



Diagnóstico

Aspectos clave en la cuenca Quilca - Chili:

Análisis de la oferta, demanda hídrica y riesgo económico
en una cuenca árida con proyección al cambio climático





Diagnóstico

Aspectos clave en la cuenca Quilca - Chili:

Análisis de la oferta, demanda hídrica y riesgo económico en una cuenca árida con proyección al cambio climático

Autores

Benigno Erick Sanz Sanz
Gregory Anthony Pauca Tanco
Johana del Pilar Quispe Turpo
Jesús Francisco Delgado Montesinos
Guillermo Edgar Gutiérrez Paco

Agradecimientos

Ing. Johnny Carlos Castro Patiño
Ing. Jaime Gutiérrez Huanqui
Arq. Gustavo Alonso Delgado Alvarado

Diagnóstico. Aspectos clave en la cuenca Quilca-Chili:

Análisis de la oferta, demanda hídrica y riesgo económico en una cuenca árida con proyección al cambio climático

© Departamento de Ingenierías de la Industria y el Ambiente

Primera edición digital: Octubre de 2024

Cuidado editorial: Daniel M. Lira

Diseño y diagramación: Macanudo

Fotografía: Archivo UCSP



Universidad Católica
San Pablo

Departamento de Ingenierías
de la Industria y el Ambiente

©Universidad Católica San Pablo

Urb. Campiña Paisajista s/n, Quinta Vivanco, Barrio de San Lázaro, Cercado

Arequipa – Perú

Teléfono: (+51 54) 60 5630, anexo 479

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2024-11604

ISBN: 978-612-5165-05-3

Publicación digital: <https://ucsp.edu.pe/fondo-editorial/publicaciones/>

No está permitida la reproducción total o parcial de este texto, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia o grabación, sin la autorización escrita de los titulares del copyright.

Contenido

Resumen	1
Capítulo I	
Caracterización de la cuenca Quilca - Vitor - Chili	2
1.1 Ubicación geográfica	3
Figura 1. Delimitación geográfica de la cuenca Quilca - Vitor - Chili	3
1.2 Ecosistemas	4
Figura 2. Cobertura del suelo de la cuenca Quilca - Vitor - Chili	5
1.3 Clima	6
Figura 3. Clasificación climática de la cuenca Quilca - Vitor - Chili	7
1.4 Áreas naturales de la cuenca para la protección de los servicios ecosistémicos relacionados al recurso hídrico	8
1.5 Aspectos generales acerca de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca Quilca - Vitor - Chili	8
Figura 4. Unidades hidrográficas de la cuenca Quilca - Vitor - Chili	9
1.6 Infraestructura hidráulica de la cuenca Quilca - Vitor - Chili	10
1.6.1 Embalses de la cuenca Quilca - Vitor - Chili	10
Figura 5. Porcentaje de aporte hídrico por cuenca a la cuenca Quilca - Vitor - Chili	11
Figura 6. Porcentaje de aporte hídrico por embalse	11
Tabla 1. Registro de aportes en hm ³ por embalse y cuenca	12
1.6.2 Trasvases hacia la cuenca Quilca - Vitor - Chili y estaciones hidrométricas	13
1.6.3 Plantas de potabilización y tratamiento de aguas residuales en la cuenca Quilca - Vitor - Chili	13
2. Conclusiones	14

Capítulo II

Caracterización de demandas hídricas e identificación de las principales actividades

económicas en la cuenca Quilca - Vítor - Chili	15
2.1. Condiciones generales del acceso al agua	17
2.2. Demanda hídrica en la cuenca Quilca - Vítor - Chili	17
Tabla 2. Consumo de agua acumulado para para la cuenca Quilca - Vítor – Chili	18
Figura 7. Usos del agua superficial (3356.92 hm ³) en la cuenca Quilca - Vítor – Chili	19
Figura 8. Usos agua subterránea (15.21 hm ³) en la cuenca Quilca - Vítor – Chili	20
Tabla 3. Instrumentos de planificación urbana cuencas Quilca - Vítor - Chili y Camaná - Majes – Colca	21
3. Provincias	22
3.1 Provincia de Arequipa	22
Figura 9. Mapa de clasificación general del suelo para Arequipa metropolitana	22
Tabla 4. Clasificación general uso del suelo Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa	23
Figura 10. Porcentaje general por tipo de uso del suelo Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa	24
3.2 Provincia de Caylloma	24
3.3 Provincia de Lampa	25
3.4 Provincia de Espinar	25
4. Conclusiones	25

Capítulo III

Balance hídrico de la cuenca Quilca - Vítor - Chili para los usos registrados y

su impacto en el desarrollo económico y social	27
3. Balance hídrico	28
3.1. Balance hídrico de la cuenca Camaná - Majes - Colca	28
Figura 11. Usos de suelo para la cuenca Camaná - Majes - Colca	30
Figura 12. Balance hídrico estimado por mes en la cuenca Camaná - Majes - Colca	31
Figura 13. Ofertas y demandas medias mensuales para la cuenca Majes - Camaná - Colca	32
3.2. Balance hídrico cuenca Quilca - Vítor - Chili	33
Figura 14. Usos de suelo para la cuenca Quilca - Vítor - Chili	33
Figura 15. Balance hídrico estimado por mes en la cuenca Quilca - Vítor - Chili	35
3.2.1. Sistema regulado Chili	36
Figura 16. Ofertas y demandas mensuales para la cuenca Quilca - Vítor - Chili. Sistema regulado del Chili	37
3.2.2.Sistema regulado Majes Sigwas	38
Figura 17. Ofertas y demandas medias mensuales para la cuenca Quilca - Vítor - Chili. Sistema regulado Majes Sigwas	39
3.2.3.Sistemas no regulados	40
Junta de usuarios Chili	40
Figura 18. Ofertas y demandas medias mensuales para la cuenca Quilca - Vítor - Chili. Sistema no regulado junta de usuarios Chili, sectores Yarabamba, Mollebaya, Andamayo y La Yunta	41
Junta de usuarios del río Yura	49
Figura 19. Ofertas y demandas medias mensuales para la cuenca Quilca - Vítor - Chili. Sistema no regulado junta del río Yura, sectores Quiscos, Uyupampa, Yura Viejo y Yuramayo	50
Junta de usuarios del valle de Vítor	52
Figura 20. Ofertas y demandas medias mensuales para la cuenca Quilca - Vítor - Chili. Sistema no regulado junta del río valle de Vítor	53
3.3. Balance hídrico al 2030	54
Fórmula:	54

Descripción de la fórmula:	54	5.2.2 Parámetros hidrológicos	71
Funcionamiento:	54	Precipitación	71
Tabla 5. Proyección ajustada per cápita de agua para consumo poblacional 2015 – 2030	55	Evapotranspiración potencial (PET)	71
Figura 21. Proyección ajustada per cápita de agua para consumo poblacional 2015 - 2030	56	Evapotranspiración real (ET)	72
4. Conclusiones	57	Escurrimiento superficial	73
		Flujo lateral	73
		Flujo de retorno	74
		Percolación a las capas superficiales del acuífero	75
		Revaporización desde las capas superficiales del acuífero	76
Capítulo IV		Recarga del acuífero profundo	78
Evaluación del índice de potencial de recarga, índice de vulnerabilidad de la cuenca Quilca - Vitor - Chili y modelamiento con SWAT de la unidad hidrográfica medio Quilca - Vitor - Chili	58	Figura 25. Precipitación promedio anual (1996-2024) para la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor – Chili	79
4. Cálculo del Índice de Potencial de Recarga (IPR) e Índice de Vulnerabilidad (IV) del agua subterránea para la cuenca Quilca - Vitor - Chili	59	Figura 26. Recarga de agua subterránea en el acuífero somero (2013 - 2024 para la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor – Chili	81
4.1 Índice de Potencial de Recarga (IPR)	59	6. Conclusiones	82
4.1.1 Preparación de las capas temáticas para el IPR	59		
4.2 Índice de Vulnerabilidad (IV)	60	Referencias	83
4.2.1 Preparación de las capas temáticas del IV	60	Anexo 1 Mapas	86
4.2.2 Asignación de pesos a las subclases de los índices IPR e IV	61	Anexo 2 Tablas	109
Tabla 6. Capas temáticas, subclases, valores asignados y pesos relativos para el Índice de Potencial de Recarga (IPR)	61		
Tabla 7. Capas temáticas, subclases, valores asignados y pesos relativos para el Índice de Vulnerabilidad (IV)	63		
4.3 Resultados de los índices IPR e IV	64		
Figura 22. Índice de Potencial de Recarga (IPR) de la cuenca Quilca - Vitor – Chili	64		
Figura 23. Índice de Vulnerabilidad (IV) de la cuenca Quilca - Vitor – Chili	67		
5. Modelo Hidrológico SWAT	68		
5.1 Metodología aplicada	68		
5.2 Resultados de la modelación hidrológica	69		
5.2.1 Balance hídrico de la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili	69		
Figura 24. Balance de entradas y salidas de agua en la cuenca Quilca - Vitor – Chili	70		

Resumen

El presente diagnóstico tiene como objetivo principal la caracterización integral de la cuenca Quilca - Vitor - Chili, con el fin de establecer un análisis detallado de su estado actual, tanto en términos ambientales como socioeconómicos, y su relación con la gestión hídrica en la región. A lo largo de este estudio se abordan aspectos fundamentales como la ubicación geográfica de la cuenca, la diversidad de ecosistemas presentes, las condiciones climáticas y la infraestructura hidráulica disponible.

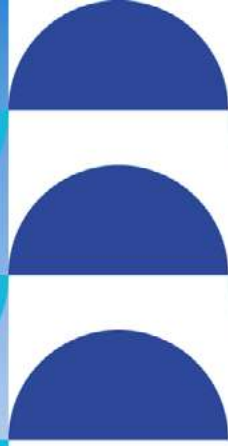
En primer lugar, se realiza una caracterización geográfica que permite entender la distribución espacial de la cuenca y su influencia en la disponibilidad y uso de los recursos hídricos. Este análisis incluye la identificación de los ecosistemas predominantes y su rol en la provisión de servicios ecosistémicos clave, como la regulación del ciclo hidrológico y la conservación de la biodiversidad.

Además, se examinan los recursos hídricos superficiales y subterráneos, evaluando su cantidad, calidad y distribución, lo cual es esencial para comprender las dinámicas de demanda y oferta en la cuenca. En este contexto, se incluye un análisis detallado de la infraestructura hidráulica existente, tales como embalses, trasvases y plantas de tratamiento de aguas, que son fundamentales para la gestión eficiente del recurso hídrico.

El diagnóstico también aborda las demandas hídricas de la cuenca Quilca - Vitor - Chili, identificando las principales actividades económicas que dependen del agua, como la agricultura, la industria y el uso doméstico. Este análisis es crucial para evaluar el impacto de estas actividades en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.

Finalmente, el estudio incluye un balance hídrico de la cuenca, que permite evaluar la sostenibilidad del uso del agua en el contexto actual y proyectado hacia el año 2030. Adicionalmente, se realiza una evaluación del Índice de Potencial de Recarga y vulnerabilidad del agua subterránea, así como un modelamiento hidrológico utilizando el modelo SWAT, que proporciona una visión integral de los parámetros hidrológicos y su influencia en la recarga y disponibilidad de agua en la cuenca.

Este diagnóstico es una herramienta fundamental para la toma de decisiones en la gestión hídrica de la cuenca Quilca - Vitor - Chili, proporcionando una base sólida para la planificación y ejecución de estrategias que garanticen la sostenibilidad de los recursos hídricos en la región.



Capítulo I

Caracterización de la cuenca Quilca - Vítor - Chili

1.1 Ubicación geográfica

Figura 1.
Delimitación geográfica de la cuenca Quilca - Vitor - Chili



Como se observa en la figura 1, la cuenca Quilca - Vitor - Chili se sitúa en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes, desembocando en el océano Pacífico. Abarca casi toda la superficie de la provincia de Arequipa, extendiéndose también en las provincias de Camaná, Lampa (Puno) y Espinar (Cusco). Esta cuenca comprende aproximadamente 13 817 km² y se subdivide en once unidades hidrográficas. Debido a la extensión de la cuenca, en esta se puede observar diversos paisajes. Es así que, en sus zonas más bajas, cercanas al océano, se presenta el estuario del río Quilca, y próximos a este los ecosistemas de lomas, los cuales en época de invierno reverdecen, debido a las lloviznas que provienen del océano. Hacia el interior, pasando las lomas, se presentan las pampas eriazas del tablazo desértico, caracterizado por la extrema aridez y alta radiación. Luego del tablazo se presentan las primeras estribaciones de los Andes, en cuyas bases, durante el verano, se presenta una vegetación anual. A más altitud el terreno se hace más irregular, la vegetación cambia rápidamente, primero presentándose matorrales xerófilos, luego pajonales y en algunos casos bosques de queñoa. Aquí se admira la cordillera volcánica con cumbres que sobrepasan los 5000 m s. n. m. Pasando la cordillera volcánica se presenta el altiplano, cuya vegetación típica son los extensos pastizales, tolares o bofedales.

Identificada como una cuenca de alta vulnerabilidad por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), los componentes críticos son tanto hidrológicos como sociales. En el componente hidrológico se evalúan la oferta y demanda hídrica, riesgos de inundación, el estado de desarrollo de estudios sobre recursos hídricos, la disponibilidad de información y la explotación de acuíferos.

Por otro lado, el componente social considera los conflictos por el uso del agua, la población, la pobreza, la organización social y los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca. Este componente enfatiza la interrelación de las comunidades con los recursos hídricos, subrayando la importancia de una gestión integrada y sostenible.

1.2 Ecosistemas

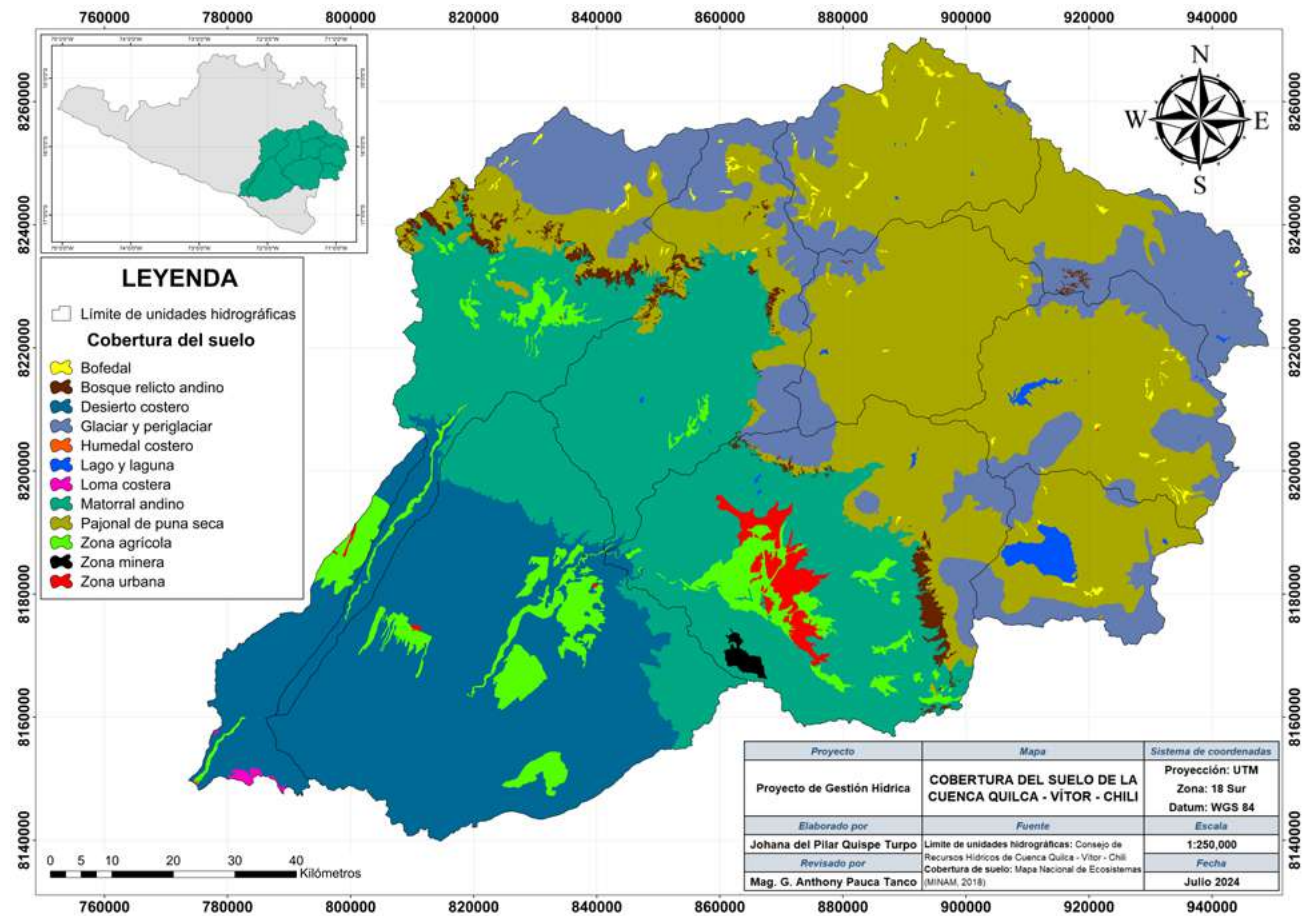
La cuenca Quilca - Vitor - Chili se divide en dos regiones: la costa y la andina.

Región de la costa: Considerado el más árido de los ecosistemas del Perú, la región costera se extiende geopolíticamente desde Tacna, en el sur, hasta Sechura, en Piura, alcanzando altitudes de aproximadamente 1500 - 2000 m s. n. m. Esta región se caracteriza por el tablazo desértico, que se extiende hasta las primeras estribaciones andinas. La precipitación es muy escasa o nula, lo que resulta en una vegetación extremadamente reducida. Paradójicamente, esta zona alberga aproximadamente el 50 % de la producción agrícola de la cuenca (irrigaciones), siendo las demandas hídricas satisfechas por el agua proveniente de las zonas altas, aquellas localizadas por encima de los 3500 m s. n. m.

Región andina: La región andina, situada por encima de los 1500 - 2000 m. s. n. m., presenta dos zonas distintivas. La primera se caracteriza por su aridez, con vegetación herbácea anual, arbustiva perenne y bosques aislados, con climas que van de semicálido árido a frío húmedo. La segunda zona es frígida húmeda y frígida seca, abarcando las altitudes más elevadas. Esta región también alberga la mayor superficie agrícola del país y el otro 50 % de la actividad agrícola de la cuenca.

Según el mapa nacional de ecosistemas del Ministerio del Ambiente del Perú, la cuenca contiene 11 de los 39 ecosistemas registrados en el país como se observa en la figura 2. En la región andina se encuentran ecosistemas como el pajonal de puna seca, bofedal, zona periglacial y glaciar, bosque relictos altoandino (queñual y otros) y matorral andino. En la región de la costa se pueden identificar las lomas costeras, bosque estacionalmente seco ribereño, desierto costero y humedal costero. Los ecosistemas acuáticos incluyen lagos y lagunas (diferenciados por profundidad, tamaño, diversidad, zonas diferenciadas e incluso origen) y ríos.

Figura 2.
Cobertura del suelo de la cuenca Quilca - Vítor – Chili



1.3 Clima

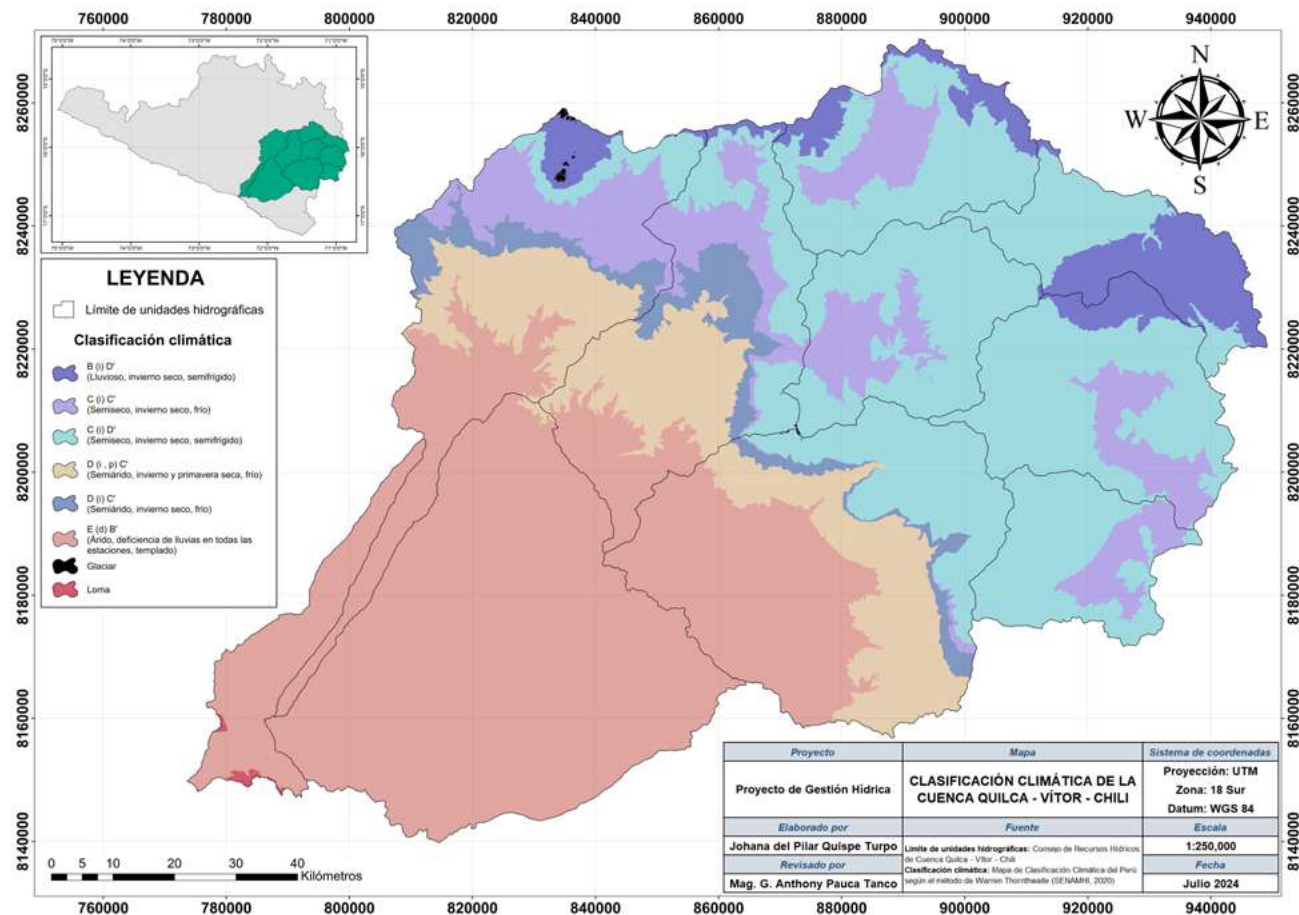
Según el mapa de clasificación climática nacional del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), en la cuenca Quilca - Vítor

- Chili se registran los siguientes climas:

- Por encima de los 4800 m s. n. m.: clima semifrío, lluvioso con invierno seco, clasificación B (i) D'. Temperaturas máximas de 13 °C a 15 °C y mínimas de -7 °C a -5 °C. Precipitación anual acumulada entre 500 y 700 mm.
- Entre 4700 y 4800 m s. n. m.: clima semifrío, lluvioso con humedad abundante todo el año, clasificación B (r) D'. Temperaturas máximas de 11 °C a 15 °C y mínimas de -7 °C a -3 °C. Precipitación anual entre 700 y 900 mm.
- Entre 4500 y 4700 m s. n. m.: clima semifrío, semiseco con invierno seco, clasificación C (i) D'. Temperaturas máximas de 11 °C a 15 °C y mínimas de -11 °C a -7 °C. Precipitación anual entre 500 y 700 mm.
- Entre 4300 y 4500 m s. n. m.: clima frío, lluvioso con invierno seco, clasificación B (i) C'. Temperaturas máximas de 13 °C a 17 °C y mínimas de -5 °C a -1 °C. Precipitación anual entre 700 y 900 mm.
- Entre 4000 y 4300 m s. n. m.: clima frío, semiseco con invierno seco, clasificación C (i) C'. Temperaturas máximas de 13 °C a 17 °C y mínimas de -7 °C a 5 °C. Precipitación anual entre 200 y 700 mm.
- Entre 2500 y 2000 m s. n. m.: tres tipos de climas:
 - Clima frío, semiárido con invierno seco, clasificación D (i) C'. Temperaturas máximas de 19 °C a 23 °C y mínimas de 1 °C a 9 °C. Precipitación anual entre 200 y 700 mm.
 - Clima templado, semiárido con invierno y primavera secos, clasificación D (i, p) B'. Temperaturas máximas de 19 °C a 21 °C y mínimas de 3 °C a 9 °C. Precipitación anual entre 50 y 160 mm.
 - Clima frío, semiárido con invierno seco, clasificación D (i) C'. Temperaturas máximas de 19 °C a 23 °C y mínimas de 1 °C a 9 °C. Precipitación anual entre 200 y 700 mm.
- Por debajo de los 1700 m s. n. m.: clima templado, árido con deficiencia de humedad todo el año, clasificación E (d) B'. Temperaturas máximas de 19 °C y mínimas de 3 °C. Precipitación anual entre 0 y 5 mm.

Como se observa en la figura 3, en la cuenca Quilca - Vítor - Chili los climas con aportes hídricos significativos (500 a 900 mm de precipitación anual) se encuentran por encima de los 4700 m s. n. m. Entre los 4700 y 4500 m s. n. m. predominan climas secos con inviernos sin precipitación. Entre los 2500 y 4000 m s. n. m. los climas son predominantemente semiáridos a semisecos, templados a fríos, con deficiencia de humedad en invierno y primavera. Por debajo de los 1700 m s. n. m. el clima es árido con deficiencia de humedad todo el año, aunque se observa un importante desarrollo agrícola en esta zona, contradiciendo la extrema aridez natural.

Figura 3.
Clasificación climática de la cuenca Quilca - Vitor - Chili



1.4 Áreas naturales de la cuenca para la protección de los servicios ecosistémicos relacionados al recurso hídrico

En la cuenca Quilca - Vitor - Chili se destacan varias áreas de interés ambiental, incluyendo dos Áreas Naturales Protegidas (ANP) bajo la administración del Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP). Estas son: la Reserva Nacional del Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras, que incluye Punta Hornillos y abarca aguas marítimas costeras no continentales; y la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, cuyo objetivo es la conservación de humedales y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales —según el Plan Maestro 2016-2020 ejecutado por el SERNANP—, esta área de 366 936 hectáreas es fundamental para la regulación hídrica y sirven como fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Arequipa.

Desde un punto de vista económico, la gestión de recursos hídricos se evalúa mediante indicadores de volúmenes de agua gestionados de manera sostenible, considerando el contexto social y la colaboración entre aliados estratégicos y beneficiarios del recurso hídrico. Aunque el Diagnóstico Hídrico Rápido del departamento de control de calidad de efluentes del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa (SEDAPAR) reconoce la importancia de la regulación hídrica, no le otorga el mismo peso como servicio ecosistémico. En dicho documento se enumeran los servicios ecosistémicos proporcionados por la cuenca, especialmente durante la época de estiaje. Estos servicios incluyen la regulación del clima, el control de la erosión y sedimentación, la calidad biológica y físico-química del agua, la regulación hídrica y el abastecimiento de agua para diversos usos. Estos servicios se deben a ecosistemas como pajonales, bosques relictos y bofedales en las zonas altas, así como a áreas agrícolas y montes ribereños a lo largo de aproximadamente 275.38 km de ríos en el trayecto Quilca - Vitor - Chili, según la clasificación de cursos de agua superficiales del Perú por la Dirección de Conservación y Planeamiento de

Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Esto subraya que el agua utilizada en la cuenca no solo proviene de embalses, sino también de diversas fuentes como aguas superficiales, retornos agrícolas e industriales, manantiales y pozos.

En el Plan de Gestión de Recursos Hídricos 2023, del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili, se proponen cuatro áreas adicionales para conservación debido a los servicios ecosistémicos que prestarán. Estas áreas incluyen el Bosque de Queñua El Rayo, el Bosque de Queñua Nevado del Pichu-Pichu, el Valle del Colca - Nevado Ampato y el Área de Conservación Regional Chapi - Churajón. Las tres primeras abarcan un área total de aproximadamente 317 303 hectáreas, y su conservación se centrará en los árboles de queñua, matorrales y cultivos agrícolas como bofedales, que son vitales para la regulación hídrica. El Área de Conservación Regional Chapi - Churajón se considera crucial para la protección del guanaco.

1.5 Aspectos generales acerca de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca Quilca - Vitor - Chili

El Perú se encuentra dentro de tres de las diez regiones hidrográficas de América del Sur: la región hidrográfica 0, cuyas aguas drenan principalmente hacia el lago Titicaca; la región hidrográfica 4, conocida como la cuenca del río Amazonas, que desemboca en el océano Atlántico; y la región hidrográfica 1, cuyos cursos de agua vierten en el océano Pacífico y se caracterizan por ser cortos, rápidos y con un alto poder erosivo. En esta última se encuentra la cuenca Quilca - Vitor - Chili, la tercera en tamaño después de las cuencas de Camaná y Ocoña.

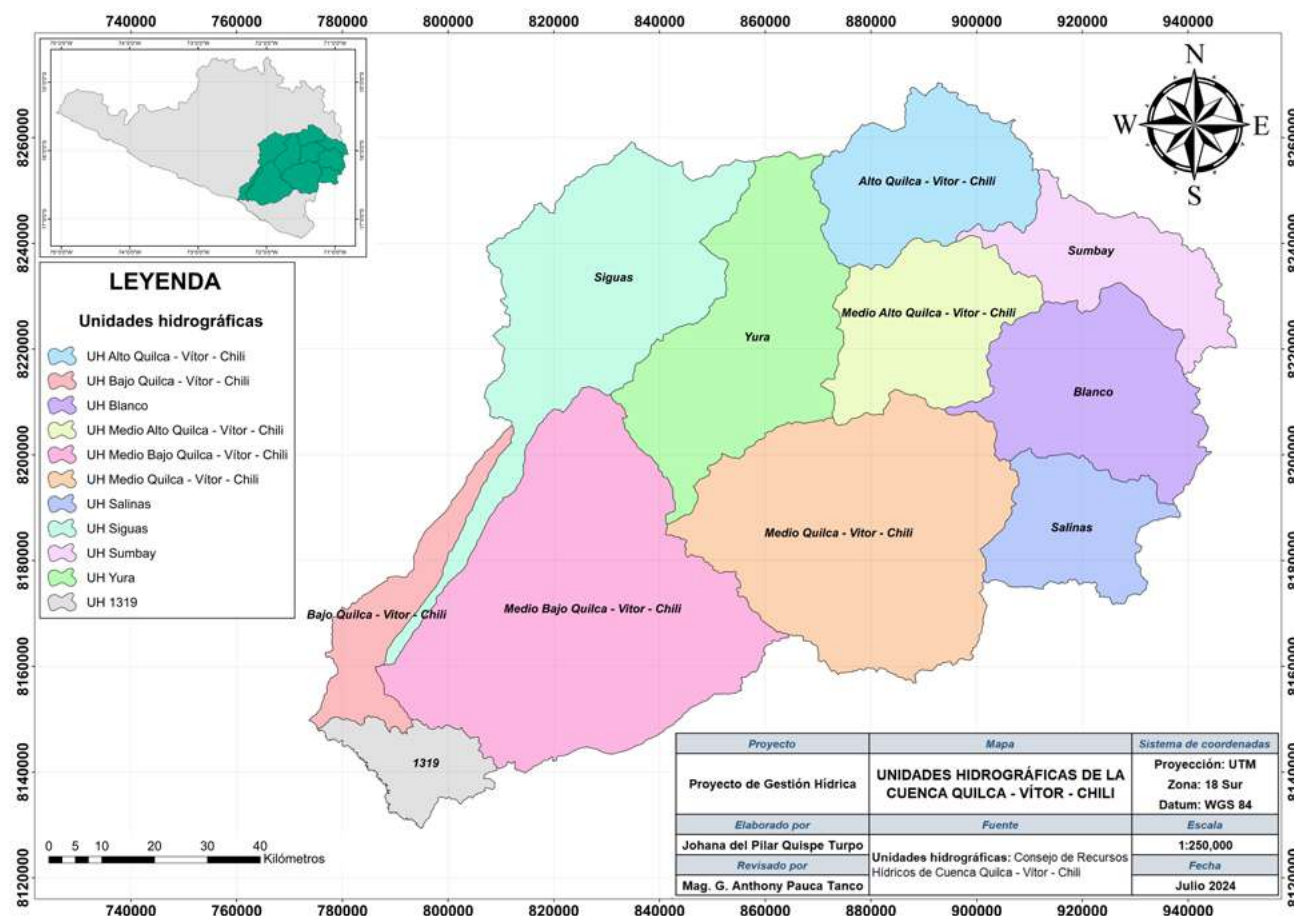
La cuenca Quilca - Vitor - Chili se origina a 4874 m s. n. m. en el distrito de San Antonio de Chuca, donde toma el nombre de río Sumbay hasta su confluencia con el río Blanco en su margen izquierda. Desde esta confluencia hasta la unión con el río Yura en Palca, se conoce como río

Chili; luego, desde la confluencia con el río Yura hasta la confluencia con el río Sigwas, se denomina río Vítor; y finalmente, desde esta última hasta el océano, se llama río Quilca, llegando a los 3 m s. n. m.

Como se observa en la figura 4 las once unidades hidrográficas (UH) de la cuenca son:

1. UH 1329: Alto Quilca - Vítor - Chili
2. UH 1328: Sumbay
3. UH 1327: Medio Alto Quilca - Vítor - Chili
4. UH 1326: Blanco
5. UH 1325: Medio Quilca - Vítor - Chili
6. UH 1324: Yura
7. UH 1323: Medio Bajo Quilca - Vítor - Chili
8. UH 1322: Sigwas
9. UH 1321: Bajo Quilca - Vítor - Chili
10. UH 1320: Salinas
11. UH 1319: Centeno, Intercuenca 13197, San José e Intercuenca 13199

Figura 4.
Unidades hidrográficas de la cuenca Quilca - Vítor - Chili



En la cuenca los aportes hídricos superficiales incluyen lagunas, manantiales, bofedales y nevados. Según el Plan Actualizado de Gestión de Recursos Hídricos 2023 del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca se registran 77 lagunas, aunque 36 de ellas están clasificadas como «s/d», lo que indica incertidumbre en los registros y resalta la necesidad de intervención prioritaria. Además, se han registrado cinco lagunas formadas por represamiento: Chalhuanca, Pillones, El Fraile, Aguada Blanca y San José de Uzuña.

Los manantiales en la cuenca contribuyen con un caudal total de 7928 l/s, provenientes de 291 fuentes. En la cuenca oriental, específicamente en las subcuencas de Andamayo, Mollebaya y Yarabamba, se han identificado 115 fuentes con un caudal de 2396.6 l/s. En la UH Salinas, diecisiete manantiales aportan 652.5 l/s, mientras que en la UH Alto Quilca - Vítor - Chili se han registrado hasta 500 fuentes sin medición de caudal. La falta de registro y escasa información hidrogeológica aumentan la vulnerabilidad de los usos antrópicos que dependen de estos recursos.

Los bofedales, localizados a más de 3800 m s. n. m., son áreas importantes para la regulación hídrica, aunque su aporte hídrico no ha sido cuantificado. Según el Plan de Gestión de Recursos Hídricos 2023, los bofedales de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca tienen una baja producción de biomasa debido a la alta presión antrópica por la crianza de camélidos sudamericanos. Esta situación de incertidumbre coloca a estos ecosistemas en un criterio de alta vulnerabilidad, subrayando la necesidad de estudios que determinen la capacidad de carga para proteger la dinámica hidrogeológica y los servicios que estos ecosistemas brindan.

La oferta hídrica subterránea se distribuye entre sistemas regulados y no regulados. En el sistema regulado se utilizan 5.04 hm³ de agua en los distritos de Arequipa, José Luis Bustamante y Rivero, Cayma, Cerro Colorado, Yanahuara, Jacobo Hunter, Sachaca, Tiabaya y Uchumayo, para usos poblacional, pecuario, agrícola, industrial y otros.

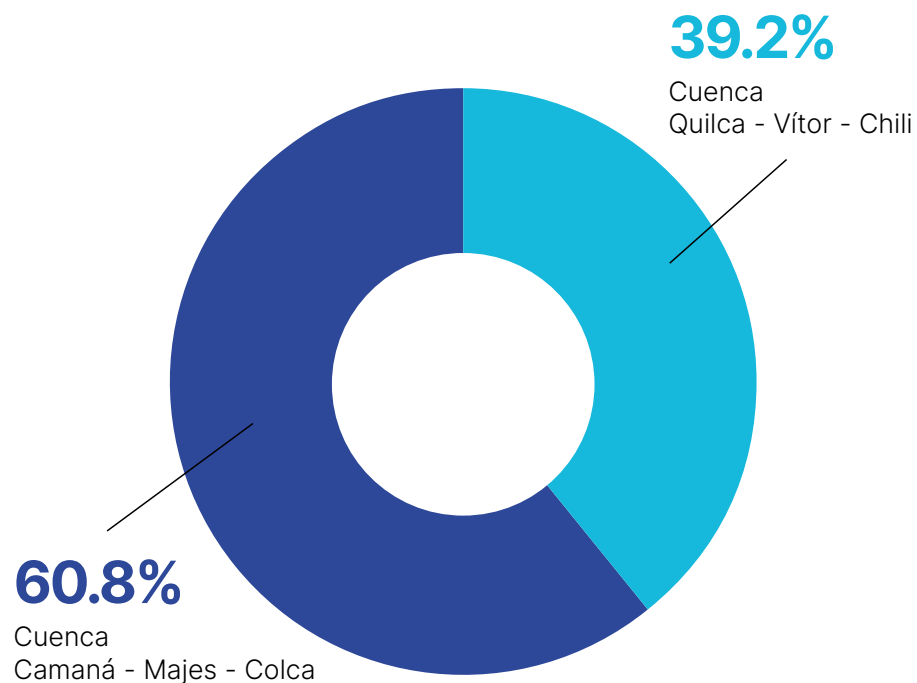
1.6 Infraestructura hidráulica de la cuenca Quilca - Vítor - Chili

La infraestructura hidráulica de la cuenca Quilca - Vítor - Chili es compleja. La operación y el mantenimiento de la infraestructura hidráulica mayor para regulación y trasvase están a cargo de la Autoridad Autónoma de Majes (AUTODEMA) y la Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa (EGASA). Por otro lado, la operación de la infraestructura hidráulica de riego es responsabilidad de las juntas de usuarios. Esta infraestructura debe satisfacer los requerimientos hídricos de todos los usos registrados en la cuenca, incluidos los usos poblacionales, agrarios, industriales, pecuarios, energéticos, de defensa nacional, mineros, caudales ecológicos y otros usos recreativos como parques y jardines. Además, se consideran las pérdidas de agua en los trasvases Pañe - Bamputañe y sistema Tuti - Pitay, así como las pérdidas por evaporación en las represas, entre otros factores.

1.6.1 Embalses de la cuenca Quilca - Vítor - Chili

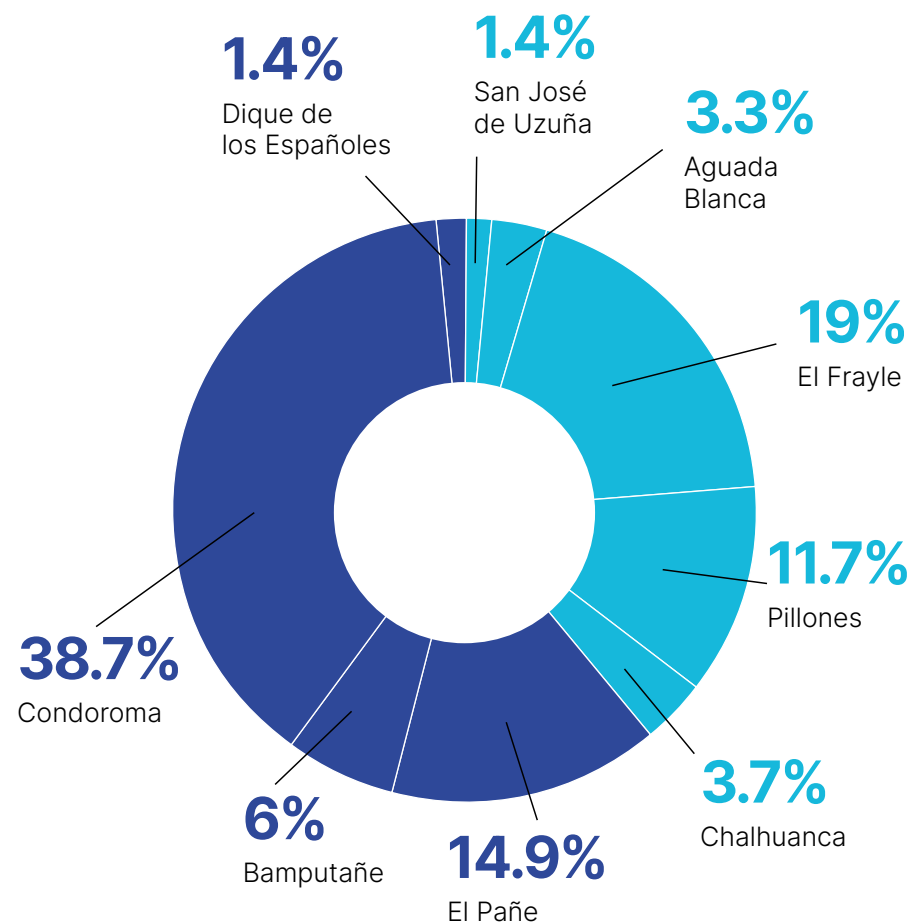
El aporte hídrico para los diversos usos en la cuenca Quilca - Vítor - Chili proviene de embalses ubicados en dos cuencas hidrográficas: Quilca - Vítor - Chili y Camaná - Majes - Colca, y abarca dos regiones adicionales, Puno y Cusco. El resumen de estos aportes se detalla en las siguientes figuras.

Figura 5.
Porcentaje de aporte hídrico por cuenca
a la cuenca Quilca - Vítor - Chili



En la figura 5 se observa que la mayor contribución hídrica a la cuenca Quilca - Vítor - Chili proviene de la cuenca Camaná - Majes - Colca, representando el 60.8 % del total del abastecimiento. Este aporte se destina principalmente a la provincia de Caylloma, específicamente al distrito de Majes.

Figura 6.
Porcentaje de aporte hídrico por embalse



En la figura 6 se detallan los aportes hídricos de cada embalse para la cuenca. Según su ubicación, el detalle de los aportes en hm^3 se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1.
Registro de aportes en hm³ por embalse y cuenca

Cuenca	Embalse	Aporte (hm³)	Aporte %
Cuenca Quilca - Vítor - Chili	Chalhuanca	25	3.73 %
	Pillones	78.5	11.72 %
	Frayle	127.24	18.99 %
	Aguada Blanca	22.128	3.30 %
	San José de Uzuña	9.5	1.42 %
Cuenca Camaná - Majes - Colca	Dique de los Españoles	9.09	1.36 %
	Condoroma	259	38.65 %
	Bamputañe	40	5.97 %
	El Pañe	99.6	14.86 %

La planificación y gestión sostenible de los recursos hídricos en la cuenca Quilca - Vítor - Chili requieren asegurar un uso eficiente y equitativo del agua, crucial para el desarrollo económico y social a largo plazo. Esto es particularmente importante dado que la cuenca recibe aportes hídricos provenientes en un 60.8 % de otra cuenca, específicamente de las regiones Puno y Cusco.

1.6.2 Traslases hacia la cuenca Quilca - Vítor - Chili y estaciones hidrométricas

Los traslases forman una parte esencial de la infraestructura hidráulica que garantiza el aprovisionamiento adecuado de agua a la cuenca Quilca - Vítor - Chili. Estos traslases están situados en la parte alta de la cuenca Camaná - Majes - Colca. La derivación Pañe-Sumbay, compuesta por los canales de Pañe-Sumbay y Zamácola, así como por tres embalses (Pañe, Bamputañe y Dique de los Españoles), es fundamental para este proceso. El embalse de Pañe y el canal de derivación Pañe-Sumbay contribuyen al río Colca, que suministra agua a las irrigaciones en Sigvas y Majes. Este trasvase se complementa con la bocatoma Bamputañe, el sifón río Negro, la bocatoma y canal Blanquillo, la bocatoma Jancolacaya y la bocatoma y canal Antasalla, que captan y conducen recursos hídricos del río Anchaparra, un pequeño tributario del Alto Colca, hacia el canal Pañe-Sumbay. El embalse de Bamputañe es de particular importancia debido a que parte de su caudal se utiliza para la generación eléctrica en las centrales operadas por EGASA, y el restante se destina a los usuarios de campiña, La Joya y Majes. Además, el canal de Zamácola, establecido en 1950, transfiere agua del río Alto Colca al río Chili.

