canales, bocas, bocatomas, acueductos, etc, que estarían expuestas a los peligros de movimientos en masa, inundaciones, incremento de la erosión hídrica del suelo y aluviones por retroceso glaciar. En la Tabla 36, se muestra que la infraestructura del sector está principalmente expuesta en Echarate, Anta, Urcos, Marangani y Zurite ante los ***movimientos en masa, inundaciones e incremento de la erosión hídrica*** al ser distritos donde se concentran la mayor cantidad de obras. Los canales y obras de arte[4] son el tipo de infraestructura que más se concentra en Echarate y Anta: 34 canales y 380 obras de artes en el primero, y 213 canales y 14 obras de arte en el segundo. Además, 15 de los 71 distritos de la cuenca se hallan en un nivel medio de exposición y 51 distritos, en un nivel bajo.

[4] Incluye puente, desarenador, alcantarilla, cámaras de carga, cámara rompe presión, etc.

Tabla 36. Resultados de la exposición del peligro movimientos en masa para el uso agrario.

DISTRITO	Índice de exposición
ECHARATE	1.0000
ANTA	0.7338
URCOS	0.6472
MARANGANI	0.6277
ZURITE	0.5108

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al peligro de ***aluviones por retroceso glacia***r, al solo considerar aquellos distritos donde hay presencia de cobertura glaciar e infraestructura asociada, los resultados varían. Marangani es el distrito que concentra mayores elementos expuestos para este peligro; algunos de estos son obras de arte (208), canales (48) y acueductos (19). Santa Teresa, Layo, Ocongate, Huarocondo, Ollantaytambo y Urubamba obtuvieron niveles de exposición medio, en contraste con Cusipata, San Pablo, Calca, Yanatile, Pitumarca, Huayopata, Yucay y Machupicchu, que marcaron un nivel de exposición baja (ver Anexo 7).

- ***Uso energético del agua***

La infraestructura hidroenergética considerada para el análisis de exposición frente a los peligros de ***movimientos en masa e inundaciones*** son las centrales hidroeléctricas, subestaciones eléctricas, embalses y líneas de transmisión. De la cuenca, Machupicchu y Cachimayo son los distritos cuyos niveles de exposición son los más críticos. Machupicchu tiene 2 de las 4 centrales hidroeléctricas presentes en la cuenca, así como 5 líneas de transmisión y 1 subestación eléctrica. Cabe resaltar que tanto Machupicchu como Santa Teresa se encuentran en la zona baja amazónica de la cuenca, que de por sí es lluviosa. Los resultados espaciales de la intensidad y frecuencia de lluvias que desencadenan los peligros de movimientos en masa e inundaciones, son clave para comprender cómo se podría ver afectada esta infraestructura hidroenergética. Este cruce de información entre factores se verá en los resultados finales de la estimación del riesgo, aunque con las variables de vulnerabilidad agregadas.

Tabla 37. Resultados de la exposición del peligro de inundaciones para el uso energético.

DISTRITO	Índice de exposición
MACHUPICCHU	1.0000
CACHIMAYO	0.8750
SANTA TERESA	0.7500
SAN JERÓNIMO	0.6250

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del peligro ***incremento de la erosión hídrica del suelo***, la infraestructura evaluada fue centrales hidroeléctricas y embalses. Los resultados de exposición reflejan que Machupicchu y Langui son los distritos que concentran más elementos expuestos del sector. Langui se encuentra en la parte alta de la cuenca, donde se localiza el embalse de Langui Layo y la hidroeléctrica Hercca. Nuevamente, es importante señalar la influencia de la zona para el desarrollo del peligro. En los distritos altoandinos los procesos erosivos pueden ser mayores por la pendiente y escasa vegetación, si lo comparamos con la parte baja amazónica de la cuenca (Ver Anexo 7). No obstante, como se ha mencionado también en la sección de resultados de peligros, se debe tomar en cuenta la naturaleza acumulativa de la producción de sedimentos, ocasionada por la erosión, cuenca abajo. En cualquiera de los casos, la ubicación de la infraestructura que aborda este factor de exposición es clave para el diseño de medidas que ayuden a mitigar peligros como estos.

Tabla 38. Resultados de la exposición del peligro de inundaciones para el uso energético.

DISTRITO	Índice de exposición
MACHUPICCHU	1.00
LANGUI	0.6667
SANTA TERESA	0.3333
PITUMARCA	0.3333
SANTA ANA	0.3333
ECHARATE	0.3333

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma que en el uso poblacional y agrario, el análisis de la exposición ante ***aluviones por retroceso glaciar*** contempla únicamente los distritos que presentan masas glaciares con presencia de infraestructura del sector. En ese sentido, Machupicchu, Santa Teresa, San Pablo, Ollantaytambo, Huarocondo, Checacupe, Pitumarca y Cusipata son los distritos donde se encuentra expuesta la infraestructura hidroenergética frente a este peligro, siendo los 2 primeros los de mayor nivel de exposición; los restantes registraron niveles bajos al tener solo 1 elemento expuesto, ya sea un tramo de líneas de transmisión eléctrica o un embalse.

En base a los resultados obtenidos del factor de exposición, de manera general se cree conveniente discutir cómo la metodología plantea el análisis de cada variable por distrito y cómo ello termina homogeneizando la complejidad espacial del territorio. Este ejercicio asume que todos los elementos de la infraestructura de cada sector están igualmente expuestos, sin considerar la variabilidad de las condiciones biofísicas del territorio, que finalmente determinan la susceptibilidad de la infraestructura a los peligros de movimientos en masa, inundaciones, incremento de la erosión hídrica y aluviones por retroceso glaciar. Un análisis de exposición más detallado tendría que considerar los elementos de la infraestructura que se ubiquen en las áreas

más susceptibles a cada peligro dentro del distrito, antes de agregarlos con otros factores de riesgo.

En cuanto a la exposición de los elementos ante el incremento de la erosión hídrica, la producción de sedimentos se va acumulando en el transcurso de la red de drenaje desde la parte alta de la cuenca, por lo que la infraestructura ubicada en las partes medias y bajas pueden estar viéndose más afectadas, a pesar que el resultado del distrito donde se ubican no esté reflejando ello. Por último, sobre la exposición ante aluviones por retroceso glaciar, se debe reconocer que este peligro requiere de estudios más detallados para dimensionar su ocurrencia y potencial afectación a elementos expuestos, ya que la escala distrital no es lo suficientemente fina para su estimación, como lo podría ser estudios a nivel de microcuencas glaciares, tal como evalúa INAIGEM a través de Evaluaciones de Riesgo por Aluvión (EVAR)[5].

Factor Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se define a partir de las características del sujeto de análisis que lo pueden volver más o menos vulnerable ante la ocurrencia de un peligro. Los resultados obtenidos se analizan a partir de índices que recogen las características de la cuenca (sensibilidad biofísica) y las características de los usuarios e instituciones involucrados en cada uso del agua (sensibilidad socioeconómica). Asimismo, se aborda las capacidades de los usuarios e instituciones para hacer frente al peligro, a través de un índice de capacidad adaptativa.

Al igual que en el factor de peligros y exposición, el análisis se presenta por el grupo de peligros que afecta principalmente a un sujeto de análisis y solo se considera a aquellos distritos de la cuenca que tengan elementos expuestos. Para una mayor ilustración de los resultados, revisar el Anexo 7.

➔ Vulnerabilidad a sequías y disminución de caudal

– ***Uso poblacional del agua***

Para este sector, los distritos con el mayor nivel de vulnerabilidad dentro de la cuenca Vilcanota-Urubamba son Cusco y Cachimayo. La mayoría de los distritos han obtenido un índice de vulnerabilidad media, a excepción de los 2 anteriormente mencionados y Ccarhuayo, que obtuvo una baja vulnerabilidad. En la Tabla 39, se puede observar que dentro de los subíndices que conforman el factor, en Cusco sus características biofísicas tienen una fuerte contribución a

[5] Ver ejemplo: https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/12504

su vulnerabilidad, lo cual se puede explicar por la urbanización del distrito. Naturalmente, sus ecosistemas se encuentran degradados y la retención hídrica de su territorio es casi nula, lo que se refleja en los resultados de estas variables (Ver Anexo 4). Además, la calidad del agua de Cusco es mala según el Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS). Asimismo, es importante resaltar que dentro del subíndice de sensibilidad socioeconómica está la variable de demanda de agua poblacional, donde Cusco tiene el valor más alto a nivel de la cuenca.

Tabla 39. Resultados de la vulnerabilidad de los peligros sequías y disminución del caudal para el uso poblacional

DISTRITO	Subíndice de sensibilidad biofísica	Subíndice de sensibilidad socioeconómica	Subíndice de capacidad adaptativa	Índice de vulnerabilidad
CUSCO	0.9318	0.6786	0.2579	0.6228
CACHIMAYO	0.4935	0.6738	0.4298	0.5324
WANCHAQ	1.0000	0.2518	0.2579	0.5032
CCARHUAYO	0.1888	0.1121	0.4298	0.2436

Fuente: Elaboración propia.

De manera similar, Wanchaq, al ser un distrito urbanizado, tiene una sensibilidad biofísica muy alta, que lo predispone a ser más vulnerable frente a las sequías y disminución del caudal. No obstante, la baja demanda de agua del distrito a nivel de la cuenca y el contar con una EPS que tiene un Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático (PMACC) finalmente reducen su vulnerabilidad. Por el contrario, en Ccarhuayo, un distrito principalmente del ámbito rural, si bien cuenta con una calidad de agua regular, la alta retención hídrica de su territorio y la baja superficie de ecosistemas degradados se ve reflejado en su subíndice de sensibilidad biofísica.

- ***Uso agrario del agua***

De los 71 distritos analizados de la cuenca, 35 presentan un alto nivel de vulnerabilidad y el resto, un nivel medio. El distrito de San Sebastián es el que posee el mayor índice de vulnerabilidad (0.6347), debido a que es una zona urbana, cuyas características biofísicas no propician el almacenamiento del agua en el suelo, necesario para hacer frente a las sequías y la disminución del caudal; además, la calidad del agua es mala. Aunque las variables socioeconómicas de San Sebastián se encuentran en un nivel medio, el índice de capacidad adaptativa invertido[6] demuestra que las capacidades de los productores agropecuarios, ya sea en conocimientos técnicos e infraestructura de almacenamiento y distribución del agua, son bajas.

[6] Los resultados del índice de capacidad adaptativa se invierten para que tengan la misma dirección y contribución en la vulnerabilidad frente al riesgo.

Tomando el ejemplo de San Sebastián, cabe la discusión de cómo tratar los altos niveles de vulnerabilidad que presentan los distritos urbanos en las variables relacionadas a los cultivos, como la tecnificación del riego o formalización de los derechos de uso del agua, las cuales casi siempre saldrán con niveles de implementación baja, justamente porque estos distritos tienen poca área destinada para fines agrícolas, en comparación con distritos rurales. Además, la atención de generación de capacidades y desarrollo agrario están especialmente dirigidas a zonas del ámbito rural, por lo que el cierre de esta brecha en distritos como San Sebastián realmente no sería prioritario para el sector, lo cual mantendría su vulnerabilidad.

En el caso del distrito de Santa Ana, es el que presenta el menor nivel de vulnerabilidad en la cuenca (0.3943). Las características biofísicas de la cuenca que le permiten hacer frente a las sequías, así como las características socioeconómicas de sus usuarios del agua, se encuentran en un rango medio de vulnerabilidad. Es el índice de capacidad adaptativa el que vuelve al distrito menos vulnerable, específicamente por el nivel de los productores agropecuarios asistencia técnica recibida para el aprovechamiento sostenible del agua.

Finalmente, del análisis se puede discutir si las variables utilizadas para evaluar la sensibilidad socioeconómica ante estos peligros son apropiadas para los distritos en selva, tomando en cuenta que la agricultura de esta zona se da en pequeña escala, sin requerir riego por la abundancia de lluvias, lo que a su vez influye en la formalización de derechos de uso de agua.

- ***Uso energético del agua***

Para los peligros sequías y disminución del caudal, los niveles de vulnerabilidad de este sector recaen en 2 categorías: media (21 distritos) y baja (50 distritos). Los primeros se ubican sobre todo en la parte alta y media de la cuenca, a excepción de Echarate, que pertenece a la zona baja y amazónica de Vilcanota-Urubamba. De acuerdo a los resultados, las características biofísicas de la cuenca tienen una mayor influencia en la estimación de la vulnerabilidad, siendo la retención hídrica y la calidad del agua (sedimentos) las variables con mayor relevancia. Por ejemplo, Combapata, el segundo distrito más vulnerable, registra un bajísimo índice de retención hídrica (0.0920) y el más alto índice que valora la producción de sedimentos (1). Estos resultados a nivel distrital pueden guiar la ubicación de las intervenciones que ayuden a aumentar la resiliencia del territorio frente a las sequías o disminución del caudal, estratégicamente reconociendo a los distritos de la parte alta de la cuenca, para que el efecto de afianzamiento hídrico sea mayor.

Comparándolo con el sector agrario, donde las características y capacidades de los usuarios influyen fuertemente a la vulnerabilidad, para el uso energético del agua son las características en el manejo y gestión del recurso hídrico de los administrados las que pueden o no contribuir a dicho factor. La capacidad de regulación hídrica mediante los embalses es una variable clave

para la disminución de la vulnerabilidad. En el caso de Sibinacocha se conoce que, para el año 2021, el volumen inicial del embalse fue de 99 MMC y la demanda hídrica para la generación de energía eléctrica fue de 58.81 MMC, evidenciándose la disponibilidad de la oferta hídrica (ANA, 2021). Cabe notar que el potencial hidroenergético de la cuenca es el más alto a nivel nacional (MINEM, 2012).

En el subíndice de sensibilidad socioeconómica, si bien la variable multisectorial articulación institucional e inclusiva para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos tiene un mayor peso (4) a comparación de la demanda de energía (peso 1), no tiene mayor influencia en la vulnerabilidad, ya que a todos los distritos se les asigna el mismo valor. Por último, es importante destacar que si bien no son los distritos con mayores índices de vulnerabilidad en la cuenca, tanto Echarate como Sicuani han reducido su factor de planta de las hidroeléctricas que concentran: San Francisco y Hercca respectivamente.

A partir de estos resultados a nivel de cuenca, el sector estaría concentrando sus esfuerzos para cubrir la demanda energética principalmente de estos distritos, que se ubican en la parte media de la cuenca. Teniendo en cuenta ello, las intervenciones de afianzamiento hídrico que se formulen en la zona alta tendrán implicancias positivas para la generación energética que demanda la ciudad de Cusco, pero también el país. Sobre esto último, es importante mencionar que, por la misma naturaleza y funcionamiento del sector, la hidroenergía generada en una cuenca está conectada a un Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) que capta la energía térmica, hidráulica, solar, eólica, etc., generada en diversos puntos del territorio, para distribuirla a quienes acceden al servicio energético.

➔ Vulnerabilidad a Movimientos en masa, inundaciones, incremento de la erosión hídrica del suelo y aluviones por retroceso glaciar

– *Uso poblacional del agua*

Para el caso de ***movimientos en masa e inundaciones***, la estimación de la vulnerabilidad de la infraestructura asociada muestra que Sicuani, Santa Ana, Calca y Paucartambo son los distritos con vulnerabilidad media dentro de la cuenca, cuyos resultados se distinguen primordialmente por el nivel de avance del Plan de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático (PMACC) y la cantidad de puntos críticos identificados. En el caso de Sicuani y Santa Ana, las EPS EMPSSAPAL S.A y EMAQ S.R.L. no tiene ningún avance del PMACC a la fecha, por lo que no tendrían medidas diseñadas para hacer frente a los peligros. En cuanto a los puntos críticos en ríos y quebradas, Sicuani posee el mayor índice que evalúa dicha variable. La EPS de Calca (EMSAPA Calca S.A.) cuenta con su PMACC elaborado, pero no se ha llegado a aprobar, mientras que Paucartambo,

que es provisto del servicio de agua potable por SEDACUSCO S.A., lo tiene elaborado y aprobado.

Tabla 40. Resultados de la vulnerabilidad de los peligros movimientos en masa e inundaciones para el uso poblacional

DISTRITO	Subíndice de sensibilidad socioeconómica	Subíndice de capacidad adaptativa	Índice de vulnerabilidad
SICUANI	0.2500	0.6370	0.4435
SANTA ANA	0.2500	0.6078	0.4289
CALCA	0.2500	0.3533	0.3016
PAUCARTAMBO	0.2500	0.2539	0.2520
CUSCO	0.2500	0.2474	0.2487
SAN JERÓNIMO	0.2500	0.2377	0.2438
SAN SEBASTIÁN	0.2500	0.2344	0.2422
SANTIAGO	0.2500	0.2344	0.2422
WANCHAQ	0.2500	0.2344	0.2422

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los 5 distritos menos vulnerables de la cuenca, estos conforman la ciudad de Cusco (Tabla 40). Dichos resultados se explican por la presencia de SEDACUSCO S.A., que ante la ocurrencia de movimientos en masa o inundaciones que afectaría a la infraestructura, se asume que la EPS accionaría mediante medidas de mitigación y adaptación, que estarían en su PMACC. Asimismo, tanto en los distritos de Cusco, Santiago, Wanchaq, San Jerónimo y San Sebastián, la presencia de puntos críticos en ríos y quebradas[7] es baja. No obstante, se debe tener en cuenta las limitaciones de escala distrital, ya que, por ejemplo, INGEMMET (Medina et al., 2021) ha elaborado un estudio de peligros geológicos por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco, donde identifica 26 puntos críticos.

Frente al ***incremento de erosión hídrica del suelo***, los resultados siguen el mismo patrón que los de movimientos en masa e inundaciones. Sin embargo, se destaca que en este peligro sí se incluyen la variable de degradación de ecosistemas, dada la implicancia que tiene para la propiciación de la erosión. En cualquiera de los 9 distritos evaluados en la cuenca para este uso, la degradación es baja. Por último, en ***aluviones por retroceso glaciar,*** solo 1 distrito (Calca) formó parte del análisis al cumplir con los requisitos de presentar infraestructura potencialmente expuesta y tener cobertura glaciar. Calca obtuvo una vulnerabilidad media ante dicho peligro.

[7] La información de puntos críticos identificados en la cuenca fue provista por la AAA Vilcanota Urubamba.

– ***Uso agrario del agua***

Ante los ***movimientos en masa e inundaciones***, la vulnerabilidad más alta de la infraestructura hidráulica asociada se sitúa en Marangui, Layo y Quiquijana, a nivel de la cuenca. La principal variable socioeconómica que contribuye a estos resultados es el Índice de Desarrollo Humano (IDH), que en los 3 distritos es superior al 0.6. De igual manera, la baja capacitación técnica para la gestión del riesgo en los productores agropecuarios y la implementación de medidas preventivas en los puntos críticos cooperan a estos resultados de vulnerabilidad alta.

Tabla 41. Resultados de la vulnerabilidad del peligro incremento de la erosión hídrica del suelo para el uso agrario

DISTRITO	Subíndice de sensibilidad socioeconómica	Subíndice de capacidad adaptativa	Índice de vulnerabilidad
MARANGANI	0.4406	0.6584	0.5495
LAYO	0.5148	0.5071	0.5109
QUIQUIJANA	0.4919	0.5194	0.5056

Fuente: Elaboración propia.

En relación a las variables multisectoriales, estas no influyen a nivel distrital, ya que se evalúan a nivel de cuenca y sus resultados se asignan por igual a los distritos. No obstante, cabe destacar que, frente a estos peligros, la variable de operatividad de sistemas de alerta temprana (SAT) es de suma importancia; los resultados de esta variable demuestran que la densidad de estaciones meteorológicas es todavía deficiente en la cuenca.

