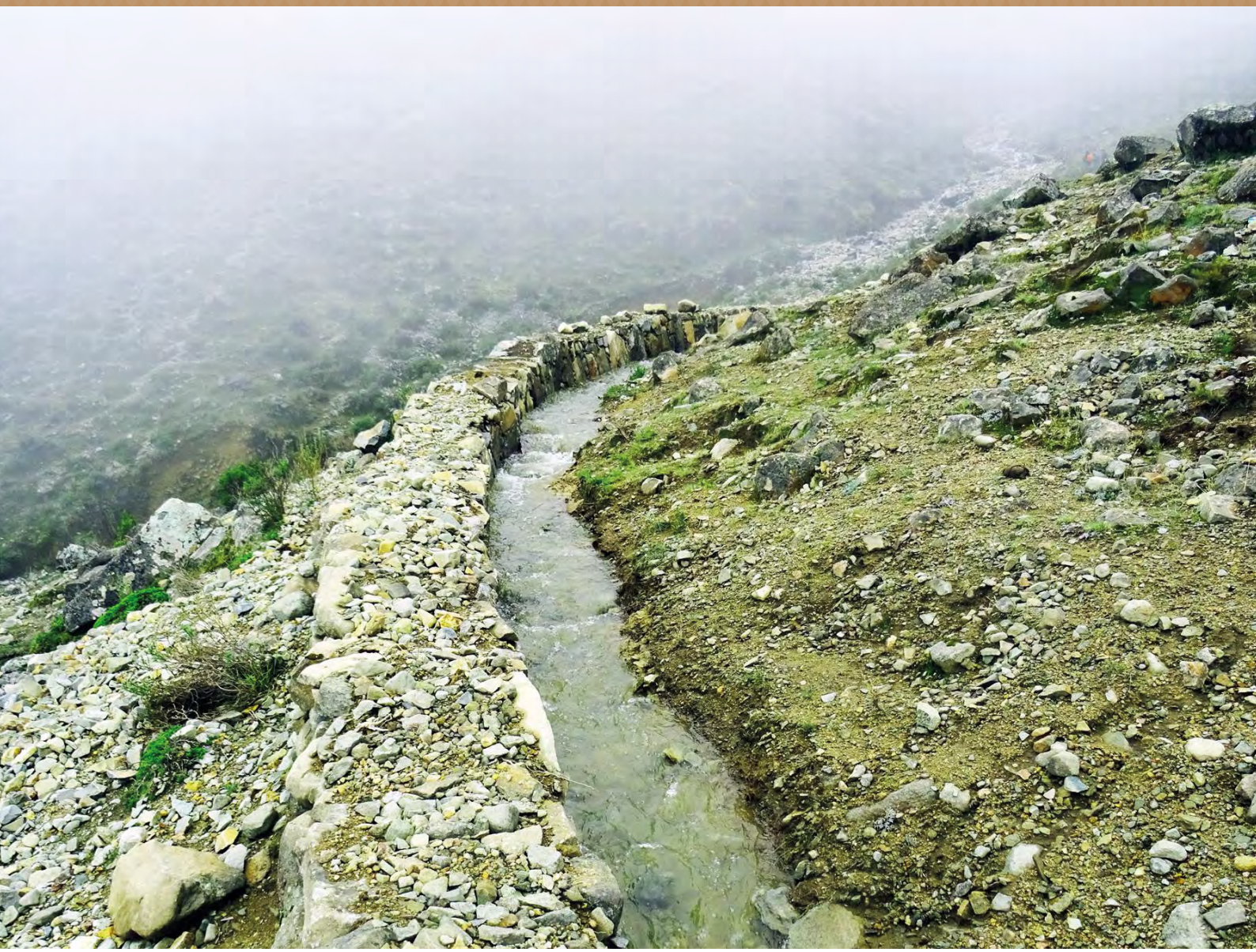
IMPACTO DE LAS AMUNAS
EN LA SEGURIDAD HÍDRICA DE LIMA



ALIANZA LATINOAMERICANA DE FONDOS DE AGUA

The Nature Conservancy

FUNDACIÓN FEMSA

BID Banco Interamericano de Desarrollo

fmam

Fomentado por el:
Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear
en virtud de una resolución del Parlamento de la República Federal de Alemania

CATERPILLAR FOUNDATION
CATERPILLAR

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

IMPACTO DE LAS AMUNAS

EN LA SEGURIDAD HÍDRICA DE LIMA

Impacto de las amunas en la seguridad hídrica de Lima

Con el apoyo de
Fundación Caterpillar
Iniciativa Climática Internacional (IKI)

Fotografías
Aldo Cárdenas Panduro - The Nature Conservancy
Alfredo Salinas - The Nature Conservancy
Fondo de Agua para Lima y Callao - AQUAFONDO
Rene Pumayalli-Unu Kamachiq

Autor:
Aldo Cárdenas Panduro

Editado por:
The Nature Conservancy
Av. Benavides Nro. 1180 Dpto. 1102, Miraflores

1era Edición - Marzo 2020

Hecho el Depósito Legal en Biblioteca Nacional del Perú Nº 2020-03191
Se terminó de imprimir en Mayo del 2020 en
NANUK E.I.R.L.
Las Acacias 388, Santa Inés - Chaclacayo

Información de contacto
The Nature Conservancy
Aldo Cardenas Panduro
Water Fund Coordinator - Peru
Av. Benavides Nro. 1180 Dpto. 1102, Miraflores
Tel. +51 7190770
Mail: aldo_cardenas@tnc.org

INDICE

	Prólogo	6
	Introducción	8
1	Mapeo de Amunas en la Subcuenca Santa Eulalia	10
	1.1 Ubicación y accesibilidad de la zona de estudio	11
	1.2 Conceptos básicos y descripción de componentes de una amuna	16
	1.3 Descripción del proceso de mapeo de amunas	19
	1.4 Descripción general de los canales amuneros	21
	Canales Amuneros de San Pedro de Casta	
	Canal amunero Saywapata	
	Canal amunero Kayrachin (Huytama)	
	Canal amunero Laguna Prestancia	
	Canal amunero Senega - Tambo	
	Canal amunero Shucuni – Laguna Cercano	
	Canales amuneros San Juan de Iris	
	Canal amunero Pumacocha – Huaycanampo	
	Canal amunero Ancashi - Pariurco	
	Canales amuneros Huanza, Carampoma y Laraos	
	Canal Acobamba – Carampoma - Laraos	
	Canales amuneros San Lorenzo de Huachupampa	
	Canal amunero Chucuhuasi	
	1.5 Impacto Potencial	48
	1.6 Conclusiones	52
	1.7 Recomendaciones	53
2	Informe del monitoreo Hidrológico de la Amuna Saywapata en San Pedro de Casta	55
	2.1 Precipitación en la amuna Saywapata	56
	2.2 Humedad del suelo y temperatura	58
	2.3 Evaporación y ETP	59
	2.4 Caudales y estimación de la infiltración y eficiencia de la amuna	61
	2.5 Infiltración	67
	2.6 Flujos subterráneos	70
	2.7 Conclusiones	73
	2.8 Recomendaciones	75
3	Referencias	76

PRÓLOGO

La mejora en la gestión del agua se constituye en un tema vital para asegurar la sostenibilidad social y ambiental de nuestras sociedades. La publicación de "El Impacto de las Amunas en la Seguridad Hídrica de Lima" hace una contribución acotada y muy pertinente a esta problemática desde un enfoque innovador que nos lleva a revisitar e interrelacionar dos temas fundamentales: la seguridad hídrica de las grandes ciudades, como Lima, y la revaloración de infraestructuras ancestrales.

La seguridad hídrica de las ciudades es cada vez más un tema preocupante. Muchas ciudades como Lima o el Cairo tienen problemas crónicos para satisfacer la demanda de agua de sus poblaciones. La respuesta más común para lidiar con la inseguridad hídrica ha sido la construcción de grandes proyectos de infraestructura como represas y trasvases para intensificar o acceder a la explotación de fuentes de agua. En las últimas décadas, la mirada se ha puesto en los acuíferos que han cobrado importancia como reservas de agua ante la creciente escasez de agua superficial apta para el consumo humano.

Sin embargo, los planes de provisión de agua para las áreas urbanas como Lima han segudo un enfoque extractivista. Los proyectos de infraestructura muchas veces no han tenido en cuenta la sostenibilidad ambiental de las cuencas y subcuencas desde donde se abastece a las ciudades, lo que a la larga redunda en la sobreexplotación y contaminación de las fuentes de abastecimiento. En la actualidad, se reconoce que el problema hídrico debe abordarse de manera comprensiva de tal manera que la gestión sostenible del agua debe verse desde una visión territorial donde las ciudades interactúen de manera sostenible con su entorno. El libro **"El Impacto de las Amunas en la Seguridad Hídrica de Lima"** justamente aborda este tema al vincular directamente la seguridad hídrica de Lima al manejo sostenible del agua en la sub-cuenca del Santa Eulalia. En esta línea, el texto se enfoca en el estudio de las estructuras "amuneras": antiguos sistemas locales de recargas de acuíferos en la sub-cuenca del Santa Eulalia como formas de infraestructura hídrica sostenible.

La revaloración de infraestructuras hídricas ancestrales es un tema que viene cobrando cada vez más vigencia en las políticas públicas. Estudios en todo el mundo han encontrado que las antiguas tecnologías para el manejo del agua tienen mucho que enseñarnos. Por lo general las antiguas estructuras hídricas se adecuaban de mejor manera a su ambiente siendo más sostenibles al menos en términos ambientales. Las estructuras "amuneras" son un

excelente ejemplo de infraestructura sostenible en los Andes: a través de ellas se recoge el agua de lluvia y escorrentías para filtrarla al interior de las montañas. El agua filtrada en las "amunas" sirve para recargar los acuíferos. Esta agua puede ser utilizada cuando sale del subsuelo en afloramientos como puquios, manantiales u "ojos" de agua. Como bien explica el texto el conocer mejor los sistemas de "amunas" nos puede ayudar a manejar mejor el agua.

Es así como el texto realiza una importante contribución al vincular la seguridad hídrica de una gran ciudad como Lima a la revaloración de las estructuras "amuneras" en la subcuenca del Santa Eulalia. En particular, el texto hace un mapeo de estos sistemas de recarga de acuíferos y explica su funcionamiento para luego proponer acciones para modernizar su funcionamiento por medio de la utilización de medidores y otras tecnologías actuales.

Finalmente, pienso que el presente texto nos lleva a reflexionar sobre la importancia de incorporar no solo las estructuras ancestrales y locales sino también a las poblaciones que por siglos las han utilizado y mantenido en la búsqueda de formas más sostenibles de gestión del agua para el futuro.

Gerardo Damonte Ph.D.
Director
Maestría en Gestión de los
Recursos Hídricos
Pontificia Universidad Católica del Perú.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

INTRODUCCIÓN

TODOS SOMOS CONSCIENTES DEL CALENTAMIENTO GLOBAL QUE VENIMOS SUFRIENDO EN NUESTRO PLANETA, CON ALTAS TEMPERATURAS QUE PROVOCAN SEQUÍAS EXTREMAS E INCENDIOS COMO LO OCURRIDO RECIENTEMENTE EN AUSTRALIA Y LA AMAZONIA BRASILEÑA

El caso de los incendios recientes en Australia es muy emblemático porque el país vivía un prolongado periodo de sequía, la temporada más seca de los últimos 120 años, que sumado a los fuertes vientos y los grados de calor extremos registrados, agravó la situación. Se estima que se quemaron más de 6 millones de hectáreas, el doble del tamaño de Bélgica. En comparación casi 2,5 millones de hectáreas se convirtieron en humo en agosto del 2019 en la Amazonía.