Otra infraestructura de trasvase relevante es la aducción Tuti - Sigvas, que suministra agua a las pampas de Majes. Esta aducción presenta dos bocatomas (Titi y Pitay), un túnel de aducción y utiliza los ríos Colca y Sigvas, así como la quebrada de Huasamayo, todo ello regulado por la represa de Condoroma.

La infraestructura hidráulica de la región está complementada por un total de diez estaciones hidrométricas. Sin embargo, es necesario incrementar el número de estas estaciones para mejorar la gestión del recurso hídrico y fortalecer los modelos de simulación para la cuenca. La infraestructura de riego incluye 22 bocatomas, 199 reservorios, 660 km de canales principales y 1390.5 km de canales laterales.

1.6.3 Plantas de potabilización y tratamiento de aguas residuales en la cuenca Quilca - Vítor - Chili

En cuanto al abastecimiento de agua para el consumo poblacional, se dispone de dos plantas de tratamiento de agua potable administradas por SEDAPAR. Estas plantas captan, transportan, tratan y distribuyen principalmente los volúmenes derivados del río Chili a través del canal de riego Zamácola, así como otras fuentes subterráneas y manantiales como La Bedoya, utilizando para ello las plantas de tratamiento de Tomilla y Miguel de la Cuba.

Las aguas residuales son tratadas por dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): Enlozada y Escalerilla, que en conjunto cubren el tratamiento del 92 % de la población de la ciudad de Arequipa. No obstante, los centros poblados en la parte alta de la cuenca oriental carecen de servicios de alcantarillado, vertiendo sus aguas residuales directamente a los ríos Andamayo, Yarabamba y Socabaya. Algunos municipios en la zona realizan tratamientos primarios de manera ineficiente, lo que resulta en la contaminación de las aguas en la confluencia de los ríos Tingo Grande y Chili.

En relación con la infraestructura hidráulica en la cuenca, es necesario realizar un diagnóstico detallado del estado de su operación. Esta tarea se complica debido a la existencia de diversas instituciones responsables de la gestión del agua en la cuenca.

2. Conclusiones

Debido a su ubicación geográfica, la cuenca Quilca - Vítor - Chili presenta una amplia variedad de climas y ecosistemas. Sin embargo, predominan las zonas áridas y semiáridas, lo que complica la gestión hídrica en el territorio y afecta la dinámica de los usos del agua registrados en la cuenca.

Se han identificado áreas de interés por los servicios ecosistémicos que proporcionan. Entre estas, se encuentra la Reserva Nacional Salinas y Aguada Blanca, administrada por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), una entidad gubernamental dependiente del Ministerio del Ambiente (MINAM), cuya principal función es la conservación del agua. Sin embargo, el resto de las áreas propuestas carecen de estudios detallados sobre sus servicios ecosistémicos, por lo que su contribución hídrica permanece incierta.

El abastecimiento hídrico en la región está regulado por una infraestructura hidráulica que incluye embalses, trasvases, plantas de tratamiento y potabilización, canales de conducción y bocatomas, entre otros. No obstante, la gestión de esta infraestructura está distribuida entre varias entidades gubernamentales como AUTODEMA, EGASA y SEDAPAR, junto con la información meteorológica proporcionada por el SENAMHI. La falta de coordinación entre estas instituciones ha generado problemas en la gestión hídrica de la cuenca.

La mayoría de los aportes para los usos registrados en los planes de aprovechamiento hídrico de la cuenca provienen de la cuenca Camaná - Majes - Colca. Dado que no existen proyectos de nueva infraestructura hidráulica, el aprovisionamiento de agua para la cuenca Quilca - Vítor - Chili está actualmente limitado. Por lo tanto, los proyectos futuros deberán necesariamente incorporar aportes de otras cuencas, ya que la cuenca Quilca - Vítor - Chili no tiene la capacidad de incrementar su almacenamiento de agua en el presente.

El abastecimiento de agua en la cuenca depende del correcto funcionamiento de la infraestructura hidráulica. No obstante, los informes anuales del consejo de cuenca sobre el aprovechamiento y la disponibilidad hídrica señalan pérdidas causadas por filtraciones, atribuibles a construcciones inadecuadas o a canales no revestidos y otros sin mantenimiento por parte de la autoridad competente. Además, se reportan daños a la infraestructura debido a lluvias extremas, un fenómeno que se ha intensificado con el cambio climático.

An aerial photograph of a river valley. A river flows through the center, surrounded by green fields and some trees. In the background, there is a town and mountains under a clear sky. The right side of the image is overlaid with a dark blue gradient.

Capítulo II

Caracterización de demandas hídricas e identificación de las principales actividades económicas en la cuenca Quilca - Vítor - Chili

Con el presente capítulo se busca cumplir el siguiente objetivo:

Cuantificar la demanda hídrica subterránea, superficial, e identificar la infraestructura hidráulica relevante. Asimismo, se evaluará la planificación territorial de cada una de las regiones aportantes a la cuenca, con el fin de optimizar la gestión del recurso hídrico y garantizar un suministro sostenible que apoye el desarrollo económico y social en la región de Arequipa.

El análisis cualitativo, que se presenta a continuación, se basa en el uso del territorio registrado en los instrumentos de planificación de las provincias que integran la cuenca Quilca - Vitor - Chili y su cuenca de aporte Majes - Camaná - Colca. Este análisis se aplicará a cada una de las provincias correspondientes: Arequipa, Caylloma, Lampa y Espinar.

2.1. Condiciones generales del acceso al agua

Todos los usos del agua a nivel nacional están regulados por la Ley de Recursos Hídricos (Ley N.º 29338). Esta legislación establece que todas las personas tienen derecho al acceso al agua para satisfacer necesidades primarias, incluso en épocas de escasez. En Perú, los usos del agua se categorizan en tres tipos: 1) uso primario, 2) uso poblacional y 3) uso productivo, en ese orden de prioridad. En caso de concurrencia de solicitudes se debe seguir este orden. Cuando se presenten solicitudes dentro del mismo tipo de uso productivo, se priorizará según los siguientes criterios: a) mayor eficiencia en la utilización del agua, b) mayor generación de empleo y c) menor impacto ambiental. Si los recursos hídricos disponibles no son suficientes para satisfacer todas las solicitudes dentro de un mismo uso, se dará preferencia a aquellos usos que mejor sirvan al interés nacional.

Es importante destacar que el uso primario del agua es libre y gratuito, y no requiere licencia, permiso o autorización. Este uso incluye la preparación de alimentos, consumo directo, aseo personal y uso en ceremonias culturales, religiosas y rituales. El uso poblacional se refiere a la captación de agua de fuentes o redes públicas tratadas, para satisfacer necesidades básicas. Por su parte, el uso productivo involucra la utilización del agua en procesos de producción o actividades relacionadas. En Perú, en cuanto al uso productivo, se han registrado nueve tipos:

1. Agrario (pecuario y agrícola).
2. Acuícola y pesquero.
3. Energético.
4. Industrial.
5. Medicinal.
6. Minero.
7. Recreativo.
8. Turístico.
9. De transporte.

Los permisos para usos no previstos por la ley pueden ser otorgados conforme a las disposiciones de la ley, su reglamento (Decreto Supremo N.º 001-2010-AG) y el Texto Único Ordenado de la Ley N.º 27444 (Ley del Procedimiento Administrativo General).

2.2. Demanda hídrica en la cuenca Quilca - Vítor - Chili

En la cuenca Quilca - Vítor - Chili la administración de la infraestructura hidráulica, tanto para el agua superficial como subterránea, está a cargo de SEDAPAR o de las municipalidades correspondientes según el requerimiento. Esta gestión está regulada por el Decreto Supremo N.º 016-2021-VIVIENDA, que aprueba el Texto Único Ordenado del Reglamento del Decreto Legislativo N.º 1280 (Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento), aprobado por Decreto Supremo N.º 019-2017-VIVIENDA. Además, las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS), que dependen directamente de las municipalidades para su organización y registro, operan en el ámbito rural bajo la Ley Orgánica de Municipalidades, Ley N.º 27972; y el TUO del Reglamento de la Ley General de Saneamiento, Decreto Supremo N.º 023-2005-VIVIENDA.

De acuerdo con los planes de aprovechamiento y disponibilidad hídrica del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca - Chili se otorgan derechos sobre el agua superficial para usos poblacionales y productivos. Los usos productivos permitidos para el agua superficial incluyen: agrícola, industrial, energético, minero, acuícola y recreativo. En cuanto al agua subterránea se registran los mismos dos tipos de usos, pero el uso productivo solo está documentado para los sectores económicos agrícola, industrial y minero.

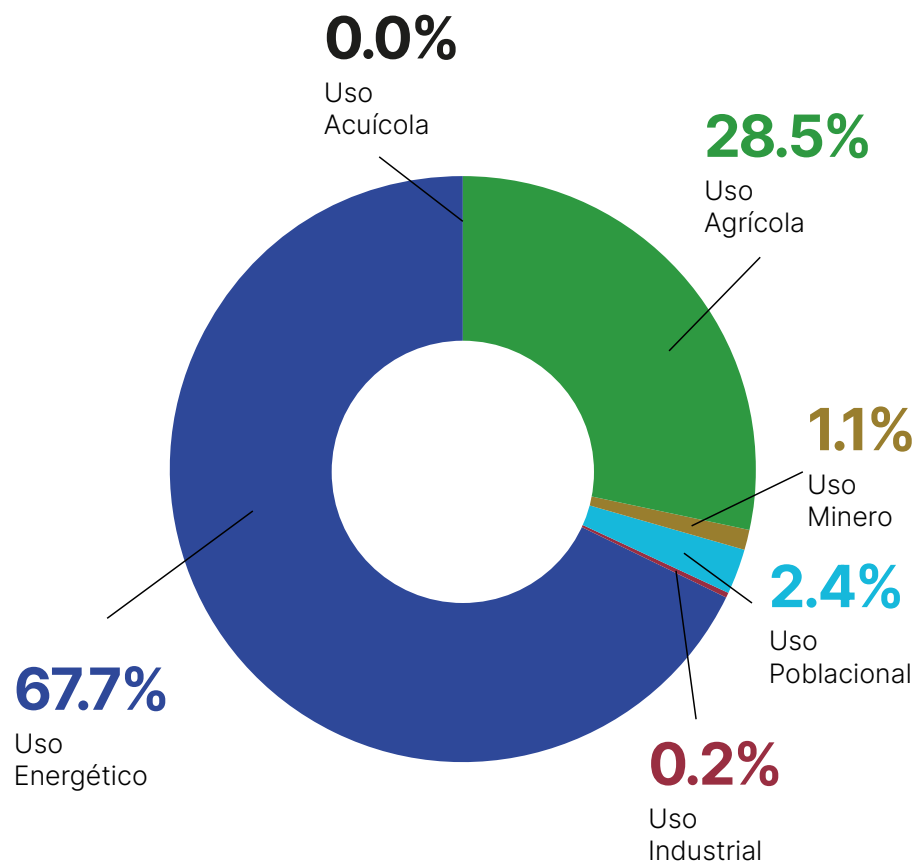
En la tabla 2 se presentan las ratios estimadas según el plan actualizado de gestión de recursos hídricos de la cuenca Quilca - Chili - 2023.¹

Tabla 2.
Consumo de agua acumulado para para la cuenca Quilca - Vítor – Chili

Usos	Superficial (hm ³)	Subterránea (hm ³)	TOTAL (hm ³)
USOS CONSUNTIVOS	1080.39	15.21	1095.6
USOS AGRARIOS	953.45	0.01	953.46
Uso agrícola	953.45	0.01	953.46
USOS NO AGRARIOS	126.94	15.2	142.14
Uso minero	36.81	9.6	46.41
Uso poblacional	80.74	2.32	83.06
Uso industrial	6.24	3.28	9.52
Otros usos	3.15		3.15
USOS NO CONSUNTIVOS	2261.32		2261.32
Uso energético	2261.13		2261.13
Uso acuícola	0.19		0.19
TOTAL	3341.71	15.21	3356.92

¹ La variación de datos para el mismo parámetro se ha extraído literalmente de los reportes del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Vítor - Chili. En el presente documento, que constituye un estudio de diagnóstico, se recomienda que el equipo de trabajo discrimine y seleccione los datos relevantes según su conveniencia y utilidad para el análisis.

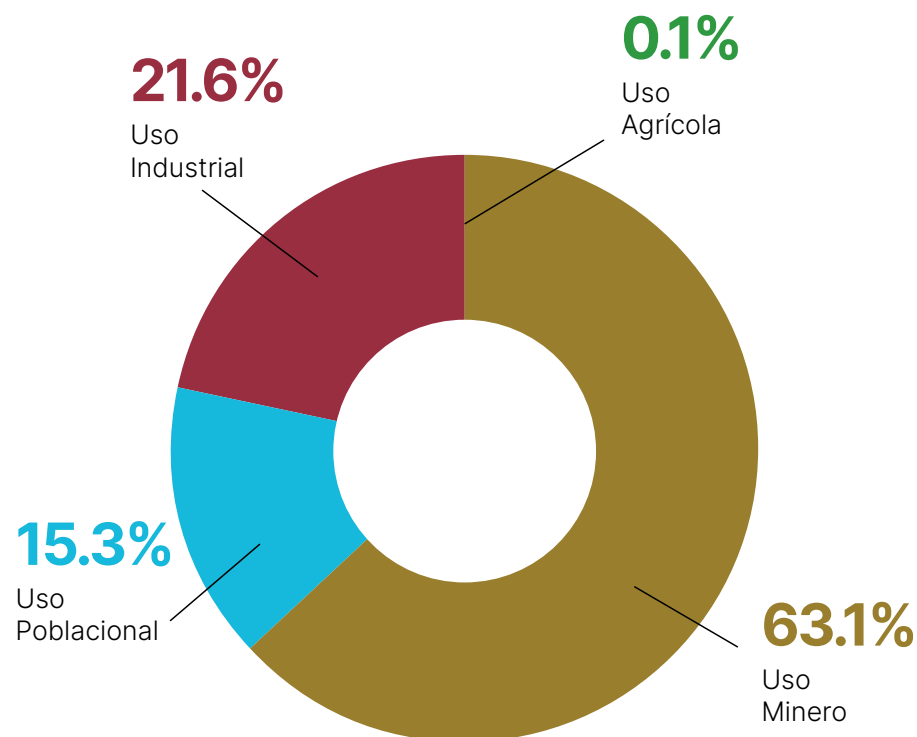
Figura 7.
**Usos del agua superficial (3356.92 hm³)
 en la cuenca Quilca - Vitor - Chili**



Se puede observar en la figura 7 que la mayor cantidad de agua que se requiere en la cuenca es para uso energético (representando un 67.7 % con 2261.32 hm³), sin embargo, se debe precisar que este es un uso de agua no consuntivo, es decir, que el agua utilizada en este proceso no implica la pérdida permanente, a diferencia del agua consuntiva, que se consume y no se reincorpora al sistema hídrico de forma significativa. El agua no consuntiva se retorna al medio ambiente en condiciones similares a las originales, después de haber pasado por un proceso mínimo de tratamiento. Ejemplos de usos no consuntivos incluyen la generación de energía hidroeléctrica y el enfriamiento industrial, donde el agua es devuelta a su fuente de origen. La correcta gestión de agua no consuntiva es crucial para la sostenibilidad de los recursos hídricos, permitiendo una evaluación más precisa del impacto ambiental y la disponibilidad futura de agua.

Aunque los aportes para la generación eléctrica se pueden calcular en hectómetros cúbicos, es fundamental considerar los caudales específicos en los ríos: la Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A. utiliza el río Hurca Mocco en Lluta con un caudal de 80 l/s, la margen derecha del río Puente en Huanca con 120 l/s, y el río Chili para el sistema de enfriamiento de la central térmica de EGASA con 250 l/s. Por otro lado, la infraestructura hidráulica principal para la irrigación en La Joya, operada por la empresa GEPSA, maneja un caudal de 9 a 10 m³/s.

Figura 8.
Usos agua subterránea (15.21 hm³)
en la cuenca Quilca - Vitor - Chili



El uso de agua subterránea presenta una dinámica diferente (figura 8). Las actividades productivas, especialmente en los sectores industrial y minero, concentran el 84.7 % del total del uso de agua subterránea. Es importante señalar que, de acuerdo con la Ley de Recursos Hídricos, el consumo poblacional debe tener prioridad. Sin embargo, la industria ha adaptado sus procesos a este tipo de consumo, lo que pone en riesgo el suministro hídrico debido a la inestabilidad de los acuíferos y la falta de estudios hidrogeológicos adecuados para su conservación.

Esta demanda hídrica responde a la dinámica económica específica de cada territorio y los usos registrados para esta. Por lo tanto, en la cuenca se evaluarán las unidades administrativas correspondientes a las provincias que integran la cuenca Quilca - Vitor - Chili, como Arequipa y Caylloma, así como la cuenca de aporte Camaná - Majes - Colca, que incluye las provincias de Lampa y Espinar. Los detalles de los planes revisados se presentan en la tabla a continuación (tabla 3).

Tabla 3.
Instrumentos de planificación urbana
cuencas Quilca - Vitor - Chili y Camaná - Majes - Colca

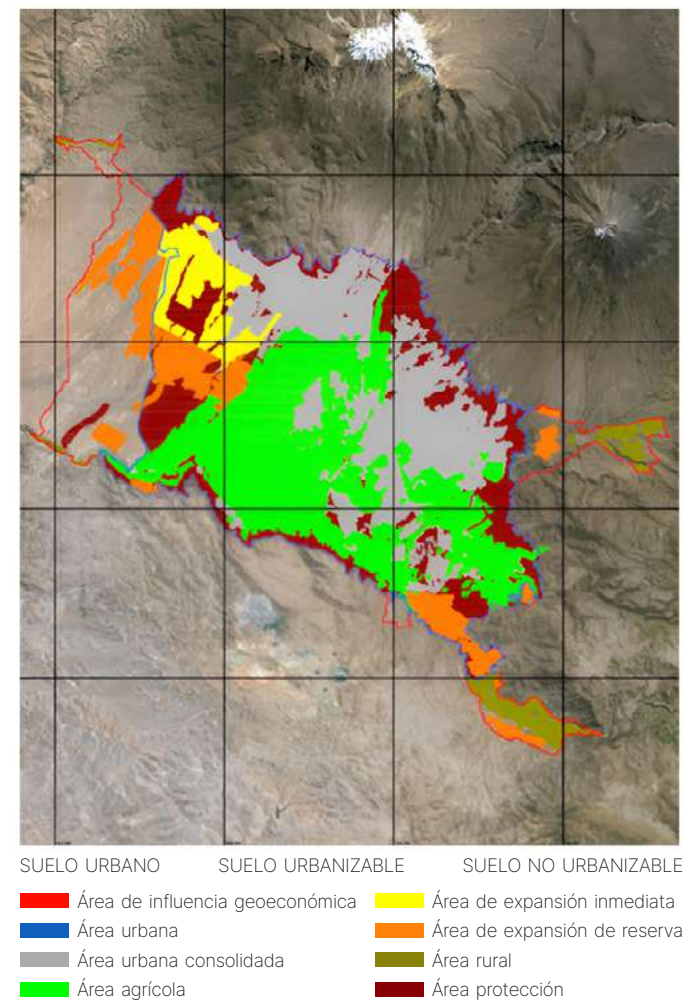
Cuenca	Provincia	Tipo de documento
Quilca - Vitor - Chili	Arequipa	Plan de Desarrollo Metropolitano - PDM 2016 - 2025
	Caylloma	Plan de Desarrollo Estratégico Concertado 2018 - 2030
Majes - Camaná - Colca	Lampa	Plan de Desarrollo Económico Local de la provincia de Lampa 2021 - 2025
	Espinar	Reglamento del Plan de Desarrollo Urbano de la ciudad de Yauri y los esquemas de ordenamiento urbano de los distritos de la provincia de Espinar 2017 - 2027

3. Provincias

3.1 Provincia de Arequipa

En el caso de la ciudad de Arequipa se ha definido un área de influencia geoeconómica que incluye zonas rurales, áridas y de protección. Además, se ha considerado que una de las principales demandas urbanas es el agua, lo cual restringe la expansión poblacional hacia áreas de riesgo y más allá de los límites jurisdiccionales. En particular, la expansión urbana se ve limitada en zonas superiores a los 2600 m s. n. m., que es el límite altitudinal para la provisión de agua por parte de SEDAPAR, como se detalla en el mapa adjunto (figura 9).

Figura 9.
Mapa de clasificación general del suelo para Arequipa metropolitana



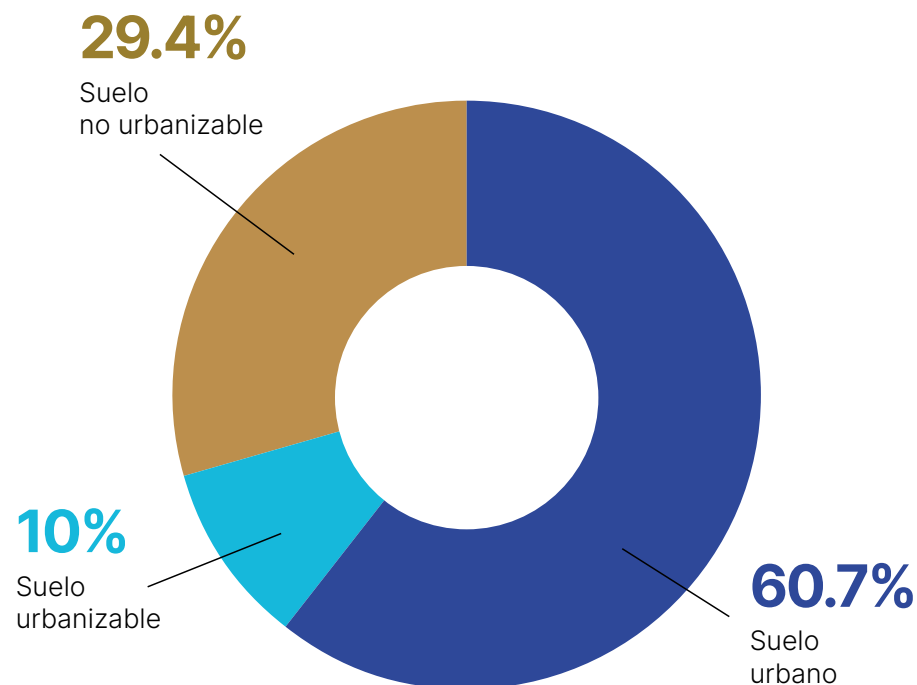
Fuente: Memoria del PDM Arequipa Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa 2016 - 2025 Región y Provincia de Arequipa.

En este contexto, el Instituto Municipal de Planeamiento de la Municipalidad Provincial de Arequipa, en su clasificación general de suelos formulada en 2015, distingue tres categorías para el uso del suelo: urbano, urbanizable y no urbanizable. Esta clasificación proporciona una base para la planificación y gestión del territorio. Los detalles de esta clasificación se presentan en la tabla 4 y la figura 10.

Tabla 4.
Clasificación general uso del suelo
Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa

SUELO URBANO	Área Urbana	Área Urbana Consolidada	
		Área Urbana Agrícola	
		Área Urbana con Restricciones para su Consolidación	38327.48
		Área Urbana en Alto Riesgo no Mitigable	
SUELO URBANIZABLE	Área para Expansión Urbana	Área para Expansión Urbana Inmediata	2052.62
		Área para Expansión Urbana de Reserva	4243.58
SUELO NO URBANIZABLE	Área Rural Área de Protección Eriazos	Alto Riesgo	1297.21
		Fuera de Reserva Natural	8527.03
		Recursos Hídricos	8737.42
		Régimen de Protección	
Total (ha)			63185.34

Figura 10.
Porcentaje general por tipo de uso del suelo
Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa



La figura 10 muestra que Arequipa metropolitana cuenta únicamente con un 10 % de su territorio clasificado como urbanizable, lo cual es problemático dado que el 26 % del área actual de la ciudad ha experimentado una expansión en la última década. Este crecimiento ha tenido graves consecuencias ambientales, sociales y económicas, como se detalla en el Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa, elaborado por el Instituto Municipal de Planeamiento de Arequipa.

3.2 Provincia de Caylloma

En la provincia de Caylloma, el Plan de Desarrollo Estratégico Concertado 2018-2030 señala que la región presenta una alta magnitud de precipitaciones pluviales durante el verano, acumulándose en lagos, lagunas y embalses. Esta provincia, que es una de las más ricas en fuentes hídricas de la región, proporciona importantes aportes hídricos a los pobladores de Arequipa, Caylloma y Camaná, a través del río Colca y sus afluentes. La hidrografía de Caylloma está definida por tres cuencas hidrográficas: la cuenca del Apurímac, la cuenca del Quilca-Siguas y la cuenca del Colca, contribuyendo con agua a dos de las tres vertientes del Perú.

La agricultura es la principal actividad económica en Caylloma, siendo el suelo un recurso crucial para la producción agrícola destinada tanto al autoconsumo como a los mercados locales y regionales. Sin embargo, el distrito de Majes se destaca por su producción agrícola intensiva, siendo un importante proveedor de alimentos de consumo masivo y materias primas para plantas agroindustriales. Aproximadamente la mitad de esta producción se destina a la alimentación del ganado lechero, lo cual constituye una fuente significativa de ingresos para los agricultores. La provincia cuenta con 14 637 unidades agropecuarias y una superficie agrícola de 1013 439.34 ha en sus veinte distritos. No obstante, se reportan problemas de pérdida de áreas cultivables debido a la escasez de agua.

Caylloma no dispone de un plan de desarrollo urbano que regule adecuadamente el uso del suelo en relación con los recursos hídricos. Aunque se ha declarado como un territorio de alta producción hídrica en su Plan de Desarrollo Estratégico Concertado, carece de planes adecuados para la conservación de los ecosistemas que regulan el suministro hídrico. La demanda nacional de potabilización de agua ha llevado a una visión que prioriza el tratamiento del agua para consumo humano, sin considerar la necesidad de asegurar la continuidad del agua en los ecosistemas que permiten el ciclo hidrológico.

El operador del agua es SEDAPAR, que enfrenta problemas de abastecimiento irregular y contaminación de cuerpos de agua superficiales. El río Colca recibe aguas residuales de dieciséis de los veinte distritos de Caylloma, que luego se dirigen a los ríos Majes y Camaná. La situación podría mejorar con la construcción de cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales y una planta de tratamiento de agua potable. Sin embargo, el Plan de Desarrollo Estratégico Concertado para 2030 se centra únicamente en la potabilización del agua y el suministro para el consumo humano, sin abordar adecuadamente el aprovisionamiento de agua para la agricultura. Esta deficiencia en la planificación pone en riesgo no solo el desarrollo económico de la provincia, sino también la seguridad alimentaria de la cuenca Quilca - Vítor - Chili.

3.3 Provincia de Lampa

En la provincia de Lampa, según el Plan de Desarrollo Económico Local 2021-2025, la ubicación hidrográfica pertenece a la vertiente del océano Pacífico y se integra en las cuencas de los ríos Coata, Ramis, Camaná y Tambo (siendo estos los más relevantes). La provincia abarca un total de 612 791 hectáreas, de las cuales 16 032.52 ha tienen potencial agrícola. De estas, 9872.00 ha están actualmente en uso para la agricultura, mientras que 6160.52 ha con potencial agrícola aún no se utilizan. Lampa dispone de agua suficiente solo entre octubre y marzo; durante el resto del año, la disponibilidad es insuficiente para mantener la producción agrícola. La principal fuente de agua en la provincia es la laguna Lagunillas, utilizada para el consumo poblacional.

La provincia tiene una población de 40 856 habitantes, con una tasa de crecimiento anual de -1.6 %. Las actividades económicas estratégicas en Lampa abarcan la agricultura, la ganadería, el turismo y la pesca, que son fundamentales para la dinámica económica de la provincia. No obstante, la principal problemática en la regulación hídrica se centra en el suministro de agua potable para el consumo de la población, sin que se aborden adecuadamente las necesidades de los sectores productivos.

3.4 Provincia de Espinar

La provincia de Espinar cuenta con una población de 57 582 hab. con una tasa de crecimiento promedio anual de -0.8 %, según el censo del 2017, llevado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI. Las características de la clasificación general de suelos y las áreas designadas para la estructuración urbana en el ámbito del Plan de Desarrollo Urbano de la provincia de Espinar, se organiza en varias categorías, incluyendo Zona Residencial (R), Zona de Vivienda Taller (I1-R), Zona Industrial (I), Zona Comercial (C), Zona Pre Urbana (PU), Zona de Recreación Pública (ZRP), Zona de Usos Especiales (OU), y otras específicas como la Zona de Reglamentación Especial (ZRE) y Zona Monumental (ZM). Esta zonificación urbana permite gestionar de manera ordenada y sostenible el crecimiento y desarrollo de Espinar, atendiendo tanto a la protección del medio ambiente como a las necesidades económicas y sociales de la población. El Plan de Desarrollo Urbano revisado presenta una clasificación adecuada de los espacios urbanos mencionados, pero no indica cómo el territorio se divide ni dónde se ubica la población respecto a esta clasificación.

4. Conclusiones

La planificación urbana en las provincias que forman parte de la cuenca presenta una notable variabilidad. La mayoría de las municipalidades provinciales dentro de esta área no disponen de un plan de desarrollo urbano conforme a lo establecido en la Ley Orgánica de Municipalidades, con excepción de la Municipalidad Provincial de Arequipa, cuyo plan aún no ha entrado en vigor. En el caso de la Municipalidad Provincial de Espinar, aunque el plan de ordenamiento sigue la normativa y establece una clasificación de zonas, no especifica territorialmente la cantidad de áreas asignadas bajo cada categoría. Esta falta de delimitación clara impide una adecuada gestión hídrica, especialmente en espacios que proporcionan servicios ecosistémicos o que requieren conservación.



Capítulo III

Balance hídrico de la cuenca Quilca - Vítor - Chili para los usos registrados y su impacto en el desarrollo económico y social

Con el presente capítulo se busca cumplir el siguiente objetivo: evaluar la demanda hídrica para todos los usos registrados en la cuenca por sector hidráulico. En este capítulo se abordará la demanda hídrica histórica y actual de los diferentes sistemas hidráulicos para los diversos usos registrados, tales como los sectores agrario, industrial, minero, poblacional, entre otros. Además, se proyectarán las demandas futuras para cada uno de estos usos.

3. Balance hídrico

El balance hídrico de una cuenca hidrográfica es un concepto fundamental en la gestión del agua, y está referido a la cuantificación de todas las entradas y salidas del líquido elemento dentro de una cuenca específica, teniendo en cuenta un período de tiempo determinado. Este balance se formula mediante la ecuación:

Entrada de agua – Salida de agua = Cambio en almacenamiento

Las entradas de agua incluyen todas las fuentes que aportan a la cuenca, tales como la precipitación, la escorrentía superficial desde otras cuencas, la infiltración subterránea y la importación de agua mediante infraestructuras hidráulicas. Por otro lado, las salidas de agua abarcan todos los procesos que retiran el líquido elemento de la cuenca, como la evapotranspiración, la escorrentía hacia otros cuerpos de agua, la exportación de agua fuera de la cuenca y la extracción para consumo humano, agrícola e industrial.

En cuanto al cambio en el almacenamiento se indica que son las variaciones en el agua contenida dentro de la cuenca ya sea en embalses, lagos, acuíferos o suelos. Un balance hídrico positivo indica que las entradas de agua superan a las salidas, lo cual resulta en un aumento en el almacenamiento de agua. Por el contrario, un balance hídrico negativo implica una reducción en el almacenamiento, propiciando el déficit, lo cual

puede llevar a la sobreexplotación de los recursos hídricos y al deterioro de los ecosistemas dependientes del agua.

El análisis del balance hídrico es crucial para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), ya que proporciona una visión cuantitativa de la disponibilidad y demanda de agua en una cuenca. Esta información es esencial para la planificación y toma de decisiones en la gestión del agua, incluyendo la asignación de recursos, la planificación de infraestructuras hidráulicas y la implementación de políticas de conservación y uso sostenible del agua. El balance hídrico permite identificar situaciones de déficit o superávit hídrico, y es una herramienta clave para la adaptación al cambio climático, ya que ayuda a evaluar cómo las alteraciones en el clima pueden afectar la disponibilidad del agua.

Para entender sobre las condiciones del balance hídrico en la cuenca Quilca - Vítor - Chili se debe describir el uso del agua en las cuencas involucradas. En este caso, para los usos registrados en Arequipa, la cuenca Quilca - Vítor - Chili y la cuenca de aporte Camaná - Majes - Colca son preponderantes.

3.1. Balance hídrico de la cuenca Camaná - Majes - Colca

Según la evaluación de recursos hídricos de la cuenca Camaná - Majes - Colca, elaborado por la Autoridad Nacional del Agua - ANA en el 2015, el sistema de gestión de recursos hídricos para esta cuenca se caracteriza por una infraestructura hidráulica compleja, que incluye embalses, canales y captaciones. La parte alta de la cuenca incluye la región del Alto Colca, donde se ingresa una cantidad significativa de recursos hídricos. La mayor parte de este recurso es derivada hacia la cuenca Quilca - Chili a través de dos sistemas de trasvase: Zamácola y Tuti Siguan, los cuales son regulados por cuatro embalses: El Paño, Bamputaño, Dique de los Españoles y Condoroma. Las descargas del embalse de Condoroma, junto con las aportaciones de las subcuencas adyacentes y la bocatoma Tuti,

son canalizadas a través del canal de aducción Tuti Siguas hacia la cuenca Siguas. Los excedentes de agua no captados por la bocatoma Tuti fluyen hacia la parte media del río Colca.

En la zona media-baja del río Colca se encuentra el trasvase Tuti Siguas, que satisface la demanda hídrica propia de la cuenca del Colca. Estas demandas son atendidas parcialmente con los recursos del río Colca, aunque con ciertas limitaciones debido a las válvulas de captación, y complementadas con agua de manantiales y aportaciones de quebradas locales. Existen, además, otras demandas en la zona que no dependen del canal Tuti Siguas, las cuales se abastecen del agua de manantiales y quebradas, aunque estas fuentes no garantizan un suministro continuo.

La subcuenca del río Molloco, ubicada entre el medio Colca y el bajo Colca, incluye a la laguna Machucocha, y satisface pequeñas demandas locales. En el bajo Colca, el río Huambo recibe filtraciones de la laguna Mucurca, que no tiene un desagüe natural, pero mantiene un equilibrio de volumen a través de la aportación de su subcuenca, la evaporación y las filtraciones.

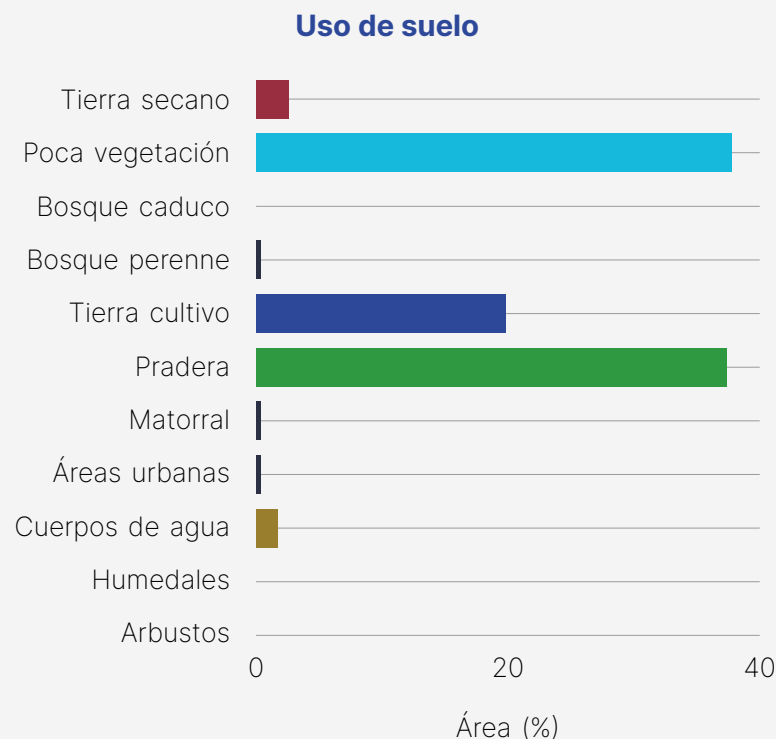
En la margen izquierda del Colca, la subcuenca de Castilla Alta - Andagua alberga lagunas reguladas principalmente para satisfacer la demanda hidroeléctrica, además de las agrícolas, mineras y poblacionales. La laguna Chachas, situada en la parte baja de esta cuenca, filtra parte del agua hacia la subcuenca de la laguna Mamacocha, una laguna natural no regulada, que también desemboca en el río Colca.

Tras el bajo Colca el río toma el nombre de Majes y recibe aportes de sus subcuencas, así como de los afluentes provenientes de Capiza, también en Castilla Alta, y Chuquibamba. Estas áreas se benefician de las aportaciones de los glaciares del volcán Coropuna, y tienen numerosas demandas agrícolas.

En el río Majes, tras la incorporación de los afluentes, se presentan demandas hídricas considerables en el valle de Majes. Finalmente, en la parte baja de la cuenca, se encuentra el valle de Camaná, que alberga varias tomas de agua para satisfacer las demandas agrícolas. Además, en esta zona se localiza el acuífero de Camaná, que presenta un cono de depresión, alimentado por los retornos de la zona agrícola, contando con varios pozos que abastecen la demanda urbana.

El Ministerio del Ambiente - MINAM y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, en la plataforma de la Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI - PERÚ (IDSEEP), se registran los diversos usos de suelo para la cuenca de Camaná - Majes - Colca, como se puede observar en el siguiente gráfico:

Figura 11.
Usos de suelo para la cuenca Camaná - Majes - Colca



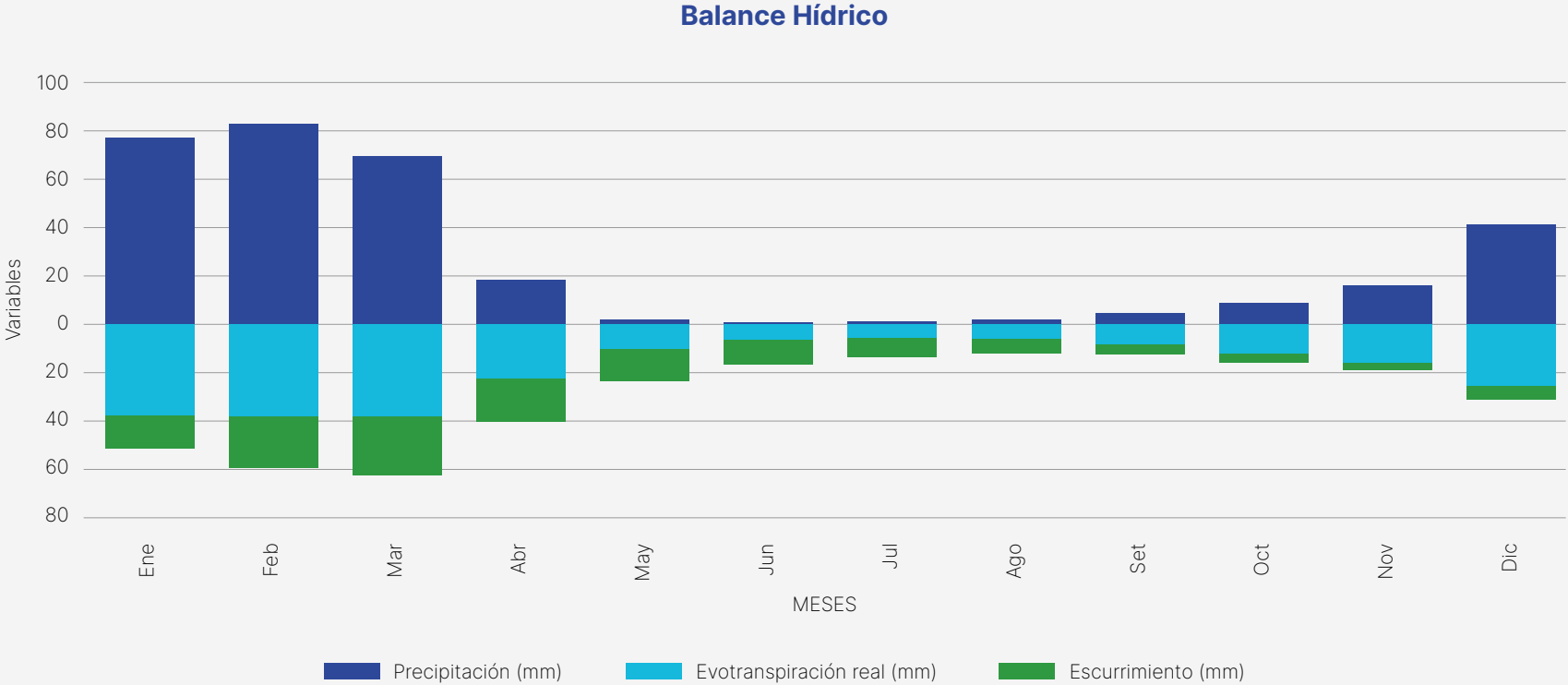
Fuente: Plataforma de la Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI - PERÚ (IDESEP).

En la figura se observa que el 2.47 % del área total de la cuenca, que abarca 17 121.86 km², está destinado a tierras de secano. Esta categoría de uso del suelo se refiere a la práctica agrícola sin la utilización de sistemas de riego artificial, dependiendo exclusivamente de las precipitaciones naturales para el suministro de agua. La ausencia de infraestructuras hidráulicas para el control y distribución del agua implica que la productividad agrícola en estas tierras está altamente influenciada por la variabilidad climática y los patrones de precipitación de la región.

Un 37.94 % del área presenta escasa vegetación. Por otro lado, el 37.68 % del área corresponde a praderas, un ecosistema caracterizado por extensas áreas de vegetación herbácea, predominantemente compuesta por pastos. Estas praderas se encuentran en regiones con precipitaciones moderadas y estacionales, y suelen incluir gramíneas y arbustos. Las praderas desempeñan un papel crucial en la preservación de los recursos hídricos, el control de la erosión, la conservación de humedales y la adaptación al cambio climático, entre otros beneficios. Finalmente, el 19.95 % del área se clasifica como tierra cultivable.

En este registro también se puede observar el balance hídrico mensual de la cuenca, donde se evidencia que, durante ocho meses del año, entre abril y noviembre, la evaporación real supera a la precipitación; como se puede observar en la siguiente figura.

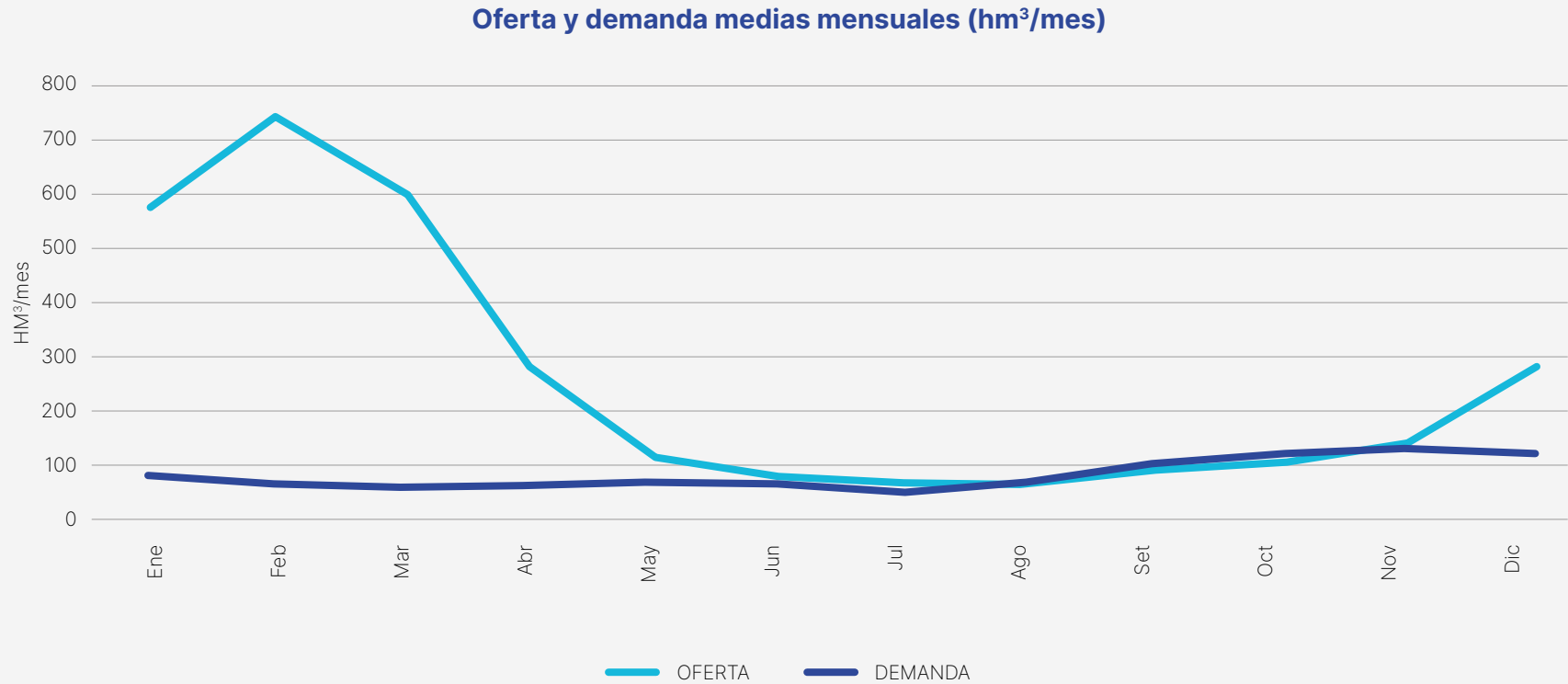
Figura 12.
Balance hídrico estimado por mes en la cuenca Camaná - Majes - Colca



Fuente: Plataforma de la Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI - PERÚ (IDSESP).