Ante el ***incremento de erosión hídrica del suelo***, el único distrito con nivel de vulnerabilidad alta es San Sebastián, propiciado por su alta degradación de ecosistemas, y la baja capacidad técnica de los productores agropecuarios para hacer frente al peligro (Ver Anexo 4). Por otro lado, el distrito menos vulnerable es Wanchaq, especialmente por su alto IDH. En cuanto a los ***aluviones por retroceso glaciar***, de los 15 distritos que tienen cobertura glaciar en la cuenca, los más vulnerables para la infraestructura agraria son Layo, Huarocondo, Marangani y Cusipata. De forma similar a anteriores peligros que afectan a la infraestructura, las variables que ayudan a diferenciar los niveles de vulnerabilidad entre los distritos de la cuenca son principalmente las sectoriales. Las variables multisectoriales que mayormente se evalúan a una escala de cuenca no influyen de manera significativa en los resultados, ya que solo se adicionan a cada subíndice de la vulnerabilidad. Por ejemplo, la articulación para la gestión de los recursos hídricos es una sola en la cuenca, y ello es compartido entre todos los distritos que la conforman.

Tabla 42. Resultados de vulnerabilidad ante aluviones por retroceso glaciar para el uso agrario.

DISTRITO	Subíndice de sensibilidad socioeconómica	Subíndice de capacidad adaptativa	Índice de vulnerabilidad
LAYO	0.5148	0.5772	0.5460
HUAROCONDO	0.4576	0.5839	0.5207
MARANGANI	0.4406	0.5653	0.5029
CUSIPATA	0.4841	0.5185	0.5013

Fuente: Elaboración propia.

– ***Uso energético del agua***

Según los resultados obtenidos, 16 distritos de la cuenca presentan una vulnerabilidad media y 26 un nivel de vulnerabilidad baja ante los peligros de ***movimientos en masa e inundaciones***. Los valores más altos se encuentran en los distritos de Sicuani, Echarate, Huayllabamba, Quiquijana y Langui (Tabla 43), donde se puede advertir que la falta de capacidades adaptativas es la causante de los resultados. En Sicuani, Echarate y Langui están ubicadas las hidroeléctricas Hercca, San Francisco y Langui respectivamente, las cuales no han implementado medidas para la protección de la generación, transmisión y distribución de la electricidad, de acuerdo a la encuesta realizada a proyectos hidroenergéticos en el marco de la Programación Tentativa Sectorial para las NDC Agua del sector (producto P1AE). En el caso de Huayllabamba y Quiquijana, si bien estos distritos no consideran la variable de las medidas de protección (al no contar con hidroeléctricas en su territorio), es la cantidad de puntos críticos en ríos y quebradas la que influye en su vulnerabilidad.

Tabla 43. Resultados de vulnerabilidad del peligro para el uso energético.

DISTRITO	Subíndice de sensibilidad socioeconómica	Subíndice de capacidad adaptativa	Índice de vulnerabilidad
SICUANI	0.25	0.5004	0.3752
ECHARATE	0.25	0.4736	0.3618
HUAYLLABAMBA	0.25	0.4053	0.3277
QUIQUIJANA	0.25	0.3934	0.3217
LANGUI	0.25	0.3933	0.3216
MACHUPICCHU	0.25	0.1433	0.1966

Fuente: Elaboración propia.

Machupicchu es el distrito con menor nivel de vulnerabilidad en la cuenca, debido a que la única empresa hidroenergética que reportó el cumplimiento de la implementación de medidas de protección[8] ha sido EGEMSA S.A., y además, porque el distrito tiene la menor cantidad de puntos

[8] Las medidas consisten en en el reforzamiento, estabilización de taludes, obras físicas, barreras de concreto nuevas, enrocado nuevo, techado de canales, reforestación.

críticos identificados en la cuenca dentro de su territorio. Ello quiere decir que, ante la ocurrencia de los peligros, se asume que la infraestructura administrada por dicha empresa cuenta de manera preventiva con la protección necesaria para enfrentarlos. Aunque es la intensidad de los movimientos en masa e inundaciones lo que finalmente permitirá estimar el riesgo de la infraestructura, sus características y las capacidades adaptativas de los administrados son clave para mitigar los potenciales impactos negativos.

Sobre el ***incremento de erosión hídrica del suelo***, este peligro a comparación de los movimientos en masa y las inundaciones, donde se contemplan las características biofísicas en el factor de peligros, considera el estado de conservación de los ecosistemas como un factor de la sensibilidad biofísica. Por otra parte, como se explicó en el factor de exposición, solo se contempla el análisis de este peligro en aquellos distritos que tengan centrales hidroeléctricas y embalses (Tabla 44), siendo los más vulnerables Echarate y Santa Ana, aunque con tendencia a un nivel bajo.

Tabla 44. Resultados de la vulnerabilidad del peligro incremento de la erosión hídrica del suelo para el uso

DISTRITO	Subíndice de sensibilidad biofísica	Subíndice de sensibilidad socioeconómica	Subíndice de capacidad adaptativa	Índice de vulnerabilidad
ECHARATE	0.1061	0.25	0.4736	0.2766
SANTA ANA	0.2787	0.25	0.2267	0.2518
LANGUI	0.0987	0.25	0.3933	0.2473
SANTA TERESA	0.1123	0.25	0.2743	0.2122
PITUMARCA	0.0587	0.25	0.2386	0.1825
MACHUPICCHU	0.1368	0.25	0.1433	0.1767

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, ante los ***aluviones por retroceso glaciar***, todos los distritos con presencia de masa glaciar donde se ubica la infraestructura del sector presentan una vulnerabilidad media, ya que los variableses que la están influyendo son de carácter multisectorial. Estos distritos son Machupicchu, Huarocondo, Cusipata, Ollantaytambo, Pitumarca, San Pablo, Checacupe y Santa Teresa (Ver Anexo 7)

Riesgo climático

En los siguientes párrafos, se presentan los resultados de la estimación del riesgo actual, con proyecciones al 2030 y 2050. Cabe aclarar que, estas proyecciones se han hecho en base a los escenarios climáticos que maneja el SENAMHI para el periodo actual y futuro. En ese sentido, los resultados del componente de peligro son clave para entender el comportamiento del riesgo a futuro. A continuación, se presentan los principales hallazgos por peligro analizado y uso del agua.

➔ Riesgo a Sequías

– ***Uso poblacional***

De acuerdo a los resultados de la estimación para el escenario actual, ningún distrito presenta un riesgo muy alto en la cuenca. No obstante, Cusco (0.7076), San Sebastián (0.5626), Sicuani (0.5465) y Santiago (0.5025) presentan un alto riesgo que se mantendrá hasta el 2050, a excepción de Sicuani. Para Cusco, esto está principalmente motivado por el índice de exposición de sus usuarios, que recae en la categoría de muy alto, así como por su alta vulnerabilidad frente al peligro (alta sensibilidad biofísica y socioeconómica). En el caso de Sicuani se observa que tanto su vulnerabilidad y exposición se hallan a un nivel medio; sin embargo, su nivel de peligro es alto (0.75), lo cual influye directamente en su categorización del riesgo. Para los escenarios 2030 y 2050, Sicuani se vuelve un distrito con riesgo medio, al disminuir la frecuencia e intensidad del Índice Estandarizado de Precipitación. Por otra parte, los distritos con menores niveles de riesgo para el periodo actual son Poroy, Pucyura, Lucre y Ccarhuayo, los cuales poseen bajos niveles de peligro y exposición.

Tabla 45. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (sequías - uso poblacional).

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	4	3	4
MEDIO	63	59	66
BAJO	4	9	1

Fuente: Elaboración propia.

Para el escenario 2030, los distritos con riesgo bajo serán Huayllabamba, Saylla, Taray, San Salvador, Zurite, Poroy, Pucyura, Lucre y Ccarhuayo. Los 5 primeros habrán entrado en esta

categoría por la disminución de sus índices de peligro. No obstante, como se puede observar en la Tabla 45, solamente Saylla mantendrá esta tendencia hasta el 2050, ya que las condiciones para la ocurrencia de las sequías recrudecerían en la parte media de la cuenca.

- ***Uso agrario***

Los niveles de riesgo más altos en la cuenca se hallan principalmente en la parte alta oriental de la cuenca, donde destacan distritos como Pitumarca, Ocongate, Sicuani, Checacupe, Layo, así como en la zona media (Paucartambo, Quiquijana, Lares, Ollantaytambo) y baja (Megantoni). Los niveles de peligrosidad (intensidad y frecuencia del Índice Estandarizado de Precipitación - SPI) y exposición (número de productores, áreas de cultivo y cabezas de ganado potencialmente afectados) en dichos distritos son altos, lo cual ha propiciado índices de riesgo que varían entre los 0.50 a 0.75. Cabe señalar que, en el caso de Megantoni, a pesar de concentrar menos usuarios del agua con fines agrarios expuestos, su alto índice de vulnerabilidad ha contribuido a que finalmente sea un distrito con riesgo alto.

Tabla 46. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (sequías - uso agrario)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	10	17	14
MEDIO	60	53	56
BAJO	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

En el escenario 2030, nuevos distritos como Echarate, Challabamba, Colquepata, Marangani, Yanatile, Vilcabamba, Raimondi y Calca incrementan su riesgo climático, de medio a alto. En la cuenca ello significa un desplazamiento del riesgo, motivado principalmente por el comportamiento más intenso y frecuente de las sequías para este periodo, hacia la zona media-baja. Para el 2050, se observa que, comparando con el anterior escenario, distritos como Calca, Raimondi, Vilcabamba, Quiquijana, Marangani, Colquepata, Challabamba, Checacupe reducirían su nivel de riesgo, gracias a la disminución de sus índices de peligrosidad. Finalmente, es importante mencionar que Ocongate, Pitumarca, Sicuani, Lares, Layo, Paucartambo y Megantoni permanecen continuamente con alto riesgo ante las sequías, por más que el comportamiento del peligro varíe. En estos distritos, es la alta concentración de elementos expuestos y su vulnerabilidad, los que ocasionan dicha situación.

– ***Uso energético***

De acuerdo a los resultados de la estimación del riesgo para el escenario actual, los distritos de Cusco (0.5574) y San Sebastián (0.5259) presentan un alto riesgo, 56 distritos tienen un nivel medio (0.25-0.50) y 13, un bajo riesgo (0-0.25). Tanto en Cusco como San Sebastián, si bien sus índices de peligro no sobrepasan el 0.5, sus niveles de exposición son los más elevados de la cuenca (cercano a 1), lo cual se entiende porque forman parte de la capital regional, donde se concentra la población. En el caso de los distritos con bajo riesgo estos son: Ccarhuayo, Cachimayo, Lucre, Poroy, Pucyura, Urubamba, Pampamarca, Sepahua, Sangara, Megantoni, Zurite, Yucay y Ocobamba, los cuales se localizan principalmente en la parte media y baja de la cuenca.

Tabla 47. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (sequías - uso energético)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	2	1	3
MEDIO	56	57	64
BAJO	13	13	4

Fuente: Elaboración propia.

Para el escenario 2030, el único distrito con un alto riesgo es San Sebastián. Para el 2050, nuevamente Cusco retoma un alto nivel de riesgo, junto con San Sebastián y Wanchaq; este último incrementó su índice de riesgo de 0.3449 a 0.5116. En el caso de los distritos cuyo riesgo es medio, la Tabla 47 muestra que, para los escenarios futuros, el número de distritos va a aumentar progresivamente, sobre todo en la parte media de la cuenca. Por otro lado, cabe señalar que los distritos altoandinos de Checacupe y Sangara, así como Saylla (zona media) y Sepahua (zona baja) serán los únicos distritos que tendrán un nivel bajo de riesgo.

Si bien los resultados del peligro ante sequías anual reflejan condiciones deficitarias de lluvias marcadas en la cuenca que afectan el recurso hídrico, la escala estacional es incluso más importante de evaluar dado que principalmente para la cuenca alta es cuando se presentan los mayores acumulados de lluvia de acuerdo a su ciclo anual climático. Por ello, el riesgo asociado al peligro durante el periodo de verano austral (diciembre-enero-febrero) podría ser mucho mayor en esta temporada donde las sequías serían de categoría muy alta al 2030 en la parte central de la cuenca. Este resultado estacional es crítico para estos distritos de la zona media y deberá tomarse en cuenta de forma complementaria a lo expuesto previamente. Para el

escenario al 2050 también se esperan niveles muy altos de peligro en la cuenca baja, central y zona suroriental del río Vilcanota-Urubamba en este trimestre evaluado.

Es preciso resaltar que, dada la alta variabilidad de las precipitaciones en la cuenca debido a los contrastes orográficos, sumado a la influencia de oscilaciones interanuales como El Niño-Oscilación Sur y otras decadales (p. ej. Oscilación decadal del Pacífico); estas proyecciones al 2030 y 2050 mantienen aún una alta incertidumbre respecto al peligro por sequías a una escala distrital. De acuerdo con los escenarios climáticos al 2050 (SENAMHI, 2021) el contraste de los acumulados de precipitaciones entre las zonas de la cuenca alta y baja sería mucho más marcado en la cuenca Vilcanota-Urubamba, lo cual es importante de resaltar en los resultados del riesgo obtenidos.

➔ Disminución del caudal

– ***Uso poblacional***

En el escenario actual, los distritos que presentan un nivel de riesgo alto son Cusco, San Sebastián, Sicuani y Santiago, los cuales se mantendrán hasta el 2050, a excepción Sicuani, que reducirá su riesgo a un nivel medio a partir del periodo 2030. Este comportamiento en Sicuani se debe a una disminución en su índice de peligrosidad a futuro motivado principalmente por la variabilidad de las precipitaciones entre su región oriental y occidental.

Tabla 48. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (disminución del caudal - uso poblacional).

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	4	3	4
MEDIO	53	55	65
BAJO	14	13	2

Fuente: Elaboración propia.

En el 2030, la disminución del caudal empieza a afectar a distritos con masas glaciares como San Pablo, Layo y Urubamba, que, al empezar a perder estas reservas hídricas por el aumento de la temperatura, que de un nivel bajo pasan a tener un nivel de riesgo medio. De esta manera se observa que, en la cuenca, el riesgo ante este peligro incrementa en la parte alta oriental y disminuye en la zona media occidental. Para el 2050, de manera general, se advierte un aumento del riesgo ante la disminución del caudal en varios distritos de la parte media de la cuenca. Esto está relacionado a la predominancia de condiciones deficitarias de lluvias que conllevarían a una

mayor incidencia de sequías intensas y frecuentes, que sumados a la variable de la pérdida total de masas glaciares en distritos como Huarocondo, Yanatile, Layo, Huayopata, Ocobamba, Ccarhuayo, Urubamba y Yucay, acentuaron este resultado.

- ***Uso agrario***

Para el escenario actual, los 7 distritos cuyo riesgo es alto ante la disminución del caudal son Sicuani (0.6245), Pitumarca (0.5913), Ocongate (0.5604), Quiquijana (0.5392), Paucartambo (0.5144) Checacupe (0.5115) y Megantoni (0.5091). En el caso de los 3 primeros, que se ubican en la zona altoandina de la cuenca, y Megantoni, por los resultados de exposición se conoce que concentran las mayores áreas de pasturas naturales y de productores agropecuarios respectivamente, que finalmente elevan su índice de riesgo por la alta cantidad de elementos expuestos. En el caso de Quiquijana, Paucartambo y Checacupe, si bien sus índices de exposición entran en la categoría de medio, sus índices de peligrosidad y vulnerabilidad frente al peligro los sitúan en un nivel alto del riesgo climático.

Tabla 49. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (disminución del caudal - uso agrario)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	7	21	24
MEDIO	63	49	46
BAJO	0	1	2

Fuente: Elaboración propia.

Para el escenario 2030, tanto la disminución de la intensidad y frecuencia del Índice Estandarizado de Precipitación - SPI, como el avance del retroceso glaciar por el aumento de la temperatura media, genera que 13 distritos aumenten su riesgo de medio a alto. Se proyecta que para este periodo Layo, Ocobamba, Urubamba, Ollantaytambo, San Pablo, Calca, Yanatile, Marangani habrán perdido sus masas glaciares, afectando el caudal de sus cuerpos de agua. Otros distritos afectados serían Echarate, Challabamba, Colquepata, Raimondi y Lares, principalmente por la falta de lluvias. Para el 2050, distritos como Huarocondo, Ccarhuayo, Vilcabamba, Cusipata, aumentan su nivel de riesgo a la categoría de alto por la desaparición de sus masas glaciares, así como Ccatca, Yanaoca, Anta y Chinchero, por la disminución de las precipitaciones.

– ***Uso energético***

Para el escenario actual, Cusco y San Sebastián presentan un alto riesgo ante la disminución del caudal, dada la cantidad de usuarios expuestos que concentran estos distritos a nivel de la cuenca. Asimismo 46 distritos presentan un riesgo de nivel medio (0.25-0.50) y 23 un nivel bajo (0-0.25). En contraste con el peligro de sequías se nota que en el escenario actual existe una mayor cantidad de distritos con niveles de riesgo bajos, a pesar de que uno de sus indicadores sea el mismo para su evaluación (intensidad y frecuencia del SPI). Esta diferencia se explica principalmente porque la estimación del peligro en distritos con masas glaciares se lleva a cabo considerando el área de estas, las cuales funcionan como una reserva hídrica importante ante la disminución del caudal. No obstante, para los escenarios futuros (2030 y 2050) esta misma característica genera un mayor riesgo en dichos distritos por el retroceso glaciar proyectado a partir de las tasas de área glaciar registradas entre los años 1989 y 2018, así como las proyecciones del aumento de la temperatura.

Tabla 50. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (disminución del caudal - uso energético)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	2	1	4
MEDIO	46	50	63
BAJO	23	20	4

Fuente: Elaboración propia.

Tomando como referencia el escenario actual, los distritos de la cuenca baja incrementan su nivel de riesgo, al igual que la zona oriental de la parte alta. Para el 2050, es en la parte media donde recrudece el riesgo, especialmente en algunos distritos que conforman la ciudad de Cusco (Cusco, Wanchaq, Santiago, San Sebastián).

➔ **Movimientos en masa**

– ***Uso poblacional***

Según los resultados de la estimación del riesgo para este peligro, el distrito en mayor riesgo para los 3 escenarios es Cusco, con un índice de 0.5736. A pesar de presentar un bajo nivel de vulnerabilidad, este resultado se ve justificado esencialmente porque el distrito ostenta el nivel máximo de exposición en toda la cuenca, por la concentración de infraestructura de la EPS

SEDACUSCO. Por otra parte, el único distrito cuyo riesgo es bajo es Wanchaq, lo cual se explica por presentar una baja cantidad de elementos de infraestructura expuestos, una baja vulnerabilidad y un nivel de peligrosidad medio.

Tabla 51. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (movimientos en masa – uso poblacional)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	1	1	1
MEDIO	7	7	7
BAJO	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

– ***Uso agrario***

De acuerdo a los resultados de la estimación del riesgo, los distritos con un nivel de riesgo alto para los 3 escenarios son Echarate, Marangani y Urcos. Si bien para el escenario actual, estos distritos presentan un nivel de peligro medio, sus índices de exposición, evaluados mediante la presencia de infraestructura sectorial potencialmente afectada, son los más elevados de la cuenca. De igual manera, cabe resaltar que, Marangani ostenta el índice de vulnerabilidad más alto, por los bajos índices de capacitación técnica y cantidad de puntos críticos de ríos y quebradas en el distrito. Por otro lado, el único distrito con un riesgo bajo es Wanchaq.

Tabla 52. Número de distritos en riesgo y escenario (movimientos en masa – uso agrario).

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	3	4	3
MEDIO	67	66	67
BAJO	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

– ***Uso energético***

De acuerdo a la estimación del riesgo para el escenario actual, los distritos de Machupicchu y Cachimayo poseen un alto nivel de riesgo ante los movimientos en masa, el cual se mantendrá en los escenarios futuros del 2030 y 2050. Aunque sus niveles de peligrosidad y vulnerabilidad se hallen a un nivel medio, el número de infraestructura expuesta es de las más elevadas en la

cuenca. En el caso de los distritos con índices de riesgo medio, estos se distribuyen en la parte media y alta de la cuenca, siguiendo la presencia de la infraestructura del sector, ya que, en la zona baja del Urubamba, ya no se observa riesgo alguno. Igualmente, en el escenario actual, los distritos con riesgo bajo son Zurite, Mosoc Llacta, Acopia y Anta, por presentar índices de vulnerabilidad bajos, principalmente por el menor número de puntos críticos identificados.

Tabla 53. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (movimientos en masa - uso energético)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	2	2	2
MEDIO	65	68	67
BAJO	4	1	2

Fuente: Elaboración propia.