Estas sequías prolongadas han afectado la disponibilidad del líquido elemento a las grandes ciudades como la de Sao Paulo en el 2015-2016 y Ciudad del Cabo en el 2017-2018.En Sao Paulo se vieron obligadas a corte de 4 a 5 días sin agua por semana y se tuvo que aumentar hasta en 100% de costo de agua. En el caso de ciudad del Cabo se tuvo que implementar fuertes medidas para concientizar a la población a que lleguen a un consumo diario de 50 litros por persona. Eso representa la tercera parte de lo que consume al día un limeño promedio (150 litros)[1].

A pesar de que Lima no llegó a su "hora cero", la capital peruana ya ha afrontado restricciones masivas del servicio por el comportamiento del clima. La última vez ocurrió en marzo del 2017 por el fenómeno de El Niño Costero, que producto de las lluvias intensas generó huaicos con grandes cantidades de sólidos que impedían el proceso de potabilización en la planta la Atarjea. Entre otros de los graves problemas que afectan al suministro de agua de Lima se encuentran el deterioro de la infraestructura natural, que al igual que la infraestructura gris o convencional contribuye a la conservación o almacenamiento de agua para la época de estiaje o seca. Los centros poblados que se encuentran en la parte alta, así como los cambios de uso de suelo afectan la calidad del agua en su estado casi natural. La falta de tratamiento de agua residuales y los pasivos ambientales mineros son también una amenaza para contar con un agua segura.

La mayor reserva de agua de la ciudad de Lima ante una crisis hídrica son las aguas subterráneas. SEDAPAL estima que se tiene una reserva mínima de 433 millones de m^3, de las cuales se extrae sostenibleme nte 287 millones[2]. Sin embargo, este volumen de agua tiene que ser gestionada sustentablemente para evitar una sobreexplotación

1 https://elcomercio.pe/lima/sucesos/lima-preparada-afrontar-posibles-sequias-noticia-499827-noticia/?ref=ecr (visitado enero 2020)
2 http://observatoriochirilu.ana.gob.pe/estado-situacional-de-los-recursos-hidricos/oferta/agua-subterranea

masiva, como fue en la década de 1990, y evitar la salinización por intrusión marina. Su recarga principal natural depende de la precipitación a través de fallas y fisuras geológicas, así como de la infiltración de agua en lechos de ríos y lagos que se dan en la parte alta de las cuencas. La recarga artificial se da por las tuberías rotas y las zonas de irrigación de cultivos y áreas verdes en la parte baja.

Una de las medidas para prevenir una posible crisis hídrica en la capital es la recuperación de canales ancestrales de infiltración, conocidos como amunas o canales amuneros. Desde tiempos remotos, posiblemente preinca, estos acuíferos ya fueron identificados y se conocía de la dinámica de su funcionamiento. Es así como diseñaron y construyeron lo que hoy denominamos estructuras amuneras. Desde entonces estas estructuras vienen trabajando en la recarga artificial de los acuíferos

Este tipo de infraestructura no convencional está cobrando fuerza hoy en día porque puede contribuir a la seguridad hídrica sin generar impactos ambientales negativos y ayudan a recargar y regular el flujo de agua para que en época de estiaje las poblaciones puedan contar con un mayor abastecimiento de agua, como parte de la seguridad hídrica.

Este libro tiene como objetivo dar a conocer los avances en torno a la implementación de las Amunas en la subcuenca Santa Eulalia, y su impacto en términos de ganancias hídricas. Asimismo, resaltar la importancia de la conservación y recuperación de estos canales amuneros con la finalidad de recargar los acuíferos e incrementar la producción de agua subterránea.

El documento se sustenta en la información derivada de dos estudios realizados en el 2019:

- **Informe de Mapeo –identificación y evaluación -de Amunas localizadas en la subcuenca Santa Eulalia, realizado por la consultora Unu Kamachiq entre febrero y marzo del 2019.**

- **Informe de Monitoreo sobre el Diseño e implementación de un sistema de monitoreo hidrológico para la amuna Saywapata en San Pedro de Casta, realizado por la Universidad de Ingeniería y Tecnología –UTEC y el Fondo de Agua de Lima y Callao –AQUAFONDO.**

Este sistema de monitoreo tiene como objetivo generar información confiable a través de la obtención de datos, el cual está conformado por un conjunto de instrumentos y equipos de medición y ensayos.

Dentro de los principales hallazgos se señala que las amunas por estar ubicadas en zonas estratégicas y por su bajo costo de recuperación son una medida eficiente para la recarga de acuíferos, el cual permitirá regular el flujo de agua en la cuenca, para que en época seca se tenga mayor disponibilidad de agua ya sea en los manantiales, luego en los cauces de los ríos y sobre todo si se tiene infraestructura gris como represas aguas abajo.

1 MAPEO DE AMUNAS EN LA SUBCUENCA SANTA EULALIA

En los últimos años, The Nature Conservancy (TNC), AQUAFONDO y otras instituciones vienen realizando trabajos de conservación y recuperación de canales ancestrales de infiltración, llamados amunas o canales amuneros, en las comunidades de San Pedro de Casta y en San Juan de Iris, ubicados en la subcuenca Santa Eulalia, que es parte de la cuenca del río Rímac. Dichos proyectos se vienen realizando con la finalidad de recargar los acuíferos e incrementar la producción de agua subterránea.

Inicialmente, TNC empezó recuperando con éxito la amuna Saywapata y Huaycanampo en San Pedro de Casta y San Juan de Iris en el 2016 y 2017 respectivamente, luego AQUAFONDO recuperó la amuna de Huytama en el 2017 y la amuna Shucuni – Laguna Cercano en el 2018, ambos en San Pedro de Casta; asimismo, la Pontificia Universidad Católica del Perú recuperó la amuna Laguna Prestancia en San Pedro de Casta en el 2018, y últimamente TNC recuperó el Shucuni Chinchaycocha en el 2019 en San Pedro de Casta. En total ya se vienen recuperando 6 amunas y se espera otras iniciativas en recuperar más canales.

Lo interesante es que, en solo dos años de estar funcionando, la población local ha logrado evidenciar mejoras en la oferta hídrica y otros beneficios, como mejora en la cobertura vegetal, reducción de sedimentos, entre otros. Esta situación está siendo corroborada con el monitoreo hidrológico que se viene realizado en la amuna Saywapata desde fines del 2017, cuyos resultados se explican más adelante.

A la luz de los resultados, en febrero del 2019, TNC decide realizar una evaluación de las amunas y estimar su impacto en términos de recarga hídrica en la subcuenca Santa Eulalia. Para esto se le encargó el estudio a la consultora Unu Kamachiq, quien trabajó en la zona y conoce de cerca la geología del lugar. La consultora visitó varios canales amuneros acompañadas de representantes de cada comunidad campesina.

En total se identificó veinticinco amunas en el ámbito de estudio, de las cuales seis ya se recuperaron. Uno de los objetivos también fue seleccionar los canales amuneros que presenten mejores condiciones a ser recuperados y puestos en operación de manera inmediata. Nuestra hipótesis es que si se recuperan más amunas se estaría contribuyendo no solo a la seguridad hídrica en las comunidades altoandinas, sino también a la generación de trabajo para la población local y contribuir a la prevención de desastres en la cuenca baja.

En total ya se vienen recuperando **6 amunas** y se espera otras iniciativas en recuperar más canales.

1.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra enmarcada dentro de la Sub cuenca Santa Eulalia, cuenca del río Rímac. Se accede desde la ciudad de Lima siguiendo la carretera central hasta el distrito de Santa Eulalia, con un recorrido de 49.1 Km, después se continúa siguiendo una pista hasta el desvió a Callahuanca, con un recorrido de 10 km, luego se continúa por una carretera afirmada hasta el cruce puente Autisha, con un recorrido de 28.1 Km, desde ese punto se continúa por trocha hacia los diferentes distritos y anexos. Los distritos que comprende el estudio son: San Pedro de Casta, San Lorenzo de Huachupampa, San Juan de Iris, Huanza, anexo de Acobamba, Santiago de Carampoma, San Pedro de Laraos, anexo de Vicas. Tal como se observa en la Figura N° 1.

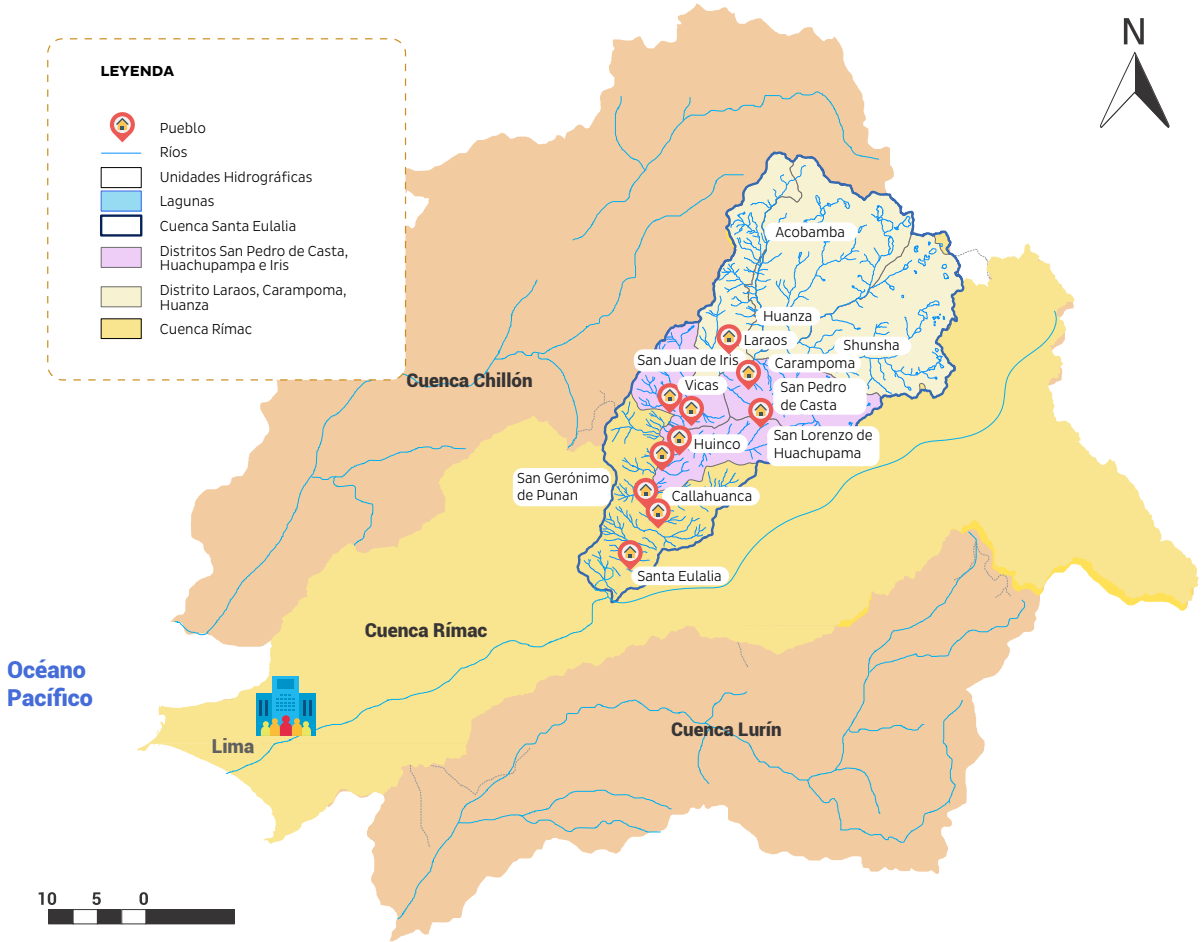


Figura N° 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia

1.2 CONCEPTOS BÁSICOS Y DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DE UNA AMUNA

Un sistema de recarga artificial de acuíferos, por medio de amunas, está compuesto de varias unidades o componentes, los mismos que varían de acuerdo con el contexto topográfico, geológico, hidrogeológico, entre otros. Entre los principales componentes se encuentran: las áreas de aporte, bocatoma, canal simple, canal amunero, amuna, muro de canalización, vertederos de excedencias y diques transversales que se describen a continuación:

Áreas de aporte

Constituido por dos zonas principales: la primera lo conforma la zona que recepciona la precipitación pluvial aguas arriba de la captación o bocatoma (microcuenca de aporte); la segunda zona lo conforma el área que se encuentra por encima del canal amunero o el canal simple, a donde discurre el agua de escorrentía superficial procedente de la ladera del cerro. Tal como se observa en la Figura N° 2.