De acuerdo con la comparación entre la oferta y la demanda media mensual en la cuenca Camaná - Majes - Colca se observa que, durante los meses de agosto a noviembre, pueden ocurrir déficits hídricos debido a que la demanda supera la oferta disponible. Como se puede evidenciar en la siguiente figura.

Figura 13.
Ofertas y demandas medias mensuales para la cuenca Majes - Camaná - Colca



Fuente: Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Camaná - Majes - Colca elaborado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2015).

3.2. Balance hídrico cuenca Quilca - Vítor - Chili

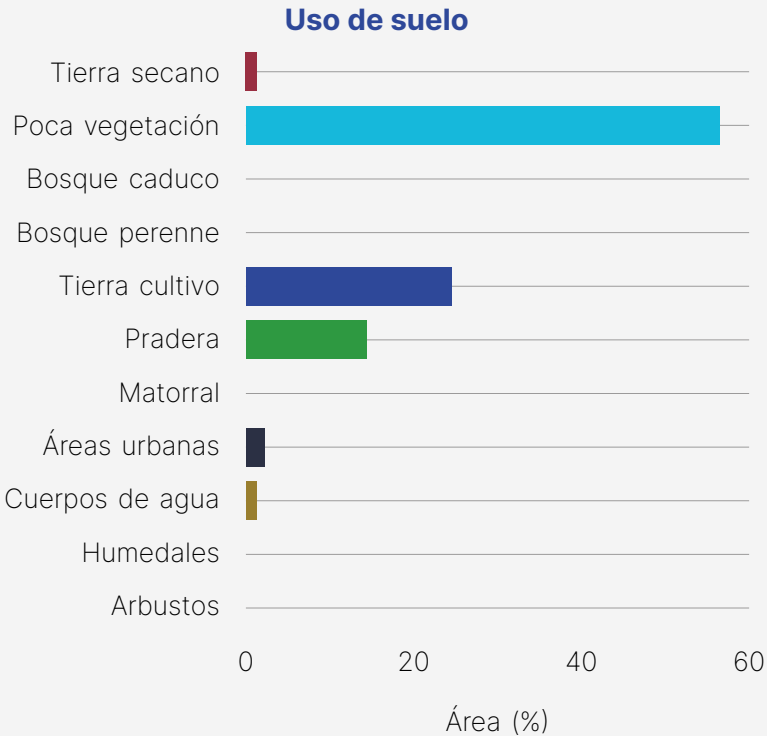
El análisis del balance hídrico en esta cuenca está registrado, desde el 2017, por el Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca - Chili en sus Planes de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica, en el ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca - Chili para los años 2016, 2019, 2020, 2022 y 2023. Para efectos de esta evaluación se tomaron solo los reportes de los años 2019, 2020, 2022 y 2023, y es que para el 2016 los registros están incompletos, y para los años 2018 y 2021 no se presenta información. Los balances llevan la propuesta de la organización administrativa de acuerdo a la regulación hídrica en la cuenca, conformado en tres sistemas hidráulicos que son los siguientes:

- A. Sistema regulado Chili.
- B. Sistema regulado Majes Sigwas.
- C. Sistemas no regulados:
 - a. Junta de usuarios Chili.
 - b. Junta de usuarios río Yura.
 - c. Junta de usuarios del valle de Vítor.

Los datos de todos los registros se pueden verificar en el anexo III.

Según la plataforma de la Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI - PERÚ (IDESEP), en el siguiente gráfico se puede evidenciar los usos que se le da al suelo en la cuenca Quilca - Vítor - Chili.

Figura 14.
Usos de suelo para la cuenca Quilca - Vítor - Chili

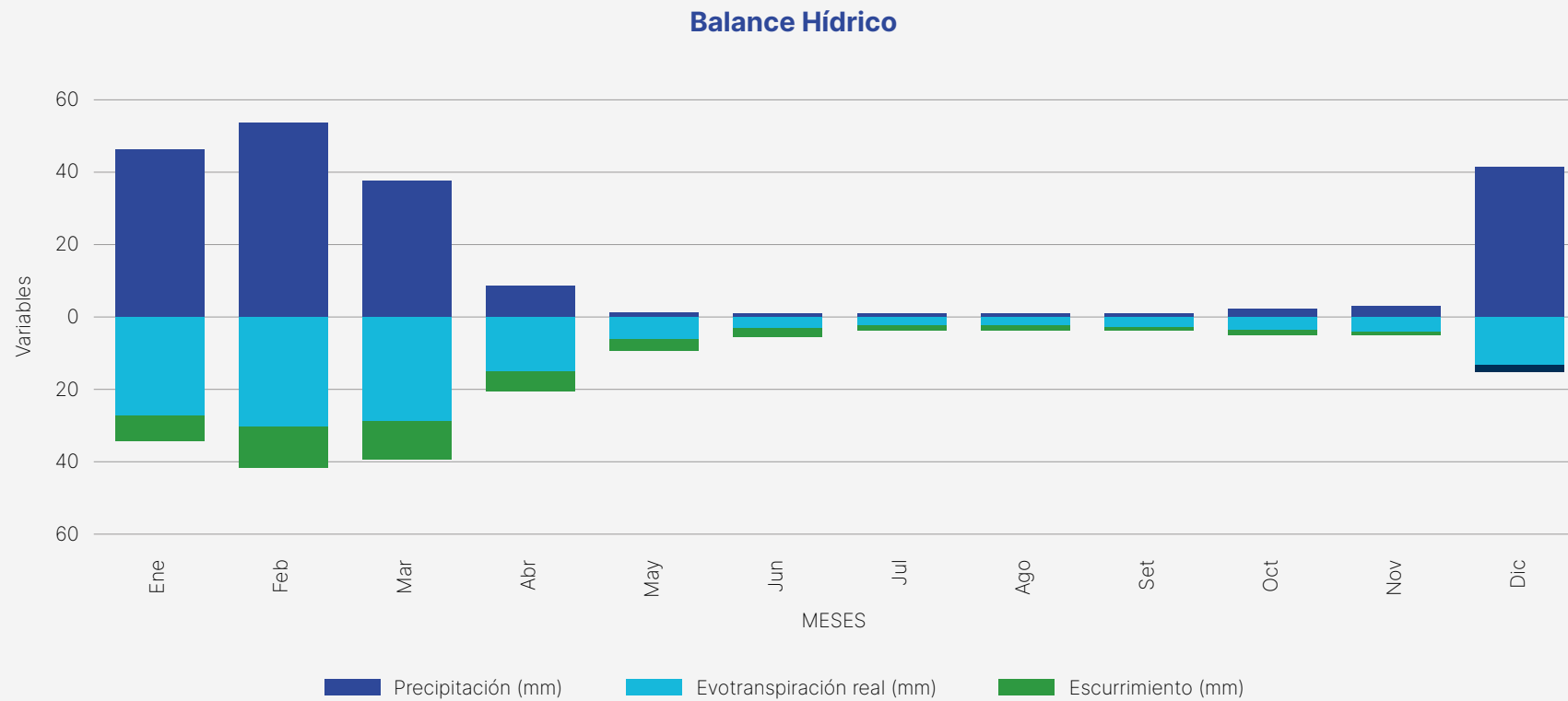


Fuente: Plataforma de la Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI - PERÚ (IDESEP).

En cuanto al uso del suelo, las tierras de secano representan el 1.46 % del total de la superficie de la cuenca, que abarca 13 514.46 km². Un 56.19 % de la cuenca está cubierto por ecosistemas con escasa vegetación, una proporción significativamente mayor en comparación con la cuenca Majes - Camaná - Colca. El 24.36 % del total de la cuenca está destinado a tierras cultivables, también mayor que en la cuenca de Camaná - Majes - Colca. Es importante destacar que la cuenca Quilca - Vítor - Chili presenta una mayor área desértica, en comparación con la cuenca de Camaná - Majes - Colca. Lo anterior se evidencia, con la cobertura del suelo, ya que un 56.19 % se presenta con escasa vegetación en la cuenca Quilca - Vítor - Chili, frente al 37.94 % de la cuenca Camaná - Majes - Colca. Sin embargo, Quilca - Vítor - Chili tiene una mayor proporción de tierras cultivables, lo que implica una mayor demanda de aprovisionamiento hídrico, que es derivado de la cuenca de aporte. Las praderas representan el 14.52 % del área y las zonas urbanas el 2.17 %.

En el siguiente gráfico se puede observar el balance hídrico estimado para cada mes en la cuenca Quilca - Vítor - Chili. Esta es muy similar a la de la cuenca de aporte, pero con la característica particular de presentar mayor porcentaje de suelos de tipo litosoles (suelos poco desarrollados y que poseen una capa superficial muy somera con una estructura pedregosa o rocosa). La escasa profundidad y la alta proporción de fragmentos de roca y piedras, que impiden el desarrollo de un horizonte superior rico en materia orgánica y nutrientes. Los litosoles se encuentran comúnmente en terrenos montañosos o colinas con fuertes pendientes. En términos de escorrentía superficial, los litosoles favorecen significativamente este fenómeno debido a varias razones: baja capacidad de retención de agua, limitada capacidad de infiltración, pendientes empinadas y riesgo de erosión.

Figura 15.
Balance hídrico estimado por mes en la cuenca Quilca - Vitor - Chili



Fuente: Plataforma de la Infraestructura de Datos Espaciales del SENAMHI – PERÚ (IDSEEP).

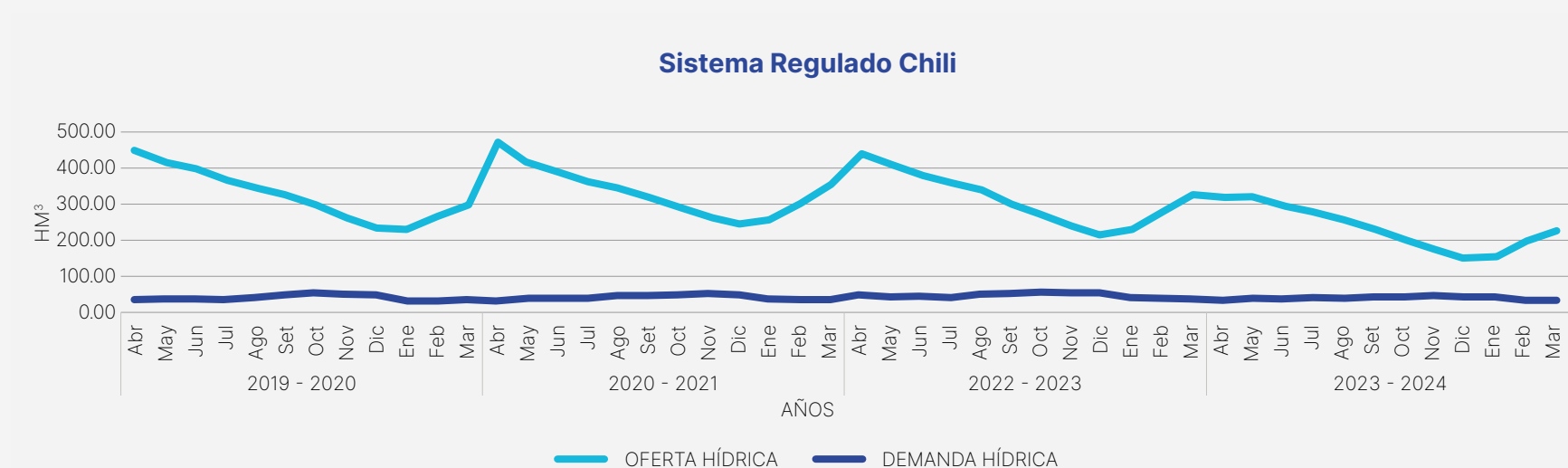
En el análisis del balance hídrico estimado de la cuenca Quilca - Vitor - Chili se observa un comportamiento estacional distintivo. Durante los meses de diciembre a marzo la cuenca recibe un aporte hídrico significativo debido a las precipitaciones, las cuales superan la evapotranspiración real (ETR). La ETR es un proceso que combina la evaporación del agua desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas, siendo un indicador esencial para entender la transferencia de agua desde el suelo y la vegetación hacia la atmósfera. La cantidad de agua que se evapotranspira depende de factores como la disponibilidad real del agua, las características del suelo, la vegetación y el clima de la región. Por otro lado, en el período comprendido entre mayo y noviembre, se observa que la evapotranspiración excede al aporte hídrico debido a la reducción en las precipitaciones, un patrón característico de las regiones desérticas.

Este comportamiento destaca la importancia de la gestión hídrica en la cuenca, especialmente en la planificación y uso eficiente de los recursos disponibles durante los períodos de déficit hídrico.

3.2.1. Sistema regulado Chili

El balance hídrico de la cuenca Quilca - Vitor - Chili para el sistema hidráulico del Chili regulado, que incluye cuatro represas en la cuenca Quilca - Chili y tres de estas en el sector Alto Colca, conectadas al sistema mediante el canal Pañe-Sumbay, suministra agua para diversos usos. Entre estos se encuentran el abastecimiento de plantas de tratamiento de agua potable, como La Tomilla y Miguel de la Cuba Ibarra, la generación de energía por parte de EGASA y GEPSA, así como el suministro para diversas industrias, actividades mineras, agrícolas y pecuarias, principalmente en la ciudad de Arequipa y los distritos de La Joya antigua y nueva. Este balance puede observarse en el siguiente gráfico:

Figura 16.
Ofertas y demandas mensuales para la cuenca Quilca - Vítor - Chili.
Sistema regulado del Chili



Fuente: Planes de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili para los años 2019, 2020, 2022 y 2023.

El balance hídrico para este sistema está registrado en superávit calculado por el Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca - Chili, pero en este contexto debemos anotar lo siguiente:

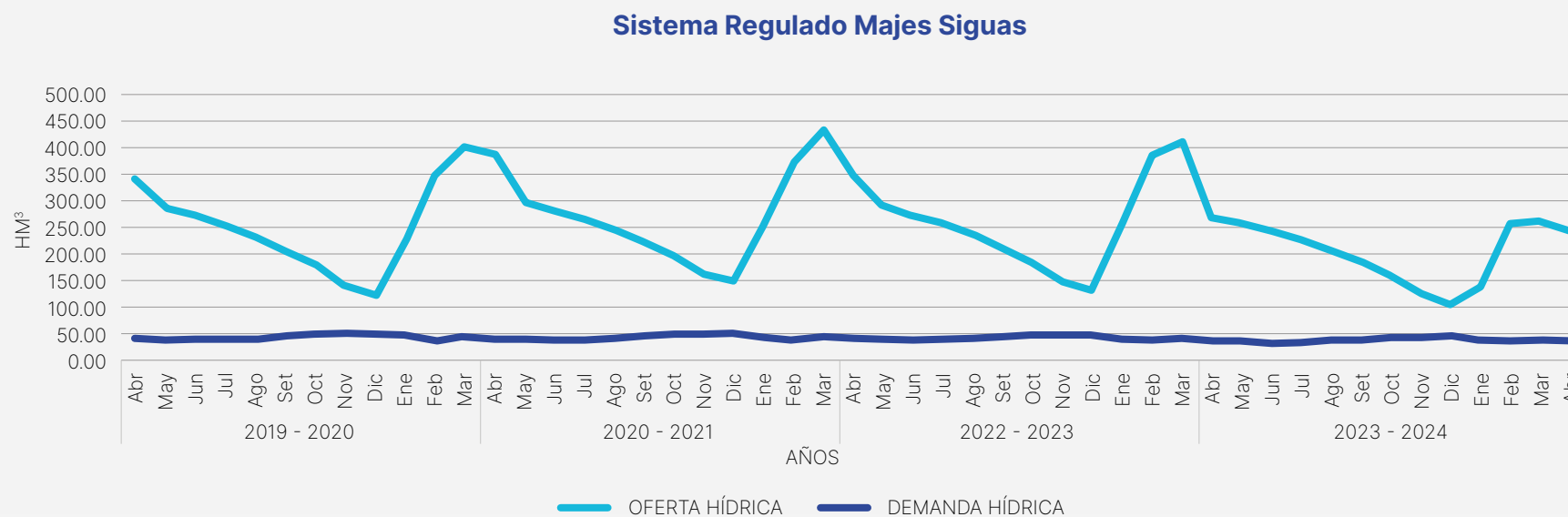
- La recarga hídrica para este sistema se da en la cuenca de aporte Camaná - Majes - Colca en el sector Alto Colca, trasvasando agua del río Colca mediante obras de regulación, captación y derivación, zonas de tratamiento especial por tratarse de obras de regulación de trasvase y recursos compartidos entre dos cuencas; con obras como el canal de Zamácola construidas en 1950 y bajo la administración de dos entidades —AUTODEMA y EGASA—, además de la infraestructura de riego operada por las juntas de usuarios. En todo este sistema complejo de regulación se han reportado innumerables problemas con consecuencias en el desabastecimiento hídrico en la ciudad de Arequipa. La compleja operación del sistema con al menos tres tipos de organizaciones distintas, sin planes de operación y mantenimiento visibles, con periodos de lluvias atípicos por el reporte de consecuencias frente al cambio climático, entregan incertidumbre para el aprovisionamiento de agua en la parte de la cuenca con mayores demandas poblacionales, industriales, mineras, agropecuarias y agrícolas.
- Se puede evidenciar en el reporte acumulado que, para los años de registro en la cuenca, se presenta una tendencia a la baja en cuanto a la oferta hídrica, lo que puede deberse a precipitaciones anormales en torno a las variaciones por el cambio climático, colmatación de las represas por acumulación de sedimentos y falta de mantenimiento. El crecimiento de la población, la oferta de proyectos para consolidar el crecimiento económico en la región Arequipa y el incremento evidente de los requerimientos hídricos, entregan incertidumbre para el aprovisionamiento de agua en la parte de la cuenca con mayores demandas poblacionales, industriales, mineras, agropecuarias y agrícolas.

- La curva de la demanda se ha mantenido estable, pese a tener en la región una tasa de crecimiento anual del 2.3 % en diez años (del 2007 al 2017), es decir, la población creció en 216 385 hab., esto según el reporte del censo del Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI, mientras que la oferta hídrica disminuye.

3.2.2. Sistema regulado Majes Siguan

El sistema hidráulico se compone de obras de almacenamiento, captación, conducción y distribución, diseñadas para el aprovechamiento de las aguas del río Colca. Este sistema se beneficia adicionalmente de los recursos hídricos almacenados en el embalse de Condoroma, situado en la cuenca alta del mismo río. Este sistema entrega agua a las pampas de Majes, a Santa Rita de Siguan y al Valle del Colca, principalmente para usos poblacional, agrario, industrial y pecuario. El balance hídrico puede observarse en el siguiente gráfico:

Figura 17.
Ofertas y demandas medias mensuales para la cuenca Quilca - Vitor - Chili.
Sistema regulado Majes Sigwas



Fuente: Planes de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca - Chili para los años 2019, 2020, 2022 y 2023.

El balance hídrico para este sistema está registrado en superávit calculado por el Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca - Chili, pero en este contexto debemos anotar lo siguiente:

- La oferta hídrica para este sistema tiene un comportamiento estable, puede ser debido a que los caudales del río Colca provienen de la parte más lluviosa, básicamente marcados por las precipitaciones estacionales típicas de la cuenca Quilca - Vitor - Chili; para la demanda podemos ver estabilidad en los requerimientos.
- Según el Plan de Desarrollo Estratégico Concertado de la Provincia de Caylloma 2018-2030, este distrito cuenta con un área agrícola total de 1013 439.34 hectáreas. Los distritos de Callalli, Caylloma, Tisco y San Antonio de Chuca concentran el 59 % de esta superficie agrícola, mientras que el distrito de Majes contribuye con solo el 2 %, equivalente a 16 994.01 hectáreas. A pesar de estas cifras, ambos sectores han experimentado pérdidas de tierras cultivables debido a la escasez hídrica, una situación que resulta paradójica a la luz de los informes históricos del balance hídrico.

3.2.3. Sistemas no regulados

Un sistema no regulado, en el contexto de la cuenca Quilca - Vitor - Chili, se refiere a un sistema fluvial o hídrico en el que el flujo de agua no es controlado artificialmente a través de infraestructuras como presas, embalses, canales de derivación, o sistemas de captación y distribución. En otras palabras, el caudal de los ríos y arroyos en un sistema no regulado depende directamente de las condiciones naturales, como las precipitaciones, el deshielo, la evaporación y la infiltración, sin intervención humana significativa para almacenar, redirigir o controlar el agua.

En una cuenca no regulada los caudales pueden variar considerablemente a lo largo del año, con períodos de alto flujo durante la temporada de lluvias y caudales reducidos durante la estación seca. Este tipo de sistema

es más vulnerable a los efectos del cambio climático y a las variaciones climáticas naturales, lo que puede llevar a desafíos en la gestión del agua para usos urbanos, agrícolas e industriales. Además, la falta de regulación puede hacer que la disponibilidad de agua sea menos predecible, lo que puede afectar la planificación y el desarrollo de actividades económicas y la seguridad hídrica de la región.

Junta de usuarios Chili

En el informe del Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el Ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili se detalla que el sistema no regulado para la junta de usuarios del Chili presenta las siguientes características: el embalse, conocido como la represa de San José de Uzuña, ubicada en el río Yarabamba, ofrece una mejora limitada en la garantía de las irrigaciones existentes aguas abajo. La bocatoma del río Poroto, diseñada para desviar sus aportes hacia la represa, se colmata durante la temporada de avenidas debido a los sedimentos transportados. Los canales, que presentan un trazado sinuoso, están en un 90 % sin revestir, lo que permite una considerable pérdida de agua por infiltración en una unidad hidrográfica que ya presenta serias deficiencias hídricas. Además, no se dispone de dispositivos automáticos para la medición de caudales, y muchas bocatomas son rústicas, careciendo de barrajes, compuertas de limpieza, desarenadores y otras estructuras esenciales para el control y la medición.

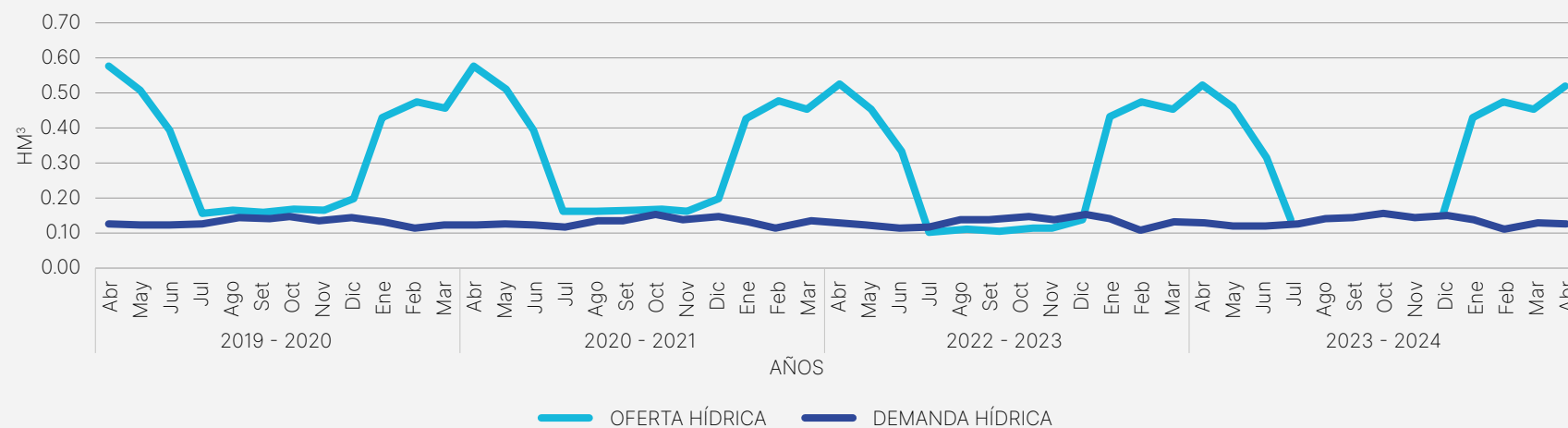
Este sistema comprende los distritos de Polobaya, Quequeña, Yarabamba, Chiguata, Paucarpata, Characato, Sabandía, Socabaya, Huasacache, Piaca, Pocsi, Mollebaya. Para este sistema el Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Quilca - Chili los agrupó en cuatro sectores de riego: Yarabamba, Mollebaya, Andamayo y La Yunta; los balances se presentarán en conjunto para cada sector en los siguientes gráficos:

Figura 18.



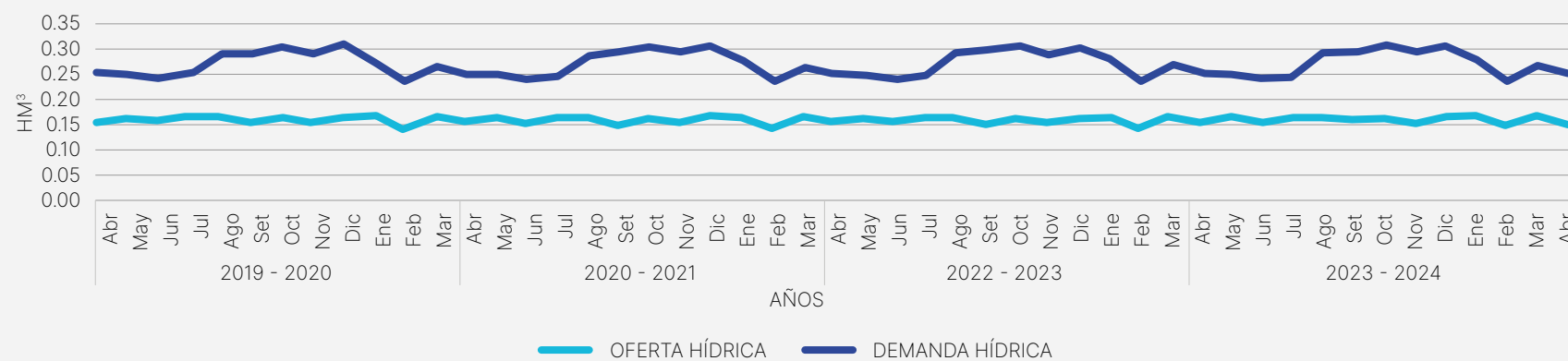
Sistema No Regulado Junta de Usuarios Chili

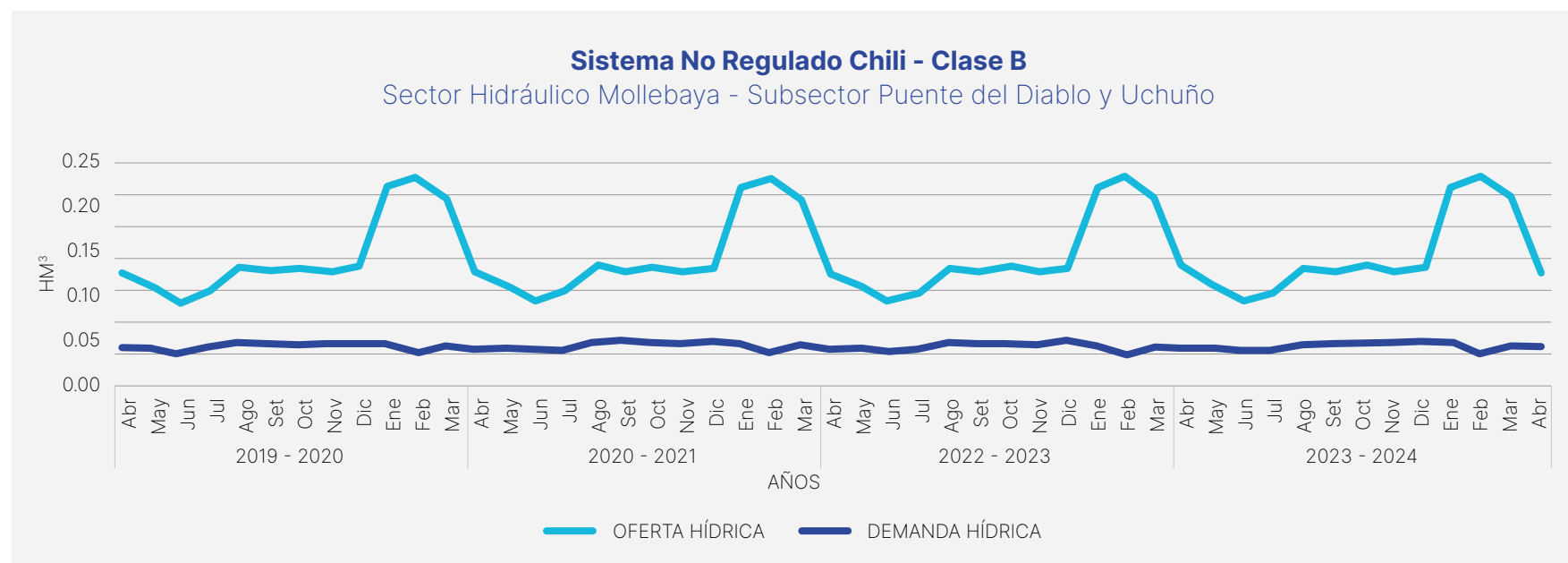
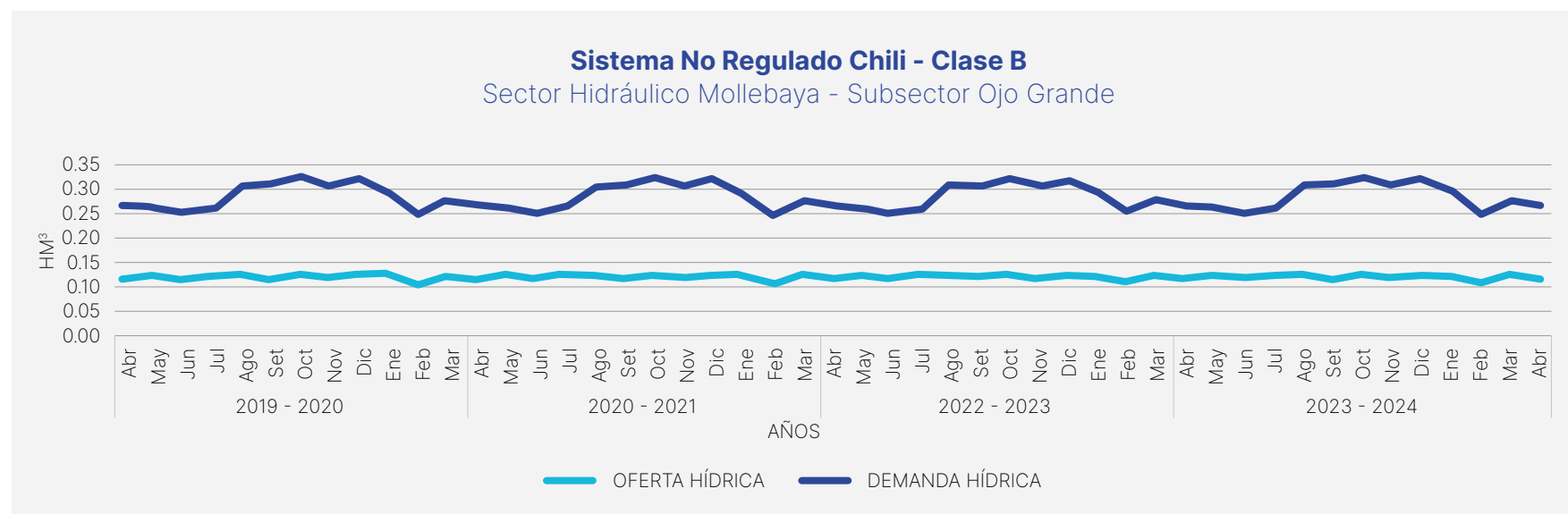
Sector Hidráulico Yarabamba - Subsector Yarabamba



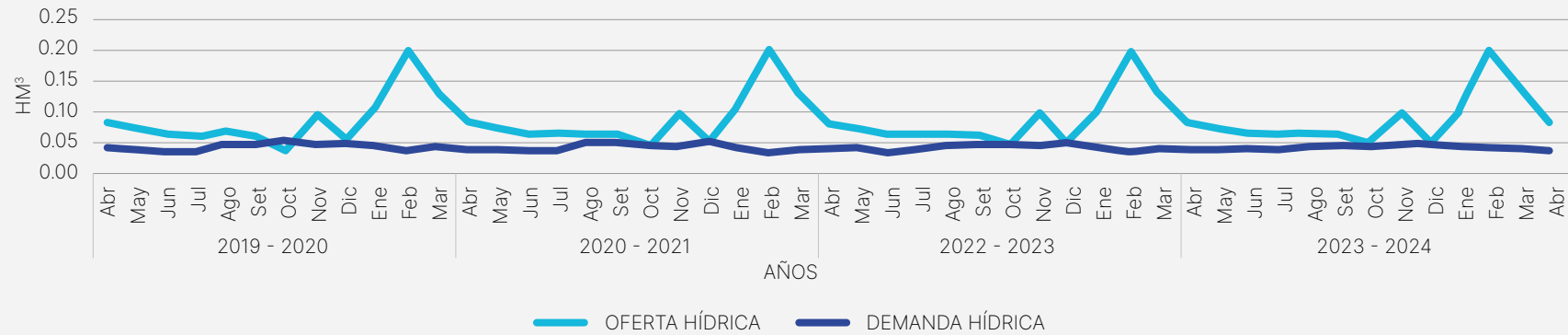
Sistema No Regulado Chili - Clase B

Sector Hidráulico Mollebaya - Subsector Orihuea

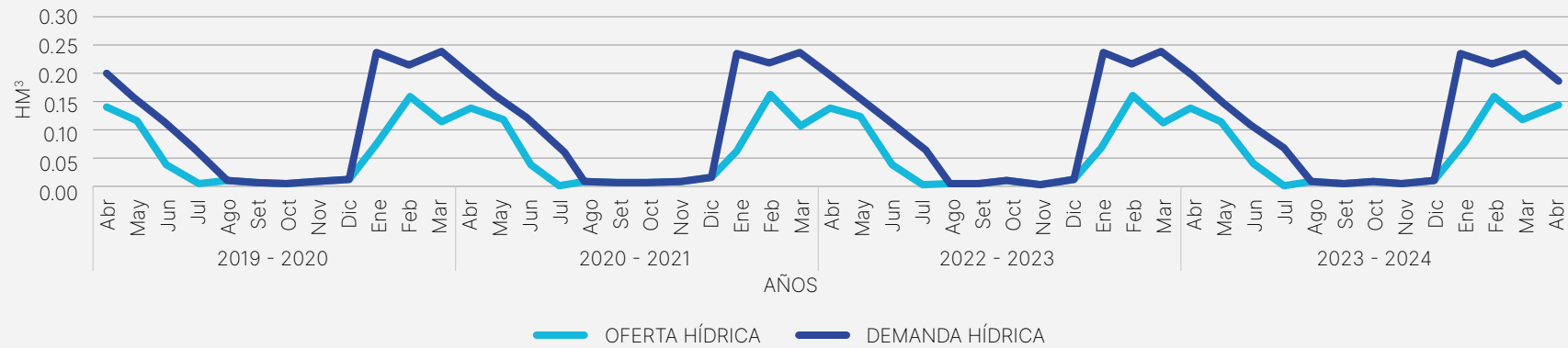




Sistema No Regulado Junta de Usuarios Chili
Sector Hidráulico Mollebaya - Subsector Santa Ana

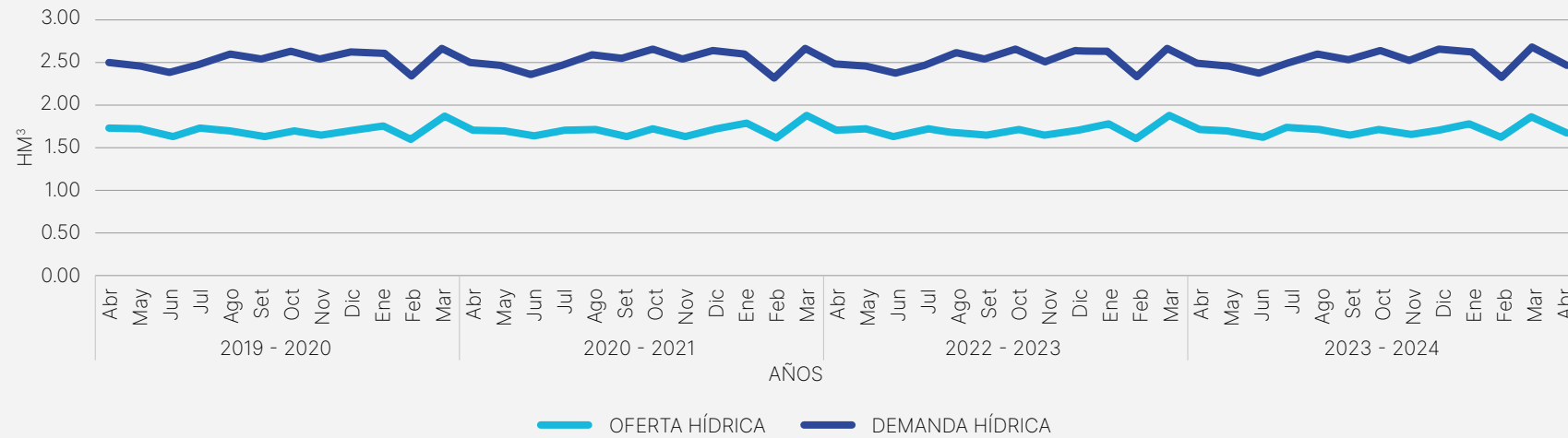


Sistema No Regulado Chili - Clase B
Sector Hidráulico Mollebaya - Subsector Mollebaya-Yarabamba



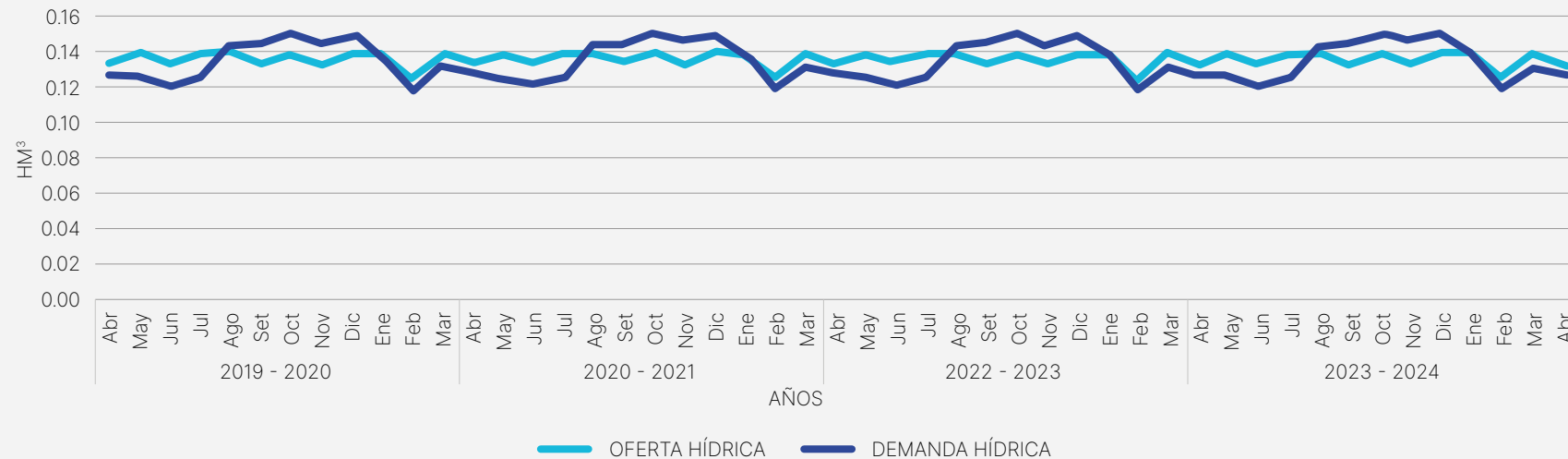
Sistema No Regulado Chili - Clase B

Sector Hidráulico Andamayo - Subsector Chiguata



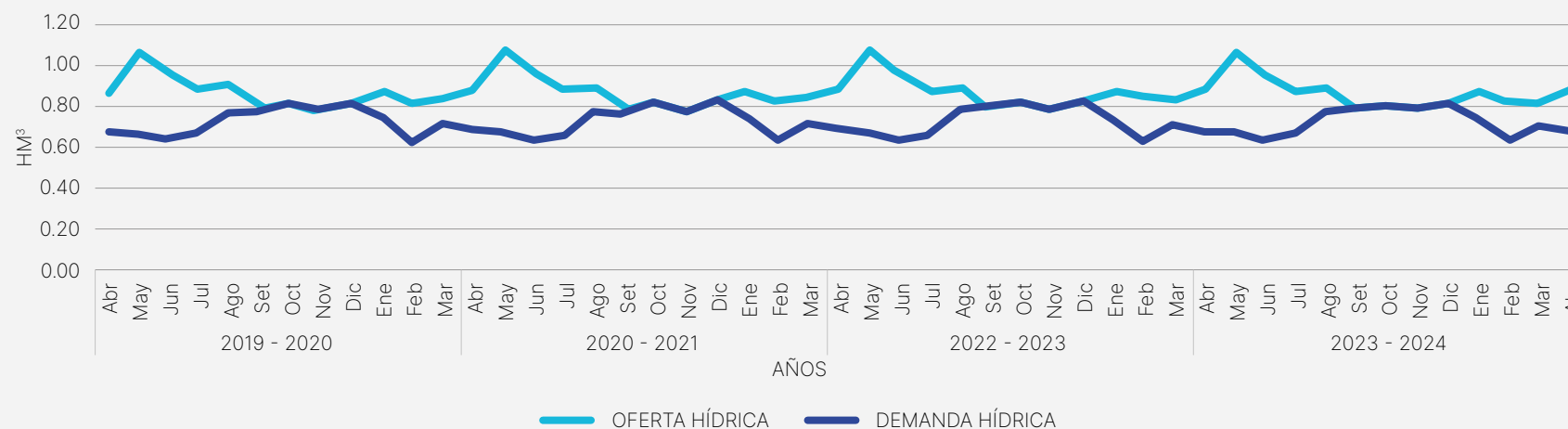
Sistema No Regulado Chili - Clase B

Sector Hidráulico Andamayo - Subsector Caricari Mosopuquio



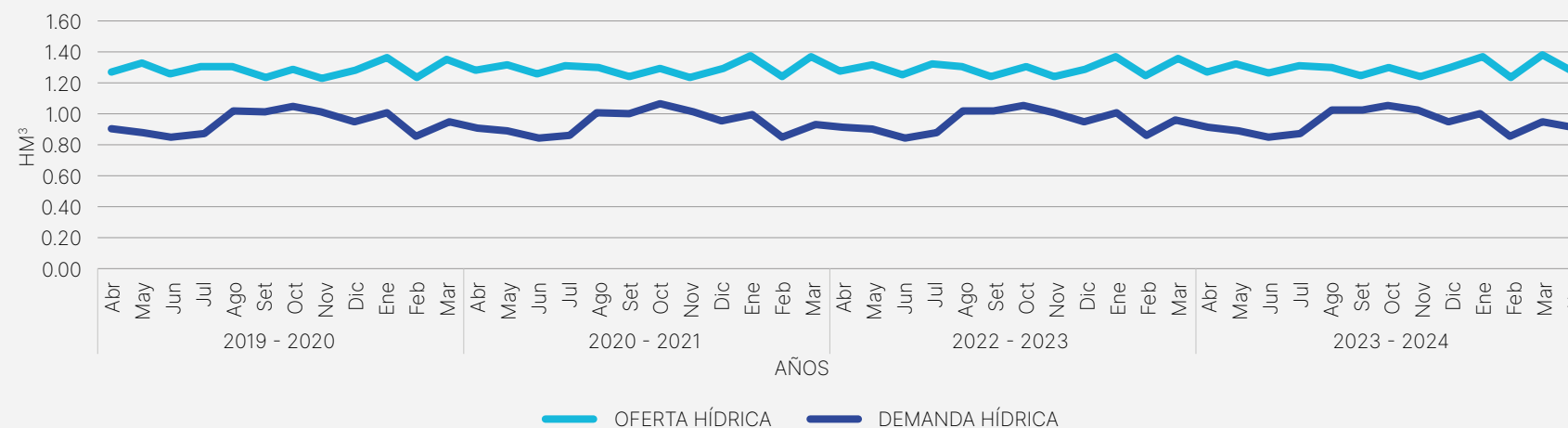
Sistema No Regulado Junta de Usuarios Chili