Para los escenarios 2030 y 2050 y para los 3 usos del agua, los resultados de riesgo ante los movimientos en masa no varían significativamente; sin embargo, es muy claro y remarcable que existe un evidente contraste entre la cuenca baja y alta del río Vilcanota-Urubamba. Al sur, los indicadores de intensidad y frecuencia presentan niveles bajos de peligrosidad respecto a la región norte, donde predomina el peligro alto. Asimismo, metodológicamente, la ponderación distrital no permite ver reflejado los cambios que ocurren en distritos de grandes contrastes geográficos y climáticos como Megantoni, donde se aprecian cambios notables de mayor peligro ante lluvias intensas y frecuentes hacia su lado oriental respecto a su porción occidental.

Otro variable que ha jugado un rol importante en los resultados finales de peligro por movimientos en masa, es la incorporación de información de alta resolución espacial derivada del mapa de susceptibilidad, ya que al igual que con los indicadores climáticos, esta estimación distrital ha simplificado las condiciones del terreno que son muy variadas y heterogéneas.

➔ Inundaciones

– ***Uso poblacional***

Para el sector, la estimación del riesgo ante inundaciones en los 3 escenarios cataloga al distrito de Cusco con un nivel muy alto; San Sebastián, Santiago, Santa Ana y Sicuani en un nivel medio; y a los distritos de Calca, San Jerónimo, Wanchaq y Paucartambo en un nivel bajo. Estos resultados se explican esencialmente por el número de infraestructura de las empresas

prestadoras de servicio (EPS) en cada distrito, siendo el que más concentra reservorios y una planta de tratamiento, Cusco. Asimismo, sobre los distritos de niveles más bajos, además de sus bajos índices de exposición, las variables que influyen en estos resultados son 2 del factor de vulnerabilidad: que la EPS cuenta con un Plan de Mitigación y Adaptación del Cambio Climático (PMACC) y el bajo número de puntos críticos identificados en los distritos.

Tabla 54. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (inundaciones - uso poblacional)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	1	1	1
MEDIO	4	4	4
BAJO	4	4	4

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso agrario***

Ante las inundaciones, los mayores índices de riesgo del sector se hallan en Echarate (0.5913), Marangani (0.5339) y Anta (0.5278), principalmente por la cantidad de infraestructura hidráulica que concentran los distritos como elementos expuestos y los altos índices de vulnerabilidad obtenidos. Al respecto de la vulnerabilidad, se puede observar que en Marangani y Anta, distritos de la parte andina de la cuenca, estos índices son elevados por los puntos críticos identificados en ríos y quebradas. En cuanto al nivel de riesgo medio, este se localiza en la parte media y alta de la cuenca en los 3 escenarios evaluados.

Tabla 55. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (inundaciones - uso agrario)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	3	4	3
MEDIO	66	66	66
BAJO	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

- ***Uso energético***

En el escenario actual, los distritos con mayor riesgo a sufrir afectación a la infraestructura energética frente a inundaciones son Cachimayo y Machupicchu. A pesar de que el nivel del

peligro es medio en ambos distritos, y su vulnerabilidad presenta índices menores a 0.25, el componente de exposición es muy alto, con índices mayores a 0.85. Ello se debe a la presencia de la central hidroeléctrica Machupicchu y las líneas de transmisión que cruzan los distritos. en contraste, los 14 distritos que presentan bajos niveles de riesgo son Zurite, Mosoc Llacta, Urcos, Saylla, Oropesa, Acopia, Checacupe, Anta, Cusipata, Pucyura, Ancahuasi, Huarocondo, Coya y Taray, los cuales se localizan en la parte alta y media de la cuenca. En cuanto a los escenarios futuros, solo se observa un aumento del riesgo en el distrito de Zurite, ocasionado por el leve incremento del peligro.

Tabla 56. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (inundaciones - uso energético)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	2	2	4
MEDIO	55	56	56
BAJO	14	13	13

Fuente: Elaboración propia.

De manera general para los 3 usos del agua, para los escenarios 2030 y 2050, el riesgo ante las inundaciones no varía significativamente, ya que como se expuso anteriormente con el peligro ante movimientos en masa; el peligro compuesto por la intensidad y frecuencia lluvias sumado a las características de susceptibilidad son promedios distritales y esto no permite poner en evidencia los niveles más críticos que existen dentro de un distrito, es por ello que es sumamente importante evaluar cada indicador de forma independiente (Figura 16).

➔ Incremento de la erosión hídrica del suelo

– ***Uso poblacional***

En el escenario actual, al igual que los peligros de movimientos en masa e inundaciones, el nivel más alto de riesgo se concentra en Cusco, por la cantidad de elementos expuestos presentes en el distrito. Cabe señalar que el incremento de erosión hídrica del suelo es un peligro que se puede ir acumulando a medida que los sedimentos van fluyendo cuenca abajo. En ese sentido, si bien distritos como Santiago, San Sebastián, San Jerónimo y Wanchaq han obtenido niveles de riesgo medio, por la menor cantidad de infraestructura expuesta a comparación de Cusco, todos ellos conforman parte de la ciudad imperial, de la cual SEDACUSCO es la encargada de brindar el servicio. Por otro lado, dado que el análisis se realiza por distrito (considerando solo las PTAP y

reservorios en este estudio), no se evidencia la interdependencia que tiene, por ejemplo, Cusco con Chinchero, donde se ubica la laguna de Piuray. Esta laguna es una de las fuentes de agua para SEDACUSCO, donde se capta el recurso, por lo que, el nivel de peligro de dicho distrito (incremento de la erosión hídrica del suelo) es relevante para determinar de manera más precisa cómo se podría ver afectada la infraestructura asociada no solo de la laguna, sino también de la de la ciudad de Cusco.

Tabla 57. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (incremento de la erosión hídrica del suelo – uso poblacional).

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	1	1	1
MEDIO	8	7	7
BAJO	0	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Tanto en los escenarios 2030 como el del 2050, se observa una disminución del riesgo, de medio a bajo, en un solo distrito analizado, que es Paucartambo. Este resultado se explica a partir de la disminución del índice de peligro, que se evalúa a través del método RUSLE (Ver Anexo 3), donde se calcula la erosividad por la intensidad de lluvias. Siendo esta la única variable proyectable, se evidenciaría un descenso de la intensidad de las precipitaciones en Paucartambo, según el método empleado, lo cual sería beneficioso para enfrentar este peligro.

– ***Uso agrario***

En el escenario actual, los distritos con mayores índices de riesgo ante el incremento de erosión hídrica del suelo son Echarate, Urcos, Ollantaytambo, Cusipata, Marangani, Layo y San Pablo. Los últimos 5 presentan índices de peligro muy alto y niveles de vulnerabilidad media, que contribuyen al riesgo. La vulnerabilidad de estos distritos responde a la falta de capacitación técnica para la gestión de riesgo de desastres, así como los puntos críticos que existen en ríos y quebradas en sus territorios. Cabe destacar que, los niveles más bajos del riesgo se localizan en los distritos de Yanatile, Poroy, Pucyura, Tinta, Yanaoca, Mosoc Llacta y Pampamarca, donde existe menor infraestructura hidráulica del sector expuesta.

Tabla 58. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (incremento de la erosión hídrica del suelo - uso agrario).

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	7	4	4
MEDIO	57	53	53
BAJO	7	14	14

Fuente: Elaboración propia.

Desde el escenario 2030 y hasta el 2050, se da una disminución del riesgo, en aproximadamente 7 distritos: Acopia, Yucay, Combapata, Huayopata, Huaro, Coya y San Pedro, motivada por un descenso de la intensidad de las lluvias que desencadena el peligro. Sin embargo, en los distritos de San Salvador y Huarocondo el nivel del riesgo aumenta para los escenarios futuros, ya que, según las proyecciones del peligro, la erosión hídrica del suelo alcanzará su mayor nivel de ocurrencia a partir del 2030.

- ***Uso energético***

Los distritos que presentan un alto riesgo para el periodo actual son Machupicchu y Pitumarca, gracias al nivel de peligrosidad muy alto y alto que poseen respectivamente, pero también por la presencia de infraestructura clave sectorial como hidroeléctricas y embalses. Los distritos de niveles de riesgo medio (Langui, Santa Teresa, Santa Ana y Echarate) siguen este mismo patrón, donde si bien no es el peligro el factor determinante, lo es la cantidad de elementos expuestos a la erosión hídrica del suelo, que conlleva finalmente a la producción de sedimentos. Para el escenario 2030 y 2050, se observa una leve disminución del riesgo en el distrito Pitumarca que lo hace bajar de categoría muy alto a alto, motivado por el comportamiento de las lluvias intensas, que se evalúan dentro del método RUSLE, cuyo nivel de ocurrencia va a disminuir en la parte alta oriental de la cuenca.

Tabla 59. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (incremento de la erosión hídrica del suelo - uso energético)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	2	1	1
MEDIO	4	5	5
BAJO	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

➔ Aluviones por retroceso glaciar

– ***Uso poblacional***

Frente a este peligro, el único distrito potencialmente afectado por la ocurrencia de aluviones por retroceso sería Calca. Como se explicó en los otros factores de riesgo, solo se analizan aquellos distritos con presencia de infraestructura asociada y con presencias de masas glaciares. En el caso de Calca, si bien su índice de exposición es bajo, su vulnerabilidad y nivel de peligrosidad son medios. Para los escenarios 2030 y 2050, el riesgo ante el peligro desaparece en Calca. Como el peligro está relacionado con el retroceso glaciar, a medida que este va avanzando, el peligro va perdiendo las variables que condicionan su ocurrencia (las masas glaciares). Para dichos escenarios esto puede resultar beneficioso para el sector en este peligro, por una menor exposición de la infraestructura. Sin embargo, estos resultados pueden ser ajustados en base a la información de infraestructura de los prestadores del servicio en ámbitos rurales, que no se encontró disponible.

Tabla 60. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (aluviones - uso poblacional).

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	0	0	0
MEDIO	1	1	1
BAJO	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

– **Uso agrario**

Para el sector, Marangani tiene el nivel de riesgo más alto de la cuenca ante los aluviones por retroceso glaciar en la actualidad, debido a que concentra la mayor cantidad de infraestructura hidráulica para riego. Además, presenta un alto nivel de vulnerabilidad, principalmente por la baja asistencia técnica de los productores agropecuarios en temas de gestión de riesgos de desastres. Para el 2030, Santa Teresa también presentaría un alto nivel de riesgo por el aumento de la temperatura, que podría desestabilizaría las masas glaciares del distrito

Tabla 61. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (aluviones – uso agrario).

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	1	2	1
MEDIO	14	6	1
BAJO	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 61, para el 2030 y 2050, el número de los distritos en riesgo va disminuyendo. Como el peligro está relacionado con el retroceso glaciar, a medida que este va avanzando, el peligro va perdiendo las variables que condicionan su ocurrencia (las masas glaciares). Para dichos escenarios esto puede resultar beneficioso para el sector, por una menor exposición de la infraestructura, lo cual se refleja sobre todo en el escenario 2050, donde solo Ocongate y Pitumarca serían los distritos en riesgo. Sin embargo, ante otros peligros y sujetos de análisis, como la disminución del caudal y los productores agropecuarios, ello resulta en un mayor riesgo.

– **Uso energético**

Ante la ocurrencia de aluviones, para el escenario actual hasta el 2030, los distritos que se verán afectados con un nivel de riesgo alto son Santa Teresa y Machupicchu, que poseen una exposición de categoría alto y muy alto respectivamente, que estaría contribuyendo a estos resultados. Para el escenario 2050, este peligro ya no ocurriría ni en Santa Teresa ni en Machupicchu, debido a que sus masas glaciares habrían desaparecido según los cálculos de la tasa de retroceso glaciar proyectada.

Tabla 62. Número de distritos por nivel de riesgo y escenario (aluviones – uso energético)

NIVEL DE RIESGO	Número de distritos (riesgo actual)	Número de distritos (riesgo 2030)	Número de distritos (riesgo 2050)
MUY ALTO	0	0	0
ALTO	2	2	0
MEDIO	15	9	2
BAJO	2	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Para el 2030 y 2050, los distritos en riesgo van disminuyendo por la desaparición de las masas glaciares, que condicionan el peligro, motivada por el aumento de la temperatura. De esta

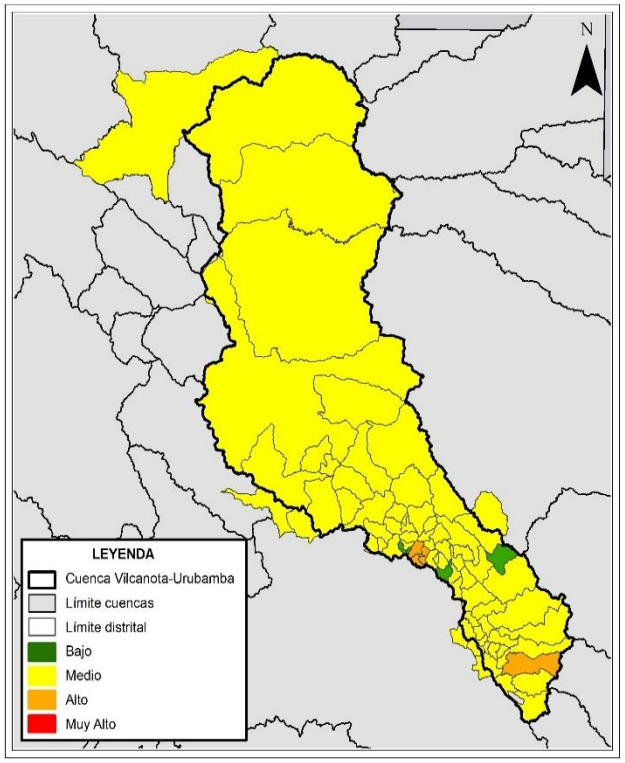
manera, al 2030, aparte de Santa Teresa y Machupicchu, estarán solamente en riesgo Pitumarca, Cusipata, Huarocondo y Checacupe. En el 2050, solo quedan en riesgo ante los aluviones, Pitumarca. La gradual desaparición de este peligro puede resultar beneficioso para el sector, por una menor exposición de la infraestructura. No obstante, ante otros peligros como la disminución del caudal, ello resulta en un mayor riesgo.

A continuación, se grafican los resultados del riesgo climático en mapas, por peligro, uso del agua y escenario:

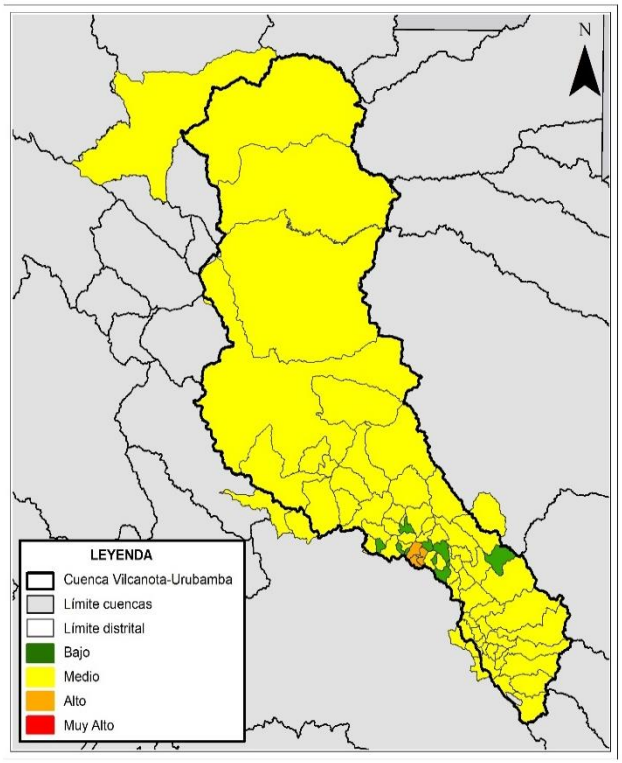
Figura 17. Mapa del riesgo – sequías, para uso poblacional del agua.

Área temática de Agua	
Sujeto de análisis: disponibilidad hídrica	Uso: poblacional

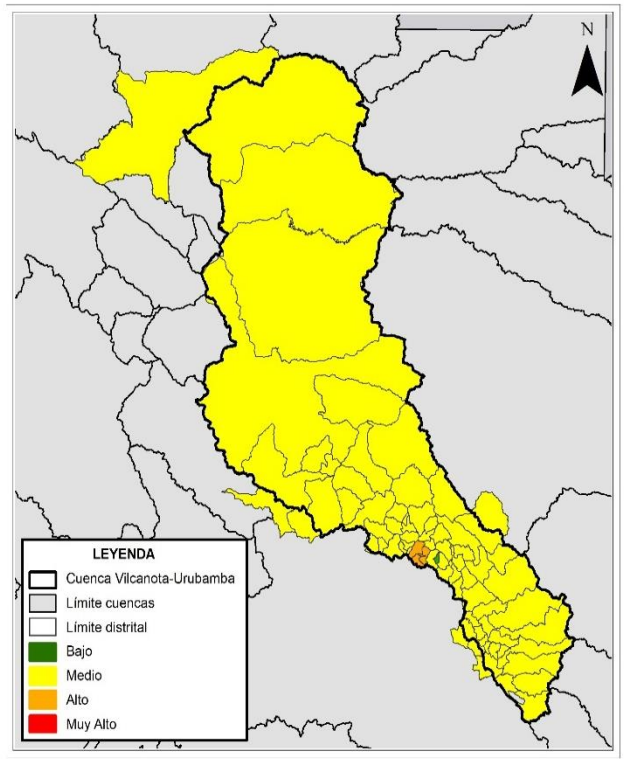
ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO AL AÑO 2030



ESCENARIO AL AÑO 2050

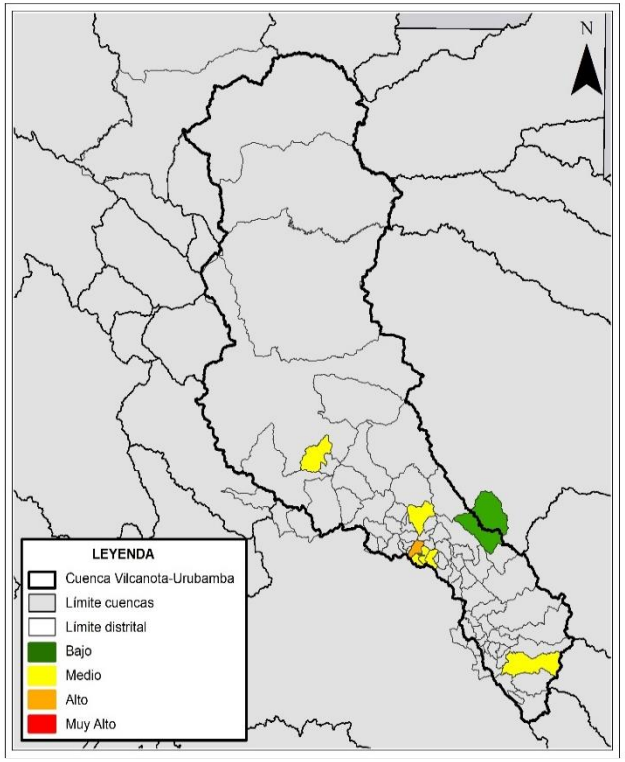


Fuente: Elaboración propia.

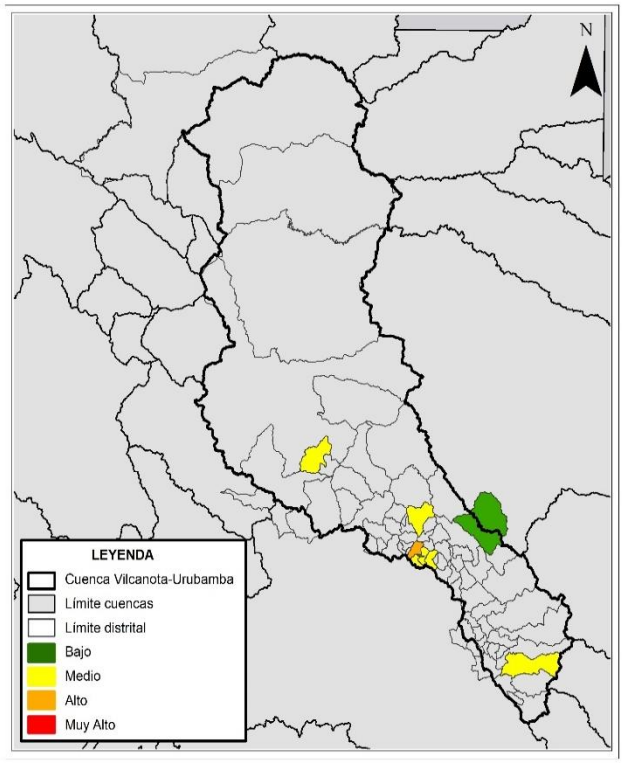
Figura 18. Mapa del riesgo – movimientos en masa, para uso poblacional del agua.