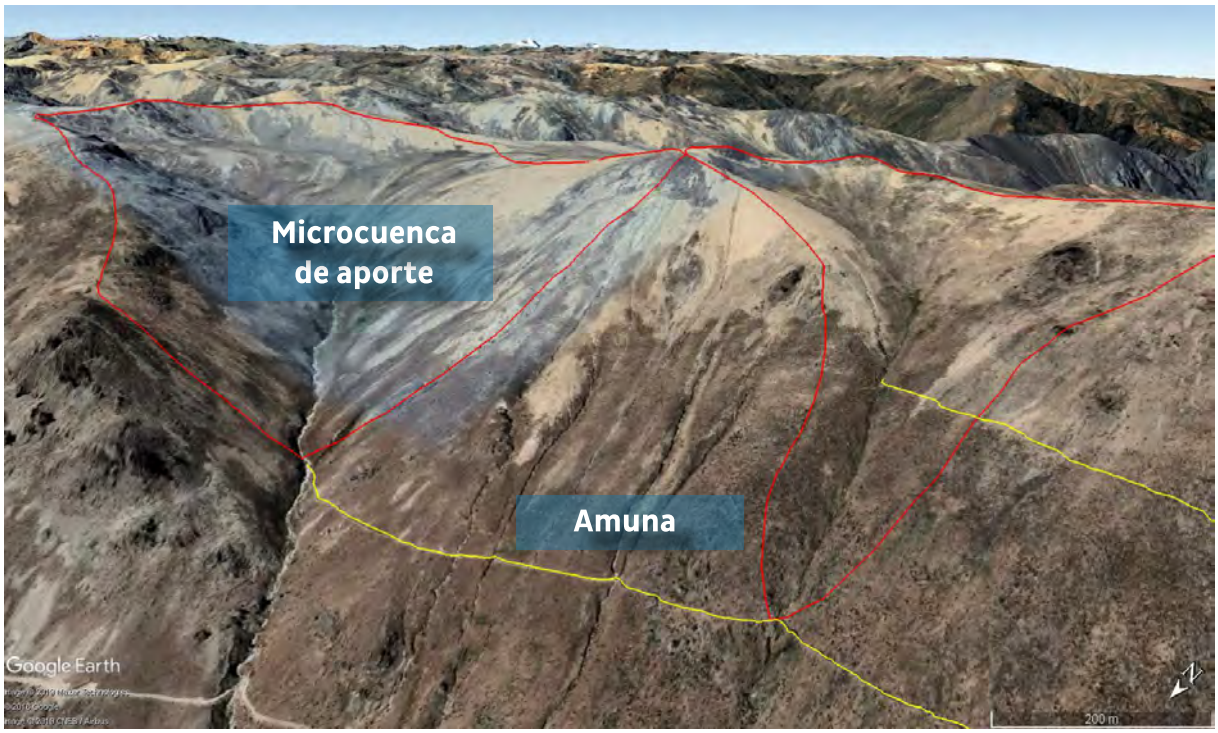


Figura N° 2: Área de aporte de una amuna
Fuente: Elaboración Propia

Bocatoma o captación

Viene a ser el primer componente del canal amunero que consiste en una estructura hidráulica destinada a captar parte del agua disponible en los cauces de quebradas. Por lo general, está compuesto de una estructura transversal, al cauce, encargada de derivar el agua hacia una de las márgenes de la quebrada para luego ser entregada al canal amunero.

Figura N° 3: Bocatoma Mula muerta, perteneciente al canal amunero kayrachin (Huytama)
Fotografía: AQUAFONDO

Canal simple

Es la encargada del transporte del agua desde la zona de captación hacia la zona de la amuna o hacia el canal amunero. Este puede estar presente solo al inicio o en pequeños intervalos a lo largo del canal amunero. Está conformado por un canal ordinario que no permite la infiltración o pérdida del agua. Por lo general, está compuesto por zonas o terrenos arcillosos o por sectores con rocas macizas o débilmente fracturadas.

Canal amunero

Es la estructura hidráulica consistente en un canal por donde discurre el agua y se infiltra por la base del canal penetrando hacia el subsuelo para luego continuar su recorrido hacia la roca fracturada o acuífero. En síntesis, se trata de un canal de infiltración. Los canales amuneros, por lo general, están ubicados en terrenos muy permeables, zonas rocosas o zonas donde los afloramientos rocosos se encuentran muy fracturados y muy cercanos a la superficie.

Figura N° 4: Canal amunero Saywapata
Fotografía: Alfredo Salinas-TNC

Amuna

Es el sector destinado a la infiltración del agua transportado por el canal amunero o por el canal simple. Las zonas de amuna, por lo general, están compuestas por sectores donde se encuentran presentes fragmentos de roca en forma de bolones o bloques caídos. También puede estar constituido por sectores donde los afloramientos rocosos se encuentran muy fracturados y permiten la fácil infiltración del agua.

Figura N° 5: Zona de boloneria margen derecha quebrada Huytama
Fotografía: Rene Pumayalli-Unu Kamachiq

Muro de canalización

Estructura que permite el flujo del agua a manera de canal de riego; está constituida, básicamente, por un compilado de piedras conformando un muro ciclópeo con mortero de tierra compactada. Para su construcción es preferible el uso de bloque de piedra en forma de lajas principalmente hacia el lado que va al interior del muro.

Figura N° 6: Canal amunero Laguna Prestancia, donde se puede apreciar la disposición de los bloques de piedra
Fotografía: Rene Pumayalli-Unu Kamachiq

Vertedero de excedencias

Es una estructura hidráulica destinada a propiciar el pase, libre o controlado del agua; se encuentran ubicados en las zonas donde el canal amunero es interceptado por pequeños cauces o quebradas tipo cárcavas que a su vez aportan agua hacia el sistema amunero.

Figura N° 7: Vertedero de excedencias, realizado en el canal amunero Saywapata
Fotografía: Alfredo Salinas-TNC

Diques transversales

Son estructuras ubicadas en el cauce principal de las quebradas aportantes de agua hacia el sistema amunero. Por lo general están constituidas por muros transversales al cauce, cuyo objetivo principal es disminuir la energía y por ende el arrastre de sólidos y socavamiento que se da en dichos cauces.

Figura N° 8: Diques transversales construidos por la comunidad de San Pedro de Casta, ubicado por encima de la captación del canal amunero Saywapata
Fotografía: Rene Pumayalli-Unu Kamachiq

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MAPEO DE AMUNAS

Para el mapeo de las amunas se utilizó la siguiente información:

- Imágenes satelitales utilizando los programas Google Earth y SASPlanet.
- Información digital de cartasgeológicas y boletines de los cuadrángulos Chosica (24j) Matucana (24k), elaborado por INGEMMET.
- Información digital del informe "Las amunas de Huarochirírecarga de los acuíferosen los andes", perteneciente al convenio IICA –GSAACdel año 2006.
- Información digital del informe "Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca Rímac" del año 2010, elaborado por la Autoridad Nacional del Agua.

En base a la información recopilada de las imágenes de satélite y cartas geológicas se logró identificar veinticinco amunas en diferente estado de conservación. Luego, se realizó un mapeo georreferenciado de los veinticinco canales amuneros, acompañado del mapa de uso de suelo y cobertura vegetal, usando el programa ArcGIS. A parte de los canales recuperados, se visitaron varios canales amuneros, que por su formación geológica se deberían hacer un levantamiento detallado de información en campo. En total se identificaron 69,526 metros de canal entre las veinticinco amunas identificadas, tal como se muestra en el Cuadro N° 1. Por conocimiento de los pobladores del lugar existen más canales, como en la comunidad de Vicas en Huachupampa; sin embargo, prácticamente han desaparecidos producto de la falta de mantenimiento y erosión de los suelos.

Fotografía: AQUAFONDO

Cuadro N° 1: Número de amunas identificadas en la subcuenca Santa Eulalia

Nº	LOCALIZACIÓN	NOMBRE	REGIMEN FUNC.	LONG.
1	San Pedro de Casta	Saywapata	Temporal	1,939
2	San Pedro de Casta	Kayrachin (Huitama)	Temporal	1,276
3	San Pedro de Casta	Laguna Pestancia	Temporal	1,418
4	San Pedro de Casta	Senega - Tambo	Permanente	8,367
5	San Pedro de Casta	Shucuni-Lag. Cercano	Temporal	4,967
6	San Pedro de Casta	Huacsay - Yanachiwchi	Permanente	865
7	San Pedro de Casta	Huaclayco - Chinca	Permanente	191
8	San Pedro de Casta	Punabanca - Cacala	Permanente	3,045
9	San Pedro de Casta	Huaclayco - Achin	Temporal	2,022
10	San Pedro de Casta	Cushpina - Cashanan	Temporal	466
11	San Pedro de Casta	Cushpina - Cashanan medio	Temporal	440
12	San Pedro de Casta	Cushpina - Cashanan bajo	Temporal	324
13	San Pedro de Casta	Cayula alto	Temporal	567
14	San Pedro de Casta	Cayula bajo	Temporal	315
15	San Pedro de Casta	Cascara Amarilla	Temporal	717
16	San Juan de Iris	Pumacocha - Huaycanampo	Permanente	2,089
17	San Juan de Iris	Huayapacha - Machiquimarca	Temporal	548
18	San Juan de Iris	Ancashi - Pariurco	Temporal	1,593
19	San Juan de Iris	San Juan de Iris alto	Temporal	553
20	Carampoma	Antapampa	Temporal	2,016
21	Carampoma	Japani	Temporal	3,012
22	Acobamba, Carampoma, Laraos	Acobamba - Laraos	Permanente	24,660
23	Acobamba	Empalme	Permanente	5,477
24	Huachupampa	Chucuhuasi	Temporal	1,186
25	Huachupampa	Carhuachayo	Temporal	1,473
TOTAL				69,526

Fuente: Elaboración Propia

Una vez culminadas las visitas de campo se procedió a analizar, procesar y depurar la información recopilada en el trabajo de campo. Del mismo modo, se hizo una síntesis y procesamiento de las encuestas realizadas, elaboración de los mapas temáticos y redacción de los respectivos informes. En la Figura N° 9 se apreciala ubicación de las principales amunas visitadas en los distritos de Carampoma, Huanza, Laraos, Huachunpampa, San Juan de Iris y San Pedro de Casta.