Sector Hidráulico Andamayo - Subsector Paucarpata-Alanguí

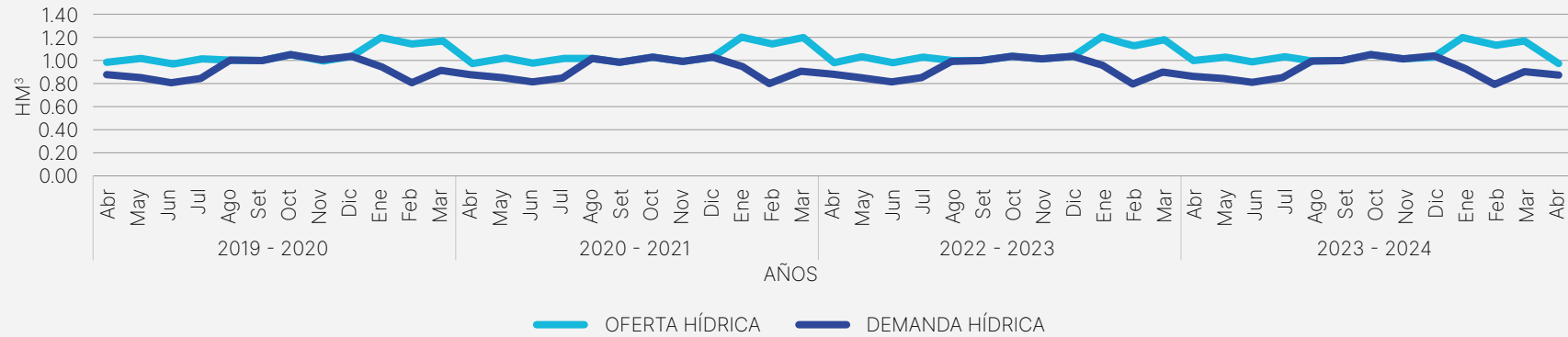


Sistema No Regulado Chili - Clase B

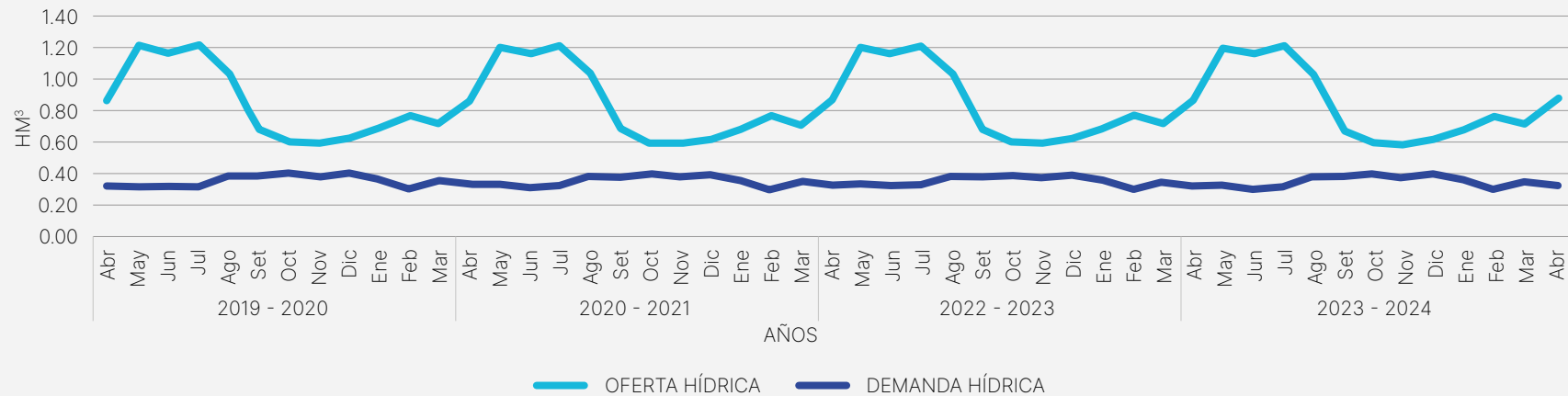
Sector Hidráulico Andamayo - Subsector Sabandía

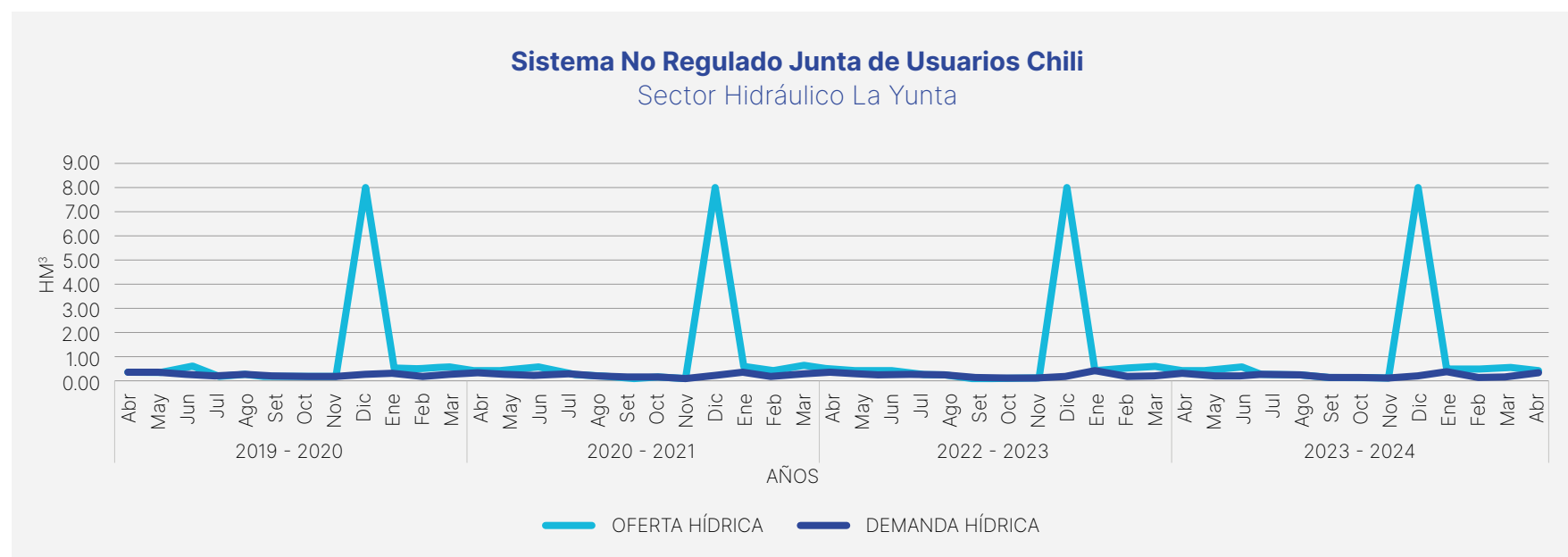
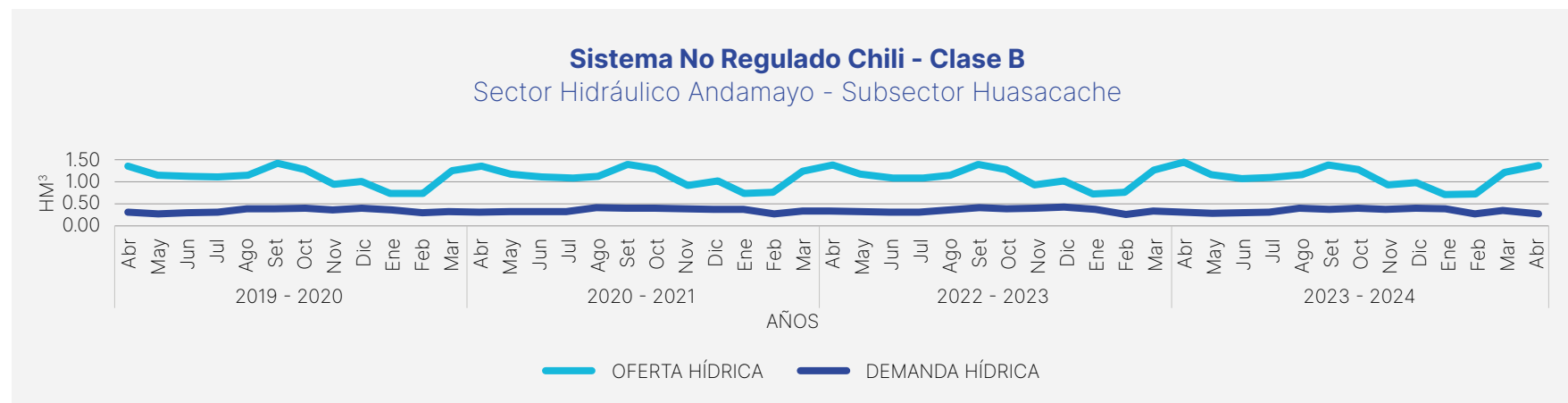


Sistema No Regulado Chili - Clase B
Sector Hidráulico Andamayo - Subsector Characato



Sistema No Regulado Chili - Clase B
Sector Hidráulico Andamayo - Subsector Cinco Ramos





Fuente: Planes de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili para los años 2019, 2020, 2022 y 2023.

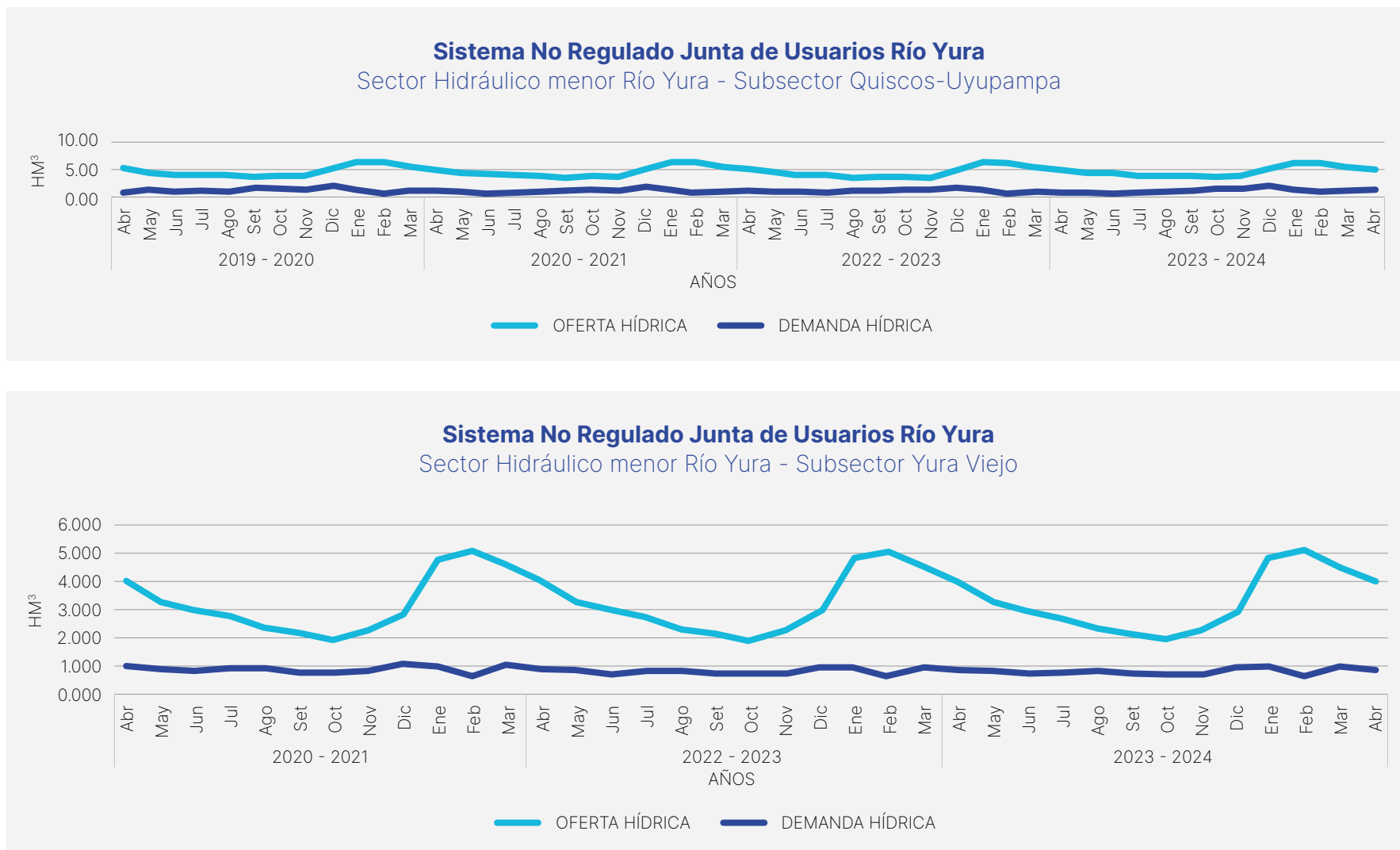
El balance hídrico para este sistema tiene características importantes:

- En las curvas de oferta para Yarabamba, Mollebaya, Andamayo y La Yunta son muy uniformes, lo que corrobora lo reportado por los planes de disponibilidades hídricas del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca - Chili, que la falta de instrumentos para medir caudales no les permite hacer una gestión adecuada del recurso hídrico, por ello la uniformidad en el registro.
- Los picos en las curvas para todos los sectores muestran la característica común de la cuenca Quilca - Vítor - Chili, las lluvias estacionales entre los meses de diciembre a abril, mostrando comportamiento atípico en los sectores de Yarabamba con aportes altos hasta el mes de junio, y para el caso del sector hidráulico La Yunta el pico del aporte hídrico se da entre noviembre y enero; para ambos casos, la falta métrica no permite planificar las actividades económicas que son poblacional, agrícolas y mineras en el sector de Yarabamba.
- Para los cuatro sectores de este sistema del 100 % del aporte hídrico, que es 156.826 hm³, 48.683 hm³, que representa el 31 %, proviene de los ríos Polobaya, Poroto, Yarabamba, Mollebaya, Andamayo, Postrero y Patimayo; el 69 %, que corresponde a 108.143 hm³, provienen de manantiales retornos agrícolas y de manantiales posiblemente originados gracias a las recargas de las faldas del volcán Pichu - Pichu por el servicio ecosistémico que presta el bosque de Queñoa, lo que es evidenciado por el informe del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET del 2022. En la cuenca Quilca - Vítor - Chili la gestión hídrica para aguas subterráneas es nula como se pudo evidenciar en los instrumentos de gestión revisados.

Junta de usuarios del río Yura

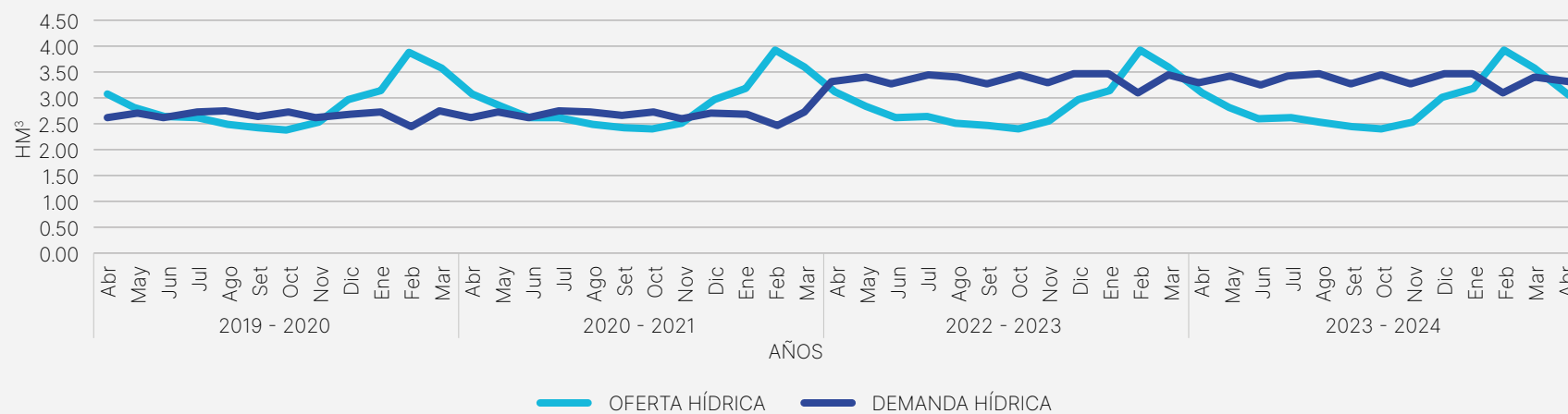
El sistema no regulado de la junta de usuarios del río Yura presenta infraestructura de riego entre mayores y menores, una bocatoma, canal principal y una red de canales respectivamente, que reparte el agua para los sectores de Quiscos y Uyupampa. El canal principal presenta problemas en el periodo de lluvia por arena o ingreso de vegetación provocando su atoramiento. Los sectores vinculados a esta junta de usuarios son: Uyupampa, Quiscos, Yura Viejo y Yuramayo. El balance hídrico para estos sectores los podemos observar en los siguientes gráficos:

Figura 19.
Ofertas y demandas medias mensuales para la cuenca Quilca - Vitor - Chili.
Sistema no regulado junta del río Yura, sectores Quiscos, Uyupampa, Yura Viejo y Yuramayo



Sistema No Regulado Junta de Usuarios Río Yura

Sector Hidráulico menor Río Yura - Subsector Bocatoma Yuramayo



Fuente: Planes de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili para los años 2019, 2020, 2022 y 2023.

El balance hídrico para este sector hidráulico no regulado está declarado en superávit para Quiscos - Uyupampa y Yura Viejo, pero para Yuramayo en déficit hídrico, las condiciones de estas características se explican a continuación:

- En los reportes de aprovechamiento de la disponibilidad hídrica en el ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili del periodo 2019-2020 se registran datos específicos para los subsectores Socosani - Gramadal y Calera Corontorio Capua. No se reportan datos para los demás años en evaluación. En total, se registraron 38 hm³ de agua, con un superávit de 19.5 hm³ y 9.03 hm³ respectivamente, destinados a usos agrarios, poblacionales e industriales. La falta de métrica en la regulación hídrica supone problemas significativos para la planificación de las actividades económicas en este sector.
- Al igual que en el sector no regulado de la junta de usuarios del Chili, los datos registrados para la oferta hídrica son muy uniformes, lo que refleja un manejo basado en estimaciones y no en la recopilación de información detallada en los reportes.
- El sector de Yuramayo presenta una complejidad particular; en los años 2019 y 2020 se alcanzaron déficits hídricos moderados, con curvas de oferta y demanda casi superpuestas. Sin embargo, en los años 2022 y 2023 el déficit hídrico se incrementó notablemente, y la oferta se redujo visiblemente durante casi diez meses al año. Este déficit tiene un componente crucial: en el sector hidráulico no regulado del valle de Vítor, que recibe un aporte de 109.150 hm³ para el periodo 2022 - 2023 y 73.661 hm³ para los periodos 2019 - 2020 y 2020 - 2021, 47.669 hm³ (este reporte se repite de manera idéntica en los tres periodos evaluados, lo que refleja la falta de medición de estos aportes) provienen de retornos agrícolas y filtraciones de los sectores La Joya Antigua, La Joya Nueva y Yuramayo. No existe un cálculo claro de cuánto se pierde debido a las malas prácticas de riego, lo

que genera un déficit hídrico que afecta las actividades económicas del lugar. En una cuenca con características desérticas como la del Quilca - Vítor - Chili, sin posibilidades de incremento en la demanda debido a la limitada oferta hídrica dictada por la dinámica del ciclo hidrológico, es necesario un manejo eficiente del recurso.

- En el contexto de la observación anterior, la necesidad de implementar manejos eficientes del recurso hídrico plantea un problema complejo para el valle de Vítor. Las actividades agrícolas en esta zona dependen del riego ineficiente de otros sectores, que tienden hacia una mayor regulación y eficiencia en el uso del agua. La optimización de la matriz de riego para reducir el desperdicio, alineada con la tendencia global, limitaría las posibilidades de incremento en la producción agrícola en este valle.

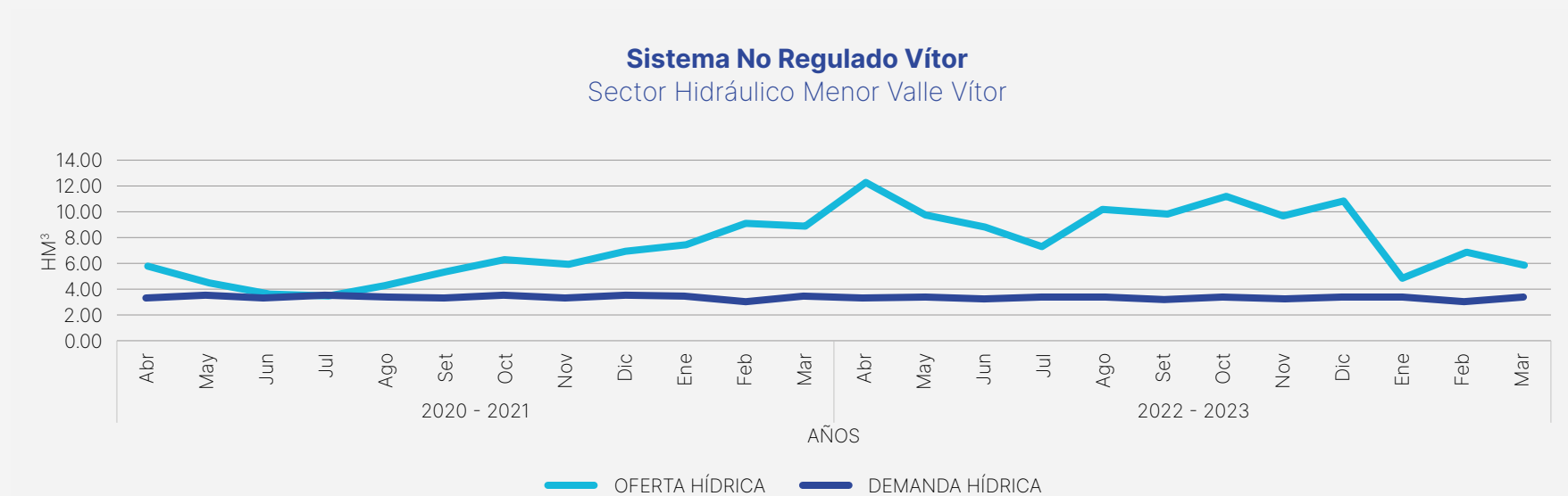
Junta de usuarios del valle de Vítor

El sistema de riego del valle de Vítor está mejor organizado que los demás sistemas del Chili no regulado, consta de ocho bocatomas y cincuenta y cinco tomas directas del río y organizado en siete juntas de regantes: Mocoro, Socavón - filtraciones, Tambillo, Catedral Quebrada Ureta, Sotillo La Cano, Valcárcel Desamparados y Huachipa Berenguel. Sus canales de riego tienen problemas de filtración porque tienen tramos que no están revestidos, lo que supone una pérdida en el aporte que debe cuantificarse.

El análisis del balance hídrico para este valle de actividad agrícola principalmente solo se realizó para los años del 2021 y 2022, para los periodos 2019 - 2020 y 2021 - 2022 los reportes son idénticos, se decidió registrar entonces solo los datos para el periodo 2021 - 2022; en el periodo 2023 - 2024 el plan de aprovechamiento de las disponibilidades hídricas tiene registros errados marcados en cero que no corresponden, error de impresión.

El balance hídrico para este sector lo podemos observar en el siguiente gráfico:

Figura 20.
Ofertas y demandas medias mensuales para la cuenca Quilca - Vitor - Chili.
Sistema no regulado junta del rio valle de Vitor



Fuente: Planes de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili para los años 2020, 2022 y 2023.

Este balance hídrico está en condición de superávit, en el que podemos observar lo siguiente:

- Es crucial establecer la relación entre este sector y los sectores del Chili no regulado (la junta de usuarios del río Yura, el sector de Yuramayo, y el sector regulado del Chili con las irrigaciones de La Joya Nueva y Antigua). El sector hidráulico del valle de Vitor recibe 47.669 hm³ producto de las filtraciones provenientes de los sectores mencionados, lo que se atribuye a las técnicas de riego utilizadas. Esta relación es importante, ya que la oferta de agua para este valle podría verse comprometida como es la tendencia de optimización del riego, especialmente ante los pronósticos de déficit hídrico debido al cambio climático.

3.3. Balance hídrico al 2030

Para proyectar la demanda hídrica basada en el consumo per cápita para el periodo 2015-2030 se utilizó la fórmula de interpolación lineal, adaptada para la estimación de la población, con los datos detallados en el anexo 2.

Fórmula:

$$\text{Población}_{\text{interpolada}} = \text{Población}_{\text{base}} + \left(\frac{\text{Población}_{\text{proyectada}} - \text{Población}_{\text{base}}}{\text{Años}_{\text{proyectada}} - \text{Años}_{\text{base}}} \right) \times (\text{Año} - \text{Año}_{\text{base}})$$

Descripción de la fórmula:

- Población_{interpolada}: es la población estimada o interpolada para un año específico que se quiere calcular.

- Población_{base}: es la población conocida en un año base, es decir, el valor inicial a partir del cual se comienza la estimación.
- Población_{proyectada}: es la población conocida o proyectada en un año posterior al año base.
- Años_{proyectada} y años_{base}: son los años correspondientes a las poblaciones conocidas (base y proyectada) que se utilizan como puntos de referencia para la interpolación.
- Año: es el año para el cual se desea estimar la población utilizando la interpolación lineal.

Esta fórmula permite estimar la población en un año intermedio entre el año base y el año proyectado, asumiendo que el crecimiento poblacional entre estos dos años es lineal, es decir, constante.

Funcionamiento:

- Diferencia de población: primero se calcula la diferencia entre la población proyectada y la base.
- Diferencia de años: luego se divide esta diferencia de población por la diferencia en años entre los dos puntos conocidos (base y proyectado).
- Ajuste por el año de interés: finalmente, este cociente se multiplica por la diferencia entre el año de interés y el año base, y el resultado se suma a la población base para obtener la población interpolada.

Este método es útil para estimaciones rápidas cuando se tiene información limitada y se supone que el crecimiento es lineal entre los dos años conocidos.

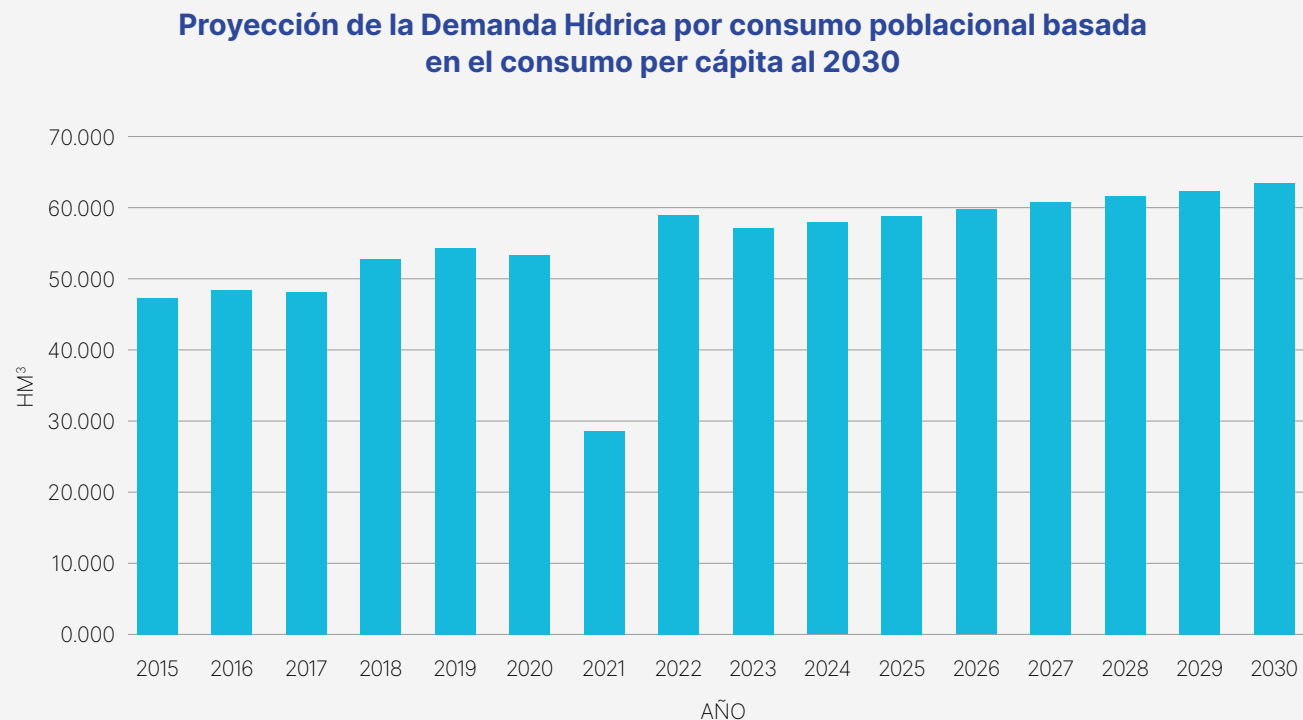
Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.
Proyección ajustada per cápita de agua para consumo poblacional 2015 – 2030

Año	Demanda hídrica (m³/año)	Demanda hídrica (hm³/año)
2015	48 623 563	48.624
2016	49 659 151	49.659
2017	49 465 448	49.465
2018	54 149 225	54.149
2019	55 896 689	55.897
2020	54 854 516	54.855
2021	29 446 489	29.446
2022	60 545 504	60.546
2023	58 672 473	58.672
2024	59 666 909	59.667
2025	60 661 345	60.661
2026	61 587 723	61.588
2027	62 514 102	62.514
2028	63 440 481	63.44
2029	64 366 860	64.367
2030	65 293 239	65.293

Fuente: Elaboración propia con datos del INEI obtenidos en el Censo Poblacional del 2017.

Figura 21.
Proyección ajustada per cápita de agua para consumo poblacional 2015 - 2030



Como se puede observar, el consumo per cápita de agua poblacional para Arequipa al 2030 se incrementa en 34.2 %; entendiendo que si el balance hídrico para los sistemas regulados está en superávit no supondría problemas para dicho abastecimiento. La dificultad se presentaría en el sistema no regulado con alrededor de 239 000 personas que ejercerán presión sobre el recurso, demandando infraestructura para su seguridad hídrica; esto corresponde al balance hídrico presentado para este sistema

y los déficits hídricos calculados por el Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Quilca - Chili. No se tienen reajustes estimados al 2030 para este sistema y su posibilidad de atención; entendiendo que el consumo poblacional es prioritario de acuerdo a la ley de Recursos Hídricos, Ley N.º 29338, la actividad agrícola del sistema se vería vulnerable ante la estimación de la demanda para el consumo poblacional.

4. Conclusiones

El balance hídrico en la zona regulada muestra aportes estables y un superávit en el histórico. Sin embargo, la falta de información precisa en los registros gubernamentales dificulta una comprensión exacta del comportamiento del ciclo hidrológico en la cuenca. Esta limitación ha llevado a una gestión hídrica imprecisa y descoordinada entre las distintas entidades, con excepción del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Quilca - Chili. En un contexto de cambio climático y una cuenca con condiciones áridas, el superávit hídrico actual no garantiza su estabilidad futura, especialmente considerando que los proyectos de afianzamiento hídrico son complejos y requieren altos presupuestos.

En la zona no regulada la situación es opuesta y más compleja, ya que presenta territorios con déficit hídrico, muchos de los cuales dependen del agua subterránea (un porcentaje que no puede calcularse con precisión debido a la falta de mediciones y registros). Además, en esta área la actividad agrícola es predominante, lo que podría verse afectado por la expansión urbana desorganizada. Esta expansión no considera la importancia de las zonas de regulación hídrica ni la recarga de acuíferos, de las cuales dependen críticamente estos territorios.

Se proyecta que la demanda hídrica para 2030 aumentará aproximadamente un 34 %. Esta situación no parece problemática para la parte regulada de la cuenca, que cuenta con un superávit, pero es preocupante para la parte no regulada, donde algunos territorios ya enfrentan un déficit. Esto no representaría un problema si la planificación de la cuenca se realizara con un enfoque que considere su naturaleza árida y su vulnerabilidad al cambio climático, dos variables que no se evidencian en los documentos de planificación evaluados. Cabe destacar que los documentos revisados fueron redactados antes de la actualización del plan de gestión de la cuenca Quilca - Vitor - Chili, con un horizonte temporal hasta 2030. Dada la vulnerabilidad identificada, solo podemos

prever incertidumbre en la gestión hídrica debido a la falta de articulación en la planificación.



Capítulo IV

Evaluación del índice de potencial de recarga, índice de vulnerabilidad de la cuenca Quilca - Vítor - Chili y modelamiento con SWAT de la unidad hidrográfica medio Quilca - Vítor - Chili

El objetivo de este capítulo es evaluar el riesgo asociado a las actividades económicas en la cuenca Quilca - Vítor - Chili. Para lograrlo se realizarán las siguientes evaluaciones: análisis de dos índices de vulnerabilidad y potencial de recarga, y modelamiento de la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vítor - Chili. Estos análisis nos permitirán establecer la dependencia de las actividades económicas respecto a los ecosistemas que aportan recursos hídricos a la cuenca, en función de la presión antrópica sobre ellos.

4. Cálculo del Índice de Potencial de Recarga (IPR) e Índice de Vulnerabilidad (IV) del agua subterránea para la cuenca Quilca - Vítor - Chili

Para identificar áreas con un alto potencial de recarga de agua subterránea en la cuenca Quilca - Vítor - Chili es fundamental considerar tanto los factores de vulnerabilidad a la contaminación como el potencial de recarga de las aguas subterráneas. Es esencial ejecutar una gestión hídrica a las zonas donde se realizan recargas de agua subterránea, ya que las demandas de la expansión urbana y la diversidad de actividades económicas aumentan la vulnerabilidad de los acuíferos, restringiendo las actividades productivas. La superposición de estos índices con la identificación de las zonas de actividades productivas permitirá priorizar los ecosistemas vulnerables para la conservación y gestión del agua subterránea.

4.1 Índice de Potencial de Recarga (IPR)

El IPR es una herramienta utilizada con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permite determinar aquellas zonas que, por sus características hidrogeológicas, climáticas, ecológicas, tendrían mayor o menor capacidad en la infiltración de agua hacia los acuíferos. Este índice es muy utilizado en la gestión hídrica general, pues ayuda en la identificación de zonas prioritarias de conservación para recarga de agua subterránea, diseñar estrategias de recarga artificial de acuíferos, contribuir a la planificación territorial, entre otros.

El IPR permite cuantificar la capacidad que tiene un área específica para recargar sus acuíferos, a través de la infiltración del agua de lluvia y otras fuentes superficiales. Este índice combina múltiples variables como la permeabilidad del suelo, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y la precipitación, para estimar cuánta agua puede infiltrarse y contribuir a la recarga del acuífero. Tiene aplicaciones en la gestión de recursos hídricos, planificación urbano rural, evaluación del impacto ambiental, entre otras. Es fundamental en la toma de decisiones para la gestión sostenible de los recursos hídricos, especialmente en cuencas donde la demanda de agua subterránea es alta y los recursos son limitados. Para la cuenca Quilca - Vítor - Chili su implementación puede ser muy beneficiosa para la correcta gestión y conservación del recurso hídrico, ya que permitiría destacar aquellas zonas que deben ser conservadas con prioridad, y aquellas zonas que pueden ser destinadas a otros fines por su poca capacidad de recarga de agua subterránea.

4.1.1 Preparación de las capas temáticas para el IPR

Para la elaboración del Índice de Potencial de Recarga (IPR) se utilizaron siete capas temáticas: precipitación anual, textura del suelo, uso y cobertura del suelo, geomorfología, infiltración del suelo, densidad de drenaje y elevación.

Estas capas fueron obtenidas de diversas fuentes como a continuación se muestra:

- Precipitación anual: se extrajo del estudio de Pauca-Tanco et al. (2023). Se generó un ráster basado en treinta años de datos del SENAMHI y la ANA. Este ráster fue ajustado al ámbito de la cuenca Quilca - Vítor - Chili.
- Textura y cobertura del suelo: ambas capas fueron obtenidas de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) del MINAM y ARMA (2020), descargadas del geoservidor del MINAM.
- Geomorfología: también descargada de la ZEE.
- Infiltración del suelo: debido a la falta de datos específicos se asignaron valores bibliográficos basados en Hillel (1982) (citado por USDA, 2022) y Arshad et al. (2020).
- Densidad de drenaje: calculada en ArcMap utilizando la herramienta Line Density y basada en una capa temática de ríos y quebradas, proporcionado por la ANA (2023).
- Elevación: fue generada a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE), creado con curvas de nivel a cincuenta metros. Se obtuvo del mapa hidrogeológico del INGEMMET para la cuenca Quilca - Vítor - Chili (Carpio et al., 2022).

4.2 Índice de Vulnerabilidad (IV)

El Índice de Vulnerabilidad calculado mediante el método DRASTIC se fundamenta en la interacción de siete parámetros hidrogeológicos, que influyen directamente en la susceptibilidad de los acuíferos a la contaminación. Estos parámetros incluyen la profundidad del nivel freático, la recarga neta, las características del medio acuífero, el tipo de suelo,

la topografía (pendiente del terreno), el impacto de la zona vadosa y la conductividad hidráulica. Los resultados presentados a continuación reflejan la vulnerabilidad inherente de cada área a la contaminación de aguas subterráneas, en función de la configuración hidrogeológica y los procesos de recarga natural del acuífero.

La evaluación del índice DRASTIC permitió identificar y clasificar las áreas de la cuenca Quilca - Vítor - Chili según su grado de vulnerabilidad, expresado en términos de porcentajes y áreas geográficas. Estas zonas vulnerables, determinadas por las características edafológicas y topográficas, pueden superponerse con mapas de posibles fuentes de contaminación o datos de calidad del agua, para priorizar la gestión y protección de los recursos hídricos subterráneos. Esta metodología es crucial para la toma de decisiones en la planificación y gestión sostenible de la cuenca, particularmente en lo que respecta a la mitigación de riesgos asociados a la expansión urbana y las actividades económicas en Arequipa.

4.2.1 Preparación de las capas temáticas del IV

Para la construcción del Índice de Vulnerabilidad se empleó el método DRASTIC, propuesto por Aller et al. (1987) y respaldado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Este integra siete variables: profundidad del agua subterránea, tasa de recarga, tipo de acuífero, textura del suelo, pendiente topográfica, impacto de la zona no saturada y conductividad hidráulica.

- Tasa de recarga: estimada utilizando la fórmula de Chaturvedi (Oke et al., 2015), basada en la precipitación.
- Pendiente topográfica: derivada del MDE previamente generado con las curvas de nivel del INGEMMET.
- Tipo de acuífero: determinado a partir del mapa hidrogeológico del ANA (2023) para la cuenca Quilca - Vítor - Chili.

- Conductividad hidráulica: asignada con valores bibliográficos basados en estudios hidrogeológicos de INGEMMET (Carpio et al., 2022).
- Profundidad de agua subterránea: se obtuvo mediante el método de interpolación Kriging en ArcMap, utilizando datos del inventario de pozos de la ANA (2018) para el acuífero del río Chili. Sin embargo, solo se contaba con datos para la zona metropolitana de Arequipa, y se asignó un valor de 0 a las áreas sin información.
- Impacto de la zona no saturada: calculado mediante la diferencia del MDE y la profundidad de la napa freática.

4.2.2 Asignación de pesos a las subclases de los índices IPR e IV

Cada capa ráster contiene diferentes tipos de información; por ejemplo, datos continuos como la precipitación fueron clasificados en grupos específicos. Para ambos índices (IPR e IV), las subclases dentro de estas capas ráster recibieron un valor que oscila entre 1 y 9, basado en la experiencia del equipo técnico, apreciación de especialistas y ajustado al contexto del índice correspondiente. A continuación, se presentan las capas temáticas junto con sus subclases, los valores asignados y el peso relativo de cada capa temática.

Tabla 6.
Capas temáticas, subclases, valores asignados y pesos relativos para el Índice de Potencial de Recarga (IPR)

Capa	N.º	Subclases	Valor asignado (1-9)	Peso de capa (%)
Geomorfología	1	Cordillera volcánica	5	20
	2	Zona minera	1	
	3	Altiplanicie	8	
	4	Tablazo desértico	2	
	5	Valle	7	
	6	Colinas de zonas áridas	3	
	7	Colinas de zonas periglaciár	6	
	8	Cordillera de la costa	4	
	9	Cuerpos de agua	9	
	10	Nevado	1	
	11	Río	9	
Textura	1	Franco arenoso	7	14
	2	Arena franca	8	
	3	Franco	5	
	4	Laguna	1	
	5	Nevado	1	
	6	Franco limoso	4	
	7	Franco arcilloso	3	
	8	Arenoso	9	
	9	Zona minera	1	

Capa	N.º	Subclases	Valor asignado (1-9)	Peso de capa (%)
Cobertura y uso de suelo	1	Bofedal	9	16
	2	Bosque relicto altoandino	7	
	3	Desierto costero	2	
	4	Glaciar	2	
	5	Humedal costero	9	
	6	Lago y laguna	9	
	7	Loma costera	4	
	8	Matorral andino	5	
	9	Pajonal de puna seca	6	
	10	Periglaciar	4	
	11	Plantación forestal	3	
	12	Zona agrícola	7	
	13	Zona minera	1	
	14	Zona urbana	2	
Infiltración (cm/d)	1	228 - 240	5	15
	2	240 - 480	6	
	3	120 - 228	4	
	4	No corresponde	1	
	5	99 - 120	3	
	6	24 - 99	2	
	7	480 - 600	7	

Capa	N.º	Subclases	Valor asignado (1-9)	Peso de capa (%)
Precipitación (mm/año)	1	0 - 65.88591	1	14
	2	65.88591 - 170.506348	3	
	3	170.506348 - 265.116547	4	
	4	265.116547 - 348.708618	5	
	5	348.708618 - 430.416199	6	
	6	430.416199 - 510.524017	7	
	7	510.524017 - 611.445923	8	
	8	611.445923 - 990.792236	9	
Densidad de drenaje (km/km²)	1	0 - 1.621	2	11
	2	1.621 - 3.352	4	
	3	3.352 - 5.514	6	
	4	5.514 - 8.703	8	
	5	8.703 - 13.838	9	
Elevación (m)	1	0 - 847	1	10
	2	847 - 1502	3	
	3	1502 - 2125	4	
	4	2125 - 2819	5	
	5	2819 - 3535	6	
	6	3535 - 4133	7	
	7	4133 - 4575	8	
	8	4575 - 6252	9	

Tabla 7.