Área temática de Agua	
Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica	Uso: poblacional

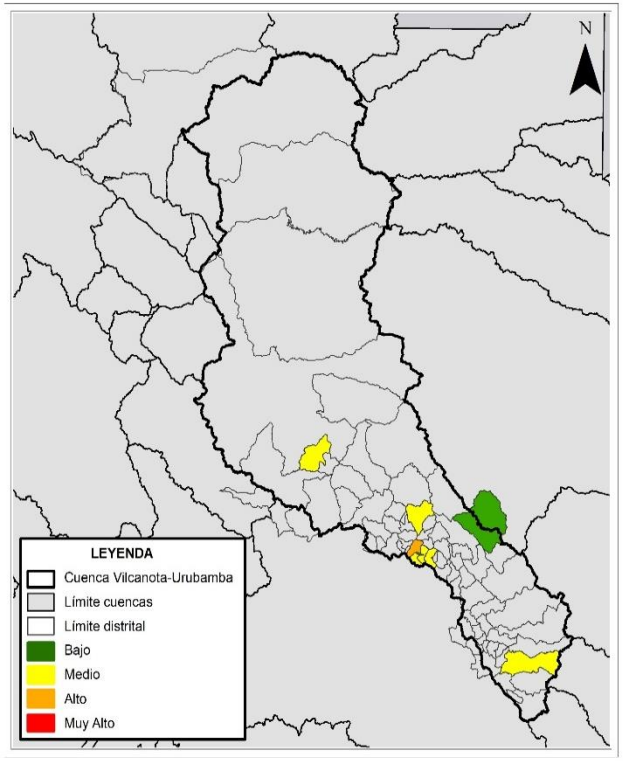
ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO AL AÑO 2030



ESCENARIO AL AÑO 2050

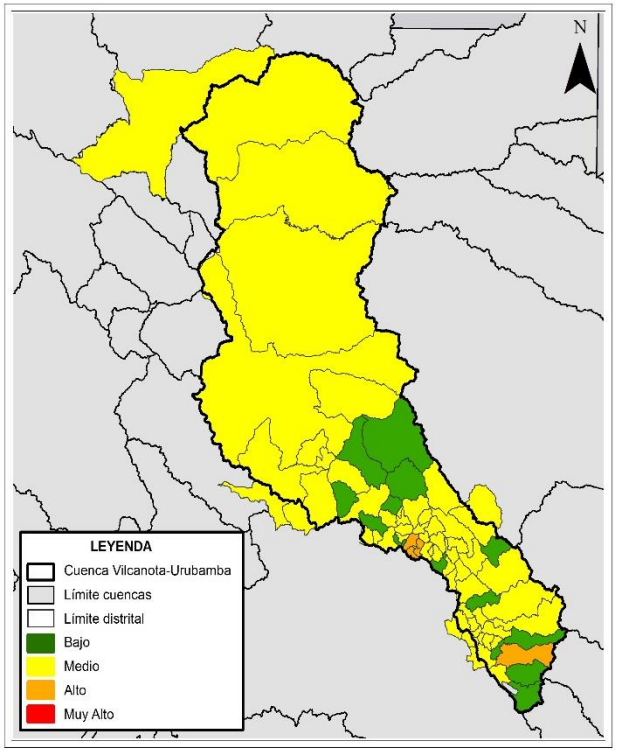


Fuente: Elaboración propia.

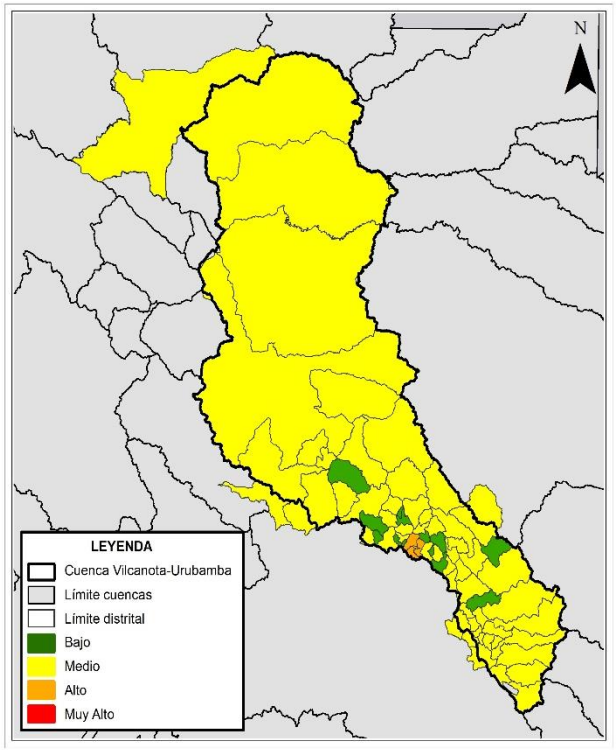
Figura 19. Mapa del riesgo –disminución del caudal, para uso poblacional del agua.

Área temática de Agua	
Sujeto de análisis: disponibilidad hídrica	Uso: poblacional

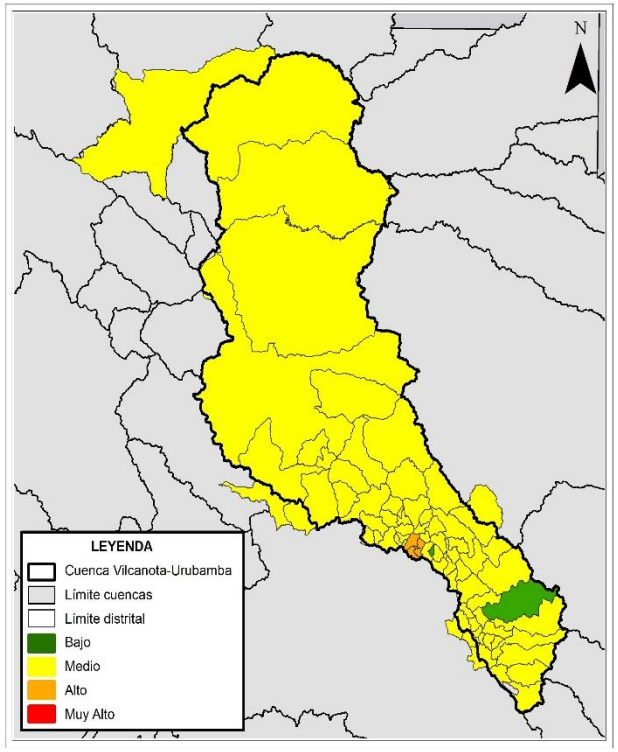
ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO AL AÑO 2030



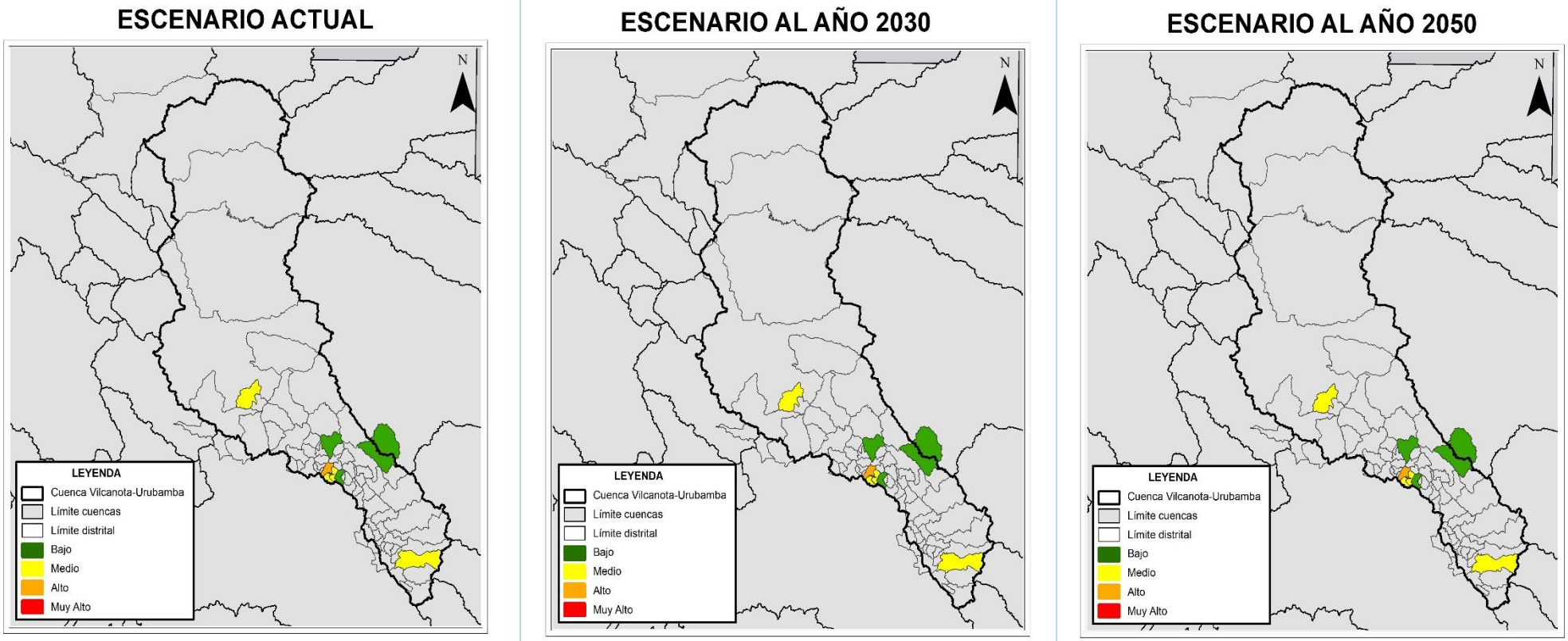
ESCENARIO AL AÑO 2050



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Mapa del riesgo – inundaciones, para uso poblacional del agua.

Área temática de Agua	
Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica	Uso: poblacional



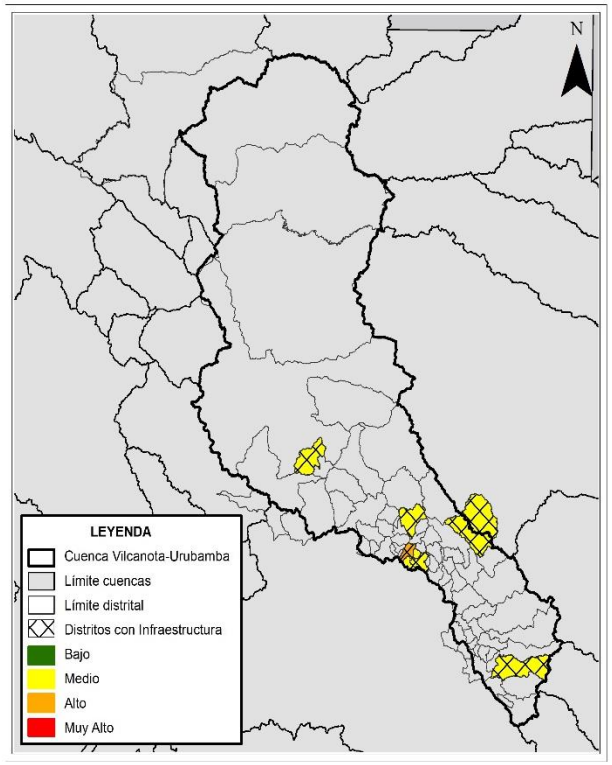
Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Mapa del riesgo – incremento de la erosión hídrica del suelo, para uso poblacional del agua.

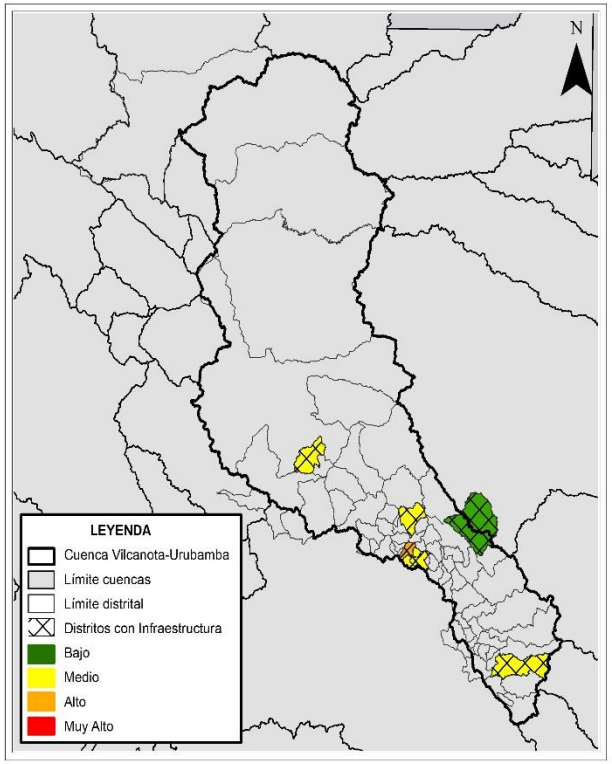
Área temática de Agua

Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica	Uso: poblacional

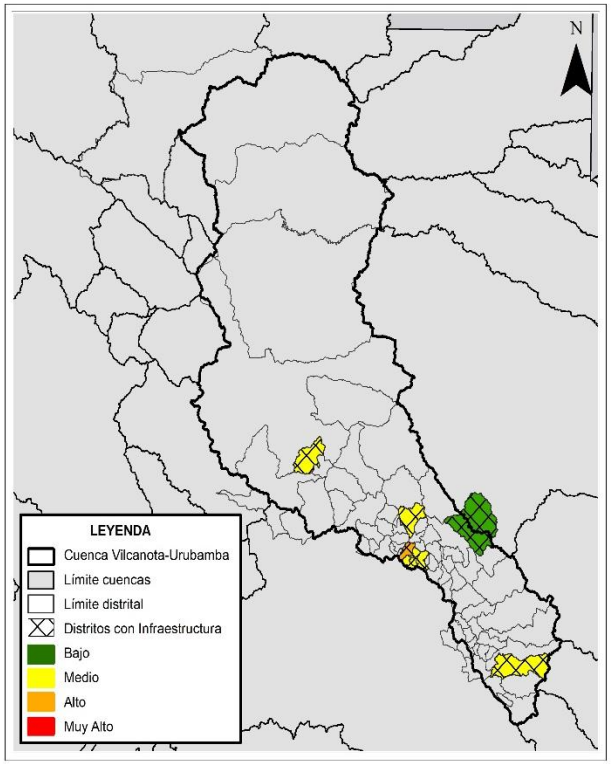
ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO AL AÑO 2030



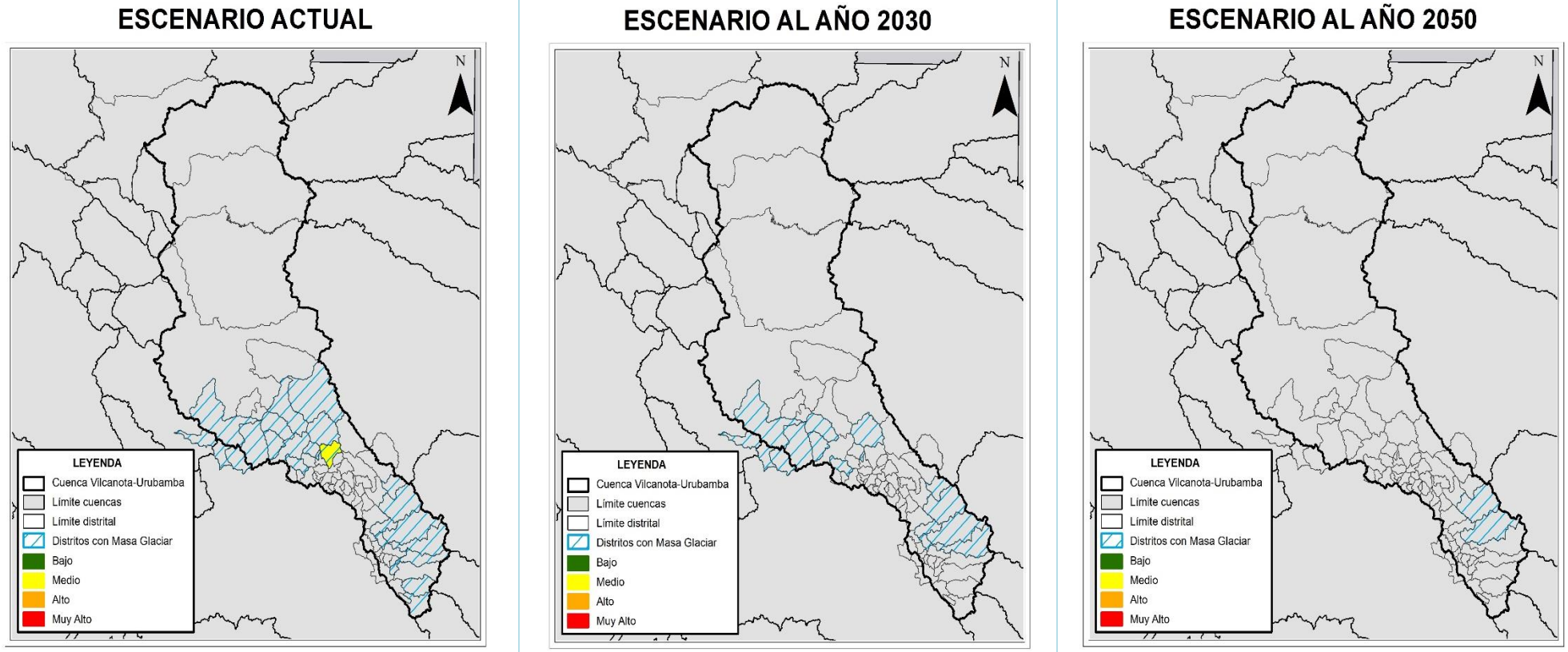
ESCENARIO AL AÑO 2050



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Mapa del riesgo –aluviones por retroceso glaciar, para uso poblacional del agua.

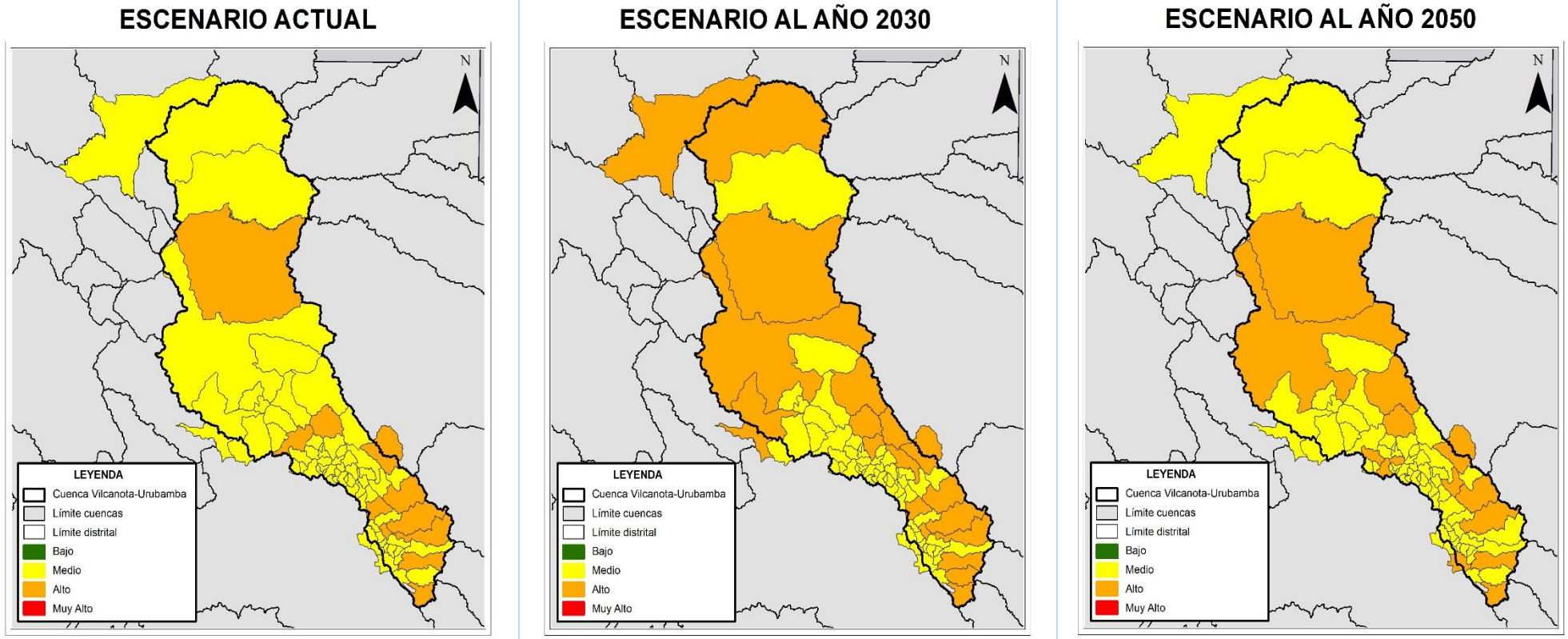
Área temática de Agua	
Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica	Uso: poblacional



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Mapa del riesgo – sequías, para uso agrario del agua.