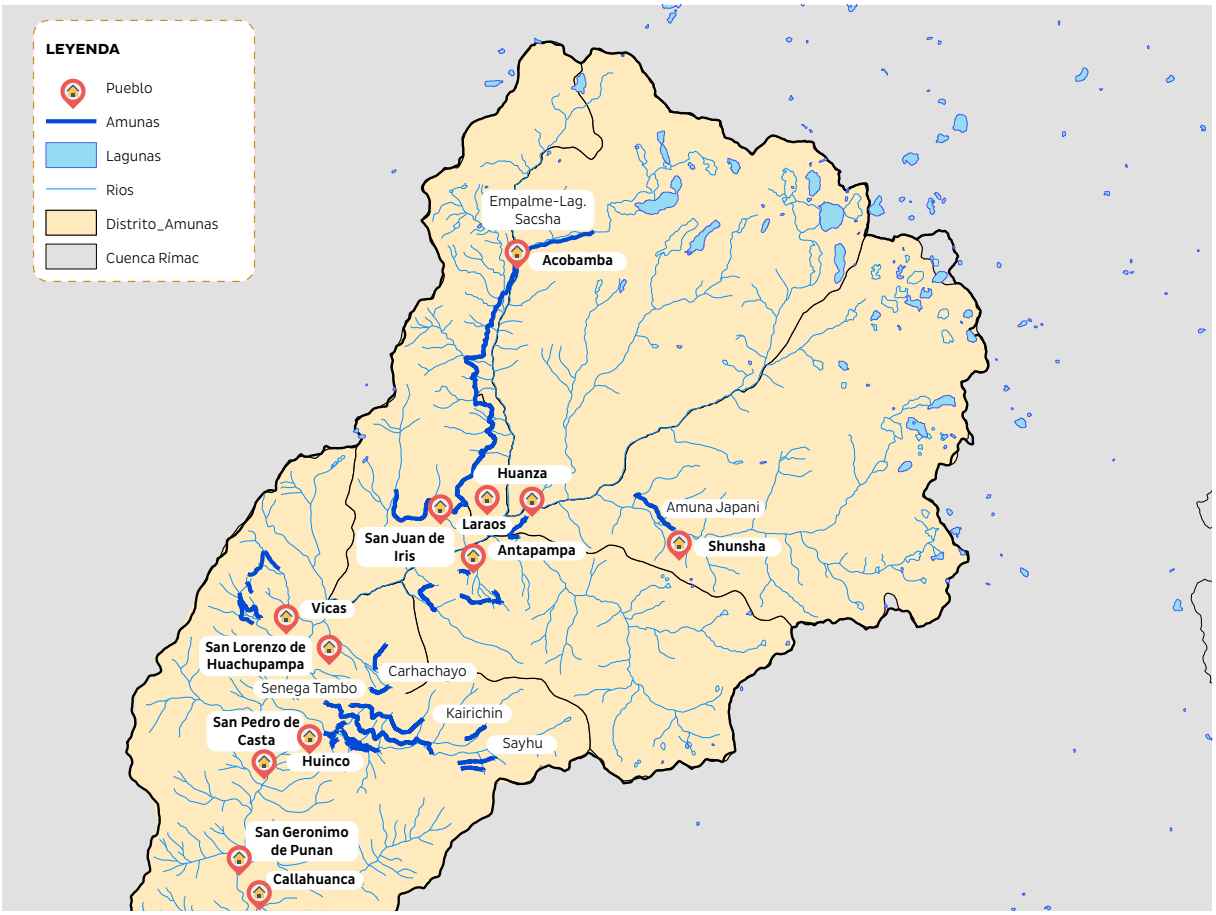


Figura N° 9: Ubicación de las amunas en los distritos de Carampoma, Huanza, Laraos, Huachunpampa, San Juan de Iris y San Pedro de Casta.
Fuente: Elaboración Propia

1.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS CANALES AMUNEROS

Para la descripción de los canales amuneros se ha considerado las visitas de campo, entrevistas a pobladores y uso de imágenes satelitales. A continuación, se realiza una descripción por distritos de las estructuras más importante encontradas.

CANALES AMUNEROS DE SAN PEDRO DE CASTA

Dentro del distrito de San Pedro de Casta se ubicaron quince canales amuneros, pero muchos de ellos se encuentran funcionando más como canales de riego. Por ello la población realiza mantenimientos periódicos a muchos de estos canales de riego, tanto por la necesidad de mejorar los caudales para el riego de sus cultivos, como también por tradición en la fiesta del agua "Champeria", realizada en el mes octubre, donde los comuneros y pobladores realizan la faena de limpieza y mantenimiento de estos canales ancestrales. Debemos resaltar que, en los últimos dos años se ha realizado la recuperación de varios canales amuneros, los mismos que ya están dando resultados, tal es así que en el sector de Saywapata se mantienen manantes en plena producción hasta la fecha, hecho que no se daba en anteriores años; esto en referencia a los comentarios vertidos por los pobladores de la zona.

Para facilitar la comprensión de la información recopilada se presenta el Cuadro N° 2 y Cuadro N° 3 con el resumen de las principales características físicas e hidráulicas respectivamente, y un mapa de ubicación de las amunas identificadas en San Pedro de Casta (ver Figura N° 10). En este sector ya se han recuperado cinco amunas, aunque algunas solo se mejoraron parcialmente, tal es el caso de la amuna Senega – Tambo que tiene más de 8 km, pero solo se pudo recuperar, por falta de presupuesto, 1.5 km del sector Shucuni Chinchaycocha. El otro caso es de la amuna Shucuni-Laguna Cercano, en el cual AQUAFONDO recuperó 2 km de este canal que tiene más de 4 km.

Los valores de permeabilidad se determinaron haciendo unas pruebas en campo y están expresados en metros/día (m/día). Mientras que el caudal promedio de amuna recuperado, así como el volumen de infiltración se estimaron en base a los datos registrados de caudal de la amuna Saywapata, y está expresado en litros/segundo (l/s) y m^3/año respectivamente. Esta amuna viene siendo monitoreada y se explicará a mayor detalle en el capítulo que incluye el informe de monitoreo hidrológico de la amuna Saywapata.

Cuadro N° 2: Características físicas de las amunas - San Pedro de Casta

Nº	NOMBRE	GEOLOGÍA PREDOMINANTE	LONG. (m)	COTA INICIO	COTA FINAL	PEN-DIENTE	ESTADO ACTUAL (**)	COBERTURA VEGETAL (*)	USO/OBSERVACIONES
1	Saywapata	Material suelto con predominancia de finos y zonas de material rocoso	1,939	4,355	4,265	4.64	Buenas condiciones	Poca	Recarga de acuifero / Recuperado en 2016
2	Kayrachin (Huitama)	Material suelto rocoso	1,276	4,285	4,248	2.90	Buenas condiciones	Nula	Recarga de acuifero / Recuperado en 2018
3	Laguna Pestancia	Material suelto con predominancia de finos	1,418	4,490	4,406	5.92	Buenas condiciones	Escasa	Recarga de acuifero / Recuperado en 2018
4	Senega - Tambo	Muy variado. Material suelto con predominancia de finos y zonas de material rocoso y zonas con afloramiento de roca	8,367	3,932	3,375	6.66	Malas condiciones	Regular	Recarga de acuiferos y por sectores como canal de riego / Es la amuna mas larga de la zona y atraviesa varias quebradas de donde tambien recibe al aporte de aguas
5	Shucuni-Lag. Cercano	Predominancia de afloramiento rocoso y escaso material suelto	4,967	4,169	3,803	7.37	Malas condiciones	Nula	Recarga de acuifero / Predominancia de afloramiento rocoso
6	Huacsay - Yanachiwchi	Material compacto, compuesto por pequeños bloques de piedra en matriz de limo arenoso	865	3,239	3,175	7.40	Malas condiciones	Abundante	Recarga de acuifero y canal de riego
7	Huaclacayo - Chinca	Material compacto, compuesto por pequeños bloques de piedra en matriz de limo arenoso	191	3,160	3,158	1.05	Colapsada	Abundante	Recarga de acuifero y canal de riego
8	Punabanca - Cacala	Material compacto, compuesto por pequeños bloques de piedra en matriz de limo arenoso	3,045	3,445	3,275	5.58	Malas condiciones	Abundante	Recarga de acuifero y canal de riego
9	Huaclayco - Achin	Material suelto con predominancia de finos y zonas de material rocoso	2,022	3,287	3,176	5.49	Malas condiciones	Rala	Recarga de acuifero y canal de riego
10	Cushpina - Cashanan	Predominancia de afloramiento rocoso y escaso material suelto	466	3,329	3,279	10.73	Estado regular	Escasa	Recarga de acuifero / Deben ser mejoradas para ser usadas para recarga de acuifero
11	Cushpina - Cashanan medio	Predominancia de afloramiento rocoso y escaso material suelto	440	3,256	3,221	7.95	Estado regular	Escasa	Recarga de acuifero y canal de riego / Deben ser mejoradas para ser usadas para recarga de acuifero
12	Cushpina - Cashanan bajo	Predominancia de afloramiento rocoso y escaso material suelto	324	3,138	3,093	13.89	Estado regular	Escasa	Recarga de acuifero y canal de riego
13	Cayula alto	Material compacto, compuesto por pequeños bloques de piedra en matriz de limo arenoso	567	3,234	3,171	11.11	Estado regular	Rala	Recarga de acuifero y canal de riego
14	Cayula bajo	Material compacto, compuesto por pequeños bloques de piedra en matriz de limo arenoso	315	3,209	21.90	3,140	Malas condiciones	Rala	Recarga de acuifero y canal de riego
15	Cáscara Amarilla	Predominancia de afloramiento rocoso y escaso material suelto	717	3,041	5.30	3,003	Estado regular	Abundante	Recarga de acuifero y canal de riego

(*) Cobertura Vegetal:

Abundante: Presenta matorrales y plantas menores

Rala: Presenta algunos matorrales

Escasa: Cuando se aprecian esporadicas plantas y algo de paja

Nula: Cuando el terreno se encuentra libre de cobertura

(**) Estado Actual

Buenas condiciones: La amuna se encuentra plenamente operativa

Estado regular: La amuna se encuentra parcialmente interrumpida. La amuna necesita de mantenimiento general

Malas condiciones: La amuna se encuentra parcialmente interrumpida, gran parte de la amuna debe ser reconstruida

Colapsado: El funcionamiento de la amuna se encuentra totalmente interrumpida

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro Nº 3: Características hidráulicas de las amunas - San Pedro de Casta

Nº	NOMBRE	FUENTE AGUA	RÉGIMEN FUNC.	LONG. (m)	ANCHO prom. (m)	PERMEAB. (m/dia)	CAUDAL PROM. RECUPERADO (l/s)	VOLÚMEN DE INFIL. (m3)	ARTICULACIÓN CON OTROS SISTEMAS HÍDRICOS
1	Saywapata	Quebrada Sayhuapata y bofedal	Temporal	1,939	0.65	28.7	10.5	243,991	Recarga de acuifero, en la parte baja se aprecia a afloramientos de agua
2	Kayrachin (Huitama)	Quebrada Huytama	Temporal	1,276	0.50	22.1	4.1	95,206	Recarga de acuifero
3	Laguna Pestancia	Bofedal Laguna Prestancia y escorrentia superficial	Temporal	1,418	0.60	28.7	7.1	164,680	Recarga de acuifero
4	Senega - Tambo	Rio Carhuayuma y otras que se intersectan con el canal	Permanente	8,367	0.45	28.7	31.2	728,895	Recarga de acuifero, en la parte baja se aprecia afloramientos de agua
5	Shucuni-Lag. Cercano	Quebrada Shucuni y otras que se intersectan con el canal	Temporal	4,967	0.40	21.8	12.5	292,358	Recarga de acuifero en cabecera de cuenca
6	Huacsay - Yanachiwchi	Rio Carhuayuma	Permanente	865	0.30	13.3	1.0	23,227	No se aprecia
7	Huaclacayo - Chinca	Rio Carhuayuma	Permanente	191	0.30	13.3	0.2	5,129	No se aprecia
8	Punabanca - Cacala	Rio Carhuayuma	Permanente	3,045	0.50	13.3	5.8	136,271	Recarga de acuifero
9	Huaclayco - Achin	Rio Carhuayuma	Temporal	2,022	0.30	28.7	5.0	117,432	Recarga de acuifero
10	Cushpina - Cashanan	Quebrada Cushpina	Temporal	466	0.40	13.3	0.7	16,684	Recarga de acuifero
11	Cushpina - Cashanan medio	Quebrada Cushpina	Temporal	440	0.40	13.3	0.7	15,753	Recarga de acuifero
12	Cushpina - Cashanan bajo	Quebrada Cushpina	Temporal	324	0.40	13.3	0.5	11,600	Recarga de acuifero
13	Cayula alto	Quebrada Cayula	Temporal	567	0.30	13.3	0.7	15,225	Recarga de acuifero
14	Cayula bajo	Quebrada Cayula	Temporal	315	0.30	13.3	0.4	8,458	Recarga de acuifero
15	Cáscara Amarilla	Rio Carhuayuma	Temporal	7,171	0.30	13.3	0.8	19,253	Pequeños manantes en la parte baja