Capas temáticas, subclases, valores asignados y pesos relativos para el Índice de Vulnerabilidad (IV)

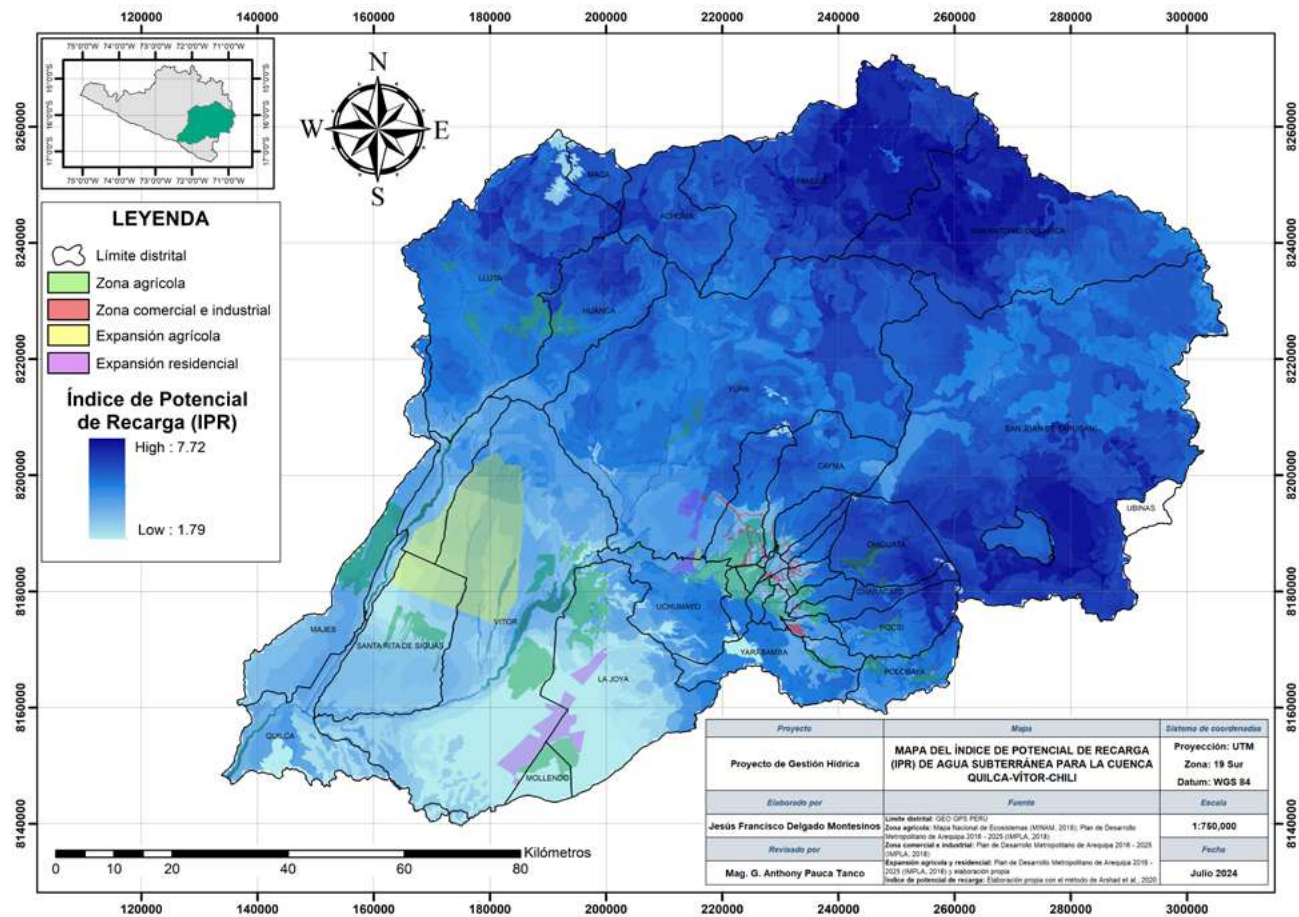
Capa	N.º	Subclases	Valor asignado (1-9)	Peso de capa (%)
Medio del acuífero	1	Acuífero poroso no consolidado	6	10
	2	Acuífero fisurado sedimentario	8	
	3	Acuífero fisurado volcánico	7	
	4	Acuífero volcánico sedimentario	5	
	5	Acuitardo intrusivo	3	
	6	Acuitardo sedimentario	2	
	7	Acuitardo subvolcánico	4	
	8	Acuitardo volcánico	3	
	9	Acuitardo volcánico sedimentario	5	
Conductividad hidráulica (m/día)	1	100 - 10 000	9	10
	2	0.01 - 1	3	
	3	0.0001 - 0.01	1	
	4	No corresponde	0	
	5	1 - 100	5	
Profundidad de agua (m)	1	26.046 - 37.343	3	5
	2	17.953 - 26.046	5	
	3	37.343 - 76.851	1	
	4	1.866 - 10.712	9	
	5	10.712 - 17.953	7	
	6	No data	0	

Capa	N.º	Subclases	Valor asignado (1-9)	Peso de capa (%)
Topografía/ Pendiente (%)	1	0 - 0.1	9	5
	2	0.1 - 5	7	
	3	5 - 10.3	3	
	4	10.3 - 28	2	
	5	28 - 53	1	
Zona vadosa (m)	1	17.95 - 36.85	6	15
	2	0 - 17.95	8	
	3	59.04 - 102.19	2	
	4	36.85 - 59.04	4	
	5	No data	0	
Recarga (mm)	1	0 - 5	1	50
	2	5 - 14	3	
	3	14 - 20	5	
	4	20 - 24	7	
	5	24 - 31	9	
Textura	1	Franco arenoso	7	5
	2	Arena franca	8	
	3	Franco	5	
	4	Laguna	1	
	5	Nevado	1	
	6	Franco limoso	4	
	7	Franco arcilloso	3	
	8	Arenoso	9	
	9	Zona minera	1	

Una vez asignados los valores a cada subclase se utilizó la herramienta Weighted Sum en ArcMap para combinar las siete capas temáticas correspondientes a cada índice. A cada capa se le asignó un peso porcentual, como se muestra en la tabla anterior. Este proceso permitió generar los siguientes mapas: Mapa del Índice de Potencial de Recarga (IPR) de la cuenca Quilca - Vitor - Chili y Mapa del Índice de Vulnerabilidad (IV) de la cuenca Quilca - Vitor - Chili.

4.3 Resultados de los índices IPR e IV

Figura 22.
Índice de Potencial de Recarga (IPR) de la cuenca Quilca - Vitor - Chili



Tras el procesamiento de las capas temáticas, además de la asignación de pesos y relaciones matemáticas establecidas mediante el SIG, se obtuvo la figura 22, donde el IPR presentó un valor mínimo de 1.79 y máximo de 7.72 (bajos valores indican un potencial de recarga «malo»; y altos valores, «bueno»). En cuanto a patrones generales se puede observar que las zonas más bajas de la cuenca presentan valores de potencial de recarga bajos, mientras que se va ascendiendo en altitud los valores se van incrementando. Lo anterior estaría en muy estrecha relación con los patrones de precipitación, pues como es sabido, por debajo de los 1800 m s. n. m. en Arequipa se encuentra el desierto pleno, en el cual las precipitaciones solo alcanzan hasta 5 mm anuales. Por otro parte, en las zonas por encima de los 3900 m s. n. m. y hacia el oriente de la cuenca, las precipitaciones se incrementan, lo que permitiría una mayor infiltración, mejorando la recarga hídrica. En cuanto a los cuerpos de agua presentes en la cuenca (ríos) se observa que estos tienen también un buen potencial de recarga, denotándose esto en los sectores adyacentes a las pampas desérticas en las zonas de Vitor, Siguan y Quilca. Es más que probable que las zonas con un flujo de agua superficial constante infiltren de manera permanente agua a su suelo, de tal manera que esta pueda aflorar en zonas más bajas o recarguen pozos localizados en los márgenes de los cuerpos de agua.

En algunas zonas, como las cimas de las montañas o volcanes, se observa un bajo potencial de recarga, y esto es debido a que, por encima de los 5000 m, por lo general, no se producen precipitaciones líquidas, sino más bien sólidas. Las condiciones a grandes altitudes son extremas, con gran presencia de viento y radiación solar, lo que produciría que el agua se pierda hacia la atmósfera, esto sin tener en cuenta la propia actividad endógena de los volcanes, lo que incrementa la pérdida hacia la atmósfera.

Algo llamativo en cuanto al índice obtenido es que, precisamente, en las zonas donde se encuentran algunas de las represas de agua para abastecer a la ciudad de Arequipa presentan bajos valores de IPR. Esto desde el punto de vista de la conformación del suelo sería beneficioso,

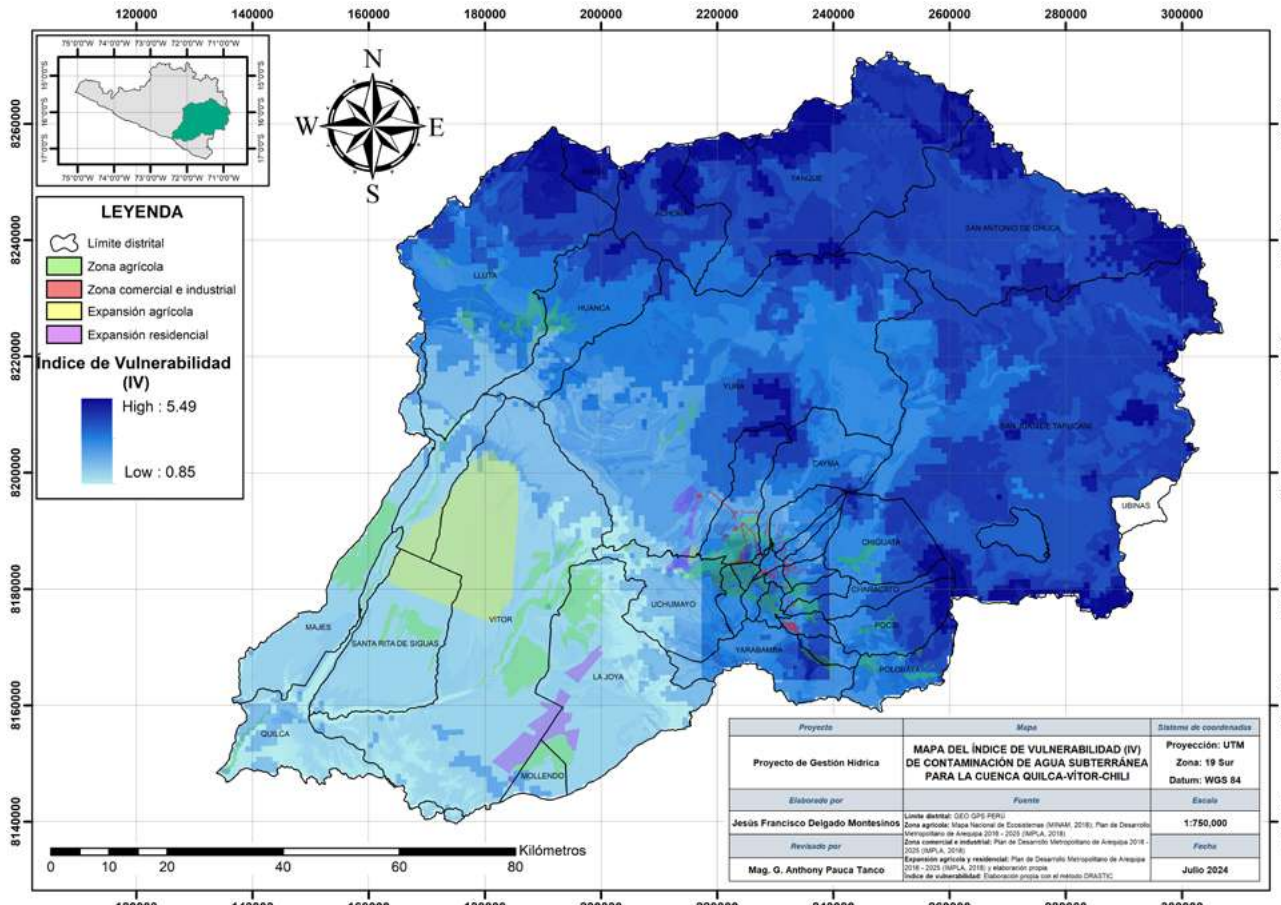
pues se tendría la impermeabilidad para evitar la pérdida del agua precisamente por infiltración; sin embargo, la duda queda en de dónde proviene el agua para estas represas. Si bien es cierto que estas se recargan con el agua producidas por las precipitaciones de la estación de verano, durante el resto del año los flujos de agua podrían provenir de zonas con baja IPR, por lo que sería limitada. Es posible que con una buena gestión de las zonas con buena IPR, y evaluación del potencial de aprovechamiento hídrico de estas, se pueda utilizar el agua «excedente» precisamente para abastecer las represas y así tener una reserva más sólida y no tan dependiente de las precipitaciones.

Atendiendo ahora partes específicas se puede describir algunas que merecen una denotación: por ejemplo, las coberturas vegetales. Las coberturas vegetales brindan servicios ecosistémicos, entre los cuales precisamente la regulación hídrica es una de ellas. En el IPR generado aquí es posible observar que las zonas donde se presentan altos valores de potencial de recarga se presentan coberturas vegetales características, por ejemplo, los bosques de queñoa localizados en las vertientes occidentales de los volcanes Pichu Pichu y Ampato. Es resaltable que zonas cubiertas con bofedales (humedales altoandinos) y pajonales (pastizales altoandinos) también presentan un alto valor de potencial de recarga, es así que zonas como los alrededores de la laguna de Salinas y alrededores del nevado Huarancante presentan potenciales de recarga muy altos. No cabe duda que la conservación de las cubiertas vegetales (dominados mayormente por bosques de queñoa, bofedales y pajonales) es muy importante para la conservación del agua, pues estos regulan el flujo hídrico por medio de sus raíces, ralentizando el movimiento del agua subterránea; por otra parte, también son importantes para la infiltración, pues con las precipitaciones el agua no se perdería por escorrentía superficial, sino que sería retenida e infiltrada (la cobertura vegetal protege los suelos frente a la erosión).

En cuanto a las zonas de cultivo, por lo general estas se indican como fuente de agua para el subsuelo, pues el manejo artificial, mediante la conducción del agua y el riego esporádico (preferentemente por

inundación) sería una importante fuente. Sin embargo, gran parte de los cultivos localizados en la cuenca no presentan un IPR alto. Como se observa, las zonas agrícolas localizadas por debajo de los 2500 m s. n. m. presentan un bajo índice de recarga, lo cual se puede deber primero a las condiciones pluviométricas. Gran parte de la cuenca está localizada sobre un desierto muy árido, y precisamente allí es donde se desarrolla paradójicamente gran parte de la agricultura. Las lluvias en estas zonas son muy escasas y la evapotranspiración es muy alta, por lo tanto, gran parte del agua utilizada para regar se estaría perdiendo hacia la atmósfera. Por otra parte, la impermeabilidad del suelo donde se desarrolla esta agricultura parece ser muy alta y también muy superficial, es así que, en algunos sectores, como por ejemplo la irrigación San Camilo, el agua del riego aflora rápidamente en la zona baja de este sector y ha logrado formar una laguna de agua extremadamente salada, la cual está trayendo algunos problemas, sobre todo en la infraestructura vial. En ese sentido, parece ser que el agua en estas irrigaciones no alcanza un nivel verdaderamente freático. Otra situación peculiar se da también en la irrigación de La Joya, se documenta que el agua infiltrada en este sector favorece también a Vítor, pues gran parte del recurso hídrico que se utiliza para la agricultura provendría de La Joya, es así que, si se realizara una transición hacia un manejo de agua más tecnificado (por ejemplo, el riego por goteo) en la Joya, traería como consecuencia un desabastecimiento del sector de Vítor, lo que traería una serie de conflictos. La gestión hídrica entonces necesita de una planificación exhaustiva, teniendo en cuenta factores sociales y naturales, para garantizar un buen uso y la adaptación frente al cambio climático.

Figura 23.



En este caso, el Índice de Vulnerabilidad fue calculado con mayor especificidad para la zona metropolitana de Arequipa, pues solo esta presenta datos para la profundidad de agua subterránea.

Como se observa en la figura 23, en el caso de Arequipa metropolitana las zonas con mayor vulnerabilidad son aquellas que precisamente tienen mayores valores de IPR, en ese sentido, se puede indicar a la zona oriental como las más vulnerable, a diferencia de la misma zona metropolitana, donde se tiene un bajo valor. Esto es debido probablemente a que en la propia ciudad se tiene un bajo valor de IPR, por lo que las aguas subterráneas que se encuentran en esta zona no se recargan en el mismo lugar, sino que, más bien, esto se estaría produciendo en otros sectores, donde los diversos factores (entre ellos la precipitación y la vegetación) condicionan la recarga. Esto indica, entonces, que afectar la zona oriental de la ciudad perjudicaría de alguna manera la recarga de los acuíferos subterráneos, los cuales mantienen la economía industrial de la ciudad. Es así que se puede pensar que diferentes eventos como la expansión urbana no planificada, la destrucción de las coberturas vegetales, la erosión del suelo, la contaminación de diferente índole y el cambio climático (con la presencia cada vez más frecuente de eventos extremos de lluvia), podrían alterar significativamente por un lado la calidad del agua y, por otro, la cantidad. La vulnerabilidad, entonces, vendría a estar dada en reconocer primero las zonas que potencialmente tienen una buena capacidad de infiltración potencial de agua, y evaluar las amenazas precisamente hacia estas zonas. Como se indicó anteriormente, el Índice de Vulnerabilidad fue calculado específicamente para la zona metropolitana de Arequipa, ya que es la zona que presenta la información mínima para poder realizar los cálculos; denotando también que la carencia de información en el resto de la cuenca es un grave problema e incrementa la vulnerabilidad, pues sin información no se puede realizar análisis ni tomar decisiones que ayuden a una mejor gestión de los recursos hídricos en la cuenca Quilca - Vítor - Chili.

5. Modelo Hidrológico SWAT

Para la modelación hidrológica de la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vítor - Chili se empleó el modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Este modelo, desarrollado por el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-ARS), permite simular flujos de agua y analizar la gestión de recursos hídricos de manera detallada. El SWAT facilita la simulación de diversos procesos hidrológicos como el ciclo del agua, al integrar información sobre el uso del suelo, el tipo de suelo y datos meteorológicos. Gracias a esta capacidad, el modelo resulta ser una herramienta valiosa para evaluar el uso del suelo, la gestión del agua y las políticas de conservación en una cuenca. En esta metodología se integraron varios conjuntos de datos y se siguieron pasos específicos para configurar y ejecutar el modelo. La capacidad del SWAT para simular estos procesos hace que sea fundamental para la planificación y gestión sostenible de los recursos hídricos en la cuenca Quilca - Vítor - Chili.

5.1 Metodología aplicada

En primer lugar, se recopilaron los datos necesarios, incluyendo el **shapefile** de la FAO correspondiente a la tipología de suelo y el **shapefile** del Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú (2019) para la cobertura de suelo. La pendiente se generó a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) con una resolución espacial de treinta metros, proporcionando una representación detallada del relieve de la cuenca. Los datos climáticos, que abarcan desde el 1 de enero de 1996 hasta el 31 de mayo de 2024, fueron obtenidos de estaciones meteorológicas gestionadas por el SENAMHI. Estos datos incluían registros diarios de precipitación, temperaturas máxima y mínima. Durante la fase de preprocesamiento, todos los datos geográficos se convirtieron al sistema de referencia WGS84 para asegurar la coherencia espacial, y los datos climáticos se adaptaron a un formato compatible con SWAT, es decir, archivos de texto con valores diarios estructurados adecuadamente.

Para configurar el modelo en SWAT se creó un nuevo proyecto mediante la opción New Area en el software, asignándole un nombre y una ubicación específica. En la sección Watershed Delineator se introdujo el MDE para definir el área de estudio, determinando la dirección del flujo y la acumulación del mismo en Flow Direction and Accumulation, con un umbral de área de mil hectáreas. Se generó la red de drenaje de la cuenca en Stream Network y se seleccionaron las salidas de la cuenca en Watershed Outlets(s) Selection and Definition, eligiendo la opción Whole Watershed Outlet(s) y delineando las subcuencas mediante Delineate Watershed.

Para la asignación de cobertura y tipología de suelo se cargaron los **shapefiles** correspondientes y se asignaron los códigos adecuados según la codificación del SWAT, añadiendo columnas adicionales en los atributos para la codificación de cada tipo identificado. En la sección HRU Analysis se definieron las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) mediante la opción Land Use/Soils/Slope Definition, introduciendo la información de cobertura de suelo y tipología de suelo, y asignando las codificaciones SWAT correspondientes. Las clases de pendiente se definieron en la subsección Slope, y se creó la clase de características HRU utilizando Create HRU Feature Class, generando un informe de superposición con Create Overlay Report, seguido de Overlay. Finalmente, se generaron las HRU en HRU Definition, combinando las capas de uso del suelo, tipo de suelo y pendiente.

En la sección de entrada de datos climáticos Weather Data Definition se ingresaron los datos diarios de precipitación y temperaturas máxima y mínima en formato de texto estructurado. Se verificó la integridad y consistencia de los datos para asegurar su correcta incorporación al modelo. En la sección SWAT Simulation se estableció el período de simulación desde el 1 de enero de 1996 hasta el 31 de mayo de 2024, iniciando la simulación con Run SWAT. Tras la finalización de la simulación se accedió a los resultados mediante Read SWAT Output, los cuales fueron exportados en formato Microsoft Access tanto para cada HRU como para cada subcuenca generada.

Los resultados fueron analizados y visualizados mediante la generación de mapas en el software ArcGIS, permitiendo evaluar parámetros hidrológicos clave como la precipitación, la recarga de agua subterránea y el escurrimiento superficial. Este análisis detallado proporcionó una comprensión integral de la dinámica hidrológica de la cuenca Quilca - Vitor - Chili.

5.2 Resultados de la modelación hidrológica

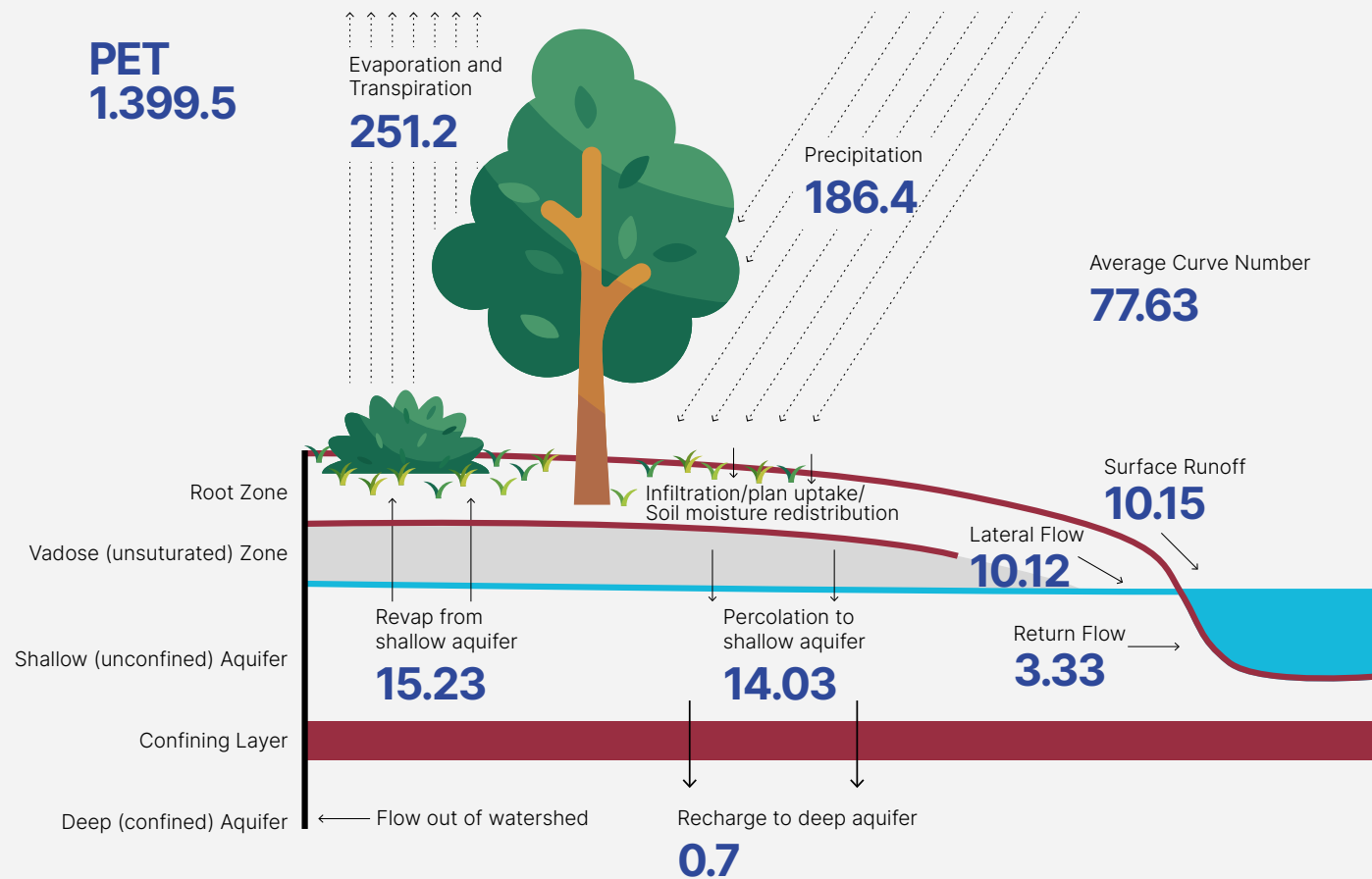
La ejecución del modelo SWAT para la cuenca Quilca - Vitor - Chili proporcionó una serie de resultados que permiten evaluar detalladamente la dinámica hidrológica de la región. A continuación, se presentan los principales hallazgos de la simulación, organizados en diferentes subcategorías para facilitar su interpretación.

5.2.1 Balance hídrico de la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili

El balance hídrico obtenido del modelo muestra las entradas y salidas de agua en la cuenca. La figura 24 ilustra el balance hídrico anual promedio, destacando la contribución de la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración y el escurrimiento superficial.

La cuenca Quilca - Vitor - Chili, situada en la región de Arequipa (Perú), es una región de características áridas donde la gestión eficiente del agua es crucial para el desarrollo sostenible. En este análisis se evalúa específicamente la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili utilizando el modelo SWAT, cuyo gráfico y mapas de resultados proporcionan una visión detallada del balance hídrico en esta área. Este análisis es fundamental para entender las dinámicas hídricas de la región y proponer estrategias adecuadas de gestión hídrica.

Figura 24.
Balance de entradas y salidas de agua en la cuenca Quilca - Vitor - Chili



5.2.2 Parámetros hidrológicos

Precipitación

La precipitación se refiere a toda forma de agua ya sea líquida o sólida, que cae de las nubes y alcanza la superficie terrestre. Los factores que afectan la precipitación son:

- Patrones climáticos: la precipitación en áreas áridas como Arequipa está influenciada por patrones climáticos globales y locales. Las montañas circundantes y la altitud también juegan un papel crucial en la distribución de las lluvias.
- Estacionalidad: la precipitación en regiones áridas a menudo es estacional, con lluvias concentradas en ciertos meses del año, mientras que otros meses pueden ser completamente secos, siendo para este caso el periodo húmedo el verano austral.

En la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili la precipitación anual es de 186.4 mm, lo cual es característico para esta zona. Este valor indica una disponibilidad hídrica extremadamente limitada y que probablemente sea insuficiente para satisfacer las necesidades agrícolas, industriales y domésticas sin apoyo adicional de otras fuentes de agua.

La agricultura en la región depende en gran medida del riego, ya que la precipitación natural no es suficiente para sustentar los cultivos. Esto aumenta la dependencia de sistemas de riego eficientes y la necesidad de prácticas agrícolas que conserven el agua.

La baja precipitación limita la recarga natural de los acuíferos, afectando la disponibilidad de agua subterránea. La escasa recarga subterránea puede llevar a la sobreexplotación de los acuíferos, poniendo en riesgo la sostenibilidad hídrica a largo plazo.

Sumado a ello, el cambio climático puede aumentar la variabilidad de la precipitación, resultando en eventos de lluvias más intensos, pero menos frecuentes. Esto puede agravar los desafíos de la gestión hídrica en la región, por lo que es esencial desarrollar estrategias de adaptación para enfrentar los impactos del cambio climático.

Evapotranspiración potencial (PET)

La evapotranspiración potencial es una medida de la demanda atmosférica de agua. Se refiere a la cantidad de agua que se evaporaría y transpiraría si el suelo estuviera completamente saturado de agua. Es un concepto teórico utilizado para evaluar la capacidad del ambiente de extraer agua del suelo y las plantas. Los factores que afectan la PET son:

- Radiación solar: la cantidad de radiación solar recibida es un factor principal que influye en la PET. Mayor radiación solar incrementa la energía disponible para la evaporación y transpiración.
- Temperatura: altas temperaturas aumentan la capacidad del aire de retener humedad, lo que incrementa la evapotranspiración.
- Humedad relativa: menores niveles de humedad relativa incrementan la evapotranspiración porque el aire seco tiene mayor capacidad de absorber agua.
- Viento: el viento puede remover el aire húmedo cerca de la superficie del suelo y las hojas de las plantas, facilitando una mayor evaporación y transpiración.

En la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili la evapotranspiración potencial es de 1399.5 mm, un valor extremadamente alto en comparación con la precipitación. Esto sugiere una demanda muy alta de agua para mantener las condiciones vegetativas óptimas en la cuenca. En un clima árido como el de Arequipa, esta alta PET indica que las plantas

necesitan una gran cantidad de agua para compensar la pérdida por evapotranspiración. Dado que la precipitación en la región es significativamente menor (186.4 mm), hay un gran déficit hídrico. Esto significa que la cantidad de agua disponible a través de la precipitación es insuficiente para satisfacer la demanda de la PET. Este déficit puede resultar en estrés hídrico para la vegetación, reduciendo el crecimiento y la productividad de los cultivos. La alta PET subraya la necesidad de prácticas de manejo de agua eficientes.

Sumado a ello, el cambio climático puede exacerbar los desafíos relacionados con la PET, ya que con el aumento de las temperaturas y cambios en los patrones de precipitación pueden incrementar aún más la PET, aumentando la presión sobre los recursos hídricos ya limitados de la región, por lo que es crucial considerar escenarios futuros de cambio climático en la planificación de la gestión del agua.

Evapotranspiración real (ET)

La evapotranspiración real es de 251.2 mm, lo que representa una parte significativa del agua disponible que se pierde por evapotranspiración. Este valor sugiere que, aunque se pierde mucha agua, también hay una cantidad considerable que se usa efectivamente por la vegetación. No obstante, es necesario implementar técnicas de conservación de agua y manejo del suelo para mejorar la eficiencia del uso del agua y reducir las pérdidas (Zhang et al., 2015).

La evapotranspiración real es la suma del agua que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo y por transpiración a través de las plantas. A diferencia de la evapotranspiración potencial (PET), que es una medida teórica, la ET refleja las condiciones reales del terreno y la disponibilidad de agua. Los factores que afectan la ET son:

- Disponibilidad de agua: la ET depende en gran medida de la cantidad de agua disponible en el suelo. En climas áridos, donde la precipitación

es limitada, la ET también tiende a ser limitada porque no hay suficiente agua para satisfacer la demanda potencial.

- Cobertura vegetal: la cantidad y tipo de vegetación influyen en la ET. Las plantas con raíces profundas pueden acceder a más agua subterránea y mantener una ET más alta.
- Condiciones climáticas: la temperatura, humedad relativa, radiación solar y viento afectan la tasa de ET en Arequipa, la alta radiación solar y bajas precipitaciones son factores cruciales que influyen en la ET.

En la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili la evapotranspiración real de 251.2 mm, que excede la precipitación anual de 186.4 mm, lo que refleja la cantidad de agua que se evapora desde la superficie del suelo y se transpira a través de las plantas en el área evaluada. Lo que indica que se está perdiendo más agua a través de la evapotranspiración de la que recibe por precipitación. Esto sugiere que hay una fuerte evaporación de la humedad del suelo y posiblemente un uso significativo de las reservas subterráneas para satisfacer las demandas de agua. La alta ET reduce la humedad del suelo, lo que puede limitar el crecimiento de las plantas y afectar la productividad agrícola. En regiones áridas, mantener la humedad del suelo es crítico para la sostenibilidad agrícola. La alta ET significa que los cultivos en la región requieren una gran cantidad de agua para crecer. En un entorno donde la precipitación es escasa, esto puede plantear desafíos significativos para los agricultores, lo que subraya la necesidad de estrategias eficientes de manejo del agua como el riego por goteo y la implementación de prácticas de conservación de agua para minimizar las pérdidas y maximizar la eficiencia del uso del agua.

La ET elevada también puede afectar la recarga de acuíferos, ya que menos agua está disponible para infiltrarse en el suelo y recargar las reservas subterráneas.

En cuanto al cambio climático, se espera un aumento de las temperaturas y una variabilidad en los patrones de precipitación, lo que puede incrementar la ET. Esto exacerbaría aún más los desafíos de disponibilidad de agua en la región, por lo que es crucial adoptar estrategias de adaptación y mitigación para enfrentar los impactos del cambio climático.

Escorrentía superficial

La escorrentía superficial es el agua que no se infiltra en el suelo ni se evapora, y que fluye sobre la superficie del terreno hacia cuerpos de agua como ríos, lagos y embalses. En regiones áridas como Arequipa, este valor tiende a ser bajo debido a la limitada precipitación y a las altas tasas de evapotranspiración. Los factores que afectan la escorrentía superficial son:

- Precipitación: con una precipitación anual de 186.4 mm, la cuenca Quilca - Vitor - Chili recibe una cantidad limitada de agua de lluvia. Este bajo valor de precipitación es típico de regiones áridas y es un factor determinante para la baja escorrentía superficial.
- Evapotranspiración real (ET): la ET es de 251.2 mm, lo cual es superior a la precipitación. Esto indica que no solo toda la precipitación se evapora, sino que también se utiliza la humedad almacenada en el suelo. Esto limita la cantidad de agua que puede fluir superficialmente.
- Evapotranspiración potencial (PET): la PET de 1399.5 mm refleja la alta demanda de agua en el ambiente árido. La gran diferencia entre PET y ET destaca las condiciones climáticas extremas que favorecen una rápida evaporación del agua, reduciendo así la escorrentía superficial.

En la unidad hidrográfica Medio Quilca-Vitor-Chili la escorrentía superficial es de 10.15 mm, lo cual indica una baja cantidad de agua que fluye superficialmente. Este valor, en el contexto de una precipitación anual de 186.4 mm, sugiere que solo una pequeña fracción de la precipitación contribuye al flujo superficial. La mayor parte del agua se pierde por

evapotranspiración o se infiltra en el suelo, limitando así la cantidad de agua superficial disponible para captación y uso directo. La baja escorrentía implica que es crucial implementar estrategias para capturar y almacenar el agua de lluvia, además de mejorar la eficiencia en el uso del agua en la región para mitigar la escasez. La precipitación de 186.4 mm en la cuenca Quilca - Vitor - Chili es insuficiente para mantener un flujo superficial constante, ya que la mayor parte del agua se pierde por evapotranspiración o es utilizada inmediatamente por la vegetación. La evapotranspiración real (ET) de 251.2 mm, que supera la precipitación, indica que tanto la vegetación como el suelo están utilizando no solo el agua de lluvia, sino también el agua almacenada en el suelo, lo que reduce significativamente la cantidad de agua disponible para escorrentía superficial. Además, la evapotranspiración potencial (PET) de 1399.5 mm subraya la alta demanda de agua en este ambiente árido. La considerable diferencia entre PET y ET refleja una intensa competencia por el agua, favoreciendo la evaporación rápida y reduciendo aún más la escorrentía superficial. En el contexto del cambio climático la escorrentía superficial también se estaría viendo afectada, pues, al presentarse cada vez más frecuentemente precipitaciones de carácter extremo, el agua no logra percolar al suelo, perdiéndose precisamente por escorrentía superficial. Este problema traería consigo la no recarga de los acuíferos, además de la pérdida de la fertilidad del suelo, debido a la erosión.

Flujo lateral

El flujo lateral es el movimiento del agua a través de las capas superficiales del suelo hacia cuerpos de agua, como ríos y arroyos. Es un componente importante del flujo de agua en cuencas hidrográficas, especialmente en terrenos inclinados o con suelos de alta permeabilidad. Los factores que afectan el flujo lateral son:

- Precipitación: la precipitación anual de 186.4 mm es baja, lo que limita la cantidad de agua disponible para generar flujo lateral.

- Evapotranspiración real (ET): la ET de 251.2 mm indica que gran parte del agua disponible se pierde por evapotranspiración, reduciendo la cantidad de agua que podría contribuir al flujo lateral.
- Evapotranspiración potencial (PET): la PET de 1399.5 mm refleja una alta demanda de agua en el ambiente árido, lo que exacerba la competencia por el agua y reduce la cantidad de agua que puede infiltrarse y contribuir al flujo lateral.
- Escorrentía superficial: la escorrentía superficial de 10.15 mm es baja, lo que sugiere que una cantidad significativa de agua podría estar infiltrándose y moviéndose lateralmente en el suelo en lugar de fluir superficialmente.

En la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili, el flujo lateral es de 10.12 mm. Este valor, en el contexto de la baja precipitación y la alta evapotranspiración, sugiere que el agua se está moviendo lateralmente a través de las capas superiores del suelo. Esto es indicativo de suelos con permeabilidad regular, que permiten la infiltración y el movimiento horizontal del agua. La baja precipitación de 186.4 mm y la escorrentía superficial de 10.15 mm indican que solo una pequeña fracción del agua de lluvia se convierte en flujo lateral, ya que la mayor parte del agua disponible se pierde por evapotranspiración o se infiltra en el suelo. La evapotranspiración real (ET) de 251.2 mm, que supera la precipitación, muestra que el agua de lluvia y el agua almacenada en el suelo se utilizan rápidamente, limitando la disponibilidad para el flujo lateral. Además, la evapotranspiración potencial (PET) de 1399.5 mm subraya la alta demanda de agua, favoreciendo la evaporación rápida y reduciendo la cantidad de agua que puede moverse lateralmente en el suelo. El flujo lateral puede ser beneficioso para la vegetación, ya que ayuda a mantener la humedad en las capas superiores del suelo, lo cual es crucial en regiones áridas donde la disponibilidad de agua es limitada. Aunque el flujo lateral contribuye a mantener la humedad del suelo, la alta ET y la baja recarga profunda limitan la cantidad de agua que llega a los acuíferos profundos, por lo que es

esencial manejar este flujo para maximizar la recarga de acuíferos someros y mantener el equilibrio hídrico.

Flujo de retorno

El flujo de retorno es el proceso por el cual el agua, que ha infiltrado el suelo y se ha movido lateralmente o verticalmente, regresa a la superficie o a un cuerpo de agua superficial. Este flujo es crucial para mantener los caudales base de los ríos y garantizar la disponibilidad de agua superficial en épocas de sequía. Los factores que afectan el flujo de retorno son:

- Precipitación: con una precipitación anual de 186.4 mm, la cantidad de agua que puede infiltrarse y retornar es limitada, ya que la mayor parte del agua de lluvia se pierde rápidamente en el ambiente árido. Esta baja precipitación es insuficiente para mantener un flujo de retorno significativo, afectando la disponibilidad de agua superficial para uso agrícola y doméstico.
- Evapotranspiración real (ET): la ET de 251.2 mm indica que una gran cantidad de agua se evapora o es transpirada por la vegetación, dejando menos agua disponible para recargar los acuíferos y contribuir al flujo de retorno. La alta ET, que supera la precipitación, muestra que el agua de lluvia y el agua almacenada en el suelo se utilizan rápidamente, limitando la disponibilidad de agua para el flujo de retorno.
- Evapotranspiración potencial (PET): la PET de 1399.5 mm refleja una demanda hídrica extremadamente alta en un ambiente árido, lo que agrava la pérdida de agua por evaporación y transpiración. La considerable diferencia entre PET y ET subraya la alta competencia por el agua, favoreciendo la evaporación rápida y reduciendo aún más la cantidad de agua que podría contribuir al flujo de retorno.

- Escorrentía superficial: con una escorrentía superficial de 10.15 mm, hay poca agua superficial que pueda contribuir directamente al flujo de retorno. La mayor parte del agua de lluvia se infiltra en el suelo, reduciendo la cantidad de agua que fluye superficialmente hacia los ríos y arroyos. Esta baja escorrentía implica que hay menos agua superficial disponible para captación y uso directo.
- Flujo lateral: un flujo lateral de 10.12 mm sugiere que parte del agua infiltrada se mueve horizontalmente a través de las capas del suelo, contribuyendo indirectamente al flujo de retorno al mantener la humedad del suelo y apoyar la recarga de las capas superiores del acuífero. Este movimiento lateral del agua es indicativo de suelos con permeabilidad regular, que permiten la infiltración y el movimiento horizontal del agua.

En la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vítor - Chili el flujo de retorno es de 3.33 mm, lo cual indica una limitada cantidad de agua que regresa a la superficie desde las capas superiores del acuífero. Esta baja tasa de retorno refleja las condiciones áridas de la región, donde la mayor parte del agua de lluvia se pierde rápidamente por evapotranspiración o se infiltra en el suelo sin alcanzar los acuíferos profundos. La precipitación anual de 186.4 mm, combinada con una alta evapotranspiración real de 251.2 mm, sugiere que el agua disponible en la superficie y en las capas superiores del suelo es utilizada de manera inmediata por la vegetación o se evapora rápidamente, limitando la recarga de los acuíferos superficiales y profundos. La alta evapotranspiración potencial (PET) de 1399.5 mm subraya la demanda intensa de agua en este ambiente árido, exacerbando la competencia por el agua y reduciendo la cantidad de agua que podría retornar a la superficie. Además, la escorrentía superficial de solo 10.15 mm y el flujo lateral de 10.12 mm refuerzan la idea de que la mayor parte del agua se infiltra rápidamente o es utilizada por la vegetación, dejando poca agua para el flujo de retorno. Estas condiciones resaltan la importancia de implementar estrategias de manejo hídrico que maximicen la recarga de las capas superiores del acuífero y los acuíferos profundos, tales como la

construcción de infraestructuras para la captación y almacenamiento de agua de lluvia y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. Además, en el contexto del cambio climático, es crucial desarrollar planes de adaptación que consideren las proyecciones de mayor aridez y variabilidad en las precipitaciones, asegurando la sostenibilidad de los recursos hídricos en la cuenca Quilca - Vítor - Chili. La limitada contribución de los acuíferos, evidenciada por el flujo de retorno de 3.33 mm, subraya la necesidad de estrategias efectivas de gestión hídrica para maximizar la recarga de las capas superiores del acuífero y mejorar la eficiencia del uso del agua, especialmente en regiones áridas con alta demanda hídrica.

Percolación a las capas superficiales del acuífero

La percolación a las capas superficiales del acuífero se refiere al proceso mediante el cual el agua se infiltra a través del suelo y llega a las zonas superiores del acuífero subterráneo. Este proceso es crucial para la recarga de acuíferos y el mantenimiento de la disponibilidad de agua subterránea. Los factores que influyen en la percolación son:

- Precipitación: la precipitación anual de 186.4 mm es baja en esta región árida. Una menor cantidad de lluvia limita la cantidad de agua disponible para la percolación, ya que gran parte de la precipitación se pierde por evapotranspiración o es utilizada por la vegetación en las capas superficiales del suelo.
- Evapotranspiración real (ET): la ET de 251.2 mm indica que una gran cantidad de agua se evapora o es transpirada por la vegetación. Este valor, que supera la precipitación, sugiere que la mayor parte del agua disponible se utiliza rápidamente, dejando menos agua para la percolación hacia las capas más profundas del acuífero.
- Evapotranspiración potencial (PET): la PET de 1399.5 mm refleja una demanda hídrica extremadamente alta en el ambiente árido de la cuenca. La diferencia significativa entre PET y ET muestra que hay

una gran competencia por el agua, lo que reduce aún más la cantidad de agua que podría percolar.

- Escorrentía superficial: con una escorrentía superficial de 10.15 mm, se observa que una cantidad significativa de agua de lluvia se infiltra en el suelo en lugar de fluir superficialmente hacia los cuerpos de agua. Esto sugiere una buena capacidad de infiltración del suelo, aunque no toda el agua infiltrada alcanza las capas profundas.
- Flujo lateral: un flujo lateral de 10.12 mm indica que parte del agua infiltrada se mueve horizontalmente en las capas del suelo, contribuyendo indirectamente a la recarga de las capas superficiales del acuífero al mantener la humedad del suelo.
- Flujo de retorno: el flujo de retorno de 3.33 mm es bajo, lo que indica que hay una interacción limitada entre el agua subterránea y la superficie. La mayor parte del agua infiltrada se utiliza para mantener la humedad del suelo o se pierde por evapotranspiración.