Área temática de Agua	
Sujeto de análisis: disponibilidad hídrica	Uso: agrario

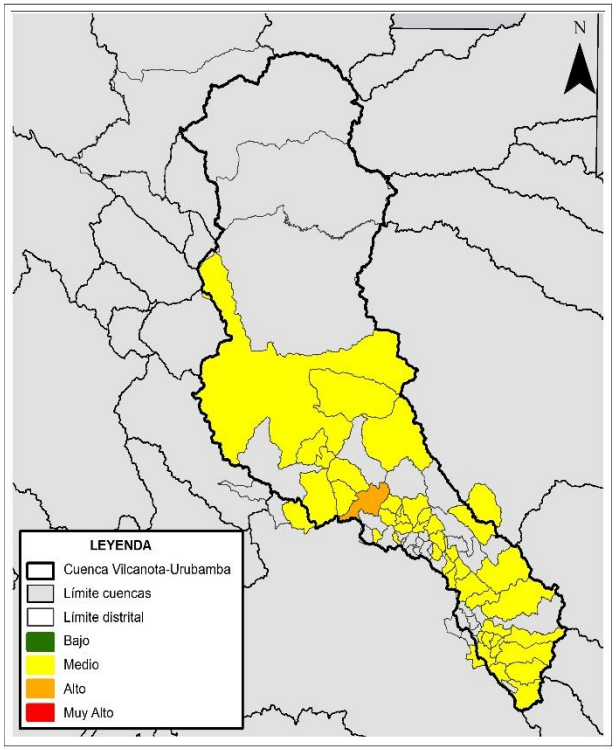


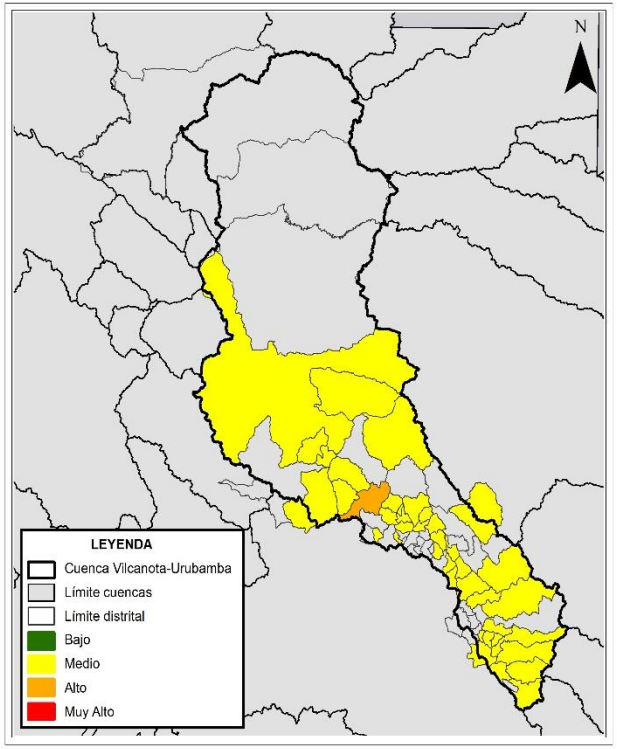
Fuente: Elaboración propia.

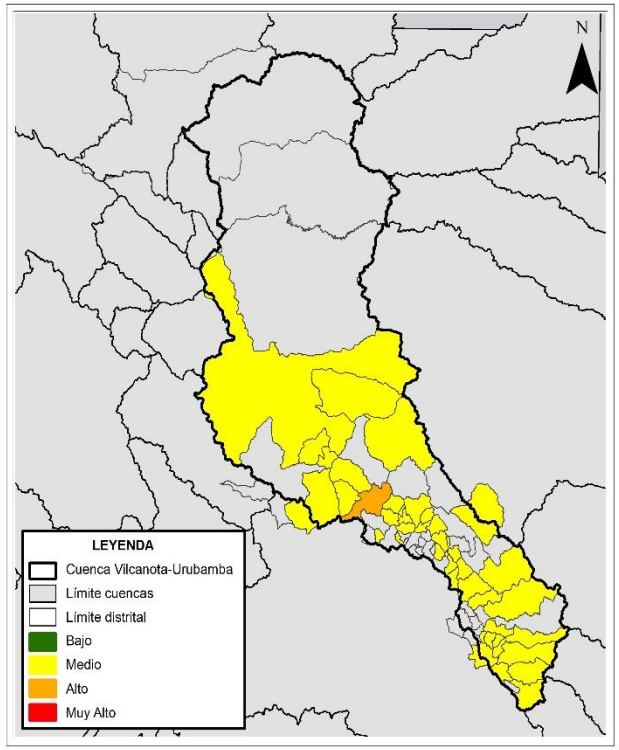
Figura 24. Mapa del riesgo – movimientos en masa, para uso agrario del agua.

Área temática de Agua

Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica		Uso: agrario
ESCENARIO ACTUAL	**ESCENARIO AL AÑO 2030**	**ESCENARIO AL AÑO 2050**

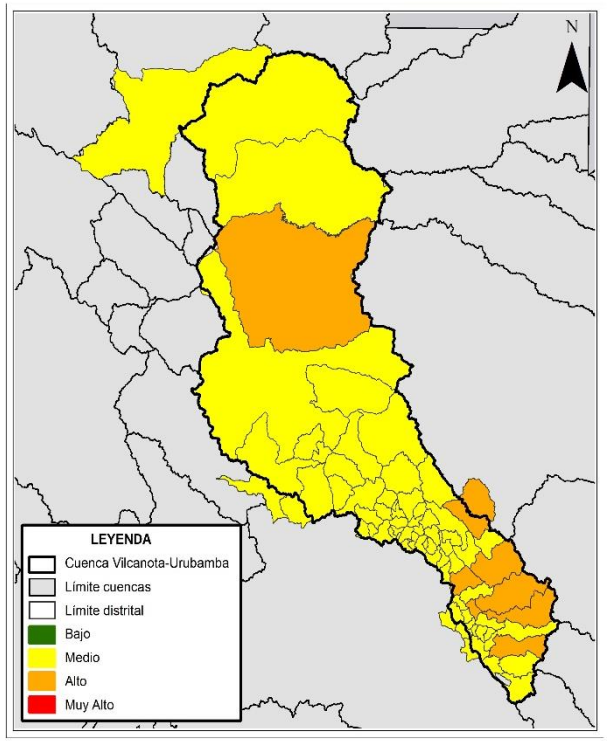
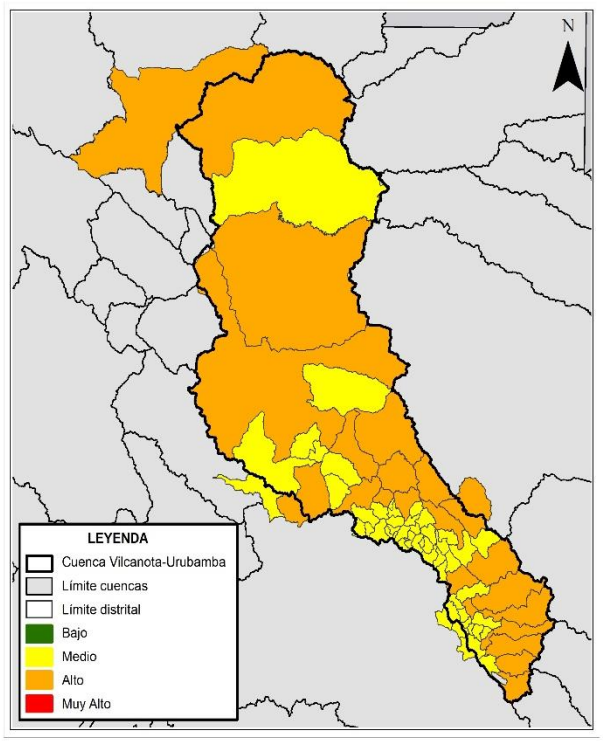
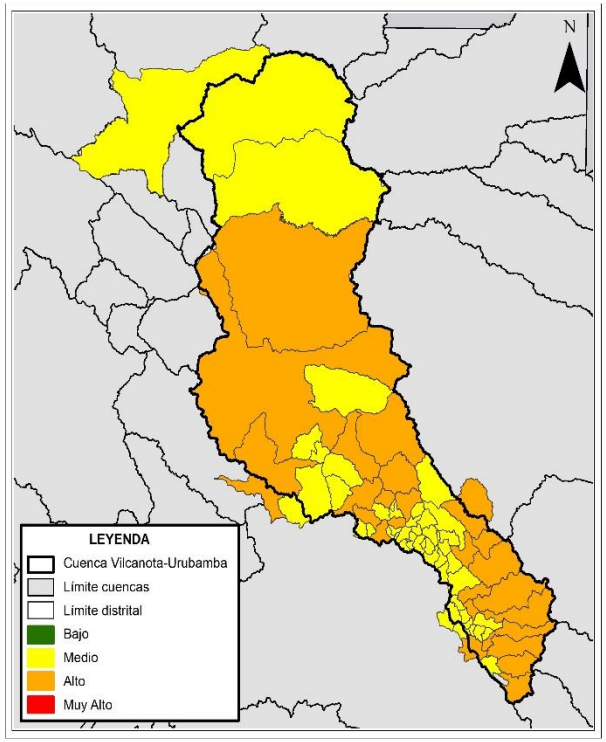






Fuente: Elaboración propia.

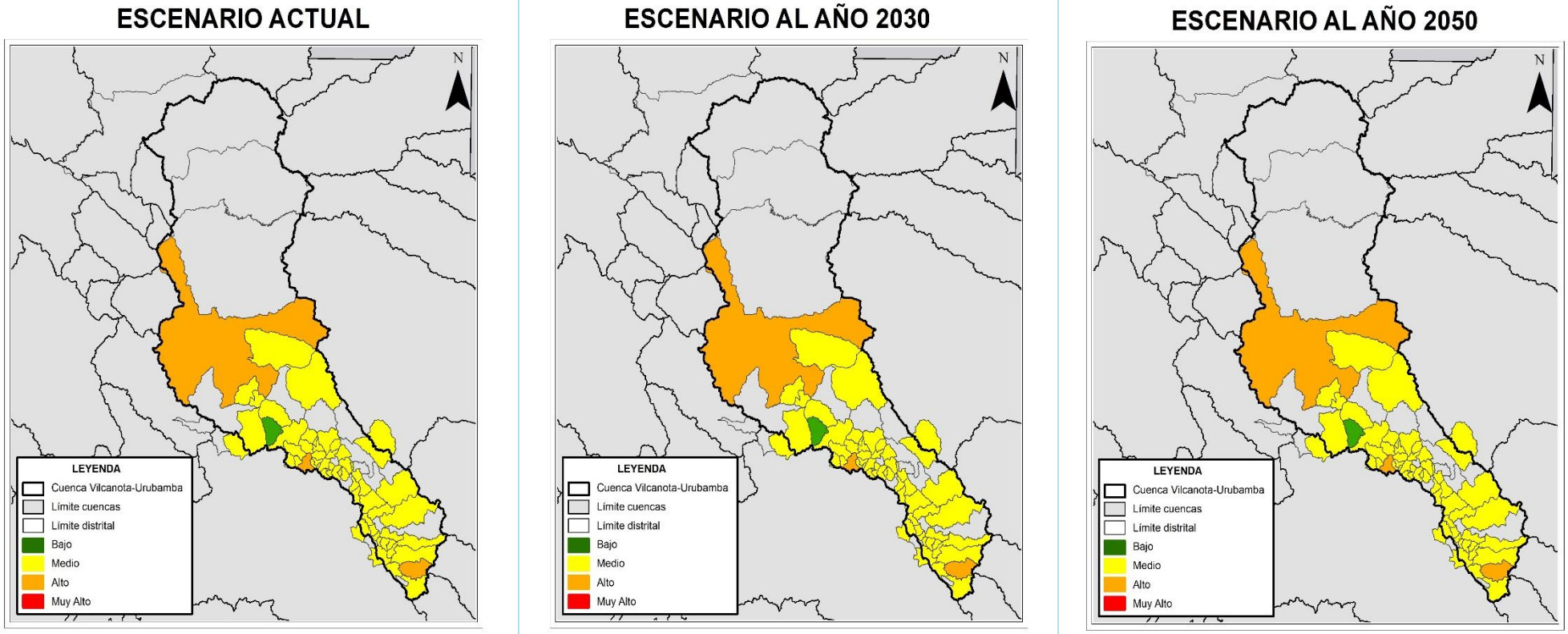
Figura 25. Mapa del riesgo – disminución del caudal, para uso agrario del agua.

Área temática de Agua		
Sujeto de análisis: disponibilidad hídrica	Uso: agrario	
ESCENARIO ACTUAL	**ESCENARIO AL AÑO 2030**	**ESCENARIO AL AÑO 2050**
		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Mapa del riesgo – inundaciones, para uso agrario del agua.

Área temática de Agua	
Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica	Uso: agrario



Fuente: Elaboración propia.

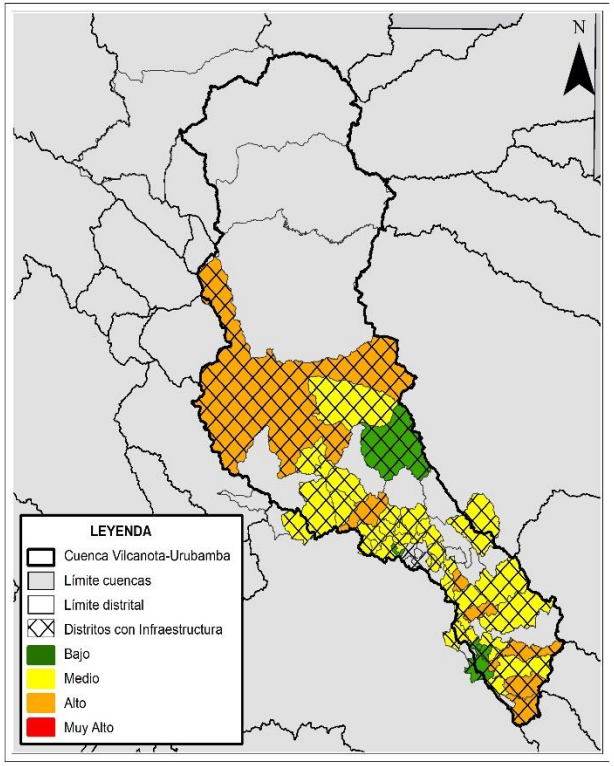
Figura 27. Mapa del riesgo – incremento de la erosión hídrica del suelo, para uso agrario del agua.

Área temática de Agua

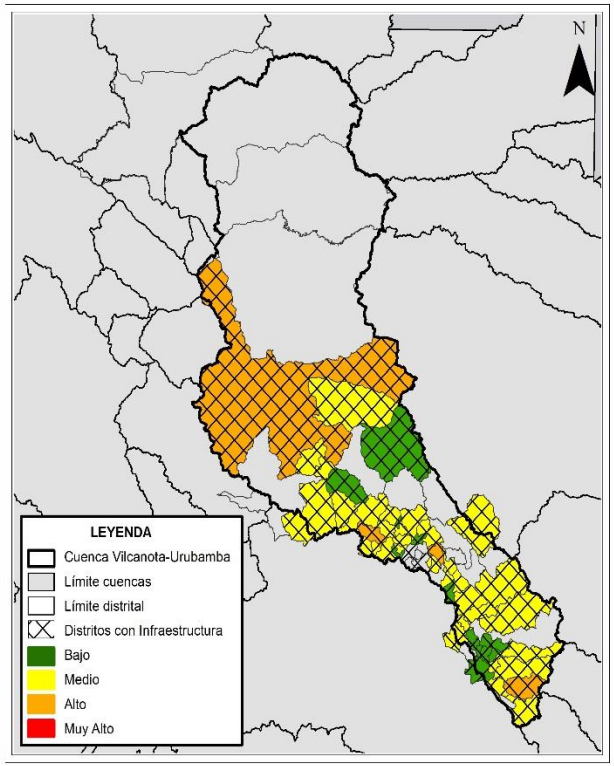
Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica

Uso: agrario

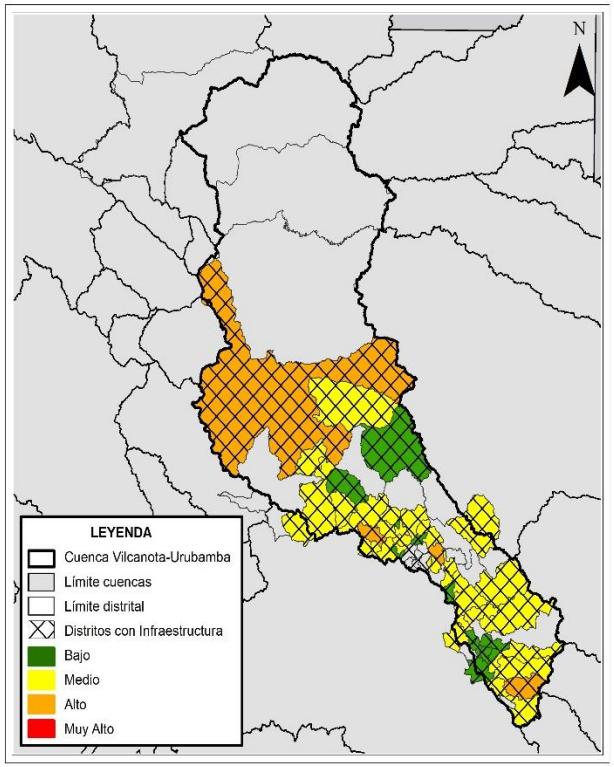
ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO AL AÑO 2030