Fuente: Elaboración Propia

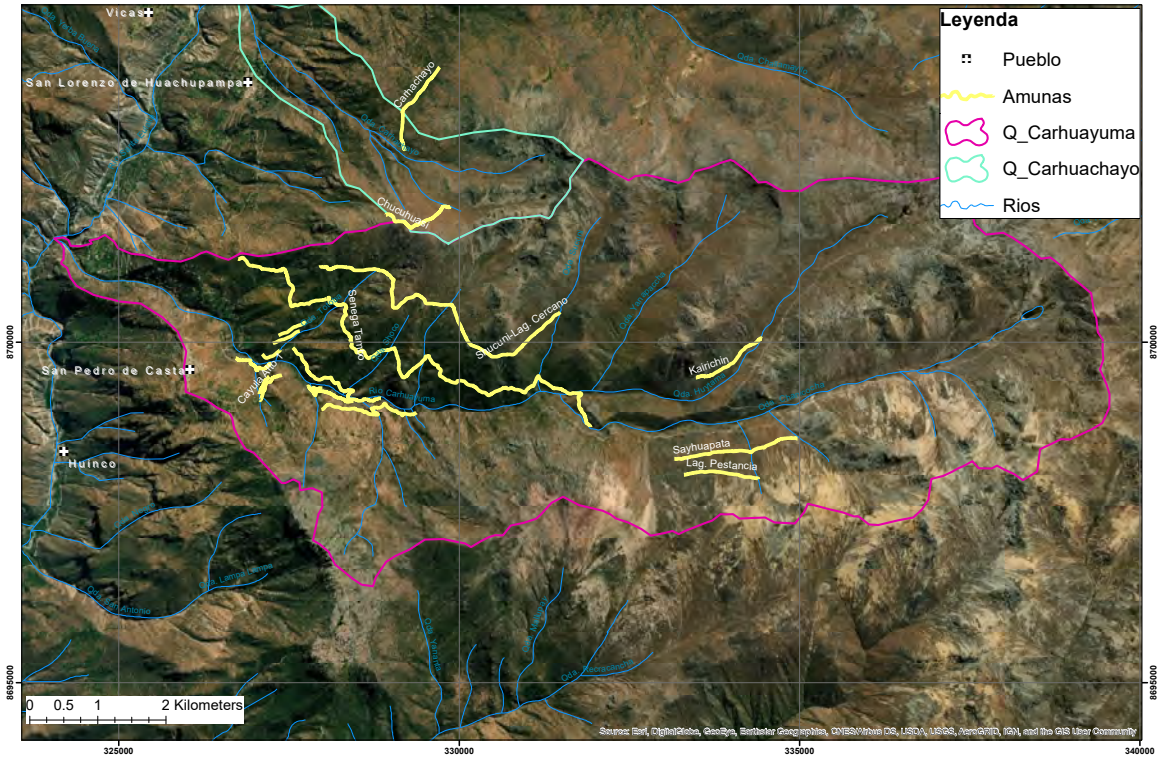


Figura N° 10: Ubicación de Amunas en San Pedro de Casta
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se describe los canales amuneros que fueron recuperados hasta la fecha en San Pedro de Casta.

1. Canal amunero Saywapata

El canal amunero Saywapata se encuentra ubicado al Este del poblado de San Pedro de Casta, en la margen izquierda de la quebrada Chanicocha, su accesibilidad se realiza por carretera afirmada San Pedro de Casta – Laguna Huytama, con un tiempo de 45minutos en camioneta, para luego subir por la quebrada Saywa por un lapso de 20 minutos aproximadamente hasta llegar a la zona de diques, donde se ubica la estructura de captación del canal amunero Saywapata.

La amuna Saywapata fue la primera en recuperarse por TNC en el 2016. Su captación se mejoró con 5 diques transversales (tal como se muestra en la Figura N° 8 anterior), cuya función principal fue reducir la energía del agua que entra al canal amunero y evitar el arrastre de sólidos hacia la amuna. El canal tiene 1,939 metros de longitud por 1 metro de ancho y muro de 0.55 metros de altura. Este canal atraviesa tramos con: suelos sueltos, bloques de roca, bloques con matriz de finos, afloramientos rocosos, cuya característica principal es la alta permeabilidad que estos materiales tienen, hecho que la convierte en una estructura muy importante para la recarga del acuífero ubicado por debajo de esta amuna. Después de su

recuperación en el 2016, el canal amunero viene recargando el acuífero ubicado por debajo de esta infraestructura, y se puede empezar a notar algunos cambios en los alrededores de esta amuna. Estos cambios no solo han sido percibidos por los pobladores de la zona, sino que también se puede apreciar el humedecimiento constante de algunos taludes de la carretera y la producción constante de algunos manantiales en la parte baja de la amuna. En la Figura N° 11 se muestra el canal recuperado.

Figura N° 11: Amuna Saywapata
Fotografía: Aldo Cardenas -TNC

De acuerdo con las pruebas realizadas en campo se obtuvo una permeabilidad promedio de 28.7 m/día, siendo uno de los mayores valores de la zona. Para el caudal y volumen de infiltración, conforme con el monitoreo hidrológico que se viene realizando, se ha determinado un caudal promedio de conducción de 10.5 l/s y un volumen de infiltración o de recarga de acuífero de 243,991 m^3. Cabe señalar que estos caudales y volúmenes tienen gran variabilidad de un día para otro, así como de un mes para otro, ya que están directamente relacionados con la lluvia. Esto se explicará a mayor detalle en el capítulo sobre monitoreo hidrológico de la amuna.

2. Canal amunero Kayrachin (Huytama)

El canal amunero Kayrachin (Huytama), se encuentra ubicado al Este del poblado de San Pedro de Casta, en la margen derecha de la quebrada Huytama, y tiene una longitud de 1,276 metros. Su accesibilidad se realiza por carretera afirmada San Pedro de Casta – Laguna Huytama, con un tiempo de 1.5 horas en camioneta; a la altura de la bocatoma comienza un descenso por la margen izquierda de la quebrada Huytama por unos 10 minutos hasta llegar a la bocatoma del canal amunero en el sector Mula Muerta.

La amuna Kayrachin fue recuperada por AQUAFONDO en el 2018 y fue el segundo canal en recuperarse. La bocatoma de entrada está construida con concreto, pero no tiene una compuerta de paso o en su defecto un vertedero de excedencias de agua, donde los comuneros improvisaron una compuerta colocando un tablón de madera. Esta bocatoma se encuentra en buenas condiciones estructurales e hidráulicas. El caudal aforado en marzo del 2019 (época de lluvia) fue de 4.1 l/s en la entrada al canal amunero, tal como se muestra en la Figura N° 12. Esto permite un volumen de infiltración promedio de 95,206 m³. De acuerdo con las pruebas efectuadas en campo, se obtuvo una permeabilidad promedio de 22.1 m/día.

Figura N° 12: Captación de la amuna Kayrachin
Fotografía: AQUAFONDO

La amuna de Kayrachin atraviesa suelos o materiales sueltos y algunos tramos de afloramiento de roca, la misma que se encuentra fracturada. Este hecho hace que la amuna, en todo su recorrido, este permitiendo la infiltración constante de agua. El agua que atraviesa el suelo pasa hacia la roca, para luego fluir y/o almacenarse en esta estructura y finalmente salir en la parte baja en forma de manante. Una de las características que debemos resaltar de este canal amunero, es su ubicación y/o emplazamiento, el mismo que está caracterizado por estar ubicado sobre material altamente permeable y roca fracturada hecho que favorecerá a la infiltración directa de las aguas hacia el acuífero rocoso.

3. Canal amunero Laguna Prestancia

El canal amunero Laguna Prestancia se encuentra ubicado al Este del poblado de San Pedro de Casta, en la margen izquierda de la quebrada Chanicocha, su accesibilidad se realiza por carretera afirmada San Pedro de Casta – Laguna Huytama, con un tiempo de 45 minutos en camioneta, para luego subir por la quebrada Saywa por un lapso de 30 minutos aproximadamente hasta llegar al bofedal del sector laguna Prestancia.

El canal amunero fue recuperado por la comunidad de San Pedro de Casta y la Pontificia Universidad Católica del Perú en el 2018. Este canal capta el agua de la quebrada Laguna Prestancia, la misma que se activa en la temporada de lluvias, pero durante el resto del año utiliza el agua proveniente de un bofedal ubicado por encima de la zona de captación.

Figura N° 13: Captación del canal amunero Laguna Prestancia
Fotografía: Rene Pumayalli-Unu Kamachiq

El canal tiene 1,418 metros de longitud por 0.6 metros de ancho en promedio con muro de 0.4 metros de altura. Este canal pasa por afloramientos rocosos altamente fracturado y material suelto compuesto de pequeños bloques de roca unidos de materiales finos. Se debe indicar que la zona de mayor infiltración dentro del canal amunero comienza en la parte final desde la progresiva 0+850 para adelante. Allí se pudo observar que la zona de la amuna se encuentra compuesta por una compilación de bloques de roca. Esta amuna se encuentra por encima de la amuna de Saywapata con la que estarían conformado dos sistemas de recarga para el mismo acuífero.

De acuerdo con las pruebas efectuadas en campo, se obtuvo una permeabilidad promedio de 28.7 m/día al igual de Saywapata. Asimismo, se estimó un caudal de 7.1 l/s en comparación con la Saywapata, el cual permitiría recargar en época de lluvia 164,680 m^3 al año.

4. Canal amunero Senega - Tambo

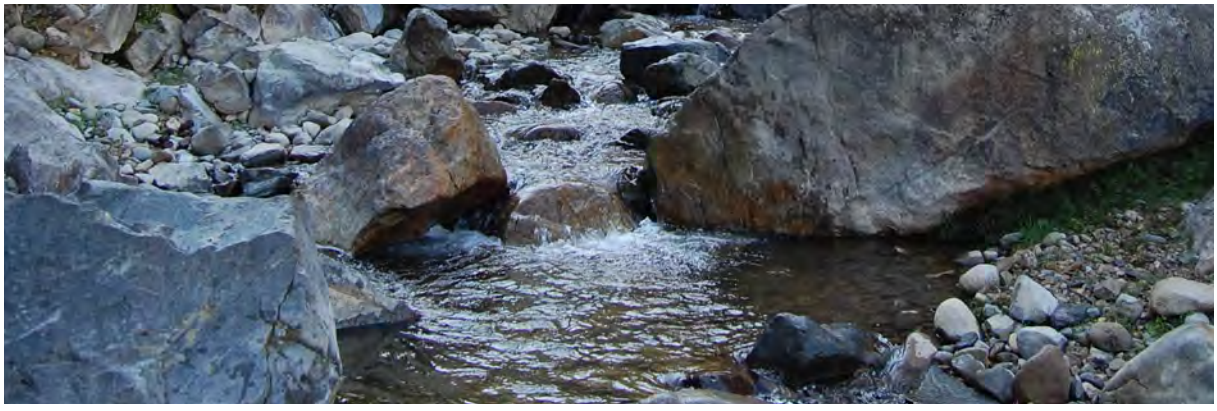
El canal amunero Senega - Tambo se encuentra ubicado al Este del poblado de San Pedro de Casta, geográficamente en la margen derecha de la quebrada Carhuayuma, su accesibilidad se realiza por carretera afirmada San Pedro de Casta – Laguna Huytama, con un tiempo de 35 minutos en camioneta, para luego acceder por un descenso de unos 10 minutos hacia la quebrada Chanicocha sector de Horno, donde comienza su recorrido hasta llegar a su punto más distal en el sector de laguna Tambo. Este canal amunero es el más extenso dentro de la comunidad de San Pedro de Casta, con una extensión de 8,367 metros y un tiempo de recorrido aproximado de 3 horas a pie.