En la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili, la percolación a las capas superficiales del acuífero es de 14.03 mm. Este valor sugiere que, aunque una parte del agua de lluvia se infiltra hacia las capas más profundas del suelo, la cantidad es insuficiente para una recarga significativa del acuífero. La baja precipitación anual de 186.4 mm en esta región árida, combinada con una alta evapotranspiración real de 251.2 mm, indica que el agua disponible en la superficie y en las capas superiores del suelo es utilizada rápidamente por la vegetación o se evapora, dejando poca agua para la percolación profunda. La alta evapotranspiración potencial (PET) de 1399.5 mm subraya la intensa demanda de agua en este ambiente árido, exacerbando la competencia por el agua y reduciendo aún más la cantidad de agua que puede percolar hacia las capas más profundas del acuífero. La escorrentía superficial de solo 10.15 mm y el flujo lateral de 10.12 mm sugieren que la mayor parte del agua de lluvia se infiltra en el suelo y se mueve lateralmente, manteniendo la humedad

del suelo, pero limitando la cantidad de agua que recarga los acuíferos. El flujo de retorno de 3.33 mm refuerza esta idea, mostrando que la mayor parte del agua infiltrada se utiliza para mantener la humedad del suelo o se pierde por evapotranspiración, sin alcanzar las capas más profundas del acuífero. Estas condiciones resaltan la necesidad de implementar estrategias de manejo hídrico que maximicen la recarga de las capas superficiales del acuífero y los acuíferos profundos, tales como la construcción de infraestructuras para la captación y almacenamiento de agua de lluvia y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. En el contexto del cambio climático, es crucial desarrollar planes de adaptación que consideren las proyecciones de mayor aridez y variabilidad en las precipitaciones, asegurando la sostenibilidad de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili. La limitada contribución de los acuíferos, evidenciada por la percolación de 14.03 mm, subraya la necesidad de estrategias efectivas de gestión hídrica para maximizar la recarga de las capas superficiales del acuífero y mejorar la eficiencia del uso del agua, especialmente en regiones áridas con alta demanda hídrica.

Revaporización desde las capas superficiales del acuífero

La revaporización desde las capas superficiales del acuífero se refiere al proceso mediante el cual el agua almacenada en las capas superiores del acuífero asciende nuevamente hacia la zona radicular del suelo, debido a la demanda evaporativa de la superficie. Este fenómeno es crucial en la gestión hídrica, especialmente en regiones áridas, ya que afecta la disponibilidad de agua para la vegetación y puede influir en la recarga de acuíferos y la sostenibilidad de los recursos hídricos. Los factores que influyen en la revaporización son:

- Precipitación: la precipitación es la principal fuente de agua que recarga el suelo y las capas superficiales del acuífero. Con una precipitación anual de 186.4 mm en la unidad hidrográfica Medio

Quilca - Vitor - Chili, la cantidad de agua que puede infiltrarse y contribuir a la revaporización es limitada.

- Evapotranspiración real (ET): la ET de 251.2 mm indica una alta demanda de agua por la vegetación y la atmósfera. Esta alta tasa de evapotranspiración real puede aumentar la cantidad de agua que es extraída desde las capas superficiales del acuífero hacia la zona radicular.
- Evapotranspiración potencial (PET): la PET de 1399.5 mm refleja una demanda hídrica extremadamente alta en el ambiente árido de la región, lo que puede aumentar la revaporización a medida que las plantas y la evaporación de la superficie extraen agua desde las capas superficiales del acuífero.
- Escorrentía superficial: la baja escorrentía superficial de 10.15 mm indica que una gran parte del agua de lluvia se infiltra en el suelo, contribuyendo potencialmente a la recarga de las capas superficiales del acuífero, que luego puede ser revaporizada.
- Flujo lateral: un flujo lateral de 10.12 mm sugiere que parte del agua infiltrada se mueve horizontalmente a través del suelo, contribuyendo a mantener la humedad del suelo y afectando indirectamente la cantidad de agua disponible para la revaporización.
- Flujo de retorno: el flujo de retorno de 3.33 mm indica una interacción limitada entre el agua subterránea y la superficie, lo que puede limitar la cantidad de agua que puede ser revaporizada desde las capas superficiales del acuífero.
- Percolación a las capas superficiales del acuífero: la percolación de 14.03 mm a las capas superficiales del acuífero sugiere que, aunque hay una cantidad moderada de agua que alcanza estas capas, la

competencia por el agua debido a la alta ET y PET limita la cantidad de agua que puede ser revaporizada.

En la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili la revaporización desde las capas superficiales del acuífero es de 15.23 mm. Este valor indica que una cantidad significativa de agua almacenada en estas capas es extraída hacia la superficie y la zona radicular del suelo debido a la alta demanda evaporativa característica de la región árida. La precipitación anual de 186.4 mm es insuficiente para proporcionar una recarga sustancial a estas capas, y la alta evapotranspiración real (ET) de 251.2 mm muestra que tanto el agua de lluvia como la almacenada en el suelo se utilizan rápidamente por la vegetación y la atmósfera. Esto reduce la cantidad de agua que permanece en las capas superiores del acuífero para una recarga más profunda. La alta evapotranspiración potencial (PET) de 1399.5 mm subraya la intensa demanda de agua en esta región árida, exacerbando la competencia por el agua y aumentando la tasa de revaporización. La baja escorrentía superficial de 10.15 mm y el flujo lateral de 10.12 mm sugieren que la mayor parte del agua de lluvia se infiltra en el suelo, contribuyendo a la recarga de las capas superficiales del acuífero, que luego puede ser revaporizada. Sin embargo, el bajo flujo de retorno de 3.33 mm y la percolación de 14.03 mm indican que, aunque hay agua disponible en las capas superficiales del acuífero, la alta demanda evaporativa limita su disponibilidad para recargas más profundas. Estas condiciones resaltan la importancia de implementar estrategias de manejo hídrico que maximicen la recarga de las capas superficiales del acuífero y los acuíferos profundos. Es esencial construir infraestructuras para la captación y almacenamiento de agua de lluvia, así como promover prácticas agrícolas sostenibles que optimicen el uso del agua. En cuanto al cambio climático, es crucial desarrollar planes de adaptación que consideren las proyecciones de mayor aridez y variabilidad en las precipitaciones, asegurando la sostenibilidad de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili. La alta tasa de revaporización desde las capas superficiales del acuífero subraya la necesidad de estrategias efectivas de gestión hídrica

para mantener el equilibrio hídrico y mejorar la eficiencia del uso del agua en regiones áridas con alta demanda hídrica.

Recarga del acuífero profundo

La recarga al acuífero profundo se refiere al proceso mediante el cual el agua se infiltra a través de las capas superficiales del suelo y llega a las zonas más profundas del acuífero, donde puede almacenarse durante largos períodos de tiempo. Este proceso es crucial para mantener la disponibilidad de agua subterránea a largo plazo, especialmente en regiones áridas donde la precipitación es baja y la evaporación es alta. Los factores que influyen en la recarga del acuífero profundo son:

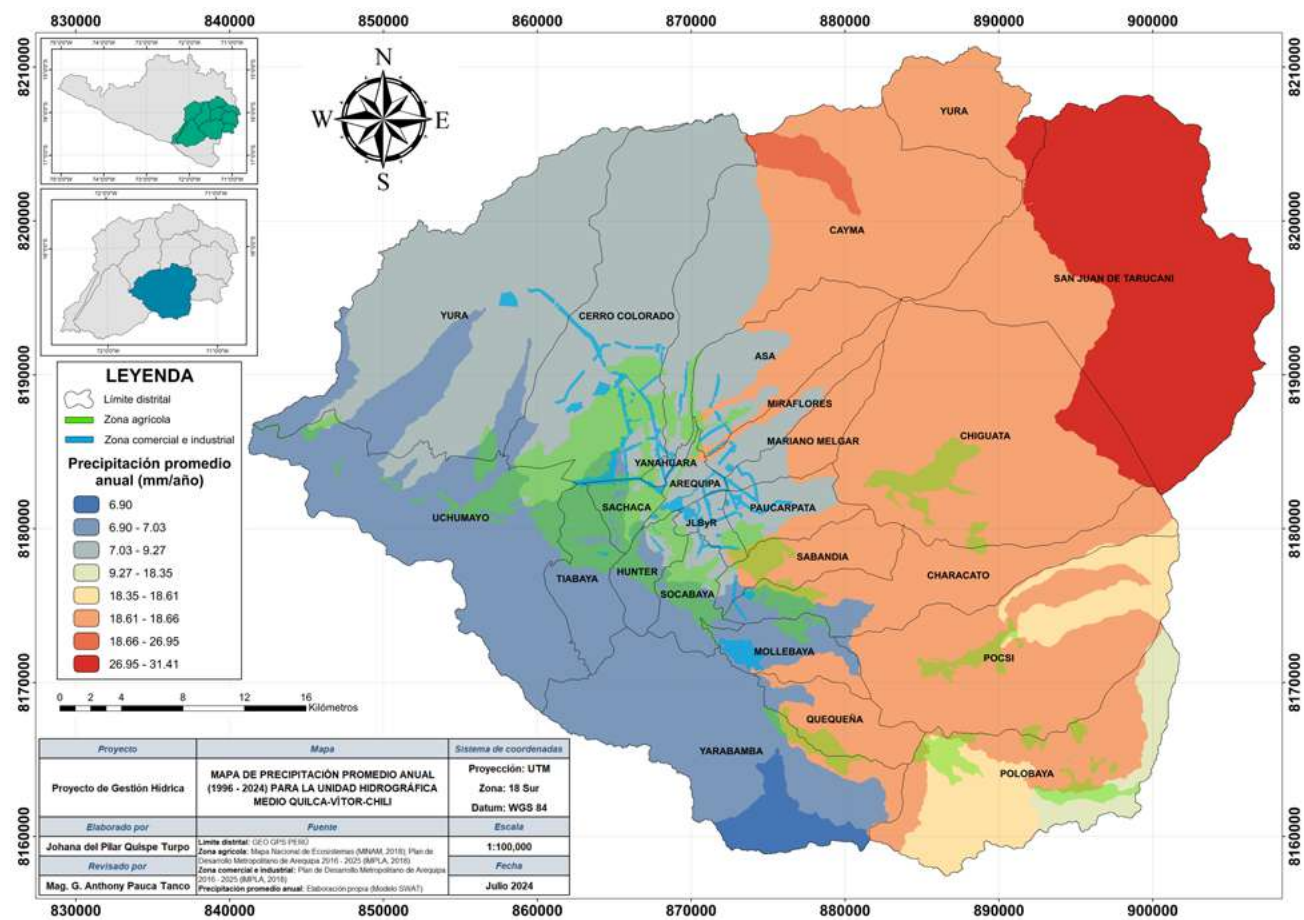
- Precipitación: la cantidad de agua que puede llegar al acuífero profundo depende en gran medida de la precipitación. En la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili la precipitación anual es de 186.4 mm, lo cual es relativamente bajo. La baja precipitación limita la cantidad de agua disponible para la recarga profunda.
- Evapotranspiración real (ET): la evapotranspiración real en esta región es de 251.2 mm, superando la precipitación. Esto indica que la mayor parte del agua se pierde por evaporación y transpiración de las plantas antes de que se pueda infiltrar profundamente en el suelo.
- Evapotranspiración potencial (PET): la evapotranspiración potencial es extremadamente alta, con un valor de 1399.5 mm. Esto refleja una alta demanda de agua en el ambiente árido, exacerbando la competencia por el agua y reduciendo aún más la cantidad de agua disponible para la recarga profunda.
- Escorrentía superficial: la escorrentía superficial es de 10.15 mm, indicando que una pequeña fracción de la precipitación se convierte en flujo superficial, dejando una cantidad limitada de agua para infiltrarse en el suelo.

- Flujo lateral: el flujo lateral es de 10.12 mm, lo que sugiere que una parte del agua se mueve lateralmente a través de las capas superiores del suelo en lugar de infiltrarse verticalmente hacia el acuífero profundo.
- Flujo de retorno: el flujo de retorno de 3.33 mm es bajo, indicando que hay una interacción limitada entre el agua subterránea y la superficie. La mayor parte del agua infiltrada se utiliza para mantener la humedad del suelo o se pierde por evapotranspiración.
- Percolación a las capas superficiales del acuífero: la percolación es de 14.03 mm, lo que sugiere que una cantidad moderada de agua se mueve hacia las capas superiores del acuífero, pero no necesariamente llega a las capas más profundas debido a la alta demanda evaporativa y de transpiración.

En la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili la recarga al acuífero profundo es de 0.7 mm, lo cual es extremadamente bajo. Este valor refleja las condiciones áridas de la región y la alta competencia por el agua. La baja precipitación anual de 186.4 mm y la alta evapotranspiración real de 251.2 mm limitan significativamente la cantidad de agua que puede infiltrarse profundamente en el suelo. La mayor parte del agua se pierde por evapotranspiración o se utiliza para mantener la humedad en las capas superiores del suelo, dejando muy poca cantidad para la recarga profunda. La alta evapotranspiración potencial (PET) de 1399.5 mm subraya la intensa demanda de agua en este ambiente árido, exacerbando la competencia por el agua y reduciendo la cantidad de agua que podría llegar al acuífero profundo. Además, la escorrentía superficial de solo 10.15 mm y el flujo lateral de 10.12 mm refuerzan la idea de que la mayor parte del agua se infiltra rápidamente o es utilizada por la vegetación, dejando poca agua para la recarga profunda. Estas condiciones resaltan la importancia de implementar estrategias de manejo hídrico que maximicen la recarga de las capas superficiales y los acuíferos profundos, tales como la construcción de infraestructuras para la captación y almacenamiento de agua de lluvia y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. Además, en el contexto

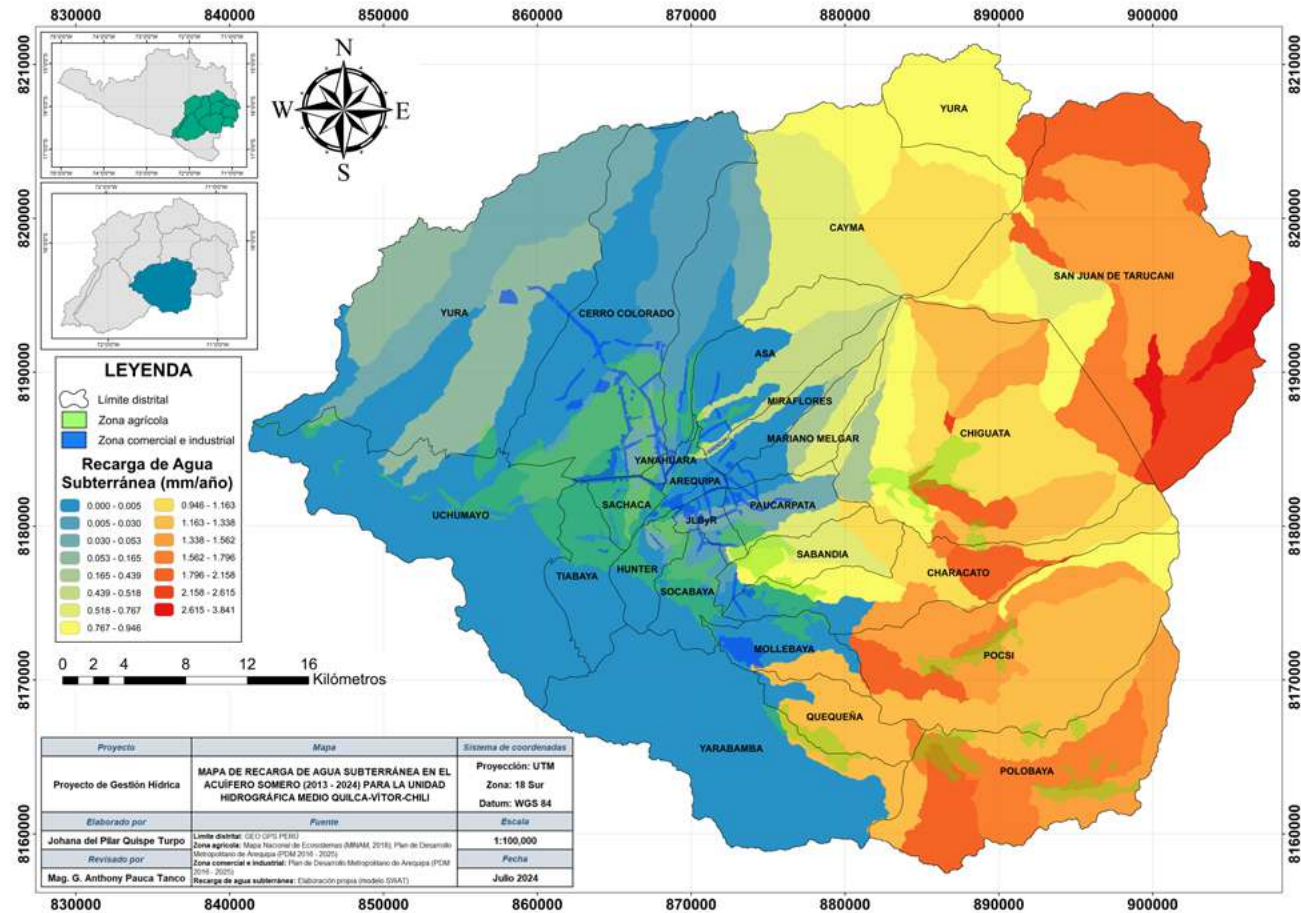
del cambio climático, es crucial desarrollar planes de adaptación que consideren las proyecciones de mayor aridez y variabilidad en las precipitaciones, asegurando la sostenibilidad de los recursos hídricos en la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili. La limitada recarga al acuífero profundo, evidenciada por el valor de 0.7 mm, subraya la necesidad de estrategias efectivas de gestión hídrica para maximizar la recarga y mejorar la eficiencia del uso del agua, especialmente en regiones áridas con alta demanda hídrica.

Figura 25.
Precipitación promedio anual (1996-2024)
para la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor – Chili



Los patrones de precipitación para la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vítor - Chili muestran que esta varía según un gradiente altitudinal, siendo las zonas altas más húmedas. Por otro lado, se puede indicar también que la precipitación disminuye en la dirección este-oeste, alcanzando las zonas con mayor lluvia valores entre 18.6 - 31.4 mm y las con menor 6.9 - 7.0 mm. En cuanto a la localización específica, se muestra que las zonas con mayor precipitación anual se encuentran en la parte nororiental, en las zonas altas de los distritos de San Juan de Tarucani, Chiguata y Yura, donde se alcanzan valores de 18.6 - 31.41 mm. Valores de precipitación intermedia (9.27 - 18.6 mm) se presentan en los distritos de Chiguata, Yura y Polobaya, y parcialmente en los distritos de Cayma, Alto Selva Alegre, Miraflores, Mariano Melgar, Quequeña, Sabandía, Characato, Paucarpata, Mollebaya y Yarabamba. En cuanto a los valores más bajos (6.9 - 9.27 mm), se presentan en los distritos de Uchumayo, Yura, Cerro Colorado, Arequipa, Hunter, Socabaya, Tiabaya, Sachaca y Yanahuara; en el sentido anterior entonces, se puede indicar que gran parte de Arequipa metropolitana se encuentra en una zona de muy escasas precipitaciones. La vulnerabilidad hídrica se destaca en la zona comercio-industrial, la cual precisamente se desarrolla en zonas con escasa precipitación, por lo tanto, el recurso hídrico es limitado, en el sentido de que las fuentes de agua subterránea no se recargan directamente con las precipitaciones, sino que probablemente deben de provenir de los sectores con mayor precipitación, tal como es la zona oriental de la unidad hidrográfica. Lo anterior es preocupante, pues al no tener una clara gestión de las zonas de recarga hídrica (entre ellas su propia identificación), diversos factores pueden alterar significativamente los procesos de recarga de agua subterránea, poniendo en riesgo las actividades económicas dependientes de esta. En este caso, al tratarse de la precipitación, es necesario proteger la vegetación, pues este ayuda primero a regular el movimiento hídrico subterráneo; y segundo, a la percolación del agua de lluvia en el mismo terreno. La carencia de vegetación traería como problemas la erosión del suelo y la pérdida del agua debido a una alta escorrentía superficial.

Figura 26.
Recarga de agua subterránea en el acuífero somero (2013 - 2024)
para la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vitor - Chili



Los patrones generales muestran que la mayor cantidad de recarga de agua subterránea se da en las zonas altas de la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vítor - Chili, en los distritos de Polobaya, Pocsi, Characato, Chiguata y San Juan de Tarucani (valores entre 0.36 - 3.84 mm). Por otro lado, distritos como Sabandía, Paucarpata, Mariano Melgar, Miraflores y Cayma presentan una percolación media-baja (entre 0.36 - 1.0 mm). Los distritos de Yura, Uchumayo, Tiabaya, Yarabamba, Arequipa y Yanahuara presentan una recarga muy baja, con valores que se encuentran entre los 0 - 0.36 mm. Cabe destacar que la zona metropolitana de Arequipa se encuentra en una zona muy baja de recarga, es decir, las condiciones propicias para la infiltración del agua en esta zona son escasas. Sin embargo, es posible observar que algunas zonas de la ciudad tienen recargas algo más elevadas (precisamente la zona comercio-industrial), y que estas recargas estarían proviniendo de las zonas más altas. Por ejemplo, se puede destacar la zona de color naranja (valores entre 0.36 - 1.00 mm), la cual se introduce hacia el centro de la ciudad, alcanzando algunas zonas industriales, e indicaría que el agua subterránea que se usa para ese sector estaría proviniendo de las zonas altas de los distritos de Mariano Melgar, Paucarpata y Miraflores. Esto último es importante para la toma de decisiones, en cuanto a la preservación de ciertas zonas para la recarga de los acuíferos, y así asegurar el recurso para la actividad económica antes mencionada.

6. Conclusiones

Las zonas con el mayor índice de potencial de recarga se ubican por encima de los 3000 m s. n. m., donde se encuentra la infraestructura de almacenamiento de la cuenca, lo que contribuye a la recarga de los acuíferos. Cabe destacar que estos aportes son estacionales, asociados a los periodos de lluvias, mientras que en los embalses se mantienen de manera constante. Sin embargo, debido a la falta de conocimiento sobre la dinámica del flujo de agua en estos acuíferos, no se tiene claridad sobre las áreas más adecuadas para realizar recargas eficientes en la cuenca.

Las zonas de mayor vulnerabilidad en la cuenca están vinculadas a las áreas con mayor índice para el potencial de recarga. Estas zonas, con baja densidad poblacional, no han sido objeto de una gestión adecuada en los instrumentos de planificación revisados posiblemente debido a su escasa población, por lo que se entiende que no se les asigna ningún valor a estos ecosistemas siendo tan importantes para el abastecimiento hídrico. La realización de estudios de valoración de servicios ecosistémicos específicos, junto con estudios hidrogeológicos, serían fundamentales para comprender mejor la dinámica del ciclo hidrológico en la cuenca.

Las zonas con menor potencial de recarga en la cuenca se encuentran por debajo de los 3000 m s. n. m., donde se concentra la mayoría de las actividades económicas y gran parte de las prácticas agrícolas. Aunque estas actividades pueden contribuir a la recarga de los acuíferos, dicha recarga no se realiza de manera eficiente debido a la condición mencionada. Las actividades industriales en su mayoría usan el agua del acuífero en la ciudad, acuífero que no se recarga tan eficientemente como se demuestra en los índices elaborados.

Los distritos de la unidad hidrográfica Medio Quilca - Vítor - Chili con mayor recarga de agua subterránea son Polobaya, Pocsi, Characato, Chiguata, San Juan de Tarucani, Sabandía, Paucarpata, Mariano Melgar, Miraflores y Cayma. Estos distritos deben ser priorizados con acciones de siembra y cosecha de agua para fortalecer el acuífero en el entorno urbano. Los distritos con mayor atención para la gestión del recurso hídrico son los ubicados en la parte sur oriental de Arequipa, por presentar un bajo índice de recarga hídrica.

Referencias

Autoridad Nacional del Agua (2011). Codificación y clasificación de cursos de agua superficiales del Perú. Informe final. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/596/ANA0000382.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Autoridad Nacional del Agua (2015). Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camaná-Majes-Colca. Informe Final. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/7>

Autoridad Nacional del Agua (2016). Priorización de Cuencas para la Gestión de los Recursos Hídricos. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Dirección de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos. Dirección de la Oficina del Sistema de Información de los Recursos Hídricos. Informe final. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/205>

Autoridad Nacional del Agua (2023). Plan Actualizado de Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca-Chili 2023. Informe final. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca-Chili. Secretaría Técnica. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/5656>

Autoridad Nacional del Agua (2023). Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el Ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca-Chili 2023-2024. Informe final. Elaborado por el Grupo de Trabajo del Plan Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídricas. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/PADH_Quilca_Chili.pdf

Bhattarai, N., & Wagle, P. (2021). Recent Advances in Remote Sensing of Evapotranspiration. Remote Sensing, 13(21), 4260. <https://doi.org/10.3390/rs13214260>

Carpio Fernández, J., Quispe Yanapa, B., Peña Laureano, F., & Sulca Ortiz, P. (2022). Hidrogeología de la cuenca del río Quilca-Vitor-Chili (132) - Boletín H 15. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3885>

Decreto Supremo N.º 001-2010-AG. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (23 de marzo de 2010). <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2010/ds01-2010-ag.pdf>

Decreto Supremo N.º 016-2021-VIVIENDA. Decreto Supremo que aprueba el Texto Único Ordenado del Reglamento del Decreto Legislativo N.º 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N.º 019-2017 -VIVIENDA (28 de agosto de 2021). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1986589-3>

Gobierno Regional de Arequipa (2023). Plan Regional de Saneamiento. Gerencia Regional de Vivienda, Construcción y Saneamiento - Subgerencia de Construcción y Saneamiento. Informe final. <https://viviendarequipa.gob.pe/wp-content/uploads/2023/12/PRS-2023-2027-AREQUIPA.pdf>

Gobierno Regional del Cusco (2022). Plan de Desarrollo Regional Concertado Cusco al 2033. Caracterización del Territorio. Tomo I. Informe final. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3883403/1%20PDR_CUSCO2033%20Tomo_I_%20251122_FINAL.pdf.pdf?v=1669674483

Gobierno Regional del Cusco (2022). Plan de Desarrollo Regional Concertado Cusco al 2033. Caracterización del Territorio. Tomo II. Informe final. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3883413/1%20PDR_CUSCO2033%20Tomo_2_%20251122%20FINAL.pdf.pdf?v=1669674591

Gobierno Regional del Cusco (2022). Plan de Desarrollo Regional Concertado Cusco al 2033. Fase de Futuro Deseado. Informe final. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3883414/PDRC_FASE%202_25_11_CCR.pdf?v=1669674591

Gobierno Regional del Cusco (2022). Plan de Desarrollo Regional Concertado Cusco al 2033. Fase de Políticas y Planes Coordinados. Informe final. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3883415/PDRC%20FASE%203_25_11%20FINAL.pdf?v=1669674591

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2018). Arequipa Resultados Definitivos - Tomo I. Informe final. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1551/04TOMO_01.pdf

Ley de los Recursos Hídricos: Ley N.º 29338 (31 de marzo de 2009). <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/228>

Libélula, C. A. (2018). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en Arequipa Metropolitana. Books. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1181>

Ministerio del Ambiente (2019). Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva. Informe final. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/memoria_mapa_ecosistemas.pdf

Municipalidad Provincial de Arequipa (2016). Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa 2016-2025. Arequipa, Perú.

CAPÍTULO I:

<https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/transparencia/pdm/memoria/MEMORIA%20PLAN%202016-2025%20CAPITULO%201.pdf>

CAPÍTULO II:

<https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/transparencia/pdm/memoria/MEMORIA%20PLAN%202016-2025%20CAPITULO%202.pdf>

CAPÍTULO III:

<https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/transparencia/pdm/memoria/MEMORIA%20PLAN%202016-2025%20CAPITULO%203.pdf>

CAPÍTULO IV:

<https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/transparencia/pdm/memoria/MEMORIA%20PLAN%202016-2025%20CAPITULO%204.pdf>

CAPÍTULO V:

<https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/transparencia/pdm/memoria/MEMORIA%20PLAN%202016-2025%20CAPITULO%205.pdf>

Municipalidad Provincial de Camaná (2018). Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia de Camaná. Informe final. https://drive.google.com/drive/folders/1SatDobaeBNRJ_RgqCuPyoffTchH5ijjQT

Municipalidad Provincial de Caylloma (s. f.). Plan de Desarrollo Estratégico Concertado de la Provincia de Caylloma 2018 - 2030. Informe final. <https://municaylloma.gob.pe/descargar/35/instrumentos-de-gestion/2550/pdec-plan-de-desarrollo-estrategico-concertado.pdf>

Municipalidad Provincial de Espinar (s. f.). Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Yauri. PDU 2017-2027. Reglamento. Informe final. <https://muniespinar.gob.pe/documents/PDU/REGLAMENTO%20PDU.pdf>

Municipalidad Provincial de Islay (s. f.). Plan de Desarrollo Local Concertado Islay 2018-2030. Informe final. https://cdn.www.gob.pe/uploads/medium/archive/000/011/136/PDC_MPI-2018-2030.pdf

Municipalidad Provincial de Lampa (2020). Plan de Desarrollo Económico Local de la Provincia de Lampa 2021-2025. Informe final. <https://munilampa.gob.pe/wp-content/uploads/2024/04/PDEL-LAMPA-FINAL.pdf>

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute. <https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>

Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa - SEDAPAR (2018). Diagnóstico Hídrico Rápido. Informe final. Departamento de Control de Calidad y Efluentes. <https://es.scribd.com/document/466250018/diagnostico-hidrico-rapido>

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SERNANP (2016). Plan Maestro de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, 2016-2020. Informe final. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/506653/-405658198939706661820200203-11250-1oIfkgc.pdf?v=1617986435>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI (2021). Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional. Informe final. Proyecto Apoyo a la Gestión del Cambio Climático. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>

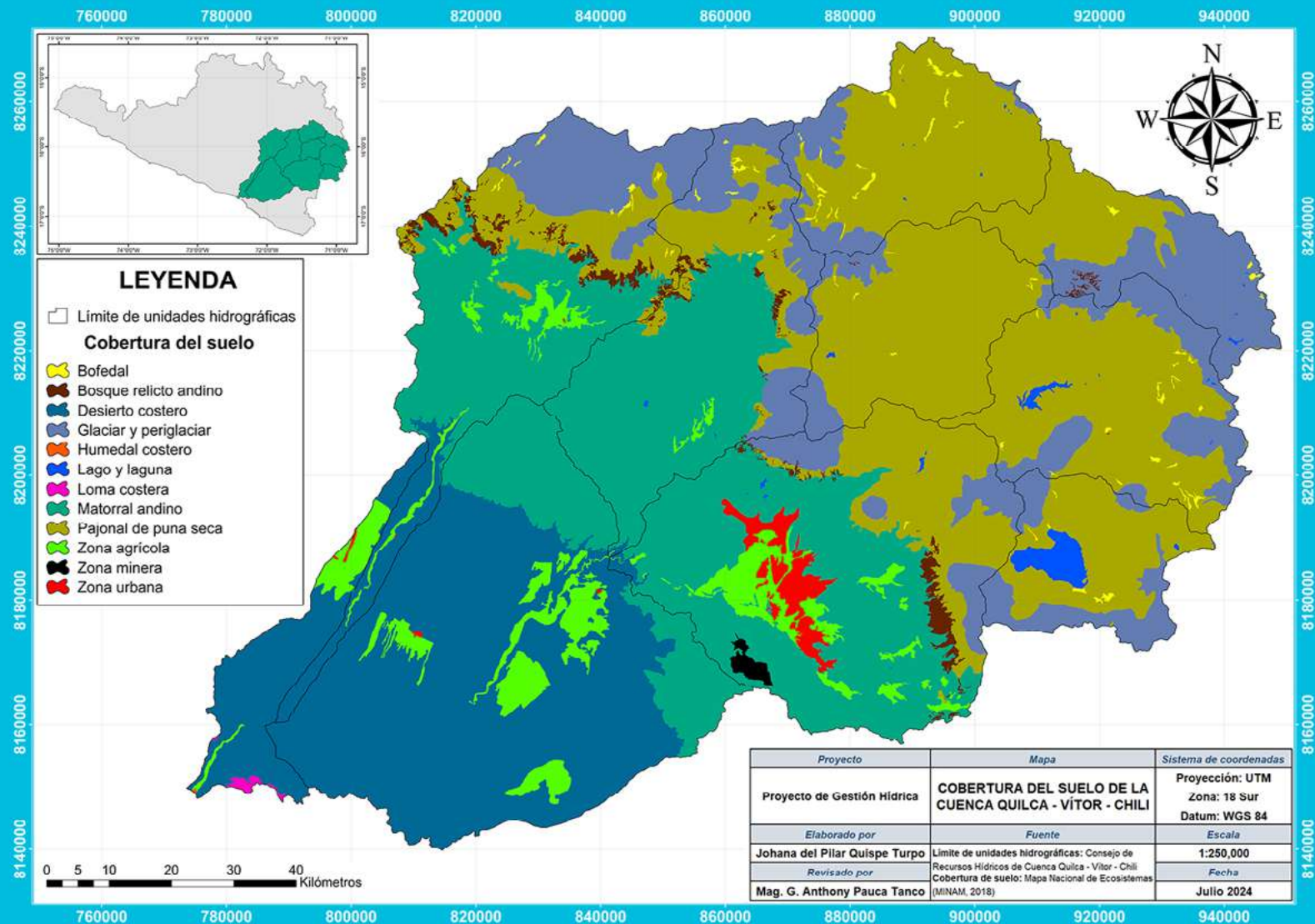


Anexo 1

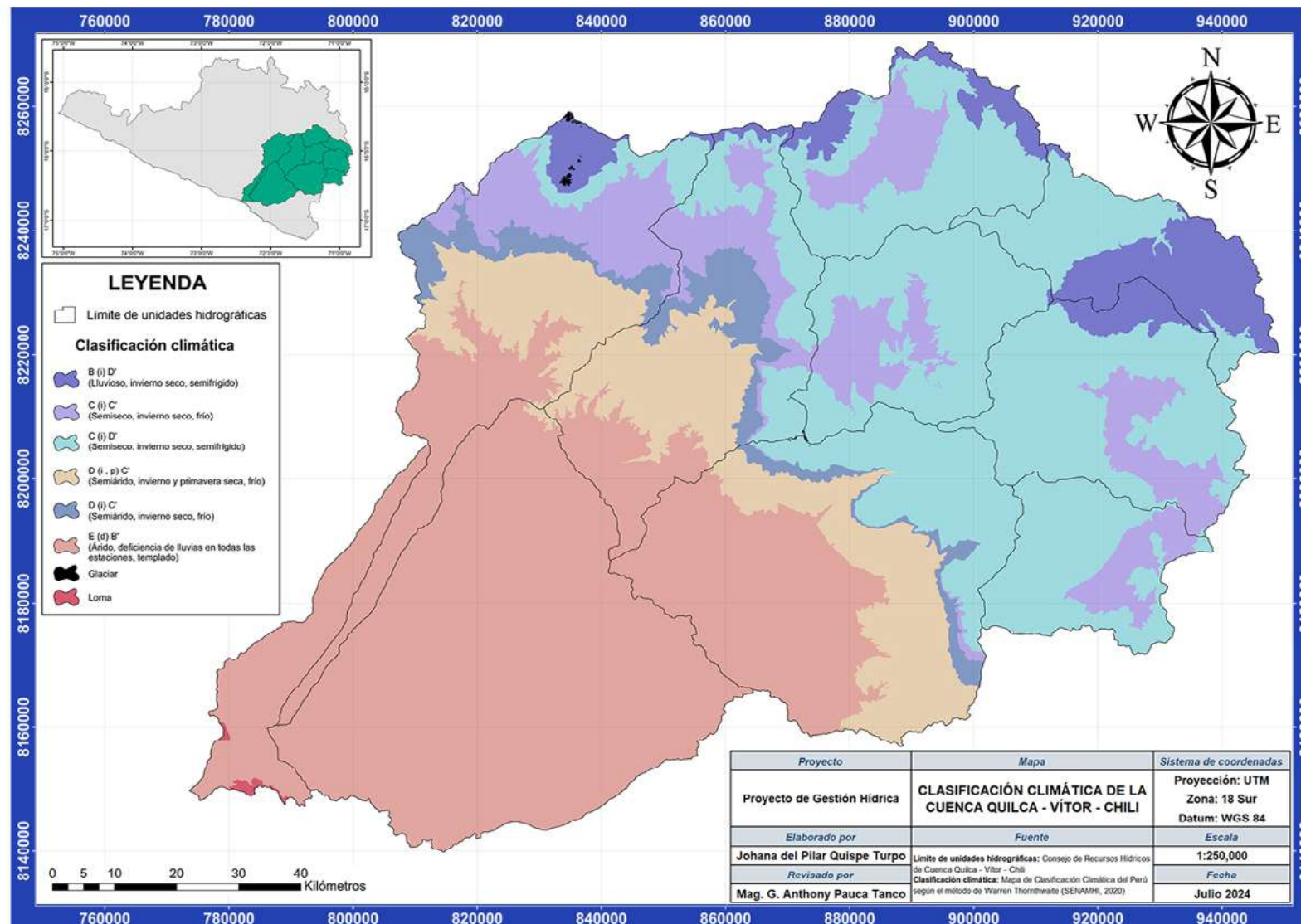
Mapas



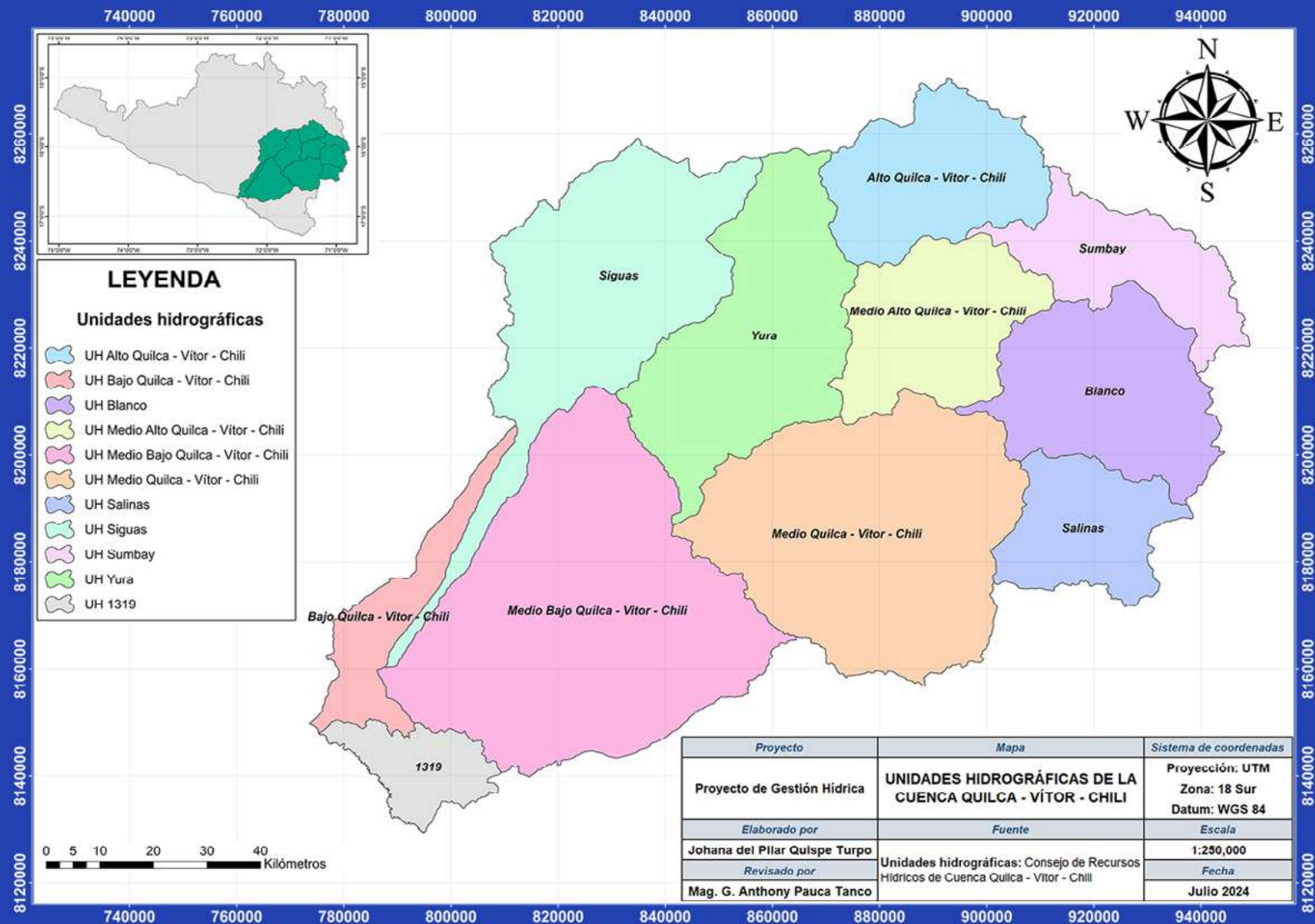
MAPA DE DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI



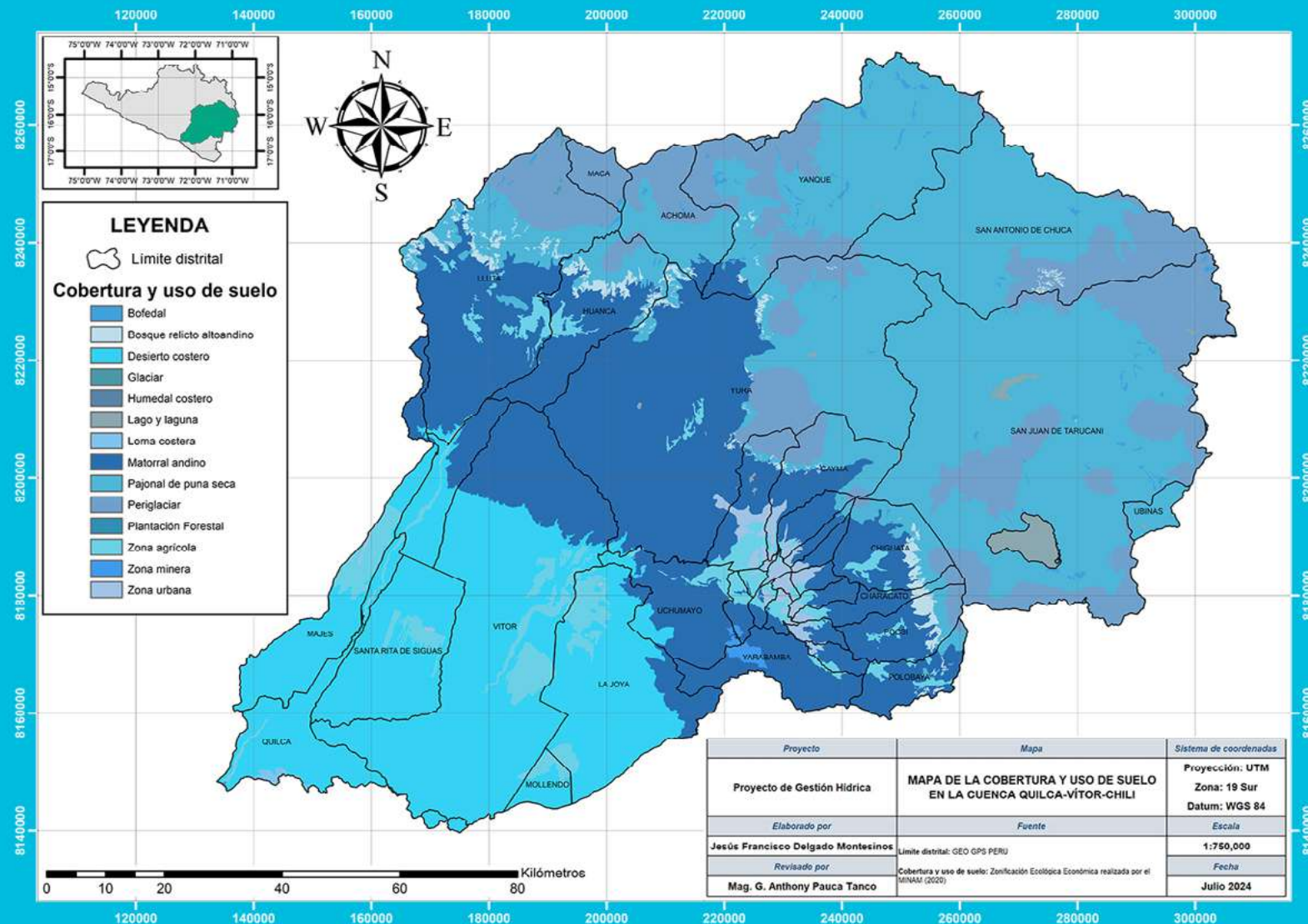
MAPA DE COBERTURA DEL SUELO DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI