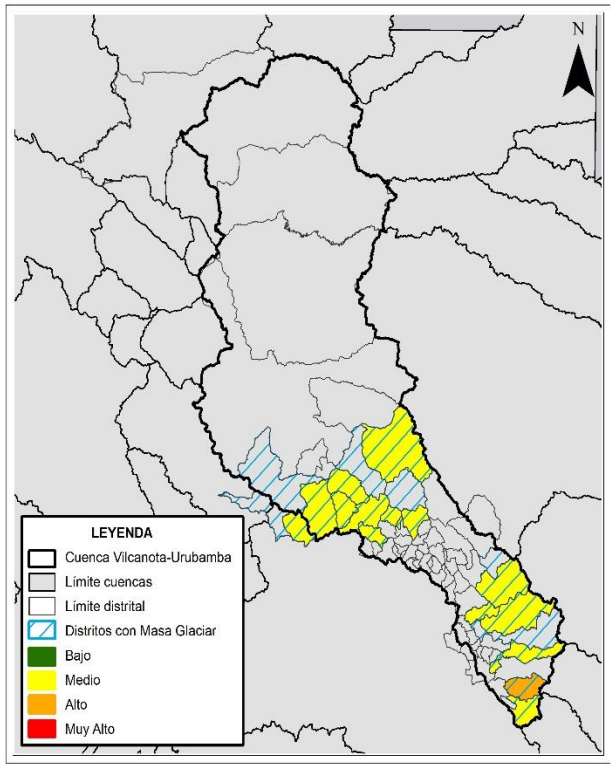
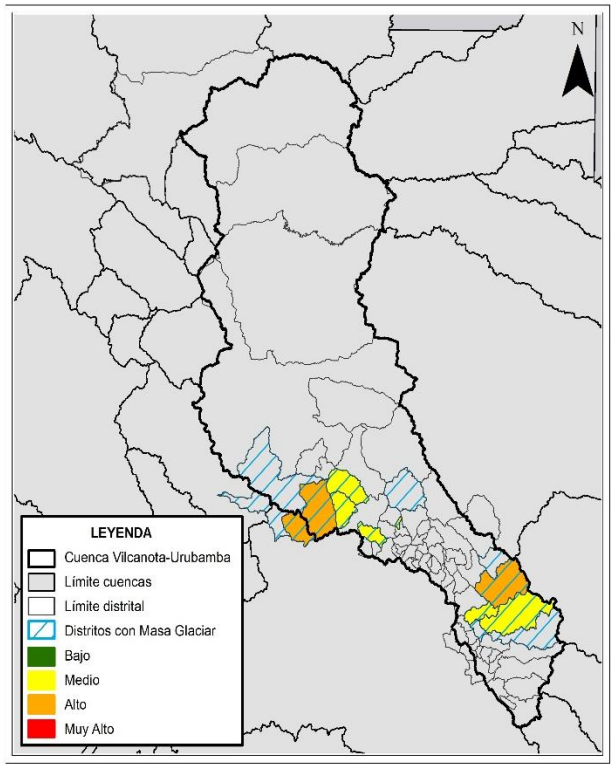
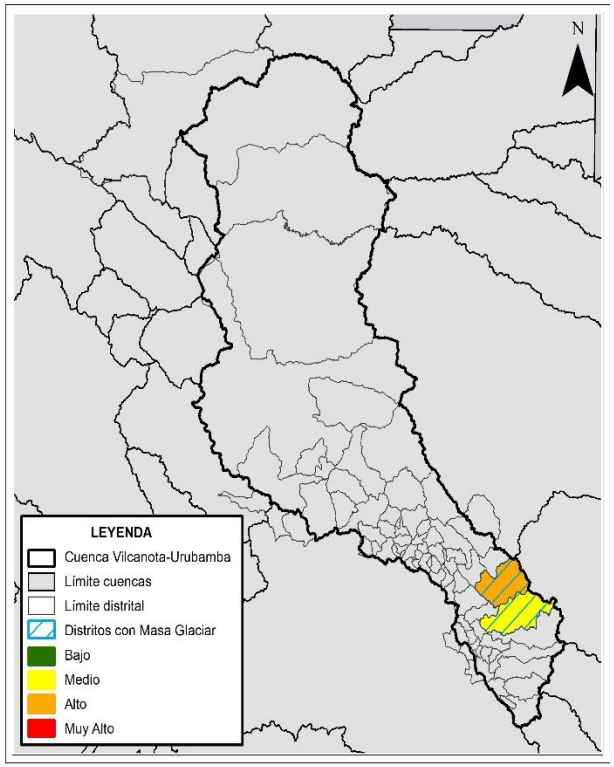


ESCENARIO AL AÑO 2050



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Mapa del riesgo – aluviones por retroceso glaciar, para uso agrario del agua.

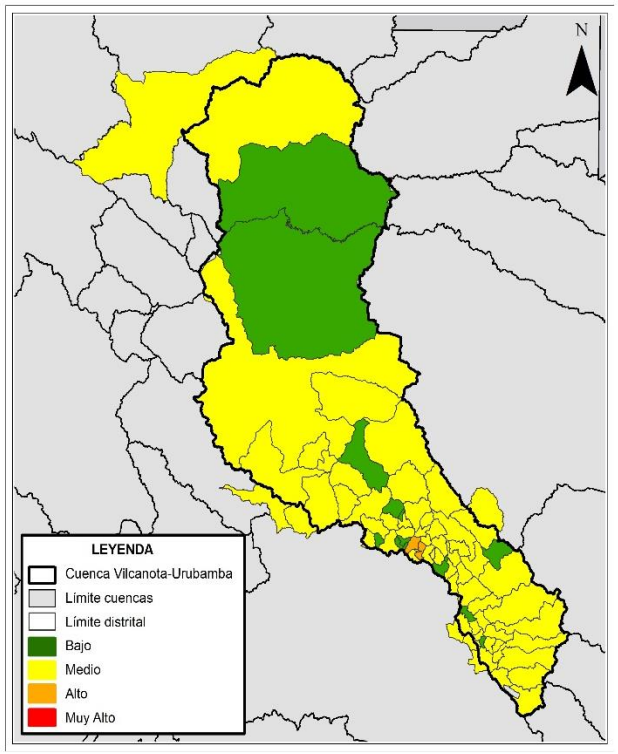
Área temática de Agua		
Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica		Uso: agrario
ESCENARIO ACTUAL	**ESCENARIO AL AÑO 2030**	**ESCENARIO AL AÑO 2050**
		

Fuente: Elaboración propia.

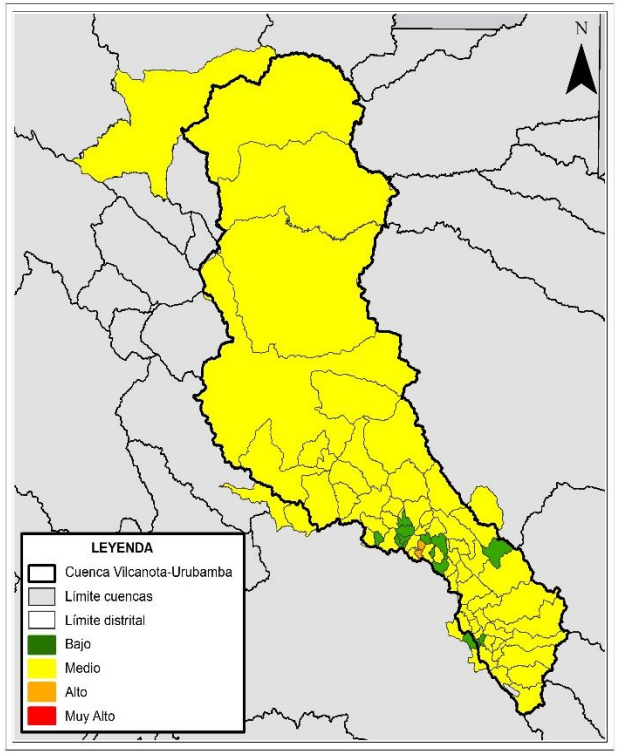
Figura 29. Mapa del riesgo – sequías, para uso energético del agua.

Área temática de Agua	
Sujeto de análisis: sequías	Uso: energético

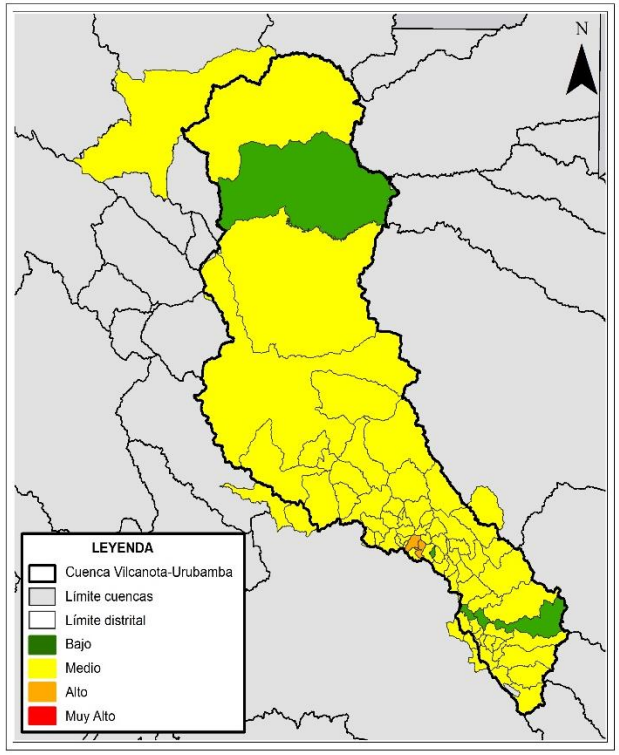
ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO AL AÑO 2030



ESCENARIO AL AÑO 2050



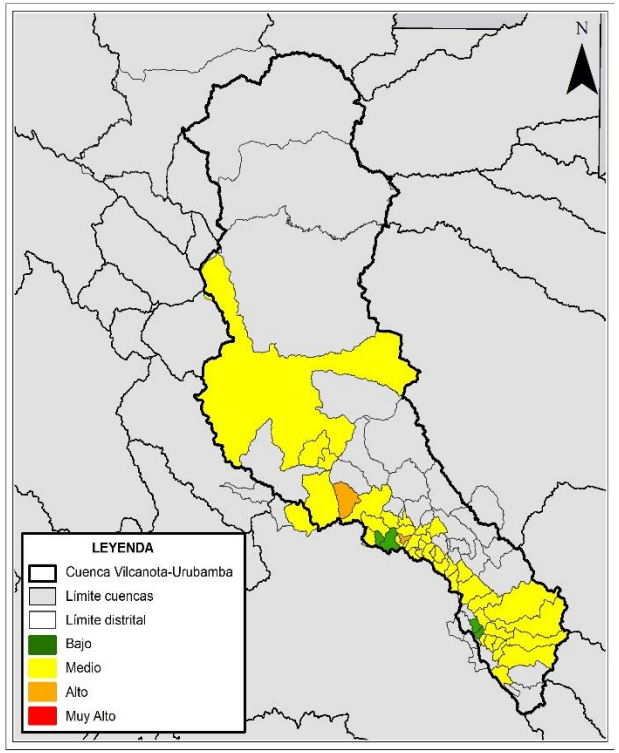
Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Mapa del riesgo –movimientos en masa, para uso energético del agua.

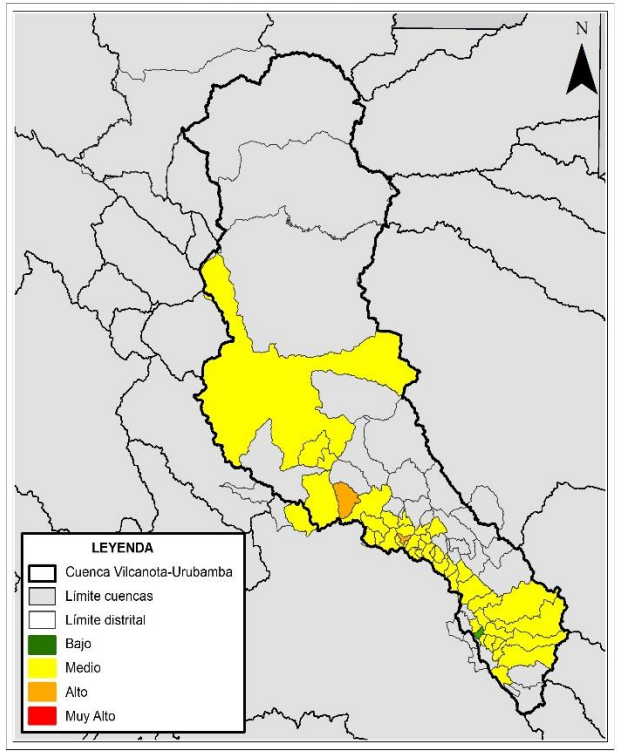
Área temática de Agua

Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica	Uso: energético

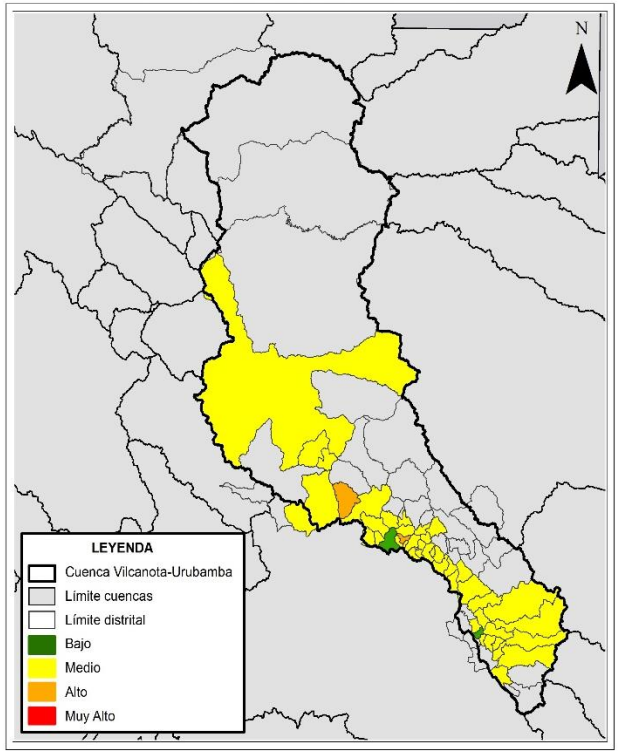
ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO AL AÑO 2030



ESCENARIO AL AÑO 2050

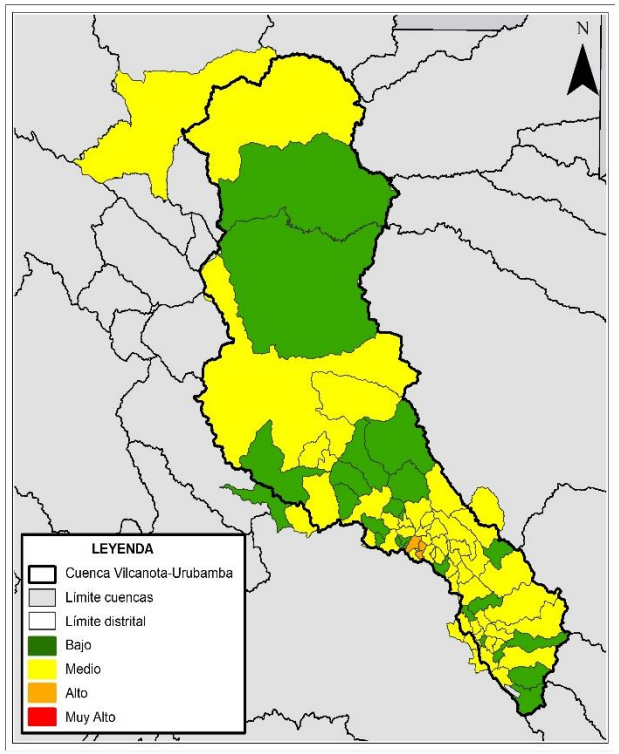


Fuente: Elaboración propia.

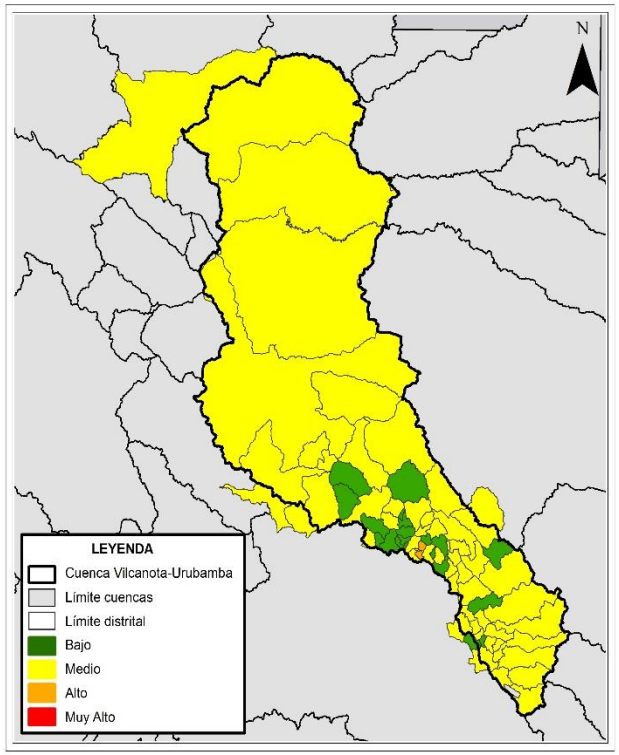
Figura 31. Mapa del riesgo –disminución del caudal, para uso energético del agua.

Área temática de Agua	
Sujeto de análisis: disponibilidad hídrica	Uso: energético

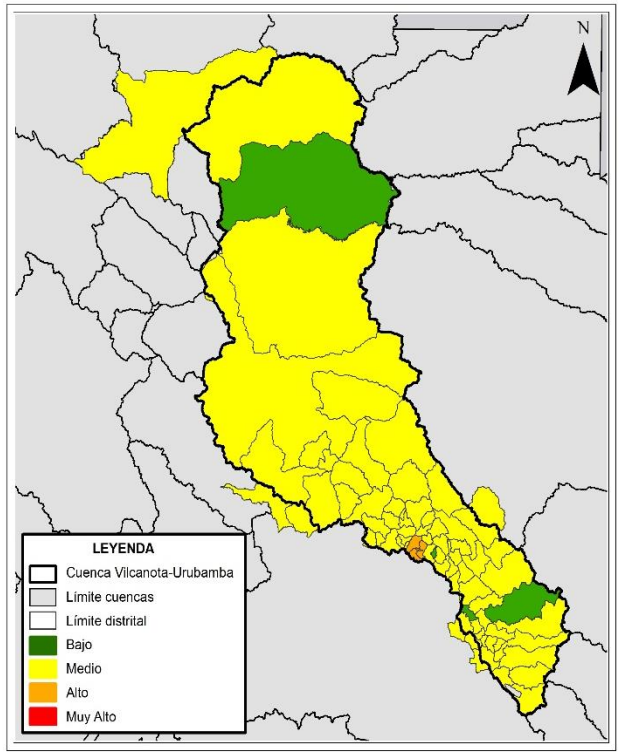
ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO AL AÑO 2030



ESCENARIO AL AÑO 2050



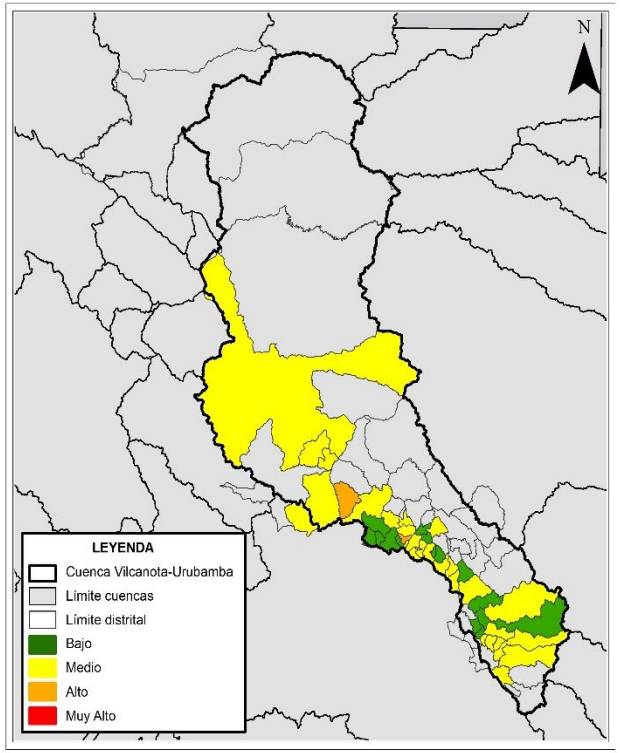
Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Mapa del riesgo –inundaciones, para uso energético del agua.