Para una mejor evaluación y conocimiento del canal amunero Senega – Tambo, se ha visto por conveniente dividirlo en 8 tramos, ya que este canal es interceptado con varias quebradas que alimentan al canal en época de lluvia, tal como se muestra en el Cuadro N° 4 y Figura N° 14:

Cuadro N° 4: Tramos de recorrido canal amunero Senega – Tambo

Nº	Nombre de tramo	Extención (m)
1	Horno - Senega	640
2	Senega - Shucuni	748
3	Shucuni - Chinchaycocha	2,186
4	Chinchaycocha - Shaco	971
5	Shaco - Tobata	1,838
6	Tobata - Laguna Cercano	595
7	Laguna Cercano - Cataca	1,146
8	Cataca - Laguna Tambo	243
	Total	8,367

Fuente: Elaboración Propia



Fotografía: Aldo Cardenas -TNC

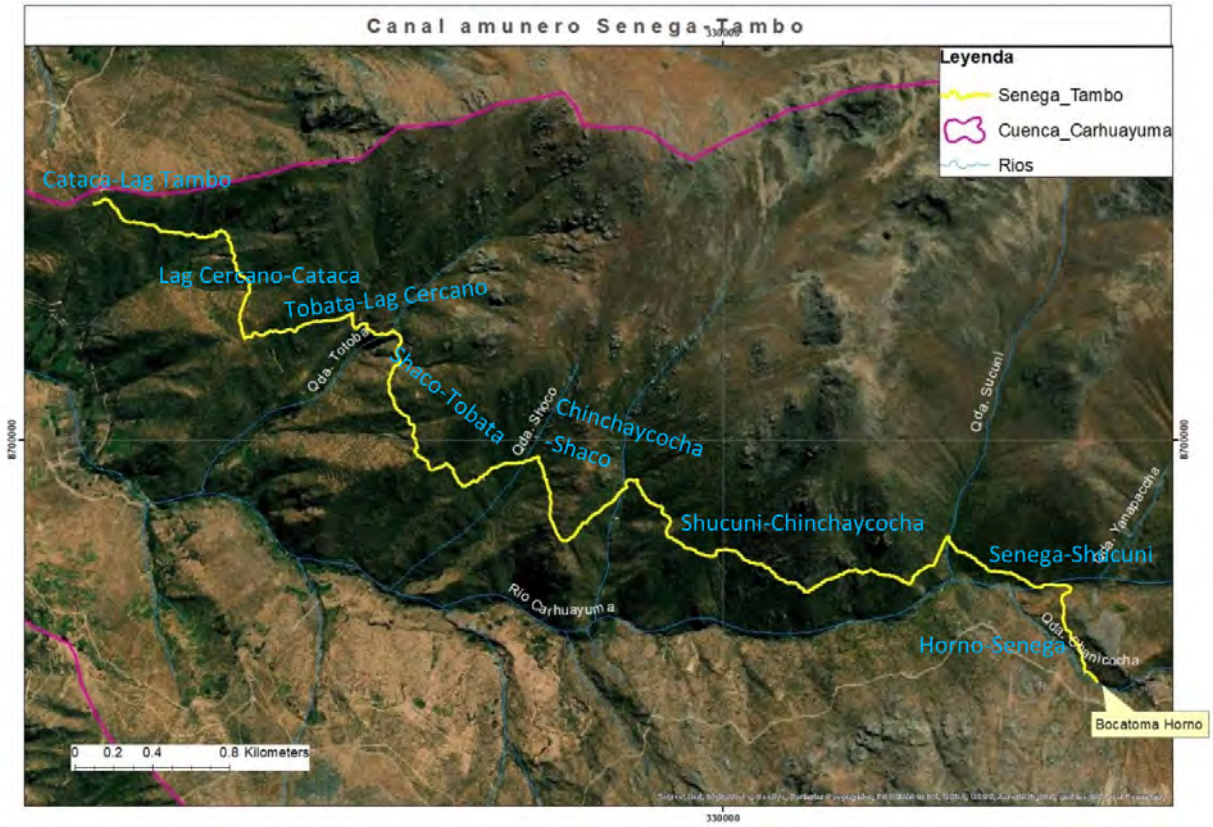


Figura N° 14: Canal amunero Senega-Tambo
Fuente: Elaboración Propia

TRAMO 1: Canal amunero Horno - Senega

Este primer tramo comienza en el sector de Horno, donde se ubica su captación denominada bocatoma Horno, ubicada en el eje de la quebrada Chanicocha, la cual no se encontró operativa por el mal estado de conservación. La bocatoma Horno se encuentra colapsada por lo que es necesario su rehabilitación.

El canal amunero Horno - Senega tiene 640 metros de longitud, por 0.6 metros de ancho y 0.2 metros de altura; y pasa, en sus primeros tramos, por materiales sueltos y en su tramo final por afloramientos de roca. Por muchos sectores este canal se encuentra colapsado, y obstruido por sedimentos y materia orgánica dejado por los animales de pastoreo. Asimismo, en su tramo final a unos 400 metros del inicio, pasa por una zona de afloramiento de roca con pendiente pronunciada, hasta desembocar en el reservorio Uscupurucocha.

Finalmente, el agua proveniente del tramo 1 llegaba al sector Senega y era almacenada en el reservorio Uscupurucocha, que era usado para el riego de los campos de cultivos del sector Senega. Este reservorio tiene una longitud de 31 metros con un ancho de 9 metros y una altura de 2.8 metros. Este reservorio se encuentra en malas condiciones estructurales por notarse fisuras en el dique y excesiva sedimentación en el vaso del reservorio.

TRAMO 2: Canal amunero Senega - Shucuni

El segundo tramo inicia en la captación denominada bocatoma Senega, donde se capta el agua que procede de la quebrada Senega y la bocatoma. En el momento de la visita no se encontró operativa dado que estaba obstruida por bolones de roca que impiden el paso de agua dentro del canal amunero.

El canal amunero Senega - Shucuni tiene 748 metros de longitud por 0.6 metros de ancho por 0.25 metros de altura. Este canal pasa en su recorrido por una alternancia de material sueltos y zonas de afloramiento de rocas fracturadas. Gran parte de este canal requiere una reconstrucción total del muro.

TRAMO 3: Canal amunero Shucuni - Chinchaycocha

Este tramo, desde la quebrada Shucuni hasta la quebrada Chinchaycocha, es el más extensos dentro del sistema del canal amunero Senega – Tambo. Se inicia en la bocatoma Shucuni y durante la inspección, en febrero del 2019, se encontró operativa con un caudal de captación aproximado de 1.5 l/s (antes de su recuperación). La bocatoma Shucuni tienen una longitud de 10 metros, un ancho de 0.6 metros y una altura de 0.13 metros.

El canal amunero Shucuni - Chinchaycocha fue recuperado por TNC en setiembre del 2019. Del inventario realizado en febrero del mismo año, se evaluó varias alternativas de canales amuneros para su recuperación. Para la elección de este canal amunero, se consideraron una serie de características de esta estructura como: su ubicación, estructura hidrogeológica (acuífero a ser recargado), cuenca de aporte, área de influencia, sugerencia de los pobladores de la zona. Otro factor importante de este tramo del canal Senega – Tambo es que se encuentra a una altura considerable del eje del valle, hecho que favorece a que el agua almacenada en el acuífero pueda salir en forma de manantes y alimentar al cauce de la quebrada de Carhuayuma.

El canal si bien tiene una longitud de 2,186 metros, solo fueron recuperados los primeros 1,500 metros, por falta de presupuesto y porque en su trayecto presenta varios saltos hidráulicos y zonas de alta pendiente que dificultan el trabajo. El canal recuperado tiene un ancho de 0.6 metros y una altura de 0.13 metros en su parte inicial, el cual se va incrementando desde su tramo intermedio al final en 0.25 metros, tal como se observa en la Figura N° 15. El canal pasa en su recorrido por una alternancia de materiales sueltos y zonas de rocas fracturadas que favorece grandemente para que el agua infiltre dentro de este acuífero.

Figura N° 15: Canal amunero Shucuni – Chinchaycocha recuperado
Fotografía: Rene Pumayalli-Unu Kamachiq

TRAMO 4: Canal amunero Chinchaycocha – Shaco

El cuarto tramo comprendido desde la quebrada Chinchaycocha hasta la quebrada Shaco, se inicia en la bocatoma Chinchaycocha, donde se aforó un caudal de 3.5 l/s. La bocatoma Chinchaycocha, tienen una longitud de 5 metros, con un ancho de 0.4 metros y una altura de 0.2 metros.

El canal amunero Chinchaycocha – Shaco tiene 971 metros de longitud, por 0.4 metros de ancho y 0.2 metros de altura. Este canal en su recorrido atraviesa materiales sueltos y zonas de rocas fracturadas.

TRAMO 5: Canal amunero Shaco - Totaba

El quinto tramo comprendido entre las quebradas Shaco y Totaba, se inicia en la bocatoma Shaco donde se aforó un caudal de 0.5 l/s. Este caudal se viene infiltrando hasta desaparecer a unos 60 metros de la captación, el cual es infiltrado hacia roca fracturada.

El canal amunero Shaco - Totaba tiene 1,838 metros de longitud por 0.2 metros de ancho y 0.3 metros de altura. En su recorrido pasa por una alternancia de material suelto y zonas de rocas fracturadas. En términos generales este canal se encuentra en malas condiciones de conservación.

TRAMO 6: Canal amunero Totaba - Laguna Cercano

Este tramo comprendido desde la quebrada Totaba hasta la quebrada Laguna Cercano se inicia en la bocatoma Totaba, con caudal aforado de 3 l/s, dicho caudal se viene infiltrando en su totalidad a unos 15 metros de la captación. Este canal amunero se encuentra en malas condiciones de funcionamiento, además se pudo observar que se encuentra colmatado y con una excesiva sedimentación en la base del canal.

El canal amunero Totaba – Laguna Cercano tiene 595 metros de longitud por 0.3 metros de ancho y 0.15 metros de altura. Este canal en su recorrido atraviesa rocas muy fracturadas, las que facilitan la infiltración del agua hacia el acuífero rocoso.

TRAMO 7: Canal Laguna Cercano – Cataca

Este tramo comprende desde el sector denominado Laguna Cercano hasta el sector Cataca, tramo que fue revestido con concreto para ser utilizado como canal de riego.

El canal Laguna Cercano - Cataca tiene 1,146 metros de longitud por 0.4 metros de ancho y 0.2 metros de altura. Este en su recorrido pasa por afloramiento de rocas fracturadas y material suelto. La función principal del canal es drenar el agua almacenada en el reservorio Laguna Cercano para el riego de las áreas de cultivo; sin embargo, su régimen de funcionamiento es temporal y durante la visita se encontraba inoperativo.