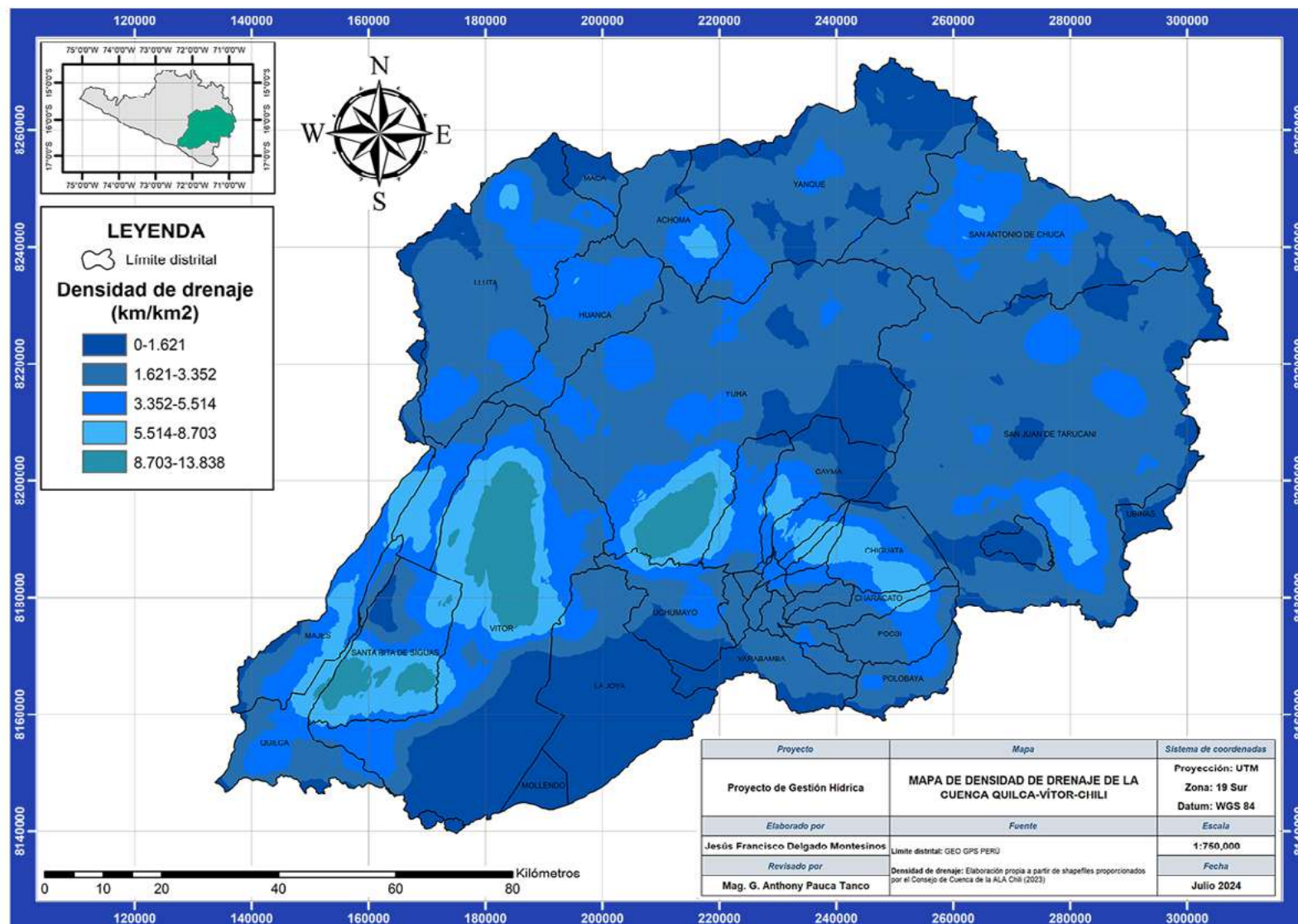
MAPA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI



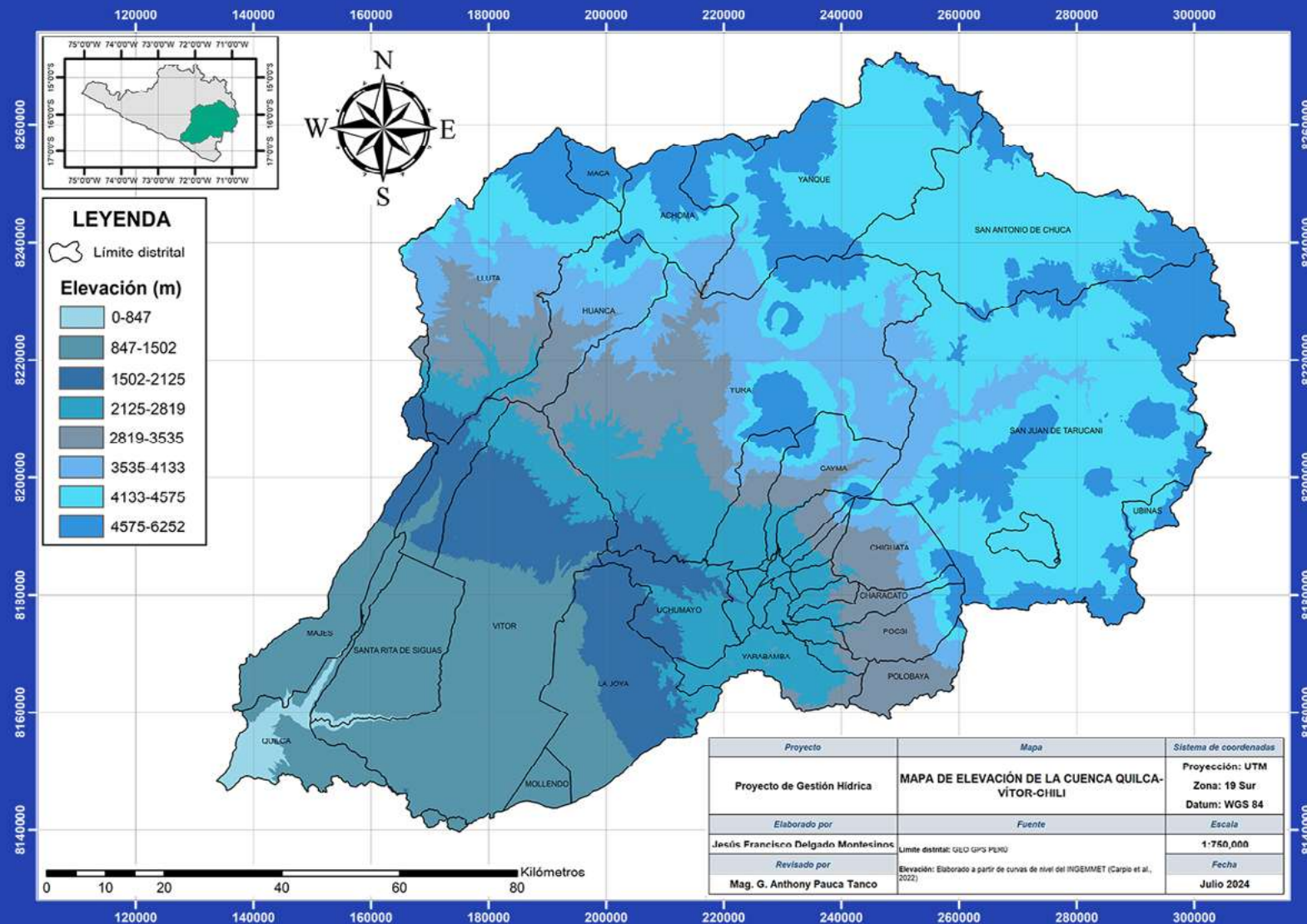
MAPA DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI



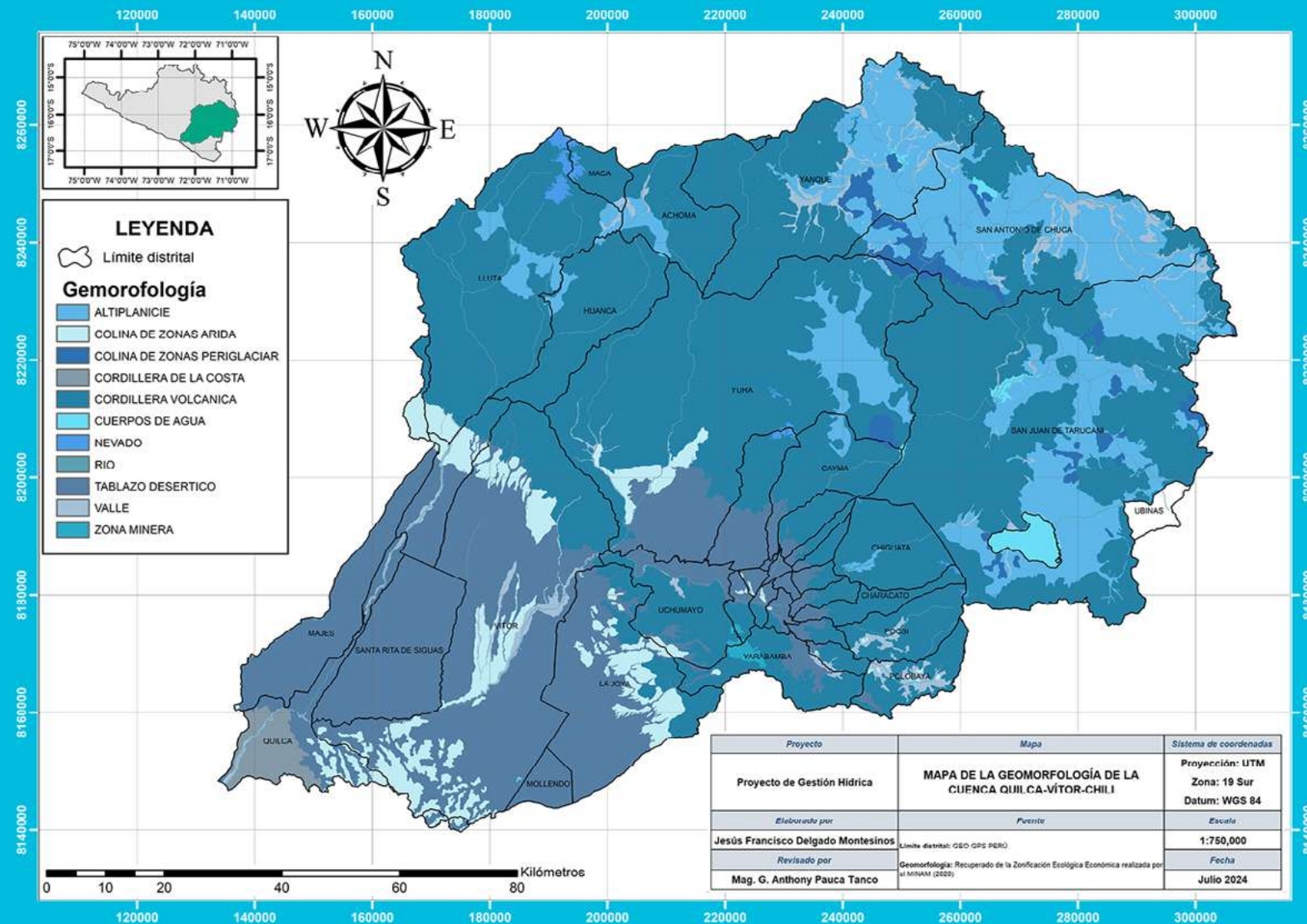
MAPA DE ÍNDICE DE POTENCIAL DE RECARGA (IPR) DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO



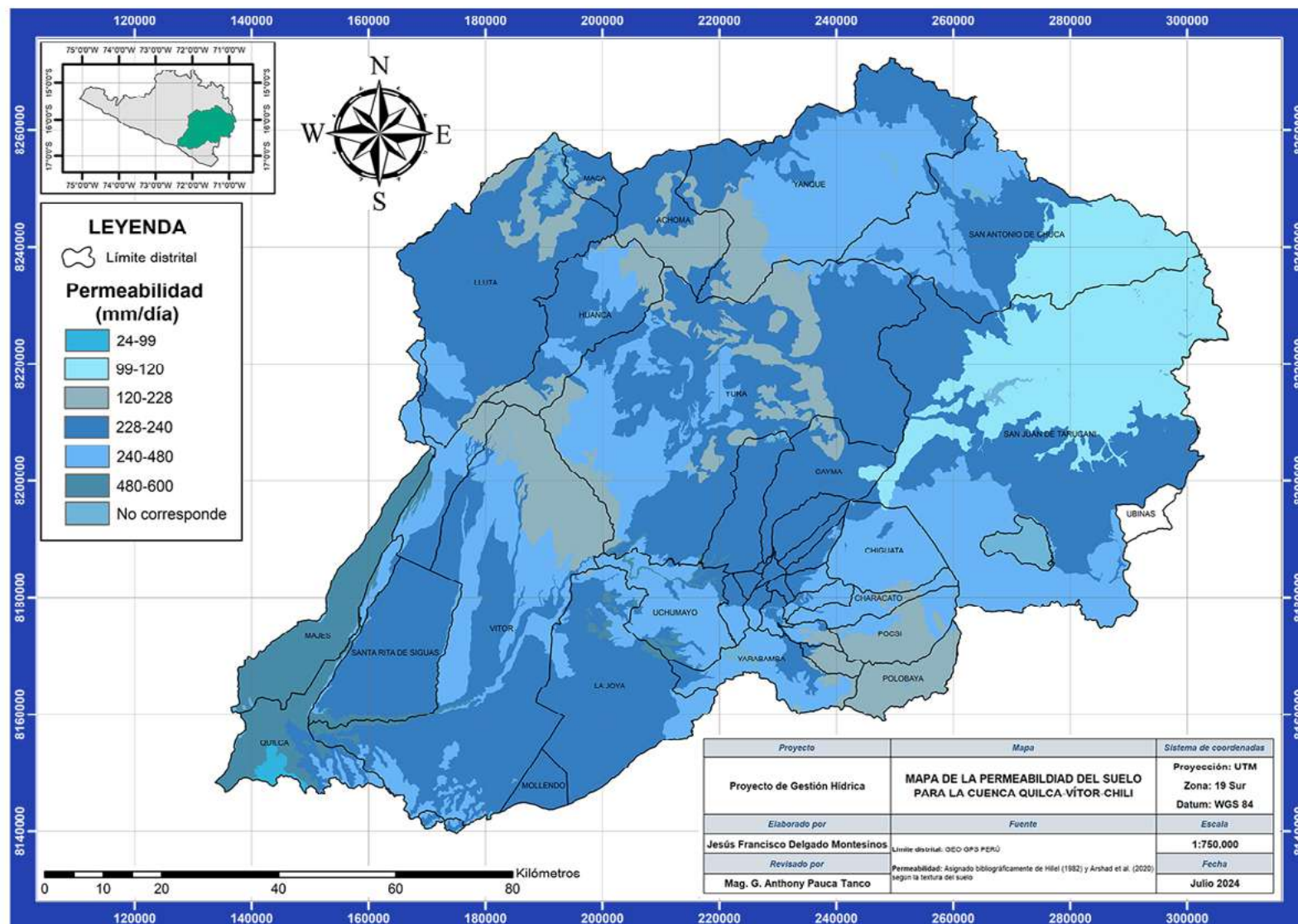
MAPA DE ÍNDICE DE POTENCIAL DE RECARGA (IPR) DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE DENSIDAD DE DRENAJE



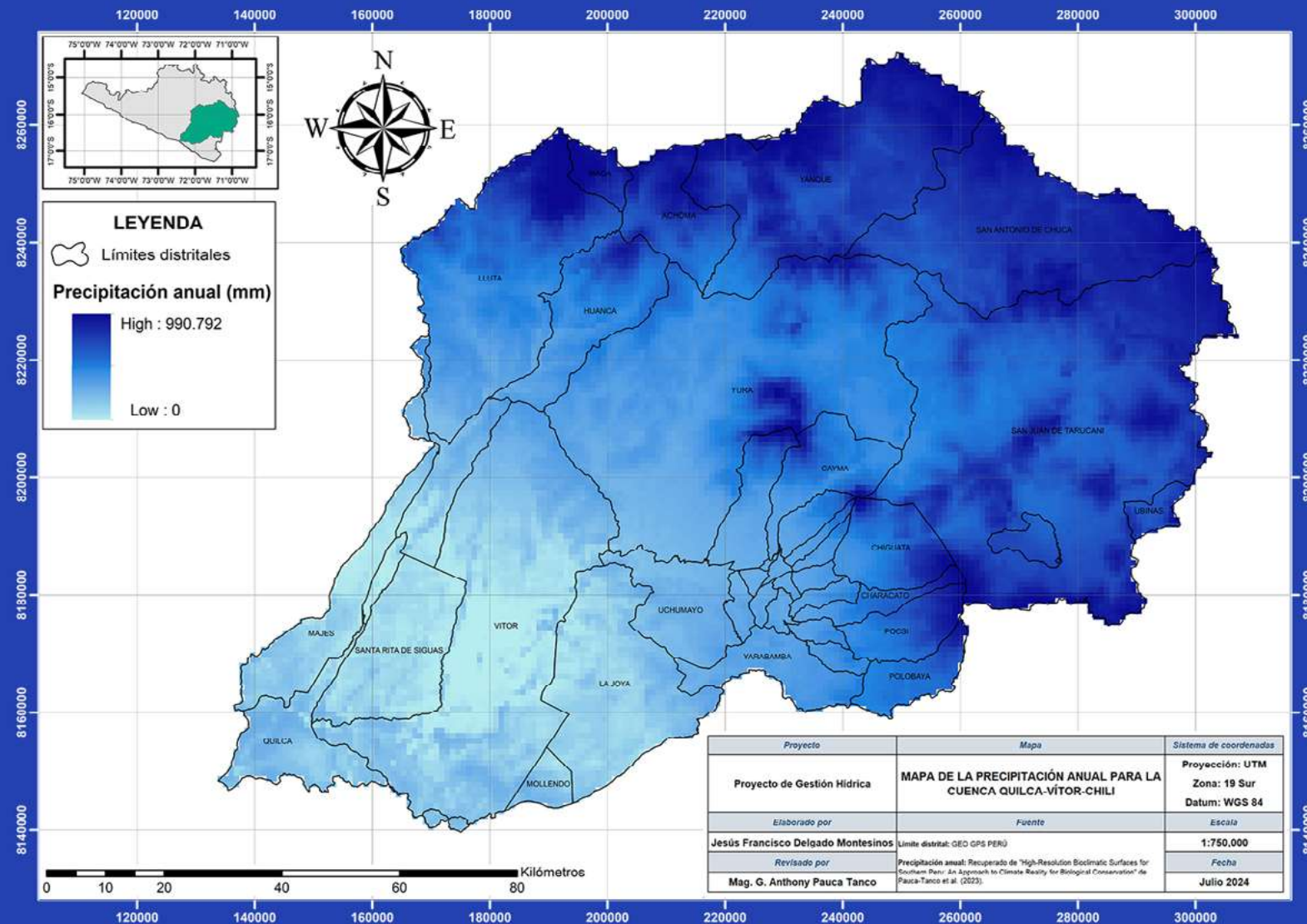
MAPA DE ÍNDICE DE POTENCIAL DE RECARGA (IPR) DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE ELEVACIÓN



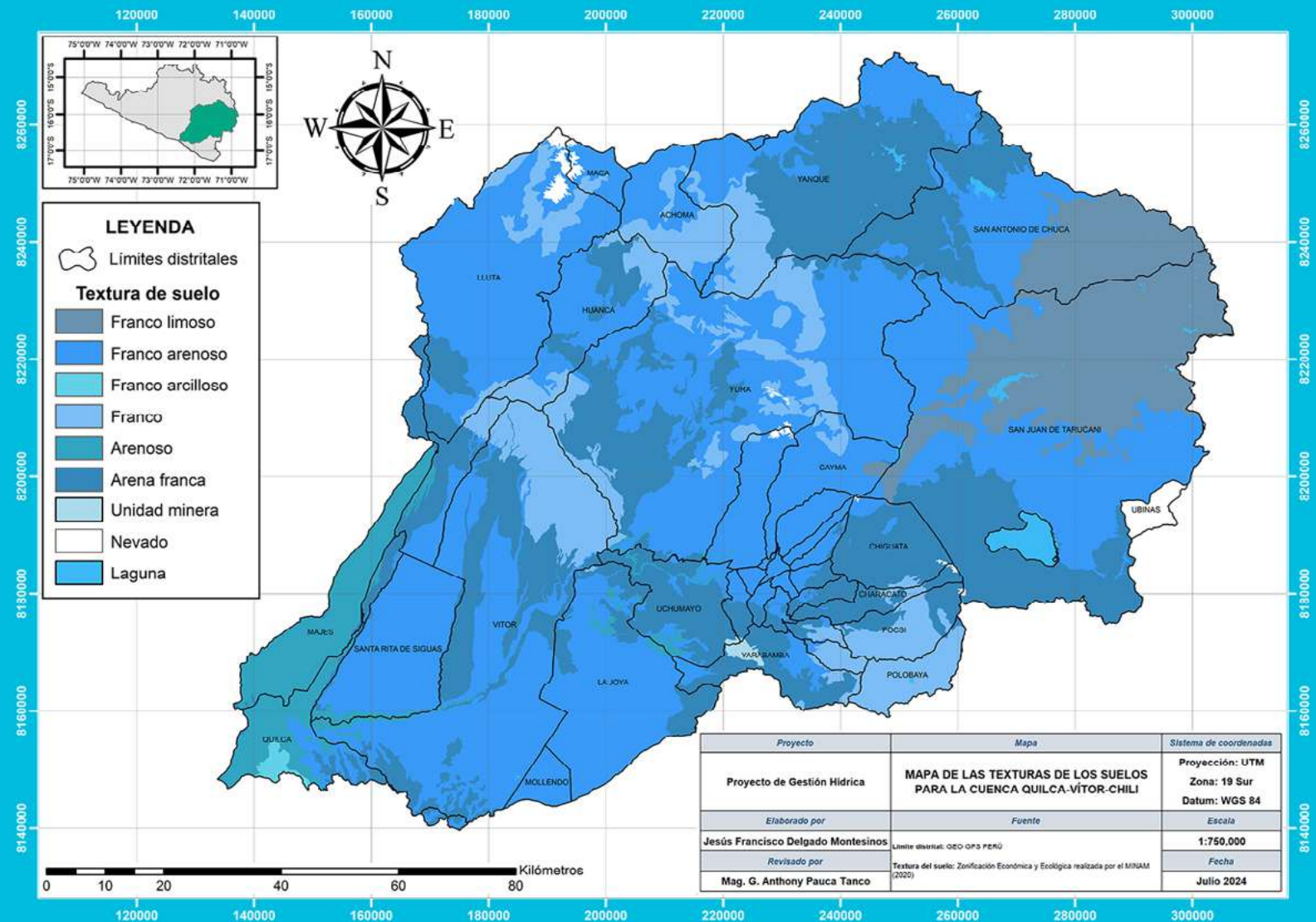
MAPA DE ÍNDICE DE POTENCIAL DE RECARGA (IPR) DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE GEOMORFOLOGÍA



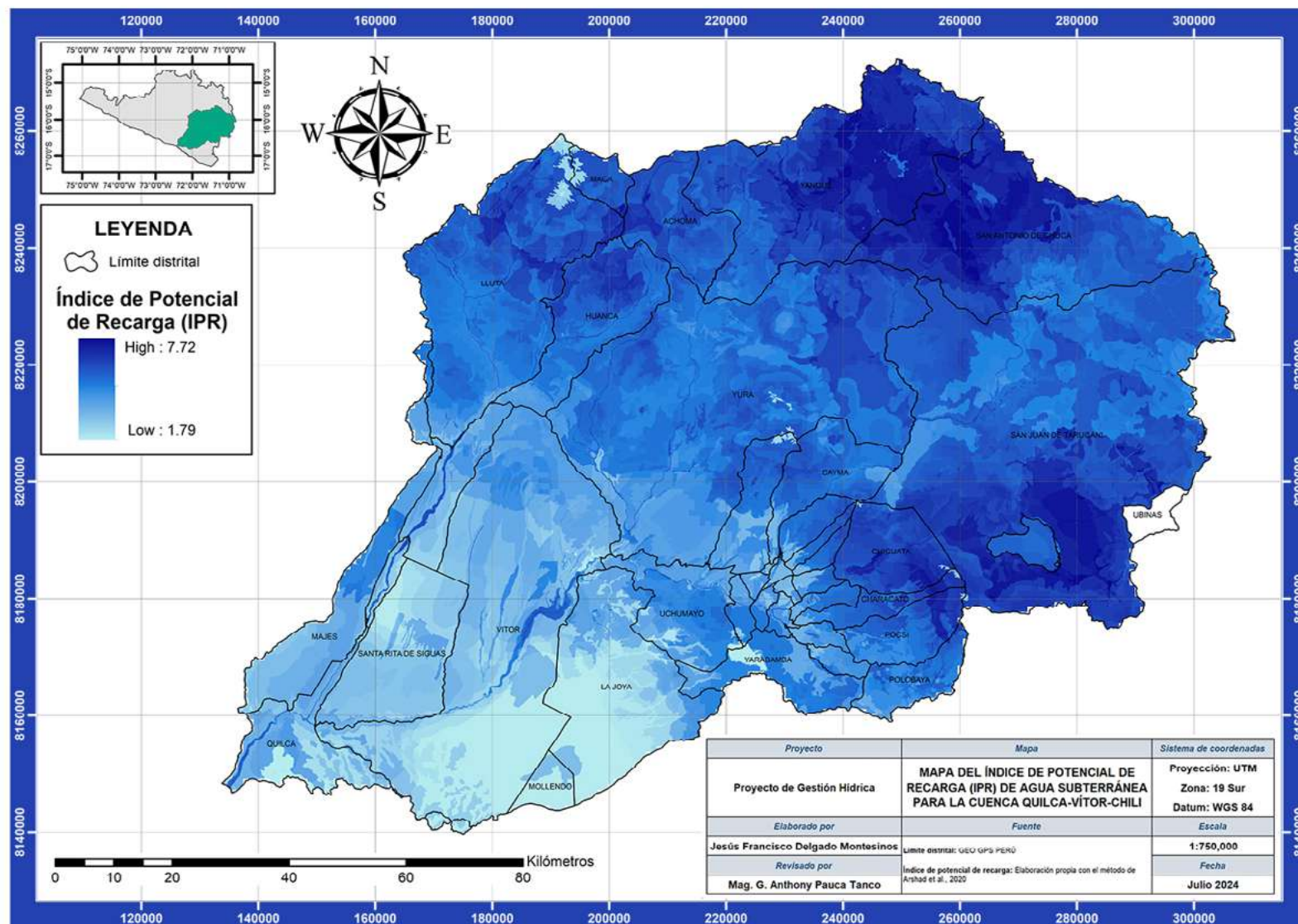
MAPA DE ÍNDICE DE POTENCIAL DE RECARGA (IPR) DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE INFILTRACIÓN DE SUELO



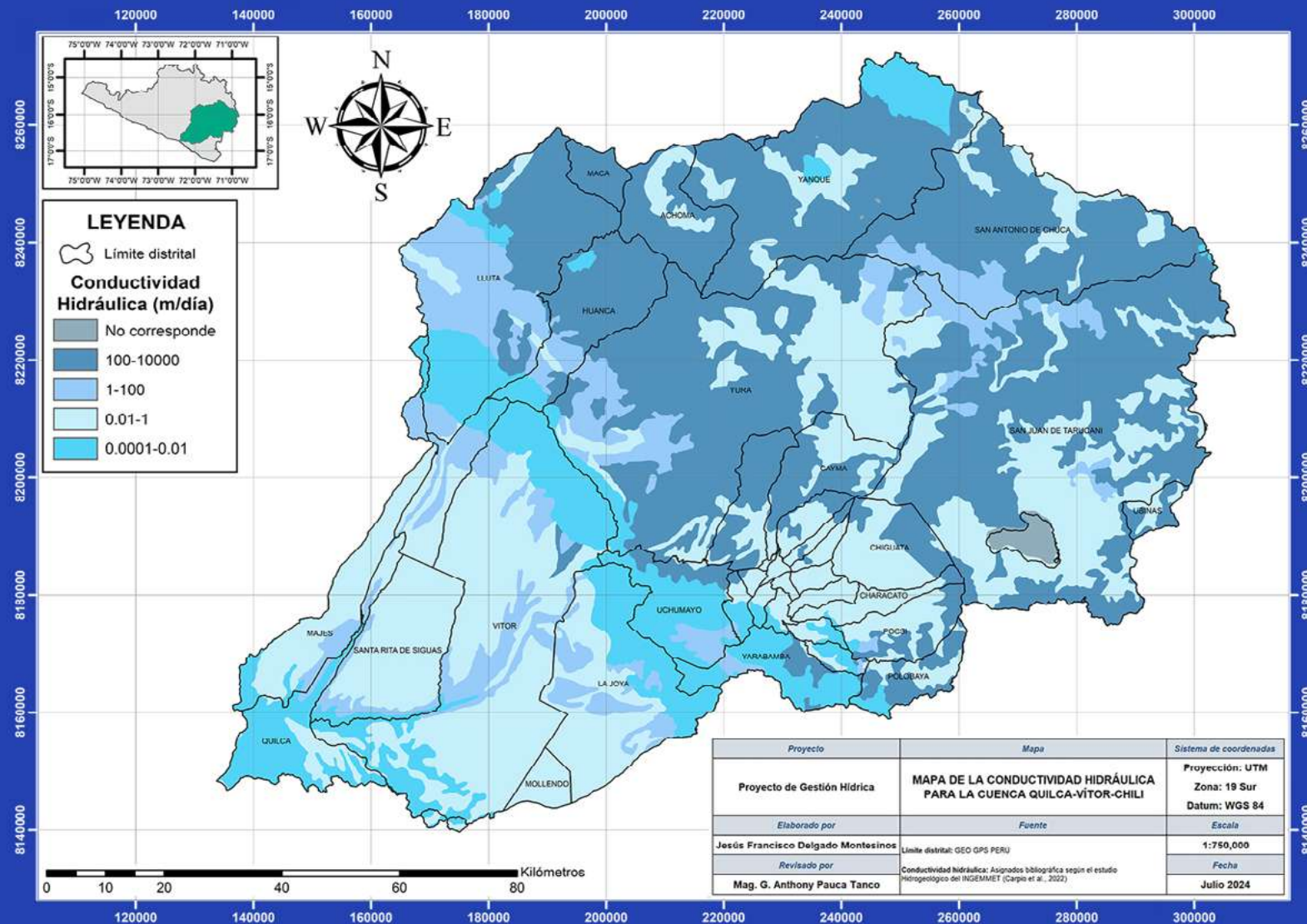
MAPA DE ÍNDICE DE POTENCIAL DE RECARGA (IPR) DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE PRECIPITACIÓN



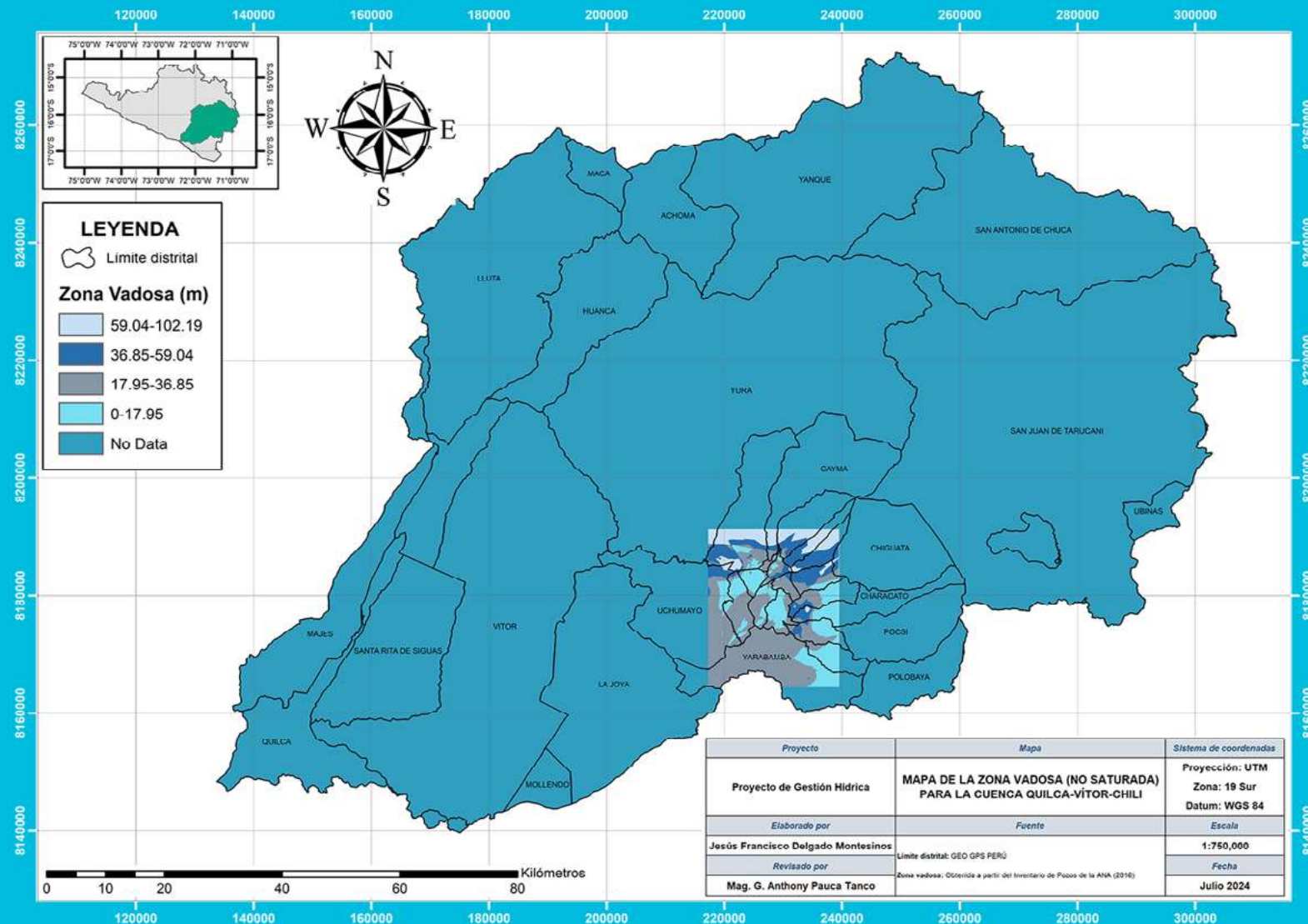
MAPA DE ÍNDICE DE POTENCIAL DE RECARGA (IPR) DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE TEXTURA



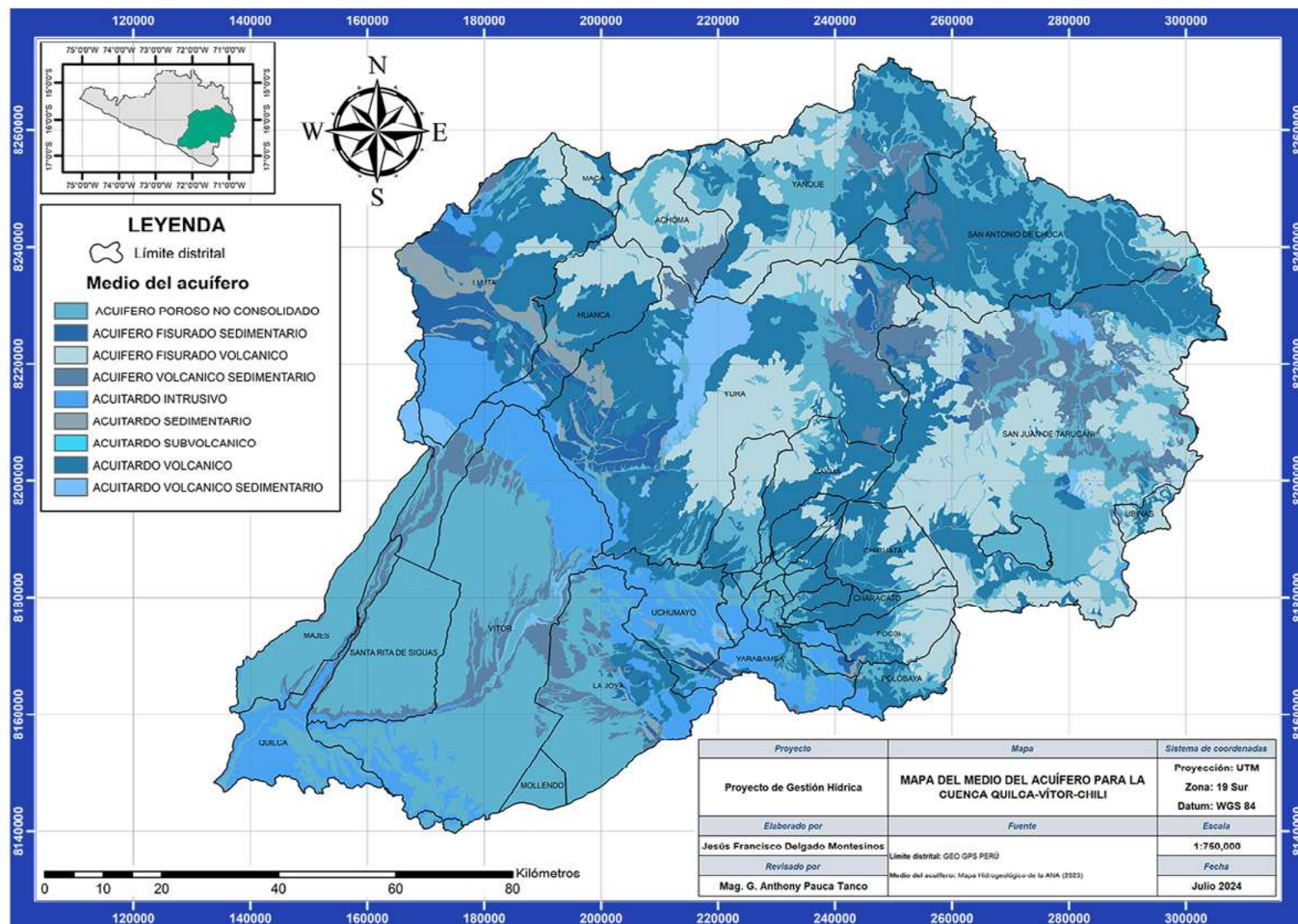
MAPA DE ÍNDICE DE POTENCIAL DE RECARGA (IPR) DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI



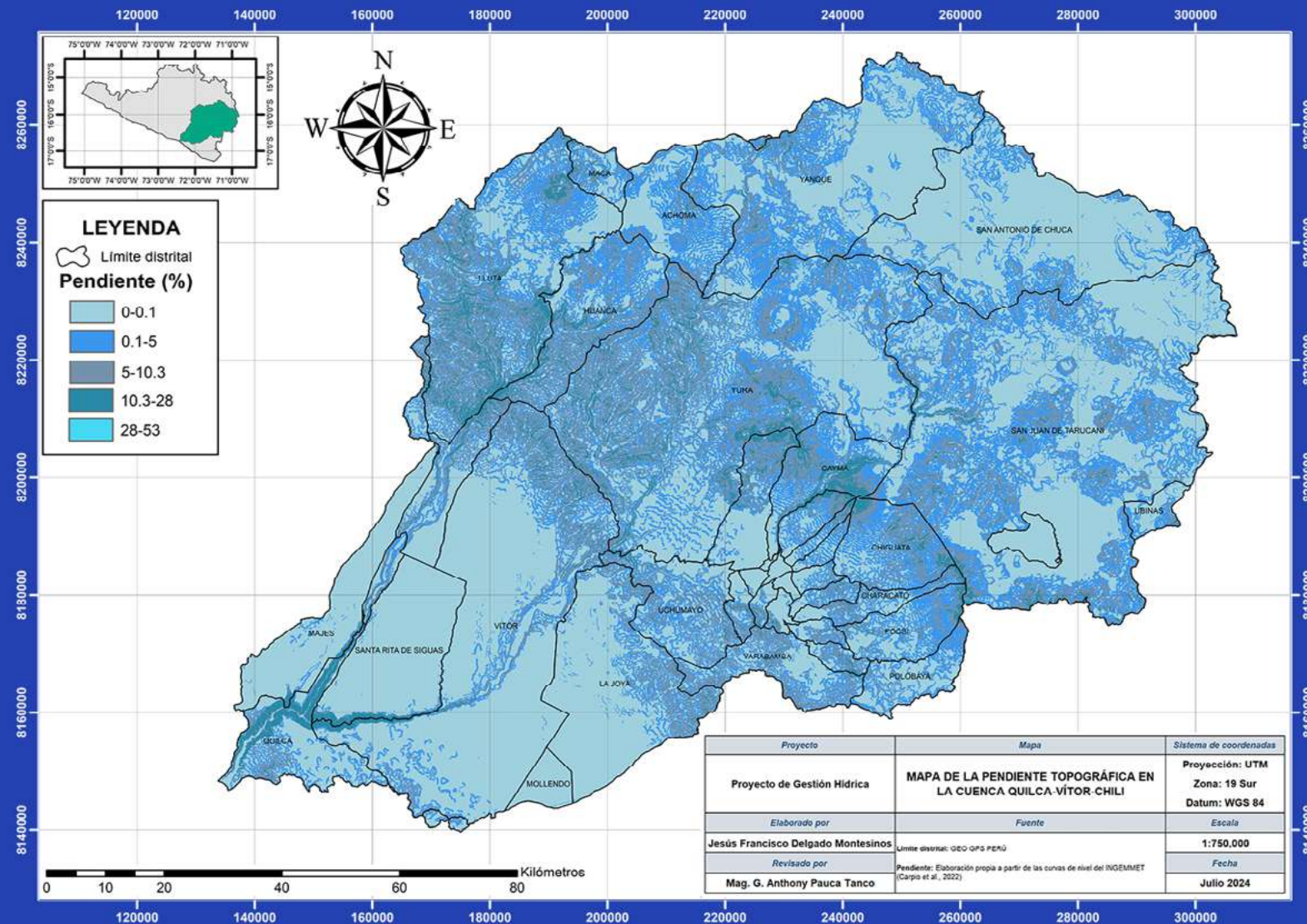
MAPA DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA



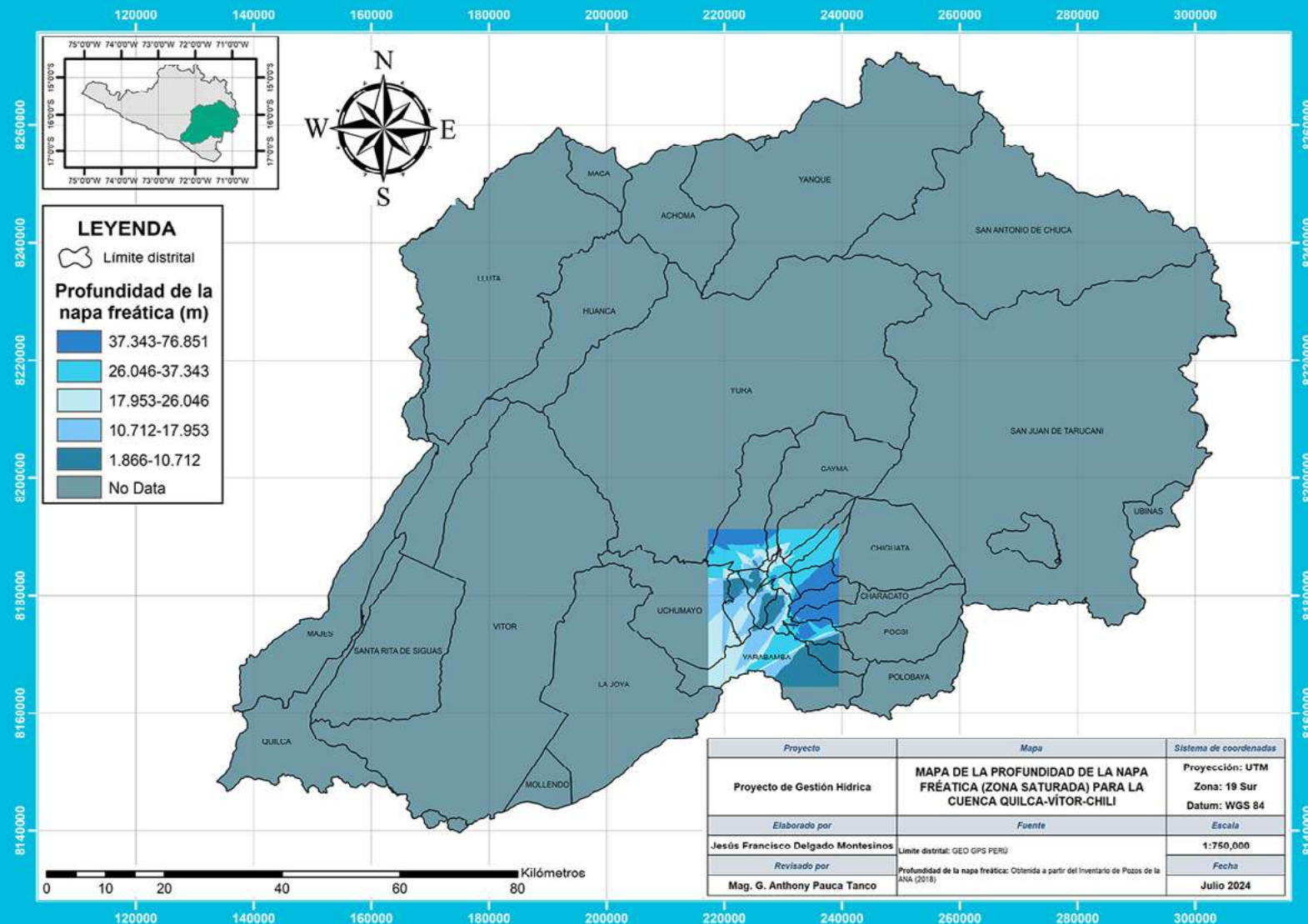
MAPA DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE IMPACTO DE ZONA VADOSA