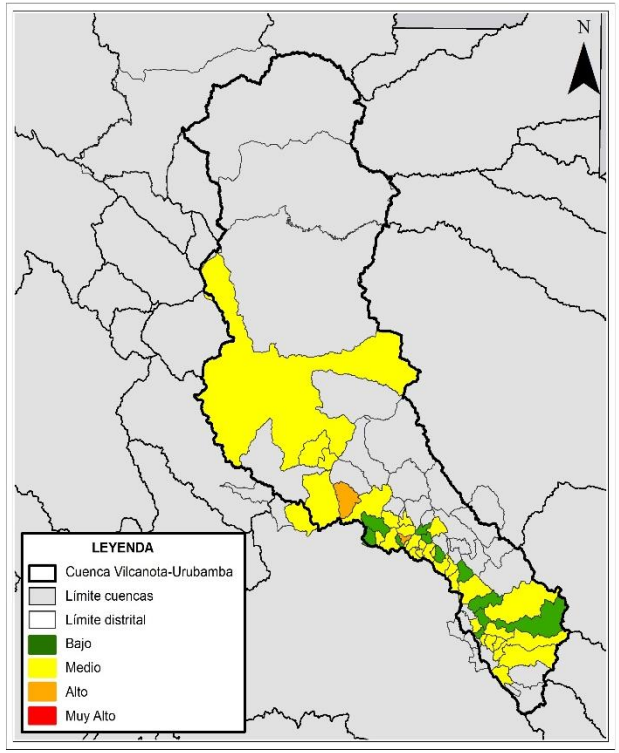
Área temática de Agua

Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica	Uso: energético

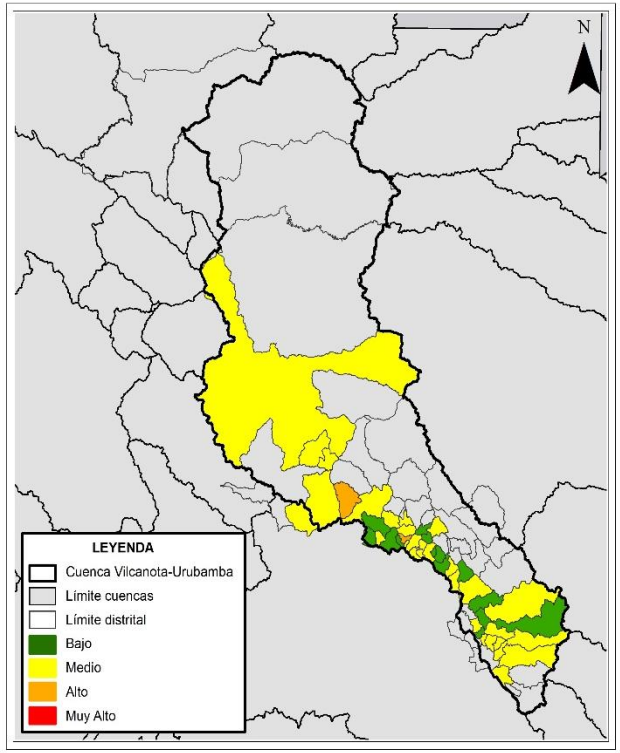
ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO AL AÑO 2030



ESCENARIO AL AÑO 2050

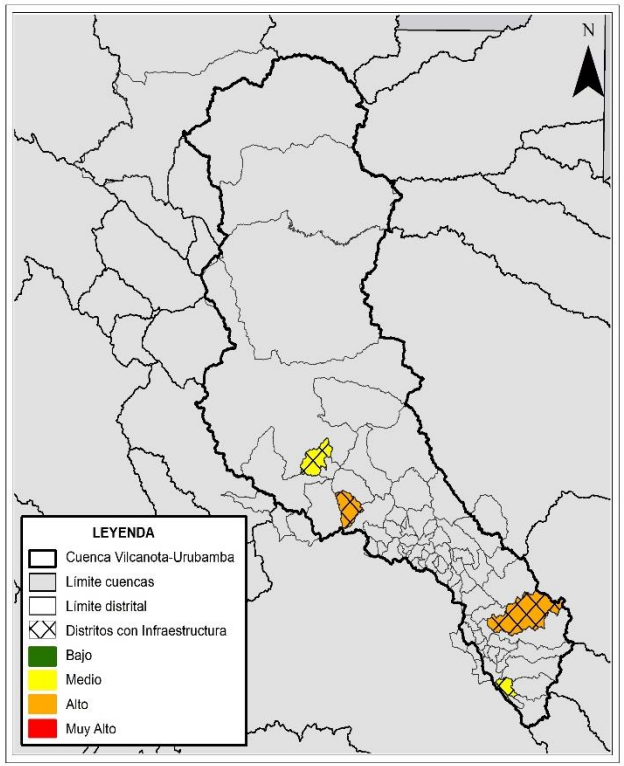


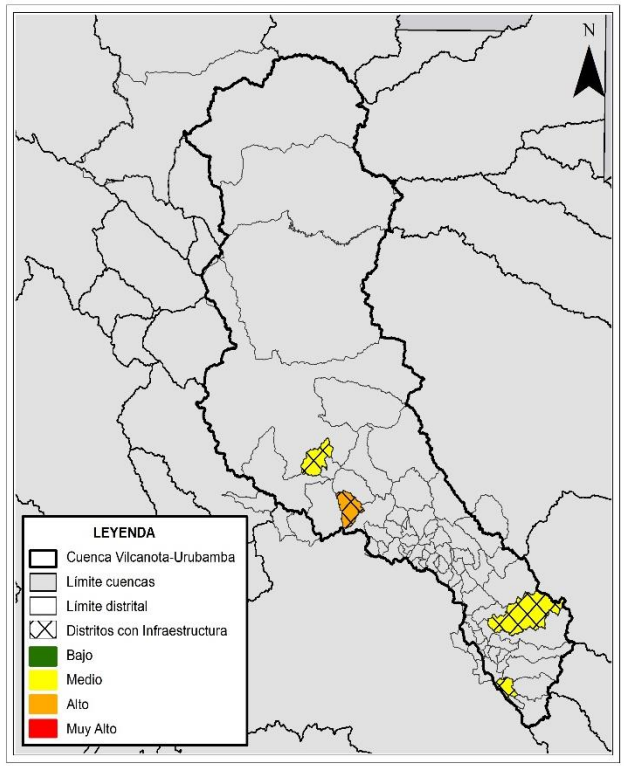
Fuente: Elaboración propia.

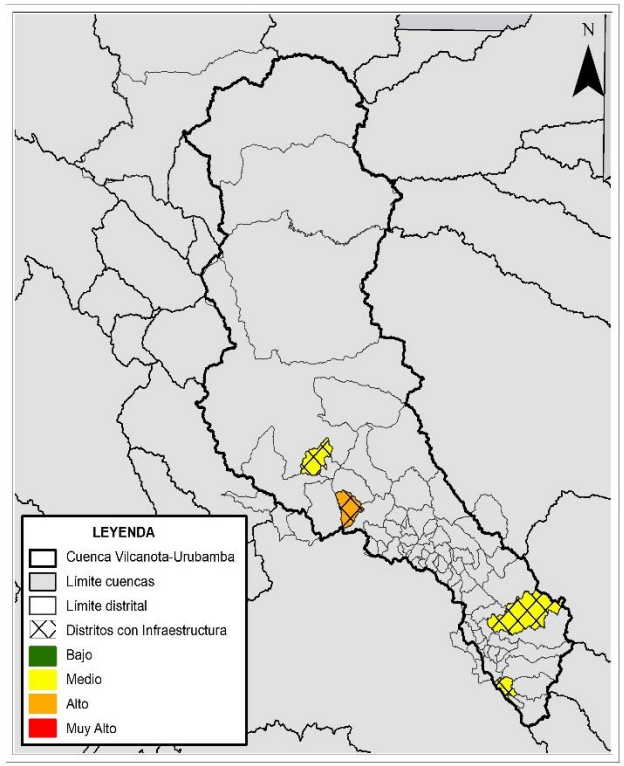
Figura 33. Mapa del riesgo –incremento de la erosión hídrica del suelo, para uso energético del agua.

Área temática de Agua

Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica		Uso: energético
ESCENARIO ACTUAL	**ESCENARIO AL AÑO 2030**	**ESCENARIO AL AÑO 2050**







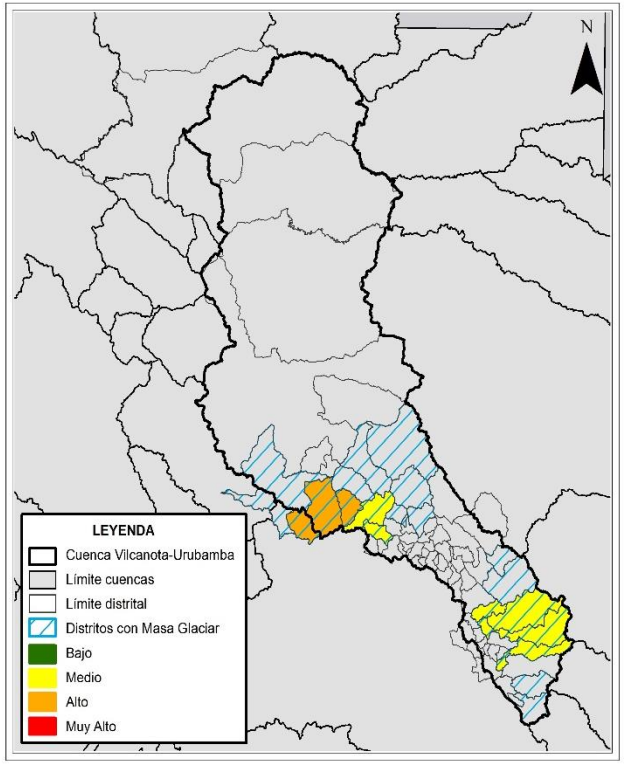
Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Mapa del riesgo –aluviones por retroceso glaciar, para uso energético del agua.

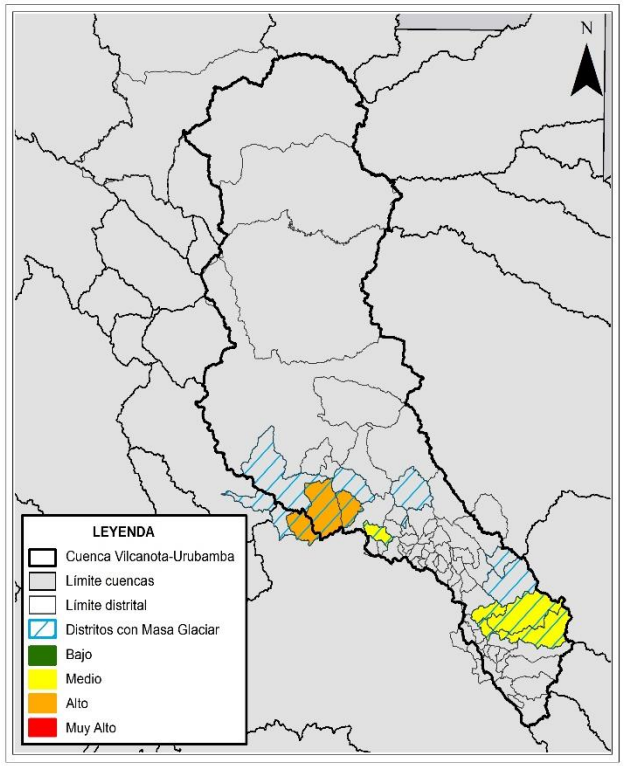
Área temática de Agua

Sujeto de análisis: infraestructura hidráulica	Uso: energético

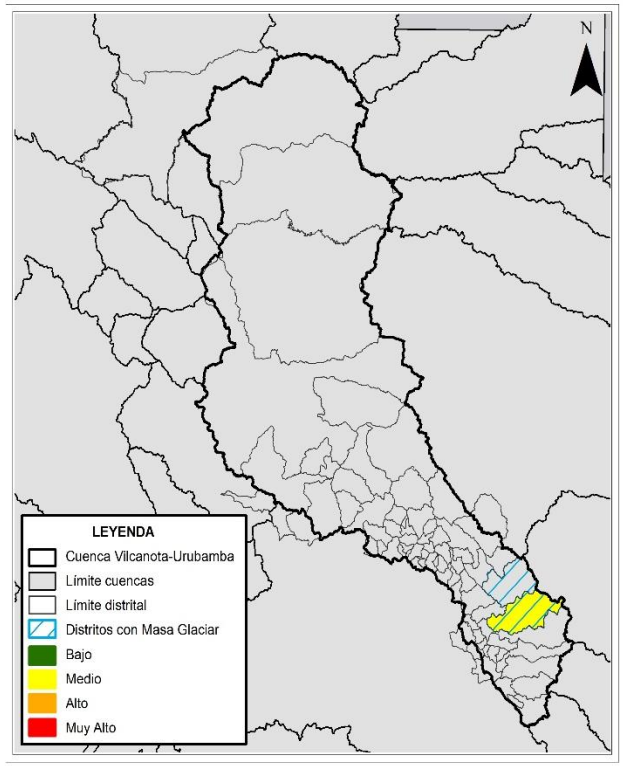
ESCENARIO ACTUAL



ESCENARIO AL AÑO 2030



ESCENARIO AL AÑO 2050



Fuente: Elaboración propia.

8. Conclusiones

- ***Sobre las sequías***, se advierte que el peligro prevalece en la mayor parte de la cuenca en su categoría media, y alcanza niveles altos en ciertos distritos en la parte sur del río Vilcanota-Urubamba. A futuro, el peligro incrementa en la zona media y baja de la cuenca alcanzando incluso la categoría muy alta en el escenario al 2050. En una escala estacional, durante el verano austral donde el acumulado de precipitaciones es climáticamente mayor, el peligro sería mucho más elevado para distritos de la zona media de la cuenca, primordialmente en los escenarios a futuro 2030 y 2050.

- ***Sobre la disminución del caudal***, se tienen niveles de peligrosidad de moderados a muy altos en la mayor parte de la cuenca en el periodo actual, no obstante, hacia futuro los niveles de peligro se hacen más críticos en los distritos que presentarán una pérdida total de sus glaciares como Huarocondo, Yanatile o Layo. Algunas limitaciones en la representación del peligro están relacionadas a la variabilidad de las precipitaciones proyectadas a futuro y la tasa de retroceso glaciar basada en el incremento de las temperaturas del aire a futuro el cual es al momento un indicador proxy.

- Los mayores niveles de ***exposición ante las sequías y la disminución del caudal*** está en los distritos que concentran la mayor cantidad de usuarios en el caso de los usos de agua poblacional y energético, los cuales se ubican principalmente en la ciudad de Cusco. En cambio, en el sector agrario, si bien los mayores niveles de exposición se ubican mayormente en la parte alta en distritos como Ocongate y Pitumarca, también se han registrado altos niveles de exposición en distritos como Echarate. Esto es gracias al mayor peso que se le dio a la variable que evalúa a los usuarios expuestos, frente a las otras variables, cabezas de ganado, áreas de cultivo y pasturas naturales.

- La ***vulnerabilidad ante las sequías y la disminución del caudal*** está determinada por las características biofísicas de la cuenca, pero además por las características y capacidades de los usuarios e instituciones que hacen uso del agua. En el uso poblacional, las variables clave que influyen en la vulnerabilidad del sector son el estado de conservación de los ecosistemas, retención hídrica del suelo y la demanda de agua poblacional. Asimismo, la presencia de una empresa prestadora de servicio de agua potable en algunos distritos de la cuenca contribuye a la reducción de la vulnerabilidad en los mismos, a través de la planificación sectorial para enfrentar el peligro.

- En el uso agrario del agua, además de la importancia de las características biofísicas que permiten el almacenamiento del agua en el suelo en la cuenca, otras variables influyentes en la vulnerabilidad son los conocimientos técnicos e infraestructura de almacenamiento

y distribución del agua que tendrían los productores agropecuarios. Por otro lado, en el uso energético, frente a las sequías y la disminución del caudal, las variables clave en la vulnerabilidad según los resultados son la calidad del agua (sedimentos) de los cuerpos de agua, la retención hídrica del suelo y la capacidad de regulación hídrica para la producción hidroenergética mediante los embalses.

- ***Sobre los movimientos en masa (huaicos)***, se ha encontrado que este peligro presenta un nivel de peligro medio en gran parte de la cuenca en los periodos actual y futuro. No obstante, debido a los contrastes orográficos y climáticos, se debe poner atención a esta distribución espacial diferenciada que evidencia un nivel de peligro muy alto ante precipitaciones intensas en los distritos amazónicos y un nivel bajo en los distritos de la zona andina de la cuenca. Asimismo, la categoría de peligro muy alta por lluvias frecuentes se ubica en los distritos de Santa Teresa, Machu Picchu y Huayopata.

- ***Sobre las inundaciones***, se espera que al 2030 y 2050 al igual que en el periodo actual, prevalezca el nivel de peligro medio en casi todos los distritos de la cuenca; sin embargo, de acuerdo con las proyecciones de los indicadores de intensidad y frecuencia de lluvias, es importante considerar que los mayores niveles de peligrosidad se encontrarán en la cuenca baja del río Vilcanota-Urubamba.

- ***Sobre el incremento de erosión hídrica del suelo***, se destaca que el mayor nivel de peligro se ubica en la zona sur de la cuenca donde en el escenario actual, tienen un nivel de peligrosidad de categoría media a muy alta. A futuro, se estima que el peligro bajo se mantenga en la zona norte (consistente con el escenario de lluvias deficitario en la Amazonía respecto a sus acumulados anuales) y más bien, en la cuenca alta se continúen evidenciando altos niveles de peligro e incluso muy altos como en los distritos de Huarocondo, San Salvador y Calca.

- Los mayores niveles de ***exposición ante los movimientos en masa (huaicos) e inundaciones*** para la infraestructura asociada al uso del agua poblacional se hallan en la ciudad de Cusco, por la cantidad de Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y reservorios que maneja la EPS SEDACUSCO S.A., para proveer el servicio de agua potable. Por otro lado, la infraestructura del sector agrario está principalmente expuesta en los distritos de Echarate, Anta, Urcos, Marangani y Zurite, donde se concentran la mayor cantidad de elementos como canales y obras de arte. Finalmente, de acuerdo a los resultados, la infraestructura asociada al sector energético está principalmente expuesta ante estos peligros en los distritos de Machupicchu y Cachimayo, por la cantidad de centrales hidroeléctricas y líneas de transmisión eléctricas que concentran.

- Los niveles de ***vulnerabilidad ante los movimientos en masa (huaicos), inundaciones e incremento de la erosión hídrica*** de la infraestructura asociada al uso poblacional del agua es baja en los distritos que conforman la ciudad de Cusco, ya que ante la ocurrencia de los peligros, su EPS tendría planificado cómo accionar mediante medidas de mitigación y adaptación. Por otro lado, Sicuani es el distrito más vulnerable entre aquellos que son provistos por una EPS. Cabe señalar, que el análisis de distritos de ámbitos rurales es necesario para complementar la vulnerabilidad de este sector frente a dichos peligros en la cuenca. Por otro lado, los mayores índices de vulnerabilidad del sector agrario se hallan en los distritos de Marangui, Layo y Quiquijana. Los bajos índices de desarrollo humano, capacitación técnica para la gestión del riesgo y la baja implementación de medidas preventivas en puntos críticos de la cuenca explican dichos resultados.

- En el uso energético del agua, Machupicchu y Cachimayo son los distritos cuyos niveles de exposición son los más críticos ante los movimientos en masa y las inundaciones. En cambio, ante el incremento de erosión hídrica, la infraestructura está especialmente expuesta en Machupicchu y Langui, donde se ubican 2 centrales hidroeléctricas y un embalse para producción energética respectivamente.

- ***Sobre los aluviones por retroceso glaciar***, en el periodo actual predomina un nivel de peligro medio y alto en 20 distritos ubicados en la zona central y sureste de la cuenca; sin embargo, debido al cambio climático, hacia el año 2030 sólo 12 distritos permanecerán con glaciares y estarían expuestos a un nivel de peligro alto y muy alto. Por otro lado, el escenario al 2050 advierte que sólo Pitumarca y Ocongate tengan el nivel de peligro muy alto ante aluviones dado que persistirán albergando masas glaciares en sus distritos.

- La ***exposición*** de la infraestructura ***ante los aluviones por retroceso glaciar*** para el uso de agua poblacional solo se concentra en Calca, al ser el único distrito con masas glaciares provisto por una EPS. En el caso del uso agrario, Marangani es el distrito que concentra mayores elementos expuestos (obras de arte, canales y acueductos). Por último, en el uso energético, Machupicchu y Santa Teresa son los distritos donde la infraestructura sectorial podría verse afectada.