TRAMO 8: Canal amunero Cataca – Laguna Tambo

Este tramo comprende desde el sector Cataca hasta el sector Laguna Tambo y en su recorrido pasa por afloramiento de roca fracturada y material suelto. El agua que capta pasa por el canal de riego Laguna Cercano – Cataca. Este canal amunero en el cruce con el camino hacia la torre Saucopampa requiere refuerzo de concreto para evitar colapsos por el tránsito de animales de pastoreo. El canal amunero tiene una longitud de 243 metros, con ancho de 0.5 metros y altura de 0.1 metros. Este tramo se encuentra colapsado y requiere recuperación total para su funcionamiento, tal como se muestra en la Figura N° 16.

Figura N° 16: Tramo Cataca – Laguna Tambo
Fotografía: Rene Pumayalli-Unu Kamachiq

Como se puede observar, el canal amunero de Senega – Tambo es uno de los canales más interesantes en recuperar, no solo porque pasa por afloramiento de rocas fracturadas y material suelto, sino porque con la condición actual cumple una función permanente en la recarga de acuífero ubicado por debajo de esta infraestructura. Esto se percibe con los cambios en la vegetación, ya que muchos de estos sectores se cubrieron de vegetación altoandina propia de la zona, hasta cubrir muchos tramos del canal amunero. Este canal amunero por sus fuertes pendientes no favorece a experimentar cambios en su capacidad de uso, mientras que, la información de los comuneros indica que por debajo de esta estructura se tiene producción de agua subterránea por medio de manantes, los cuales tienen un caudal constante a lo largo del año.

De acuerdo con las pruebas efectuadas en campo, se obtuvo una permeabilidad promedio de 28.7 m/día, siendo el más alto, al igual que la Saywapata. Para este canal se realizó una estimación del caudal pico con el modelo hidrológico HEC-HMS, el cual determinó caudal máximo de 111.6 l/s, si el canal es recuperado por completo. Considerando el caudal aforado de 1.5 l/s en el tramo Shucuni – Chinchaycocha antes de ser mejorado, se ha estimado un caudal promedio potencial de conducción de 31.2 l/s, con lo cual se podría almacenar 728,895 m^3 en época de lluvia. Sin embargo, esto puede variar de tramo en tramo porque cruza varias quebradas tipo cárcavas que pueden alimentar al canal.

5. Canal amunero Shucuni – Laguna Cercano

El canal amunero Shucuni – Laguna Cercano se encuentra ubicado al Este del poblado de San Pedro de Casta, en la margen derecha del rio Carhuayuma. Su accesibilidad se realiza por carretera afirmada San Pedro de Casta – Laguna Huytama, con un tiempo de 40 minutos en movilidad, para luego acceder por un descenso de 10 minutos hasta llegar a la quebrada Shucuni. Desde este punto se realiza un ascenso de 2 horas de caminata hasta llegar al punto de bocatoma.

El Canal amunero Shucuni fue recuperado por AQUAFONDO en el 2019. La captación está construida de piedras y no tiene un vertedero de excedencias de agua. Esta toma se encuentra en buenas condiciones estructurales e hidráulicas. Si bien el canal tiene una longitud de 4,967 metros, solo se recuperó cerca de 2,000 metros, por 0.5 metros de ancho por 0.5 metros de altura.

El canal se encuentra en la parte alta de la cuenca, casi cercana a la cumbre, donde prevalece un afloramiento de roca muy fracturada. En este entender se trata de una amuna con todas las características óptimas para la recarga de acuíferos, tal como se observa en la Figura N° 17.

Figura N° 17 : Parte del canal Shucuni – Laguna Cercano
Fotografía: AQUAFONDO

De acuerdo a los cálculos efectuados, se obtuvo una permeabilidad promedio de 21.8 m/día. Asimismo, se ha estimado un caudal promedio potencial de 12.5 l/s, con lo cual se podría recargar al acuífero 292,358 m^3 al año.

CANALES AMUNEROS DE SAN JUAN DE IRIS

Dentro del Distrito de San Juan de Iris, se ubicaron 4 canales amuneros, de los cuales solo el canal amunero Pumacocha – Huycanampo se encuentra funcionando. Asimismo, podemos indicar que la población de San Juan de Iris solamente viene realizando mantenimiento de estas estructuras en la fiesta del agua "Champeria", realizada en el mes Mayo, donde los comuneros y pobladores realizan la faena de limpieza y mantenimiento de estos canales ancestrales.

Para facilitar la comprensión de la información recopilada se presenta Cuadro N° 5 y Cuadro N° 6 con el resumen de las principales características físicas e hidráulicas respectivamente, y un mapa de ubicación de las amunas identificadas en San Juan de Iris en la Figura N° 18.

Cuadro Nº 5: Características físicas de las amunas de San Juan de Iris

Nº	NOMBRE	GEOLOGÍA PREDOMINANTE	LONG. (m)	COTA INICIO	COTA FINAL	PEN-DIENTE	ESTADO ACTUAL (**)	COBERTURA VEGETAL (*)	USO/OBSERVACIONES
1	Pumacocha - Huaycanampo	Muy variado. Mat. Suelto con predominancia de finos y zonas de material rocoso y zonas con afloramiento de roca	2,089	3,712	3,603	5.22	Buenas condiciones	Rala	Recarga de acuífero y canal de riego / Recuperado en el 2017
2	Huayapacha - Machiquimarca	Mat. Suelto con predominancia de finos y zonas de material rocoso.	548	4,293	4,293	15.88	Estado regular	Escasa	Recarga de acuífero / Se recomienda su recuperación
3	Ancashi - Pariurco	Material suelto con escasa matriz de finos	1,734	4,340	3,900	25.37	Malas condiciones	Escasa	Excelente amuna para recarga de acuífero
4	San Juan de Iris alto	Mat. Suelto con predominancia de finos y zonas de material rocoso.	553	3,612	3,592	3.62	Colapsada	Rala	Recarga de acuífero

(*) Cobertura Vegetal:

- **Abundante:** Presenta matorrales y plantas menores
- **Rala:** Presenta algunos matorrales
- **Escasa:** Cuando se aprecian esporadicas plantas y algo de paja
- **Nula:** Cuando el terreno se encuentra libre de cobertura

(**) Estado Actual

- **Buenas condiciones:** La amuna se encuentra plenamente operativa
- **Estado regular:** La amuna se encuentra parcialmente interrumpida. La amuna necesita de mantenimiento general
- **Malas condiciones:** La amuna se encuentra parcialmente interrumpida, gran parte de la amuna debe ser reconstruida
- **Colapsado:** El funcionamiento de la amuna se encuentra totalmente interrumpida

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro Nº 6: Características hidráulica de las amunas de San Juan de Iris

Nº	NOMBRE	FUENTE AGUA	RÉGIMEN FUNC.	LONG. (m)	ANCHO prom. (m)	PERMEAB. (m/dia)	CAUDAL PROM. RECUPERADO (l/s)	VOLÚMEN DE INFIL. (m3)	ARTICULACIÓN CON OTROS SISTEMAS HÍDRICOS
1	Pumacocha - Huaycanampo	Qda. Pumacocha	Permanente	2,089	0.3	13.26	2.4	56,093	Recarga de acuifero, riego de parcelas
2	Huayapacha - Machiquimarca	Qda. cerro Carahuaque	Temporal	548	0.6	11.85	1.1	26,300	Recarga de acuifero en cabecera de cuenca
3	Ancashi - Pariurco	Qda. cerro Carahuaque y bofedal	Temporal	1,593	0.9	21.88	9.1	211,743	Recarga de acuifero en cabecera de cuenca
4	San Juan de Iris alto	Qda. Chilcacocha	Temporal	553	0.4	11.85	0.8	17,693	Recarga de acuífero

Fuente: Elaboración Propia

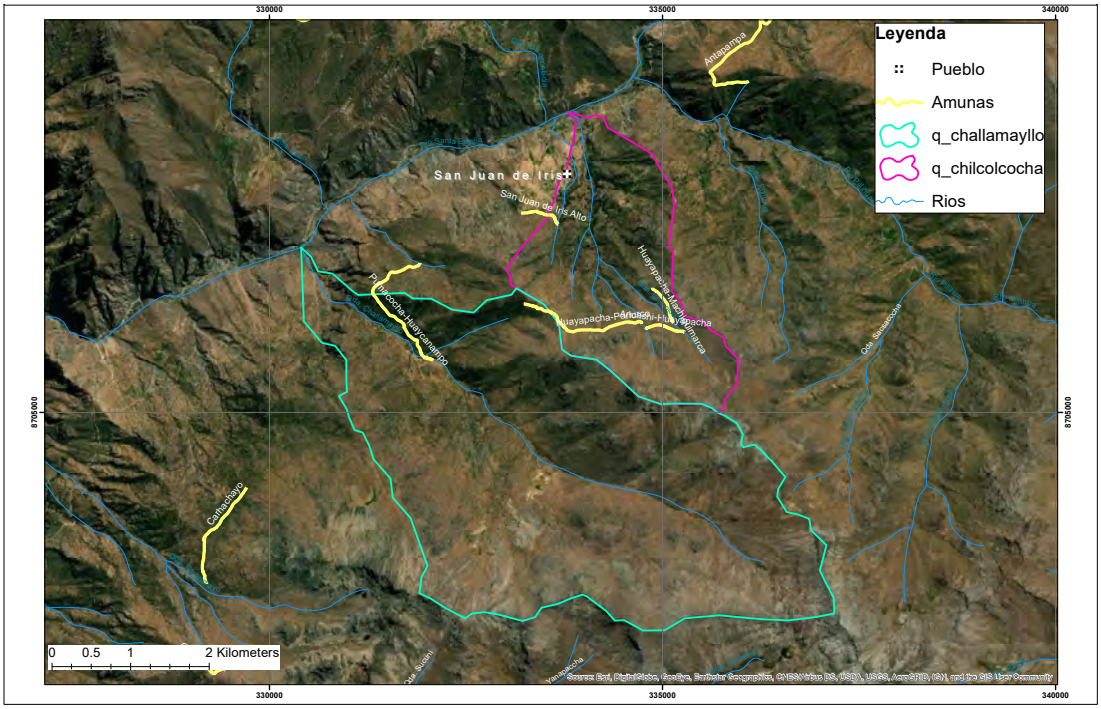


Figura N° 18: Mapa de ubicación de las amunas en San Juan de Iris
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se describe el canal amunero Pumacocha – Huaycanampo que fue recuperado por TNC y el canal Ancashi - Pariurco el cual tiene un mayor potencial para la recarga del acuífero.

1. Canal amunero Pumacocha – Huaycanampo

El canal amunero Pumacocha – Huaycanampo se encuentra ubicado al Suroeste del poblado de San Juan de Iris, en la margen derecha de la quebrada Pumacocha. Su accesibilidad se realiza por caminata desde el poblado de San Juan de Iris, hasta llegar a la bocatoma en la quebrada Pumacocha, este recorrido se realiza en un tiempo de 2 horas y 30 minutos aproximadamente.

Esta amuna fue recuperada en el año 2017 y en la actualidad viene siendo usada como canal de riego. Asimismo, se observó que no se está realizando mantenimiento por parte de la comunidad de San Juan de Iris, por existir abundante maleza y algunos sectores donde el muro del canal ha sufrido la caída de piedras por el paso de los animales de pastoreo. El canal amunero tiene 2,089 metros de longitud, 0.3 metros de ancho por 0.5 metros de altura, y pasa por zonas con afloramiento de roca y materiales sueltos. En todo su trayecto se encuentra sin problemas, pero se pudo identificar pequeñas fugas de agua en el mortero de roca instalado por debajo del salto hidráulico de más de 20 metros y deterioro del muro por el paso de animales de pastoreo en su tramo final.