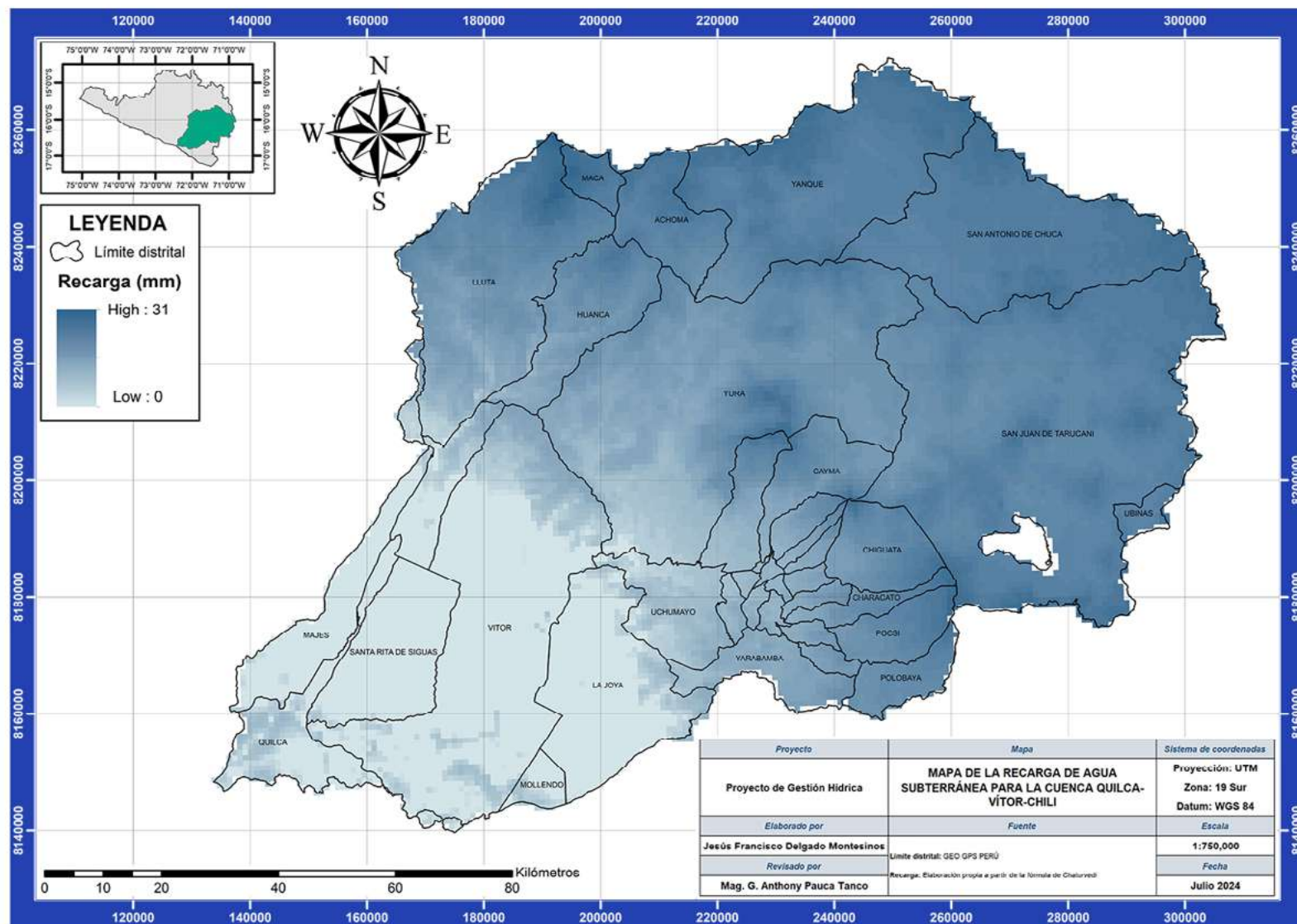
MAPA DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE MEDIO DEL ACUÍFERO



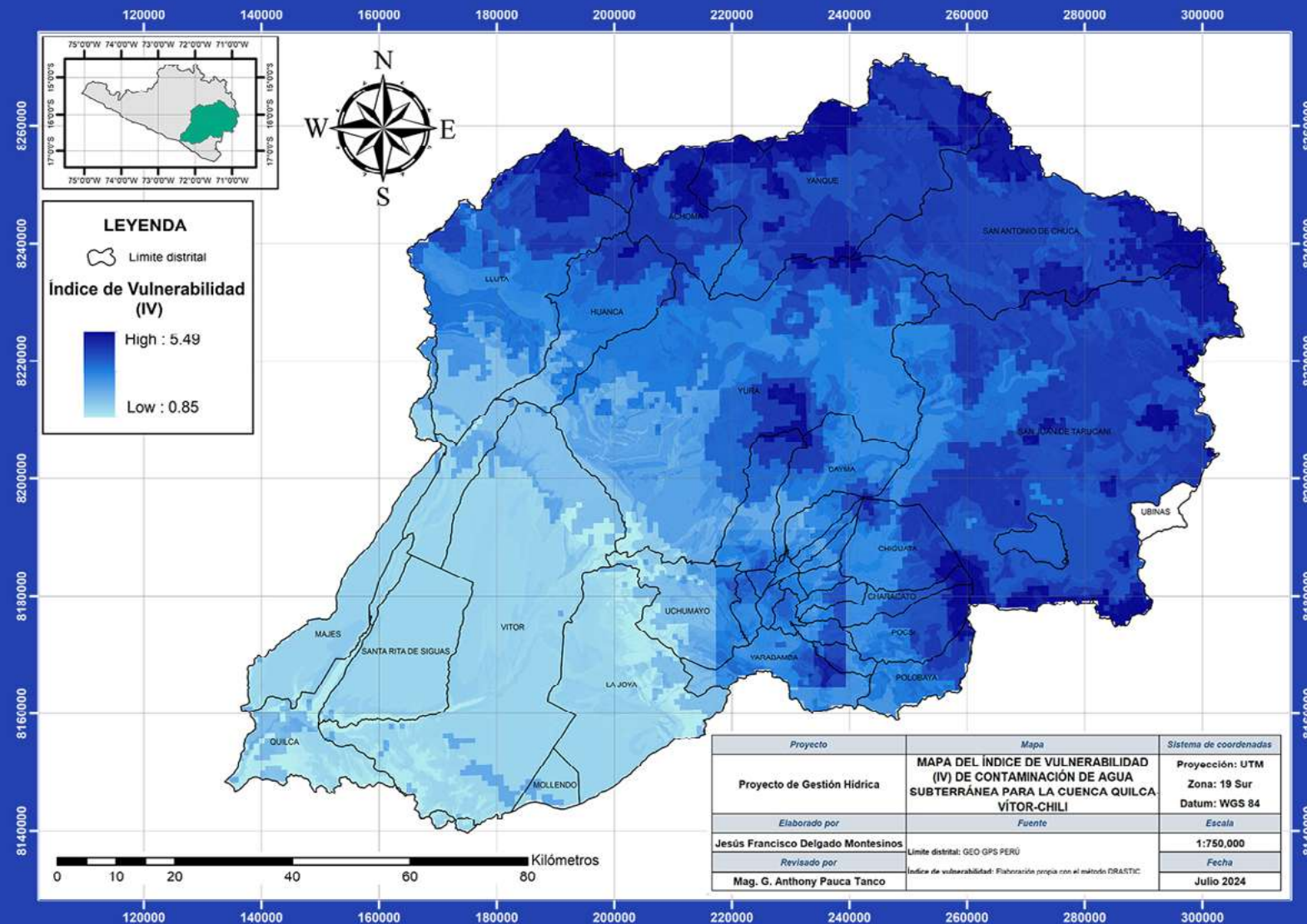
MAPA DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE PENDIENTE TOPOGRÁFICA



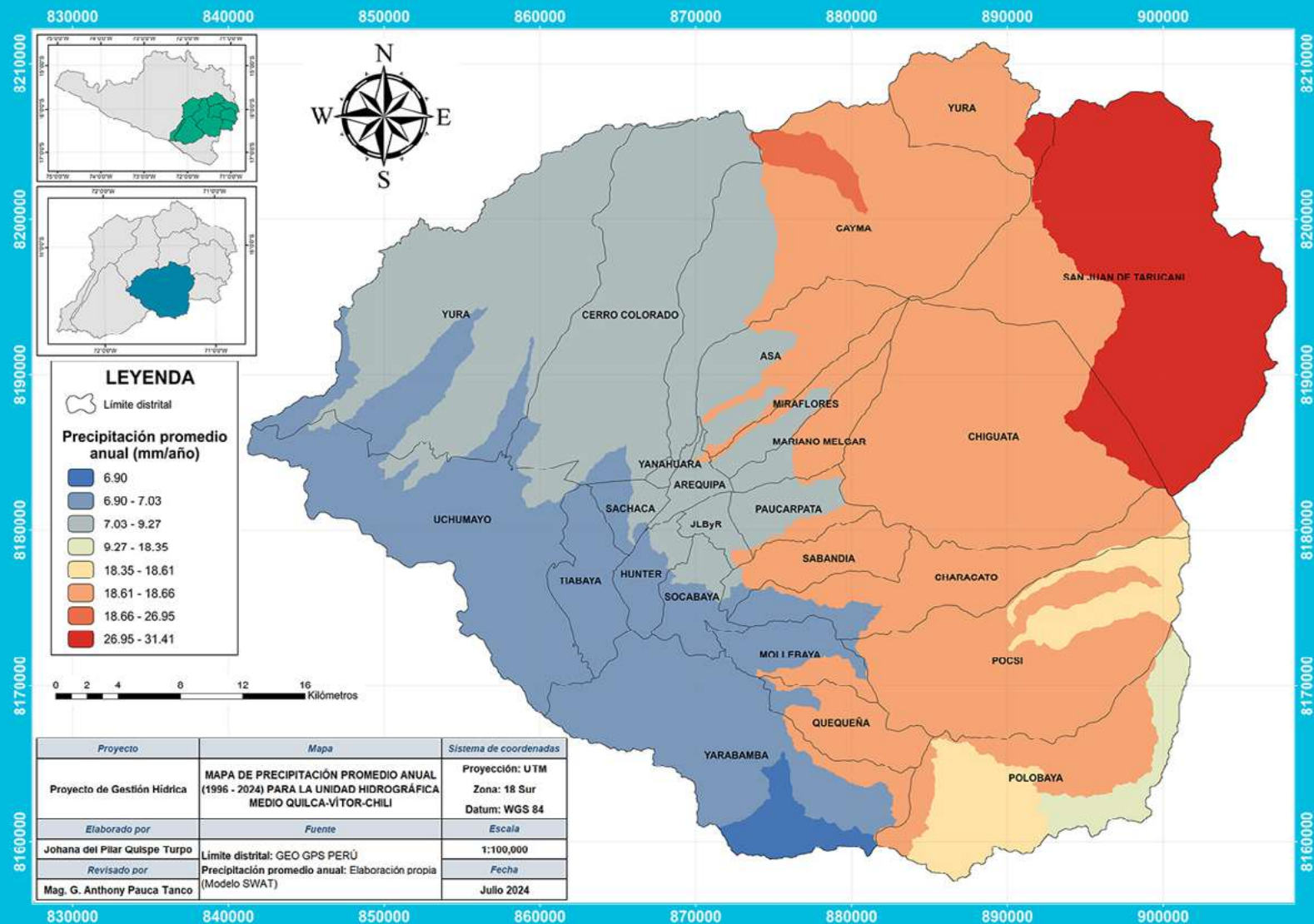
MAPA DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE PROFUNDIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA



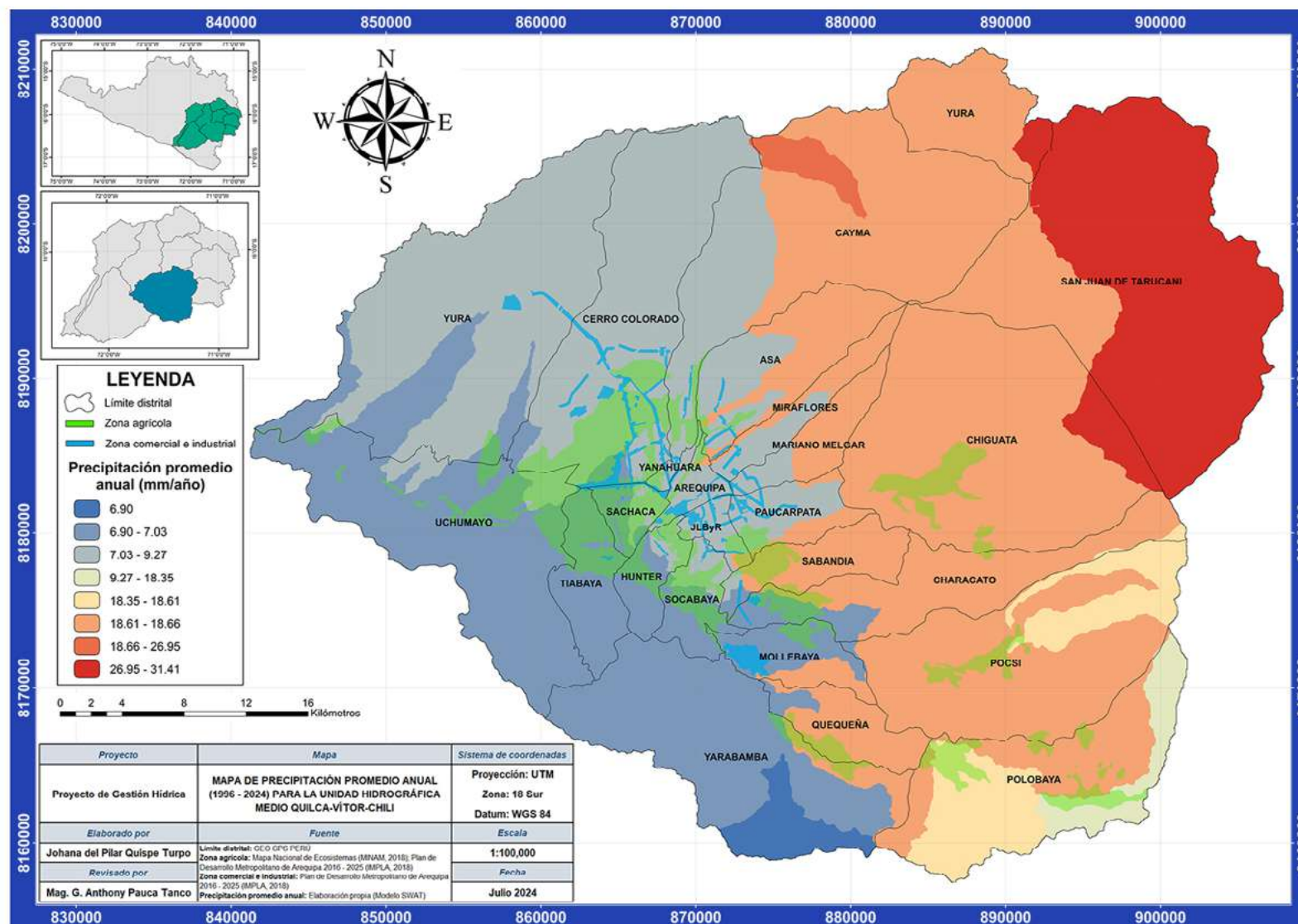
MAPA DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI: CAPA DE RECARGA



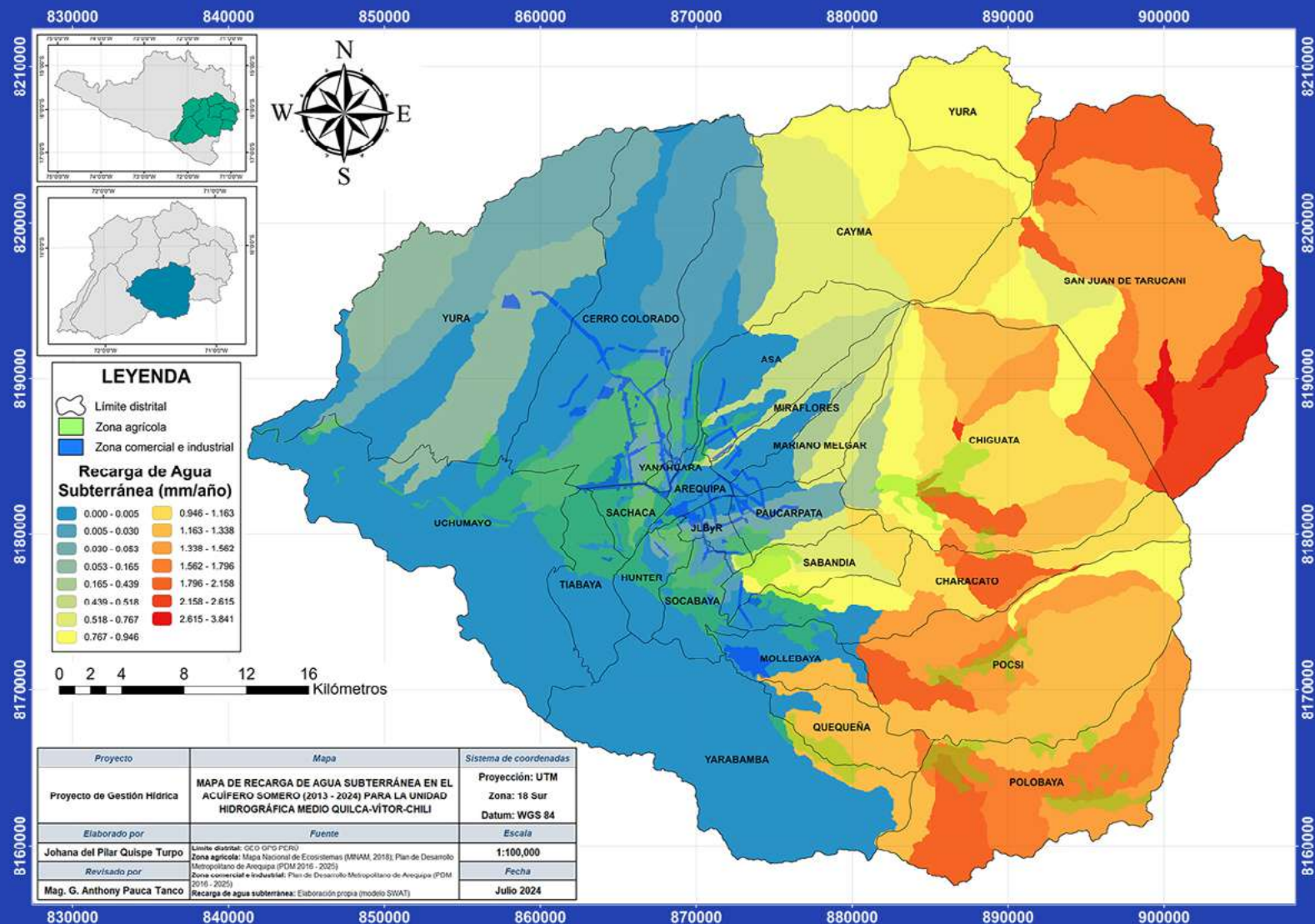
MAPA DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA CUENCA QUILCA - VÍTOR - CHILI



MAPA DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL (1996 - 2024) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA MEDIO QUILCA - VÍTOR - CHILI



MAPA DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL (1996 - 2024) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA MEDIO QUILCA - VÍTOR - CHILI



MAPA DE RECARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO SOMERO (2013 - 2024) PARA LA UNIDAD HIDROGRÁFICA MEDIO QUILCA - VÍTOR - CHILI



Anexo 2

Tablas

Sistema regulado Chili

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	449.38	414.93	391.3	369.02	344.89	318.64	291.96	261.43	237.63	233.87	266.82	292.62
Demanda Hídrica	36.6	36.14	35.4	36.42	41.86	46.57	50.56	50.81	47.38	36.51	33.26	33.44

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	462.943	412.436	388.073	366.327	343.718	319.075	292.34	262.032	242.491	257.004	301.074	348.634
Demanda Hídrica	33.872	37.432	36.259	38.787	45.698	48.851	51.853	48.912	47.004	37.638	34.906	34.03

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	434.804	409.982	384.636	360.998	337.295	305.152	273.429	240.04	214.555	231.602	275.011	324.605
Demanda Hídrica	46.144	44.743	43.314	44.04	51.789	51.38	53.098	51.256	51.446	39.715	37.393	38.295

Período	2023 - 2024											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	319.008	317.927	295.731	277.473	254.629	230.177	204.157	176.695	152.941	159.709	197.959	223.801
Demanda Hídrica	35.666	39.591	39.04	43.146	44.092	44.999	46.252	45.509	43.656	36.744	34.315	36.558

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistema regulado Majes Siguas

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	337.67	286.79	269.83	251.52	230.53	205.05	176.07	140.99	118.94	225.44	347.06	401.48
Demanda Hídrica	39.19	36.41	35.58	36.67	38.1	42.03	47.31	46.89	47.59	44.77	37.4	40.75

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	391.141	294.23	278.629	262.99	245.237	221.033	193.162	161.216	147.042	253.799	374.221	430.695
Demanda Hídrica	38.742	37.634	35.617	36.957	39.72	44.889	47.252	46.704	47.294	41.323	36.844	40.966

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	345.381	289.555	272.128	254.921	234.139	207.74	180.724	148.393	128.771	253.369	385.564	412.151
Demanda Hídrica	39.029	38.321	35.447	37.118	39.836	43.581	47.124	45.763	47.028	41.326	37.358	40.665

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	268.697	256.49	240.491	225.341	206.221	182.737	156.231	126.169	105.416	138.705	255.033	258.109	241.078
Demanda Hídrica	35.469	34.834	32.229	33.745	36.224	39.602	42.835	41.559	42.703	37.522	33.944	36.958	35.633

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Yarabamba - Subsector Polobaya

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	2.32	2.4	1.87	1.45	1.35	1.23	1.45	1.45	2.36	2.92	2.6	2.94
Demanda Hídrica	0.82	0.81	0.77	0.81	0.89	0.92	0.98	0.97	0.99	0.9	0.79	0.86

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	2.317	2.396	1.866	1.447	1.35	1.226	1.448	1.447	2.363	2.915	2.603	2.936
Demanda Hídrica	0.816	0.807	0.769	0.806	0.887	0.916	0.98	0.973	0.99	0.9	0.793	0.856

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	2.628	2.717	1.866	1.447	1.35	1.537	1.769	1.758	2.684	2.915	2.603	2.936
Demanda Hídrica	0.816	0.807	0.769	0.806	0.887	0.916	0.98	0.973	0.99	0.9	0.793	0.856

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	2.628	2.717	1.866	1.447	1.35	1.537	1.769	1.758	2.684	2.915	2.603	2.936	2.628
Demanda Hídrica	0.853	0.822	0.707	0.818	0.901	0.939	1.02	1.003	1.019	0.933	0.801	0.85	0.853

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI, se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Yarabamba - Subsector Quequeña

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.28	1.34	1.16	0.71	0.72	0.68	0.72	1.4	1.73	1.12	0.98	1.02
Demanda Hídrica	0.52	0.51	0.49	0.51	0.59	0.6	0.62	0.6	0.61	0.56	0.48	0.53

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.282	1.337	1.158	0.711	0.724	0.678	0.716	1.404	1.733	1.119	0.975	1.017
Demanda Hídrica	0.516	0.506	0.488	0.506	0.587	0.596	0.616	0.596	0.614	0.56	0.481	0.533

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.164	1.112	0.942	0.486	0.499	0.462	0.491	0.895	1.161	1.119	0.975	1.017
Demanda Hídrica	0.516	0.506	0.488	0.506	0.587	0.596	0.616	0.596	0.614	0.56	0.481	0.533

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	1.164	1.112	0.942	0.505	0.588	0.596	0.616	0.895	1.161	1.119	0.975	1.017	1.164
Demanda Hídrica	0.516	0.506	0.488	0.506	0.587	0.596	0.616	0.596	0.614	0.56	0.481	0.533	0.516

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Yarabamba - Subsector Yarabamba

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.57	0.51	0.39	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	0.19	0.43	0.47	0.45
Demanda Hídrica	0.13	0.12	0.12	0.12	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.13

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.573	0.514	0.39	0.157	0.164	0.16	0.165	0.164	0.191	0.43	0.474	0.454
Demanda Hídrica	0.125	0.123	0.12	0.123	0.139	0.141	0.145	0.141	0.144	0.134	0.116	0.128

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.518	0.457	0.335	0.1	0.107	0.104	0.108	0.108	0.134	0.43	0.474	0.454
Demanda Hídrica	0.125	0.123	0.12	0.123	0.139	0.141	0.145	0.141	0.144	0.134	0.116	0.128

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.518	0.457	0.335	0.123	0.139	0.14	0.145	0.14	0.145	0.43	0.474	0.454	0.518
Demanda Hídrica	0.125	0.123	0.12	0.123	0.139	0.141	0.145	0.141	0.144	0.134	0.116	0.128	0.125

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Mollebaya - Subsector Orihuela

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.16
Demanda Hídrica	0.26	0.25	0.24	0.25	0.29	0.3	0.31	0.3	0.3	0.28	0.24	0.26

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.158	0.163	0.157	0.162	0.162	0.156	0.161	0.156	0.162	0.163	0.147	0.163
Demanda Hídrica	0.255	0.25	0.242	0.25	0.291	0.295	0.305	0.295	0.304	0.278	0.239	0.264

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.158	0.163	0.157	0.162	0.162	0.156	0.161	0.156	0.162	0.163	0.147	0.163
Demanda Hídrica	0.255	0.25	0.242	0.25	0.291	0.295	0.305	0.295	0.304	0.278	0.239	0.264

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.158	0.163	0.157	0.162	0.162	0.156	0.161	0.156	0.162	0.163	0.147	0.163	0.158
Demanda Hídrica	0.255	0.25	0.242	0.25	0.291	0.295	0.305	0.295	0.304	0.278	0.239	0.264	0.255

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA-CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Mollebaya - Subsector Ojo Grande

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12
Demanda Hídrica	0.27	0.26	0.26	0.26	0.31	0.31	0.32	0.31	0.32	0.29	0.25	0.28

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.119	0.123	0.119	0.123	0.123	0.119	0.123	0.119	0.123	0.123	0.111	0.123
Demanda Hídrica	0.269	0.263	0.255	0.263	0.307	0.311	0.322	0.311	0.321	0.293	0.251	0.278

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.119	0.123	0.119	0.123	0.123	0.119	0.123	0.119	0.123	0.123	0.111	0.123
Demanda Hídrica	0.269	0.263	0.255	0.263	0.307	0.311	0.322	0.311	0.321	0.293	0.251	0.278

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.119	0.123	0.119	0.123	0.123	0.119	0.123	0.119	0.123	0.123	0.111	0.123	0.119
Demanda Hídrica	0.269	0.263	0.255	0.263	0.307	0.311	0.322	0.311	0.321	0.293	0.251	0.278	0.269

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Mollebaya - Subsector Puente del Diablo Uchuño

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.13	0.12	0.1	0.11	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.22	0.24	0.21
Demanda Hídrica	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.129	0.115	0.095	0.107	0.133	0.129	0.133	0.129	0.133	0.224	0.235	0.212
Demanda Hídrica	0.042	0.042	0.041	0.042	0.047	0.048	0.049	0.048	0.049	0.046	0.039	0.044

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.129	0.115	0.095	0.107	0.133	0.129	0.133	0.129	0.133	0.224	0.235	0.212
Demanda Hídrica	0.042	0.042	0.041	0.042	0.047	0.048	0.049	0.048	0.049	0.046	0.039	0.044

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.129	0.115	0.095	0.107	0.133	0.129	0.133	0.129	0.133	0.224	0.235	0.212	0.129
Demanda Hídrica	0.042	0.042	0.041	0.042	0.047	0.048	0.049	0.048	0.049	0.046	0.039	0.044	0.042

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Mollebaya - Subsector Santa Ana

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.08	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06	0.04	0.1	0.06	0.11	0.2	0.13
Demanda Hídrica	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.082	0.072	0.065	0.063	0.065	0.06	0.044	0.097	0.055	0.112	0.196	0.131
Demanda Hídrica	0.04	0.04	0.038	0.04	0.045	0.046	0.047	0.046	0.047	0.043	0.038	0.041

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.082	0.072	0.065	0.063	0.065	0.06	0.044	0.097	0.055	0.112	0.196	0.131
Demanda Hídrica	0.04	0.04	0.038	0.04	0.045	0.046	0.047	0.046	0.047	0.043	0.038	0.041

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.082	0.072	0.065	0.063	0.065	0.06	0.044	0.097	0.055	0.112	0.196	0.131	0.082
Demanda Hídrica	0.04	0.04	0.038	0.04	0.045	0.046	0.047	0.046	0.047	0.043	0.038	0.041	0.04

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Mollebaya - Subsector Mollebaya - Yarabamba

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.14	0.12	0.04	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.16	0.12
Demanda Hídrica	0.2	0.15	0.11	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.24	0.22	0.24

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.143	0.122	0.04	0.004	0.006	0.006	0.007	0.007	0.011	0.077	0.163	0.117
Demanda Hídrica	0.198	0.153	0.114	0.068	0.006	0.006	0.007	0.007	0.012	0.239	0.221	0.239

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.143	0.122	0.04	0.004	0.006	0.006	0.007	0.007	0.011	0.077	0.163	0.117
Demanda Hídrica	0.198	0.153	0.114	0.068	0.006	0.006	0.007	0.007	0.012	0.239	0.221	0.239

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.143	0.122	0.04	0.004	0.006	0.006	0.007	0.007	0.011	0.077	0.163	0.117	0.143
Demanda Hídrica	0.198	0.153	0.114	0.068	0.006	0.006	0.007	0.007	0.012	0.239	0.221	0.239	0.198

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Mollebaya - Subsector Chiguata

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.7	1.67	1.63	1.7	1.68	1.64	1.68	1.63	1.69	1.75	1.59	1.85
Demanda Hídrica	0.76	0.75	0.73	0.75	0.87	0.88	0.91	0.88	0.91	0.83	0.71	0.79

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.7	1.674	1.628	1.697	1.682	1.638	1.684	1.629	1.69	1.747	1.59	1.849
Demanda Hídrica	0.763	0.749	0.725	0.749	0.869	0.88	0.91	0.88	0.907	0.829	0.713	0.789

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.7	1.674	1.628	1.697	1.682	1.638	1.684	1.629	1.69	1.747	1.59	1.849
Demanda Hídrica	0.763	0.749	0.725	0.749	0.869	0.88	0.91	0.88	0.907	0.829	0.713	0.789

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	1.7	1.674	1.628	1.697	1.682	1.638	1.684	1.629	1.69	1.747	1.59	1.849	1.7
Demanda Hídrica	0.763	0.749	0.725	0.749	0.869	0.88	0.91	0.88	0.907	0.829	0.713	0.789	0.763

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Mollebaya - Subsector Cari Cari Mosopuquio

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.12	0.14
Demanda Hídrica	0.13	0.13	0.12	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.12	0.13

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.133	0.138	0.133	0.138	0.138	0.133	0.138	0.133	0.138	0.138	0.124	0.138
Demanda Hídrica	0.127	0.125	0.122	0.125	0.143	0.145	0.149	0.145	0.149	0.137	0.118	0.131

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.133	0.138	0.133	0.138	0.138	0.133	0.138	0.133	0.138	0.138	0.124	0.138
Demanda Hídrica	0.127	0.125	0.122	0.125	0.143	0.145	0.149	0.145	0.149	0.137	0.118	0.131

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.133	0.138	0.133	0.138	0.138	0.133	0.138	0.133	0.138	0.138	0.124	0.138	0.133
Demanda Hídrica	0.127	0.125	0.122	0.125	0.143	0.145	0.149	0.145	0.149	0.137	0.118	0.131	0.127

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Andamayo - Subsector Paucarpata Alanguí

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.89	1.06	0.96	0.89	0.89	0.79	0.82	0.79	0.82	0.87	0.83	0.84
Demanda Hídrica	0.69	0.67	0.65	0.67	0.78	0.79	0.81	0.79	0.81	0.74	0.64	0.71

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.886	1.064	0.962	0.887	0.89	0.794	0.816	0.788	0.82	0.873	0.834	0.835
Demanda Hídrica	0.685	0.672	0.651	0.672	0.778	0.788	0.813	0.788	0.812	0.743	0.638	0.708

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.886	1.064	0.962	0.887	0.89	0.794	0.816	0.788	0.82	0.873	0.834	0.835
Demanda Hídrica	0.685	0.672	0.651	0.672	0.778	0.788	0.813	0.788	0.812	0.743	0.638	0.708

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.886	1.064	0.962	0.887	0.89	0.794	0.816	0.788	0.82	0.873	0.834	0.835	0.886
Demanda Hídrica	0.685	0.672	0.651	0.672	0.778	0.788	0.813	0.788	0.812	0.743	0.638	0.708	0.685

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Andamayo - Subsector Sabandía

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.28	1.32	1.27	1.3	1.3	1.25	1.29	1.25	1.3	1.36	1.25	1.36
Demanda Hídrica	0.91	0.89	0.86	0.88	1.01	1.02	1.05	1.01	0.95	0.99	0.86	0.95

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.28	1.316	1.268	1.304	1.297	1.249	1.288	1.246	1.298	1.363	1.247	1.357
Demanda Hídrica	0.912	0.89	0.855	0.877	1.011	1.017	1.048	1.014	0.954	0.994	0.855	0.946

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.28	1.316	1.268	1.304	1.297	1.249	1.288	1.246	1.298	1.363	1.247	1.357
Demanda Hídrica	0.912	0.89	0.855	0.877	1.011	1.017	1.048	1.014	0.954	0.994	0.855	0.946

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	1.28	1.316	1.268	1.304	1.297	1.249	1.288	1.246	1.298	1.363	1.247	1.357	1.28
Demanda Hídrica	0.912	0.89	0.855	0.877	1.011	1.017	1.048	1.014	0.954	0.994	0.855	0.946	0.912

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Andamayo - Subsector Characato

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1	1.03	1	1.03	1.03	1	1.03	1	1.03	1.21	1.15	1.18
Demanda Hídrica	0.88	0.86	0.84	0.86	1	1.02	1.05	1.02	1.05	0.96	0.82	0.91

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.997	1.03	0.997	1.03	1.03	0.997	1.03	0.997	1.032	1.205	1.153	1.181
Demanda Hídrica	0.881	0.864	0.836	0.864	1.002	1.015	1.047	1.015	1.045	0.956	0.822	0.91

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.997	1.03	0.997	1.03	1.03	0.997	1.03	0.997	1.032	1.205	1.153	1.181
Demanda Hídrica	0.881	0.864	0.836	0.864	1.002	1.015	1.047	1.015	1.045	0.956	0.822	0.91

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.997	1.03	0.997	1.03	1.03	0.997	1.03	0.997	1.032	1.205	1.153	1.181	0.997
Demanda Hídrica	0.881	0.864	0.836	0.864	1.002	1.015	1.047	1.015	1.045	0.956	0.822	0.91	0.881

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili Regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Andamayo - Subsector Cinco Ramos

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.87	1.21	1.17	1.21	1.03	0.68	0.61	0.6	0.62	0.68	0.76	0.72
Demanda Hídrica	0.33	0.32	0.31	0.32	0.38	0.38	0.39	0.38	0.39	0.36	0.31	0.34

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.87	1.205	1.168	1.214	1.033	0.681	0.605	0.595	0.623	0.683	0.764	0.716
Demanda Hídrica	0.328	0.321	0.311	0.321	0.375	0.38	0.393	0.38	0.392	0.357	0.306	0.339

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.87	1.205	1.168	1.214	1.033	0.681	0.605	0.595	0.623	0.683	0.764	0.716
Demanda Hídrica	0.328	0.321	0.311	0.321	0.375	0.38	0.393	0.38	0.392	0.357	0.306	0.339

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.87	1.205	1.168	1.214	1.033	0.681	0.605	0.595	0.623	0.683	0.764	0.716	0.87
Demanda Hídrica	0.328	0.321	0.311	0.321	0.375	0.38	0.393	0.38	0.392	0.357	0.306	0.339	0.328

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector Andamayo - Subsector Huasacache

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.38	1.18	1.12	1.1	1.18	1.4	1.28	0.95	1	0.74	0.74	1.26
Demanda Hídrica	0.34	0.34	0.32	0.34	0.39	0.4	0.41	0.4	0.41	0.37	0.32	0.35

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.381	1.183	1.116	1.103	1.181	1.403	1.276	0.951	1.002	0.737	0.735	1.257
Demanda Hídrica	0.342	0.335	0.324	0.335	0.391	0.396	0.409	0.396	0.408	0.371	0.32	0.353

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.381	1.183	1.116	1.103	1.181	1.403	1.276	0.951	1.002	0.737	0.735	1.257
Demanda Hídrica	0.342	0.335	0.324	0.335	0.391	0.396	0.409	0.396	0.408	0.371	0.32	0.353

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	1.381	1.183	1.116	1.103	1.181	1.403	1.276	0.951	1.002	0.737	0.735	1.257	1.381
Demanda Hídrica	0.342	0.335	0.324	0.335	0.391	0.396	0.409	0.396	0.408	0.371	0.32	0.353	0.342

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Chili - Sector La Yunta

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.5	0.45	0.53	0.32	0.25	0.18	0.16	0.15	8.03	0.55	0.49	0.55
Demanda Hídrica	0.34	0.29	0.24	0.24	0.2	0.15	0.13	0.13	0.2	0.33	0.19	0.26

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.498	0.45	0.529	0.319	0.254	0.184	0.158	0.152	8.033	0.547	0.494	0.547
Demanda Hídrica	0.34	0.293	0.237	0.237	0.199	0.147	0.127	0.125	0.202	0.333	0.188	0.261

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	0.498	0.45	0.529	0.319	0.254	0.184	0.158	0.152	8.033	0.547	0.494	0.547
Demanda Hídrica	0.34	0.293	0.237	0.237	0.199	0.147	0.127	0.125	0.202	0.333	0.188	0.261

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	0.498	0.45	0.529	0.319	0.254	0.184	0.158	0.152	8.033	0.547	0.494	0.547	0.498
Demanda Hídrica	0.34	0.293	0.237	0.237	0.199	0.147	0.127	0.125	0.202	0.333	0.188	0.261	0.34

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA-CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Yura - Subsector Quiscos Uyupampa

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	4.89	4.47	4.19	3.95	3.73	3.71	3.74	4.06	5.28	6.27	6.28	5.56
Demanda Hídrica	1.21	1.12	0.97	1.03	1.13	1.38	1.62	1.69	2.03	1.33	0.88	1.28

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	4.887	4.468	4.189	3.949	3.728	3.707	3.735	4.063	5.278	6.266	6.283	5.564
Demanda Hídrica	1.205	1.118	0.973	1.027	1.126	1.381	1.622	1.694	2.026	1.327	0.877	1.281

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	4.887	4.468	4.189	3.949	3.728	3.707	3.735	4.063	5.278	6.266	6.283	5.564
Demanda Hídrica	1.181	1.094	0.949	1.003	1.102	1.357	1.598	1.67	2.002	1.303	0.855	1.257

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	4.887	4.468	4.189	3.949	3.728	3.707	3.735	4.063	5.278	6.266	6.283	5.564	4.887
Demanda Hídrica	1.181	1.094	0.949	1.003	1.102	1.357	1.598	1.67	2.002	1.303	0.855	1.257	1.181

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Yura - Subsector Yura Viejo

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	4.037	3.319	3.002	2.727	2.411	2.203	1.984	2.275	2.867	4.827	5.112	4.611
Demanda Hídrica	0.963	0.91	0.807	0.849	0.902	0.831	0.831	0.825	1.086	1.051	0.735	1.021

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	4.037	3.319	3.002	2.727	2.411	2.203	1.984	2.275	2.867	4.827	5.112	4.611
Demanda Hídrica	0.896	0.84	0.74	0.779	0.832	0.764	0.761	0.758	1.016	0.981	0.671	0.951

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	4.037	3.319	3.002	2.727	2.411	2.203	1.984	2.275	2.867	4.827	5.112	4.611	4.037
Demanda Hídrica	0.896	0.84	0.74	0.779	0.832	0.764	0.761	0.758	1.016	0.981	0.671	0.951	0.896

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Yura – Subsector Manantial Socosani, Quebrada Gramadal

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	2.27	1.88	1.76	1.58	1.44	1.44	1.25	1.3	1.68	3.11	3.4	2.69
Demanda Hídrica	0.34	0.33	0.31	0.32	0.34	0.37	0.41	0.41	0.46	0.36	0.28	0.36

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Yura - Subsector Manantial Corontorio, La Calera, Capua

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	1.77	1.44	1.24	1.15	0.97	0.77	0.73	0.98	1.18	1.71	1.71	1.92
Demanda Hídrica	0.62	0.58	0.5	0.53	0.57	0.47	0.43	0.41	0.62	0.69	0.45	0.66

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios Yura - Subsector Bocatoma Yuramayo

Período	2019 - 2020											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	3.1	2.81	2.63	2.62	2.51	2.44	2.43	2.56	2.98	3.16	3.9	3.59
Demanda Hídrica	2.65	2.73	2.65	2.73	2.73	2.64	2.73	2.64	2.73	2.73	2.47	2.73

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	3.099	2.81	2.629	2.623	2.506	2.437	2.425	2.557	2.977	3.16	3.896	3.586
Demanda Hídrica	2.646	2.733	2.645	2.731	2.73	2.642	2.729	2.641	2.73	2.733	2.468	2.733

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	3.099	2.81	2.629	2.623	2.506	2.437	2.425	2.557	2.977	3.16	3.896	3.586
Demanda Hídrica	3.315	3.426	3.315	3.426	3.426	3.315	3.426	3.315	3.426	3.426	3.094	3.426

Período	2023 - 2024												
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Oferta Hídrica	3.099	2.81	2.629	2.623	2.506	2.437	2.425	2.557	2.977	3.16	3.896	3.586	3.099
Demanda Hídrica	3.315	3.426	3.315	3.426	3.426	3.315	3.426	3.315	3.426	3.426	3.094	3.426	3.315

* Los registros para el periodo 2023 - 2024 en el PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI se realizaron de abril a abril excepto para el Chili Regulado.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2019 - 2020, 2020 - 2021, 2022 - 2023 y 2023 - 2024.

Sistemas no regulados - Junta de usuarios valle de Vitor

Período	2020 - 2021											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	5.81	4.53	3.8	3.76	4.45	5.57	6.38	6.19	7.18	7.69	9.23	9.08
Demanda Hídrica	3.52	3.63	3.52	3.63	3.63	3.52	3.63	3.51	3.63	3.63	3.28	3.63

Período	2022 - 2023											
Meses	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Oferta Hídrica	12.329	9.922	8.935	7.381	10.313	9.994	11.309	9.962	11.038	4.938	6.963	6.067
Demanda Hídrica	3.495	3.609	3.494	3.609	3.609	3.494	3.608	3.493	3.609	3.609	3.259	3.609

Fuente: Autoridad Nacional del Agua. Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca - Chili. PLAN DE APROVECHAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN EL ÁMBITO DEL CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA QUILCA - CHILI. Periodos 2020 - 2021 y 2022 - 2023.