- Los ***resultados obtenidos en todos los peligros*** de la cuenca Vilcanota-Urubamba han sido categorizados en base a la información sobre la serie de datos correspondiente a dicha cuenca y, por tanto, los rangos y niveles de peligrosidad no son comparables con los de otras cuencas. Las ***escalas temporales proyectadas*** al 2030 y 2050 son resultado de un promedio de las condiciones climáticas dentro del periodo de quince años atrás y quince años adelante. Es así que un escenario al 2030 involucra las condiciones medias

entre el año 2016 y 2045, mientras que un escenario al 2050 contempla los valores promedio de los años 2036 al 2065.

- Las ***proyecciones del riesgo climático*** siguen mayormente el comportamiento de los peligros, que en algunos casos ha variado temporalmente (sequías, disminución del caudal e incremento de la erosión hídrica del suelo), pero que en otros se ha mantenido en el tiempo o no se han observado diferencias marcadas (movimientos en masa e inundaciones). Sin embargo, cabe notar que, en algunos distritos, el nivel de exposición y vulnerabilidad compensan la influencia del componente de peligro. Justamente, es en la exposición y vulnerabilidad, que la sociedad puede incidir haciendo cambios para adaptarse al cambio climático considerando el sujeto de análisis que se verá afectado.

- En el componente de vulnerabilidad existen ***variables*** sectoriales y ***multisectoriales***. En el caso de las multisectoriales, específicamente para aquellas que abordan la sensibilidad socioeconómica y la capacidad adaptativa como la gobernanza de los recursos hídricos, la planificación o monitoreos hidrometeorológicos, a pesar de que tienen una alta ponderación, no son tan influyentes porque son abordadas a nivel de cuenca, es decir, que se asigna el mismo resultado de la variable a todos los distritos.

- La inclusión de los variables con ***enfoques transversales en la estimación del riesgo climático*** se da a partir de la variables articulación institucional e inclusiva para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, evaluando la participación de poblaciones vulnerables como mujeres, jóvenes, comunidades nativas y campesinas. Asimismo, dada la importancia de la mujer en la gestión del agua para el sector, la variable que evalúa su participación ha sido relevante en los resultados de la sensibilidad socioeconómica.

- El ***retroceso glaciar*** incide de manera diferenciada para los peligros de disminución del caudal y aluviones. En el caso de la disminución del caudal, la pérdida de masas glaciares en los distritos representa un aumento en el nivel del riesgo, especialmente, en los escenarios futuros. En cambio, para los aluviones, esta pérdida puede significar la ausencia de este peligro o la disminución del riesgo.

9. Recomendaciones

- En relación a la ***estimación del peligro por distritos***, es relevante tomar en cuenta que las variables climáticas siguen una metodología detallada para adecuar el nivel de peligro en función al número de grillas con determinada categoría (Anexo 3). En los resultados, esto puede generar una sobreestimación o subestimación del peligro final, es por ello que es imprescindible contar con datos a alta resolución espacial.

- El peligro por ***aluviones y disminución de caudal*** debido al retroceso glaciar que fueron evaluados en base a la variable climática de cambio en la temperatura media del aire, es una variable por mejorar y se mantiene como proxy. Las próximas actualizaciones de este indicador podría contemplar incluir otras variables que acentúan el retroceso como velocidad y dirección del viento o temperatura del aire en una capa integrada sobre niveles medios de la atmósfera.

- El peligro por ***movimientos en masa e inundaciones*** calculados en base a indicadores de extremos específicos para intensidad y frecuencia, han sido categorizados en base a los niveles máximos y mínimos de cada periodo respectivamente; sin embargo, esta variable podría mostrar mejores resultados si se evalúan los umbrales específicos para cada peligro en base a impactos históricos utilizando información de las instituciones que gestionan el riesgo de desastres en el Perú.

- El método de estimación por distritos y adiciones no ha permitido capturar la dinámica de los peligros ***incremento de la erosión hídrica de suelo o aluviones por retroceso glaciar***, considerando su naturaleza acumulativa y "cuenca abajo". Por ello, se recomienda, específicamente para estos peligros, complementar su estimación a partir de estudios con escalas más finas que la distrital, ya que resulta muy importante para la infraestructura hidráulica (centrales hidroeléctricas, plantas de tratamiento, canales, etc.) de un distrito contemplar la influencia de los peligros que ocurren aguas arriba.

- El peligro ante ***sequías*** es un indicador óptimo y estable para la estimación del peligro, ya que permite ser comparable con distintas regiones. No obstante, la evolución de las sequías tiene una dinámica más compleja, por lo que se recomienda evaluar otras escalas de duración de sequías como las escalas trimestrales, semestrales y anuales con distinto inicio y fin de los acumulados considerando la etapa más crítica de acuerdo a su estacionalidad y considerando su régimen pluvial.

- Se recomienda, para un ***análisis de exposición*** más detallado en los peligros de movimientos en masa, inundaciones, incremento de la erosión hídrica del suelo y

aluviones por retroceso glaciar, considerar los elementos de la infraestructura que se ubiquen en las áreas más susceptibles a cada peligro dentro del distrito, antes de agregarlos con otros factores de riesgo. Este ejercicio asume que todos los elementos de la infraestructura de cada sector están igualmente expuestos, sin considerar la variabilidad de las condiciones biofísicas del territorio previamente.

- Para los ***factores de exposición y vulnerabilidad*** se requiere ir construyendo una base de datos de libre acceso, de los estudios y variables utilizadas en la estimación del riesgo climático, de manera que los CRHC y otras instituciones o personas interesadas en la aplicación del mismo puedan integrarlas. Se destaca la necesidad de incorporar una base de datos sistematizada de las intervenciones de infraestructura natural que se han ejecutado en el tiempo y por territorio, ya que es una variable de capacidad adaptativa multisectorial propuesto en el modelo, pero que no ha podido ser evaluado por falta de información sistematizada.

- Emplear indicadores que ya se encuentren espacializados o que provengan de una base de datos geoespacial para agilizar la aplicación de la estimación del riesgo, y acaso automatizarlo.

- ***Para el sector poblacional***, el análisis es más complejo por cómo se organizan las instituciones y el sector mismo para la provisión de servicios en las ciudades y en ámbitos rurales. De acuerdo al taller llevado a cabo en Cusco, la idea es diferenciar quienes están expuestos en ámbitos rurales y ámbitos urbanos, donde se ha considerado que quienes se encuentran en mayor exposición son el ámbito rural ya que las EPS son prestadores que están más preparadas en el aspecto económico, logístico, entre otros, para tratar de proveer el servicio. En ese sentido, el marco de la estimación del riesgo climático para las NDC Agua debería considerar en el análisis también a quienes no acceden al servicio de agua potable, ya que la vulnerabilidad de esta población es mayor frente a quienes son provistos por un prestador, sobre todo EPS. El riesgo climático definido por el Plan Nacional de Adaptación incluye también la afectación a los medios de vida que aluden a esta población, por lo que una evaluación del uso primario del agua debería estar incluida en el marco del análisis.

- Se recomienda abordar y empezar a evaluar cómo las capacitaciones a los usuarios para el uso eficiente del agua en el sector poblacional pueden ayudar a disminuir la demanda del recurso hídrico y acaso, en el futuro, ser una medida de adaptación multisectorial.

- ***En cuanto al uso agrario del agua***, para futuras estimaciones, se sugiere mantener un mayor peso de la variable de los usuarios del agua (productores agropecuarios), frente a las otras variables áreas de cultivo y pasturas naturales, y cabezas de ganado, en el factor

de exposición. De esta manera, se equilibra la influencia de los distritos altoandinos, donde la actividad agropecuaria es mayormente desarrollada, frente a los distritos amazónicos. Por otro lado, si bien se ha empleado un indicador proxy para abordar las capacitaciones técnicas de los productores en gestión de riesgos de desastres, especialmente importante ante peligros que afectarán a la infraestructura hidráulica, es necesario mejorar dicho indicador en la medida que el sector genere y sistematice información relacionada. En un marco de cambio climático, es clave el fortalecimiento de capacidades de los usuarios.

- Para un mayor análisis respecto al ***uso energético del agua***, para el factor de exposición sería pertinente que el sector pueda discriminar por región o cuenca hidrográfica cuántas personas o viviendas dependen del recurso hídrico para acceder al servicio, a partir de los datos del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Por otro lado, en cuanto a la variable potencial hidroeléctrico, si bien esta es clave para poder comparar entre cuencas la vulnerabilidad y el riesgo del sector a nivel nacional, para una estimación regional, donde la estimación del riesgo es por distritos, sus resultados no permiten distinguir cuál es más vulnerable, dado que se les asigna a todos el mismo valor del indicador. Por ello, se recomienda complementar con estudios más finos (por ejemplo, por unidades hidrográficas menores) el potencial hidroeléctrico dentro de la cuenca, de manera que se zonifica esta importante característica.

- En base a los resultados del presente estudio, considerar los distritos con mayores niveles de riesgo por uso del agua, y revisar variables para formular medidas de adaptación. Por ejemplo (Tabla 63):

Tabla 63. Identificación de medidas de adaptación (NDC) al cambio climático por uso del agua.

Uso	Sujeto análisis	Peligro	Nivel de riesgo	Distritos	Medida de adaptación (NDC Agua)*	Justificación
Agrario	Disponibilidad hídrica	Sequías Disminución del caudal	Alto	SICUANI	5, 7, 28	• Checacupe, Pitumarca, Lares, Layo, Paucartambo, y Megantoni presentan bajos índices de infraestructura hidráulica y natural para el almacenamiento y distribución del agua que las NDC 1 (Mejoramiento y construcción de reservorios para la provisión del servicio de agua de uso agrario), NDC 2 (Implementación de intervenciones para la siembra y cosecha de agua) y NDC 3 (Implementación de infraestructura hidráulica de conducción, distribución y aplicación de agua para riego) ayudarían a la reducción del riesgo. • Todos los distritos descritos en la quinta columna presentan bajos índices de eficiencia de riego, por lo que la Implementación de sistemas de riego tecnificado (NDC 5) contribuiría a la reducción del riesgo • Sicuani, Checacupe, Layo, Ollantaytambo y Paucartambo poseen bajos índices en conocimientos para el aprovechamiento sostenible del agua. Por ello, la Asistencia técnica y fortalecimiento de capacidades de productores agropecuarios para el aprovechamiento sostenible del agua (NDC 7) es pertinente para disminuir el riesgo. • Sicuani, Checacupe, Quiquijana, Lares, Layo, Paucartambo y Megantoni tiene bajos índices de formalización de los derechos del uso del agua agrario. Por lo tanto, la modernización del otorgamiento de derechos de uso de agua (NDC 28) es clave para la disminución del riesgo en los distritos.
				CHECACUPE	1, 2, 3, 5, 7, 28	
				OCONGATE	5	
				PITUMARCA	1, 2, 3, 5	
				QUIQUIJANA	5, 28	
				LARES	1, 2, 3, 5, 28	
				LAYO	1, 2, 3, 5, 7, 28	
				OLLANTAYTAMBO	5, 7	
				PAUCARTAMBO	1, 2, 3, 5, 7, 28	
				MEGANTONI	1, 2, 3, 5, 28	

	Infraestructura asociada	Movimientos en masa Inundaciones Erosión hídrica del suelo	Alto	MARANGANI	4	• Marangani es el distrito con mayor riesgo ante los peligros que afectan a la infraestructura hidráulica del sector y con un alto índice de puntos críticos. Por ello, la Implementación de infraestructura de protección en los sectores hidráulicos para uso agrario (NDC 4) aportará a la reducción del riesgo. Por otra parte, aunque no forme parte de las medidas del catálogo de las NDC Agua, es necesario también sumar conocimientos técnicos para la gestión de riesgos de desastres.
Poblacional	Disponibilidad hídrica	Sequías Disminución del caudal	Alto	CUSCO	18, 20	• Ante el alto índice de demanda de agua poblacional del distrito, el Incremento de la cobertura de micromedición (NDC 18) y la Implementación de tecnologías de ahorro de agua en ámbitos urbanos (NDC 20) ayudarán a disminuir el riesgo en Cusco.
	Infraestructura asociada	Movimientos en masa Inundaciones Erosión hídrica del suelo	Alto	CUSCO	22	• Si bien la EPS del distrito cuenta con el Plan de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático, se considera a bien recomendar la NDC 22, Implementación de instrumentos de Adaptación al Cambio Climático en los servicios de saneamiento del ámbito urbano, para impulsar la implementación de las medidas del plan.
Energético	Disponibilidad hídrica	Sequías Disminución del caudal	Medio	ECHARATE	11	• La central hidroeléctrica del distrito (San Francisco) posee bajos resultados en la eficiencia para la generación hidroenergética (tasa de variación porcentual del factor de planta), por lo que la NDC 11 (Aprovechamiento eficiente de la energía hidroeléctrica) ayudaría a la reducción de la vulnerabilidad para la provisión del servicio frente a la ocurrencia de los peligros.

	Infraestructura asociada	Movimientos en masa Inundaciones Erosión hídrica del suelo	Alto	CACHIMAYO	8	• El distrito presenta bajos valores en el indicador cumplimiento de la implementación de medidas para la protección de la generación, transmisión y distribución de la electricidad según los resultados del presente estudio. Por ello, se sugiere la NDC 8, Promoción y desarrollo de infraestructura que reduzca la vulnerabilidad de la generación hidroeléctrica.
Multisectorial	Disponibilidad hídrica	Sequías Disminución del caudal Movimientos en masa Inundaciones Erosión hídrica del suelo	-	ANDAHUAYLILLAS	24, 26	• Andahuaylillas, Taray, Caicay, Saylla, Oropesa, San Salvador, Combapata, Tinta, Huayllabamba, Huaro y Poroy poseen indicadores de retención hídrica bajos, según los resultados de este estudio. En ese sentido la Conservación y recuperación de la infraestructura natural para la regulación y provisión del servicio ecosistémico hídrico (NDC 24) ayudaría a aumentar dicho servicio y así reducir el riesgo en los distritos y la cuenca. • Andahuaylillas, Taray, San Sebastián, Wanchaq, San Jerónimo, Lucre, Urcos, Pucyura, Pisac, Calca, Caicay, Maras, Urubamba, Ollantaytambo, Chinchero y Anta presentan los índices de calidad de agua más críticos de la cuenca, por lo cual la Implementación del monitoreo y vigilancia de la calidad de agua superficial (NDC 26) aportaría a la reducción de la vulnerabilidad (sensibilidad biofísica de la cuenca).
				TARAY	24, 26	
				SAN SEBASTIÁN	26	
				WANCHAQ	26	
				SAN JERÓNIMO	26	
				LUCRE	26	
				URCOS	26	
				PUCYURA	26	
				PISAC	26	
				CALCA	26	
				CAICAY	24, 26	

				MARAS	26	
				URUBAMBA	26	
				OLLANTAYTAMBO	26	
				CHINCHERO	26	
				ANTA	26	
				SAYLLA	24	
				OROPESA	24	
				SAN SALVADOR	24	
				COMBAPATA	24	
				TINTA	24	
				HUAYLLABAMBA	24	
				HUARO	24	
				POROY	24	

Fuente: Elaboración propia. * MINAM (2021c).

Bibliografía

Abad, L. (2010). Diagnóstico y Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Vilcanota Urubamba. Recuperado de http://www2. congreso. gob. pe/sicr/cendocbib/con3_uibd. nsf/54D44180241B6790052579 7A005DFFB6/$ FILE/181_pdfsam_. pdf.

Autoridad Administrativa del Agua Vilcanota-Urubamba (2010). Diagnóstico y plan de gestión de recursos hídricos en la cuenca Vilcanota - Urubamba: Fase I. Autoridad Nacional del Agua. https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3650

Autoridad Nacional del Agua (2021). Resolución Directoral Nro. 242-2021-ANA/AAA.UV

Autoridad Nacional del Agua (2018). Cuenca Vilcanota Urubamba. Recuperado de https://crhc.ana.gob.pe/urubamba/ambito-de-gestion/unidades-hidrograficas-menores

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales. 2da Versión.

CESEL Ingenieros (2013). Plan de Manejo Ambiental (PMA) del Proyecto Instalación Central Térmica Quillabamba y Sistema de Transmisión Asociado Santa Ana, La Convención, Cusco. https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/DGGAE/ARCHIVOS/PMA%20%20ELECTRICIDAD%20DEL%20PERU%20ELECTROPERU%20S.A/6.0%20Programa%20de%20monitoreo%20del%20Proyecto.pdf

CONDESAN (2021). Herramienta de identificación rápida de oportunidades para la Infraestructura Natural (HIRO) enfocada en Servicios Ecosistémicos Hídricos. Guía de Aplicación. Documento de trabajo.

Cueto La Rosa, V., Valqui Haase, M., Castro Salvador, S., Rivasplata Cabrera, F., & Reyna Ugarriza, B. (2013). Propuesta de Programa de Desarrollo y Mitigación de Impactos en la cuenca del Urubamba. https://repositorio.dar.org.pe/handle/20.500.13095/117

Gobierno Regional de Cusco (2012). Estrategia Regional frente al Cambio Climático - ERFCC Cusco

GIZ, EURAC, y UNU-EHS. (2018). Evaluación de Riesgo Climático para la Adaptación basada en Ecosistemas –Una guía para planificadores y practicantes.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2020). Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico.
https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. http://censo2017.inei.gob.pe/

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2018). Mapa de susceptibilidad por inundación fluvial del Perú. Recuperado de https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2012). Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/

Ingenieros, C. E. S. E. L. (2013). Plan de Manejo Ambiental (PMA) del Proyecto "Instalación Central Térmica Quillabamba y Sistema de Transmisión Asociado Santa Ana, La Convención, Cusco". Final Report. Lima, Perú.

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (2019). Informe de la situación de los glaciares y ecosistemas de montaña en Perú 2019.https://www.inaigem.gob.pe/wp-content/uploads/2019/04/Interiores-Informe-anual-2017.pdf

International Panel of Climate Change (2022). Cambio Climático 2022: Impactos, adaptación, y Vulnerabilidad. Parte A: Aspectos Globales y Sectoriales. Contribución del Grupo de Trabajo II al Sexto Reporte de Evaluación del Panel de Cambio Climático Intergubernamental. Prensa de la Universidad de Cambridge.

Medina, L. y otros (2021). Peligro geológico por movimientos en masa e inundación fluvial en la ciudad de Cusco - [Boletín C 80]. INGEMMET. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3136#files

MINEM (2012). Documento Promotor del Subsector Electricidad 2012. Dirección General de Electricidad.

Ministerio del Ambiente (2018). Mapa nacional de ecosistemas. https://geoservidor.minam.gob.pe/recursos/intercambio-de-datos/

Ministerio del Ambiente (2021a). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Perú (NAP).

Ministerio del Ambiente (2021b). Retroalimentación e implementación del modelo conceptual y metodológico para el análisis y estimación del riesgo ante los efectos del cambio climático de las cuencas hidrográficas en el marco de la implementación de la NDC Agua. Elaborado por Gallardo M., Zapata F., Vargas-Machuca D., Dioses A., Laura K. del Instituto de Montaña, para el Proyecto de AICCA, gestionado por el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina.

MINAM (2021c). Catálogo de medidas de adaptación. https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/462585-catalogo-de-91-medidas-de-adaptacion

Ministerio de Energía y Minas (2020). Programación Tentativa Sectorial NDC Agua uso energético (medidas del producto P1AE).

Mora Alvarado, D. (2008). Programa Nacional de Mejoramiento y Sostenibilidad de la Calidad del Servicio de Agua Potable 2007-2015.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2017). Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. Nota Técnica N° 002. Dirección de hidrología. https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/261

Superintendencia Nacional de Servicio de Saneamiento (2022). Benchmarking regulatorio 2022. https://www.sunass.gob.pe/sunass-te-informa/publicaciones/benchmarking-de-empresas-prestadoras/

Anexos

Anexo 1. Actas de memoria de reuniones y talleres

Anexo 2. Lista de invitados y participantes del taller de estimación de riesgo climático de la cuenca Vilcanota-Urubamba

Anexo 3. Hoja de ruta para el cálculo de los indicadores

Anexo 4. Base de datos del cálculo de los indicadores

Anexo 5. Estimación del riesgo

Anexo 6. Cadenas de impacto

Anexo 7. Mapas de peligros, exposición, vulnerabilidad y riesgo

Anexo 8. Base de datos geoespacial