El canal amunero Pumacocha - Huaycanampo a lo largo de todo su recorrido, atraviesa tramos con: suelos sueltos, bloques de roca, bloques con matriz de finos, afloramientos rocosos, cuya característica principal es la alta permeabilidad que estos materiales tienen, hecho que convierte al canal amunero en una estructura muy importante para la recarga de los acuíferos.

El canal viene recargando el acuífero y se observó cambios en la vegetación, ya que muchos de estos sectores se cubrieron de vegetación arbustiva propia de la zona. Este canal pasa por muchas zonas de cultivos y que actualmente se vienen recuperando por el funcionamiento del canal amunero, tal como se observa en la Figura N° 19 .

Figura N° 19: Canal amunero Pumacocha - Huaycanampo
Fotografía: Rene Pumayalli-Unu Kamachiq

De acuerdo a los cálculos efectuados, se obtuvo una permeabilidad promedio de 13.2 m/día y se ha estimado un caudal de conducción promedio de 2.4 l/s en época de lluvia, con lo cual se podría recargar 56,093 m^3 al año.

2. Canal amunero Ancashi - Pariurco

El canal amunero Ancashi - Pariurco se encuentra ubicado al Sur del poblado de San Juan de Iris, geográficamente en la margen izquierda de la quebrada Chilcolcocha. Su accesibilidad se realiza por caminata desde el poblado de San Juan de Iris hasta llegar a la bocatoma, por un ascenso de una pendiente moderada a fuerte en un tiempo de 2 horas y 50 minutos.

El canal amunero Ancashi – Pariurco al igual que el tramo Shucuni – Chinchaycocha en San Pedro de Casta fueron seleccionados como las dos mejores opciones a ser recuperado en primer lugar, porque se encuentran emplazados en un contexto geológico interesante, ya que por debajo de estos depósitos gravosos se encuentra el acuífero principal conformado por grandes masas de roca altamente fracturadas. Siendo su única desventaja su ubicación, debido a la distancia y fuerte pendiente del terreno para su acceso. Otra característica importante es su ubicación con relación a la microcuenca y al poblado de San Juan de Iris, puesto que se encuentra en la parte alta y cabecera de este poblado. Las aguas infiltradas por esta amuna alimentarán el acuífero que produce los manantes ubicados en la parte alta de la población, garantizando de esta forma mayor disponibilidad hídrica en este sector.

El canal en la actualidad se encuentra en malas condiciones estructurales por presentar zonas del muro colapsado. Debemos mencionar que por información del comunero Sr. Thomas Alarza, se realiza mantenimiento en el mes de mayo en la fiesta de la Champeria, pero este mantenimiento consta de la limpieza de la base del canal, mas no así de la recuperación del muro amunero.

El canal amunero Ancashi - Pariurco tiene 1,593 metros de longitud, por 0.45 metros de ancho y 0.15 metros de altura. En todo su trayecto presenta excesiva sedimentación y zonas de colapso del muro amunero. Se debe resaltar que este canal amunero, presenta pequeñas quebradas o zonas de aporte, las cuales requieren de la construcción de vertederos de excedencias. El canal atraviesa tramos con suelos sueltos, bloques de roca, bloques con matriz de finos, afloramientos rocosos, cuya característica principal es la alta permeabilidad que estos materiales tienen, hecho que convierte al canal amunero en una estructura muy importante para la recarga del acuífero.

El canal amunero se divide en dos tramos, uno que inicia en el sector de Ancashi y llega a la quebrada Huayapacha para luego discurrir hacia la zona de Pariurco ubicado en la parte alta de la microcuenca Chilcococha. Para la generación de caudales se toma en cuenta las principales quebradas que aporten escorrentía hacia los canales amuneros. Se identificó seis quebradas de aporte y cinco pequeñas intercuencas sobre el tramo de estudio en el canal amunero, tal como se muestra en la Figura N° 20.

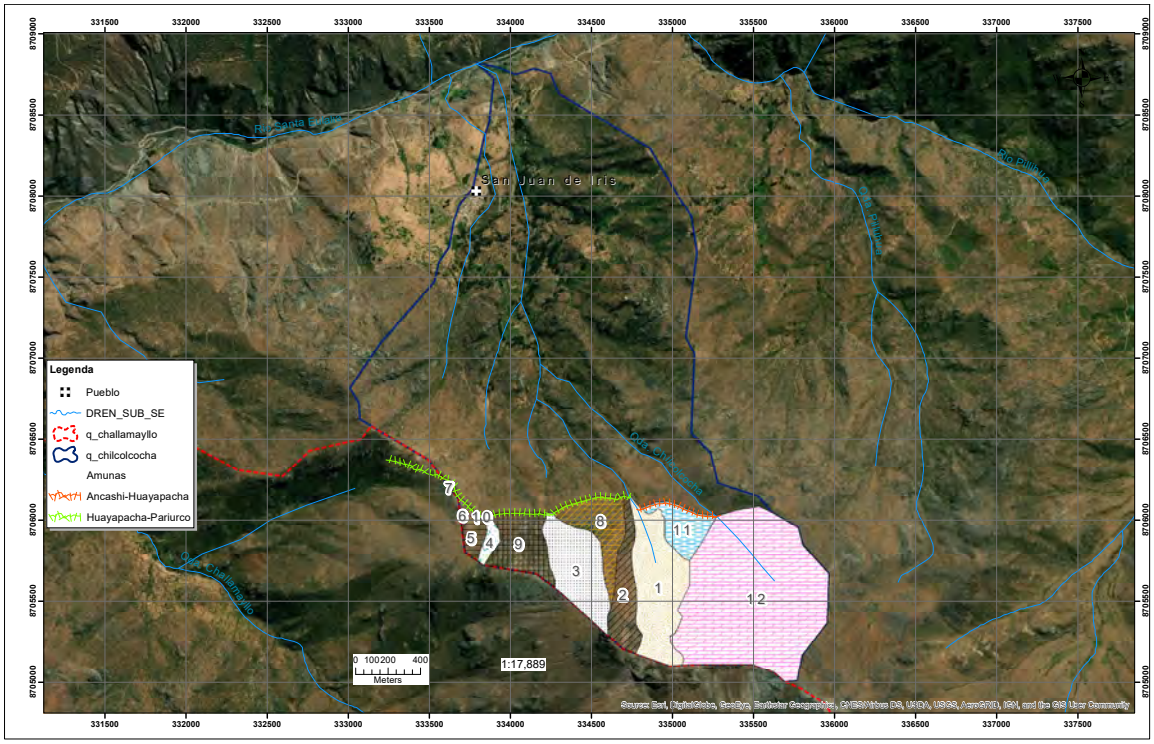


Figura N° 20: Áreas de aporte de la amuna Ancashi - Huayapacha - Pariurco
Fuente: Elaboración Propia

Durante la visita a campo en febrero del 2019, en época de lluvia, se activaron algunas quebradas como la quebrada Chilcolcocha, generando que varios tramos del canal amunero se pusieran en funcionamiento, lo cual permitió aforar el canal, tal como se muestra en la Figura N° 21. Los caudales medidos en diferentes puntos del canal amunero se muestran en el Cuadro N° 7:

Figura N° 21: Aforo de caudal en materiales coluviales
Fotografía: Rene Pumayalli-Unu Kamachiq

Cuadro N° 7: Caudales aforados dentro del canal amunero Ancashi - Pariurco

Punto de aforo	Tramo Progresiva	Caudal (lt/sg)
1	0+005	5,263
2	0+090	3,385
3	0+195	3,333
4	0+376	2,739
5	0+590	2,224
6	0+684	1,512
7	0+760	0

Fuente: Elaboración Propia

Del cuadro anterior, podemos determinar que existe una disminución progresiva del caudal de agua que discurre por el canal, hecho que es interpretado como la perdida de agua, principalmente, por infiltración.

De acuerdo con los cálculos efectuados en campo, se obtuvo una permeabilidad promedio de 21.9 m/día. Así como para el Senega – Tambo se realizó una estimación del caudal pico con el modelo hidrológico HEC-HMS, el cual determinó un caudal máximo de 34.5 l/s, y si el canal es recuperado. Considerando también el caudal aforado, se estimó un caudal promedio de 9.1 l/s, con lo cual se podría recargar 211,743 m^3 al año.

CANALES AMUNEROS HUANZA, CARAMPOMA Y LARAOS

Dentro de los distritos de Huanza, Carampoma y Laraos se ubicaron 4 canales amuneros, donde solamente el canal Acobamba – Carampoma – Laraos se encuentra en buenas condiciones debido al mantenimiento constante realizado por sus usuarios. Los demás canales se encuentran en malas condiciones según informan sus pobladores, esto debido a la poca utilización y mantenimiento que se les ha dado durante los últimos años. También indican que muchos de estos canales amuneros ancestrales fueron convertidos en canales de riego, como el caso del canal Acobamba-Carampoma-Laraos que abastece de agua a las comunidades de Mitma, Santiago de Carampoma y San Pedro de Laraos.

En el Cuadro N° 8 y Cuadro N° 9 se indican los cuatro canales amuneros que se encontraron con sus principales características físicas e hidráulica respectivamente, y un mapa de ubicación de las amunas identificadas en Huanza, Carampoma y Laraos en la Figura N° 22.

Cuadro Nº 8: Características físicas de las amunas Huanza, Carampoma y Laraos

Nº	NOMBRE	GEOLOGÍA PREDOMINANTE	LONG. (m)	COTA INICIO	COTA FINAL	PEN-DIENTE	ESTADO ACTUAL (**)	COBERTURA VEGETAL (*)	USO/OBSERVACIONES
1	Acobamba, Carampoma, Laraos	Muy variado. Material suelto con predominancia de finos y zonas de material rocoso y zonas con afloramiento de roca	24,660	4,210	4,014	0.79	Estado regular	Escasa	Recarga de acuífero y canal de riego
2	Acobamba	Material suelto con escasa matriz de finos	1,600	4,282	4,163	7.44	Malas condiciones	Escasa	Canal de derivación a canal principal de Acoban
3	Antapampa	Zonas de material rocoso y zonas con afloramiento de roca	2,466	3,668	3,447	8.96	Malas condiciones	Escasa	Recarga de acuífero
4	Japani	Material compacto, compuesto por pequeños bloques de piedra en matriz de limo arenoso	3,012	3,936	3,876	1.99	Malas condiciones	Abundante	Recarga de acuífero y canal de riego

(*) Cobertura Vegetal:

Abundante: Presenta matorrales y plantas menores

Escasa: Cuando se aprecian esporadicas plantas y algo de paja

(**) Estado Actual

Malas condiciones: La amuna se encuentra parcialmente interrumpida, gran parte de la amuna debe ser reconstruida.

Estado regular: La amuna se encuentra parcialmente interrumpida. La amuna necesita de mantenimiento general.

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro Nº 9: Características hidráulicas de las amunas Huanza, Carampoma y Laraos

Nº	LOCALIZACIÓN	FUENTE AGUA	RÉGIMEN FUNC.	LONG. (m)	ANCHO prom. (m)	PERMEAB. (m/dia)	CAUDAL PROM. RECUPERADO (l/s)	VOLÚMEN DE INFIL. (m3)	ARTICULACIÓN CON OTROS SISTEMAS HÍDRICOS
1	Acobamba, Carampoma, Laraos	Lag. Quiwlla	Permanente	24,660	0.40	2.97	8.5	197,749	Varios manantes por debajo del canal
2	Acobamba	Lag. Sacsha	Permanente	5,477	0.50	2.97	9.4	219,600	Canal de aporte a canal principal
3	Antapampa	Quebrada S/N	Temporal	2,016	0.40	13.26	12.4	288,707	Recarga de acuifero en cabecera de cuenca
4	Japani	Rio Shuncha	Temporal	3,012	0.35	21.80	26.6	620,502	Pequeños manantes en la parte baja

Fuente: Elaboración Propia

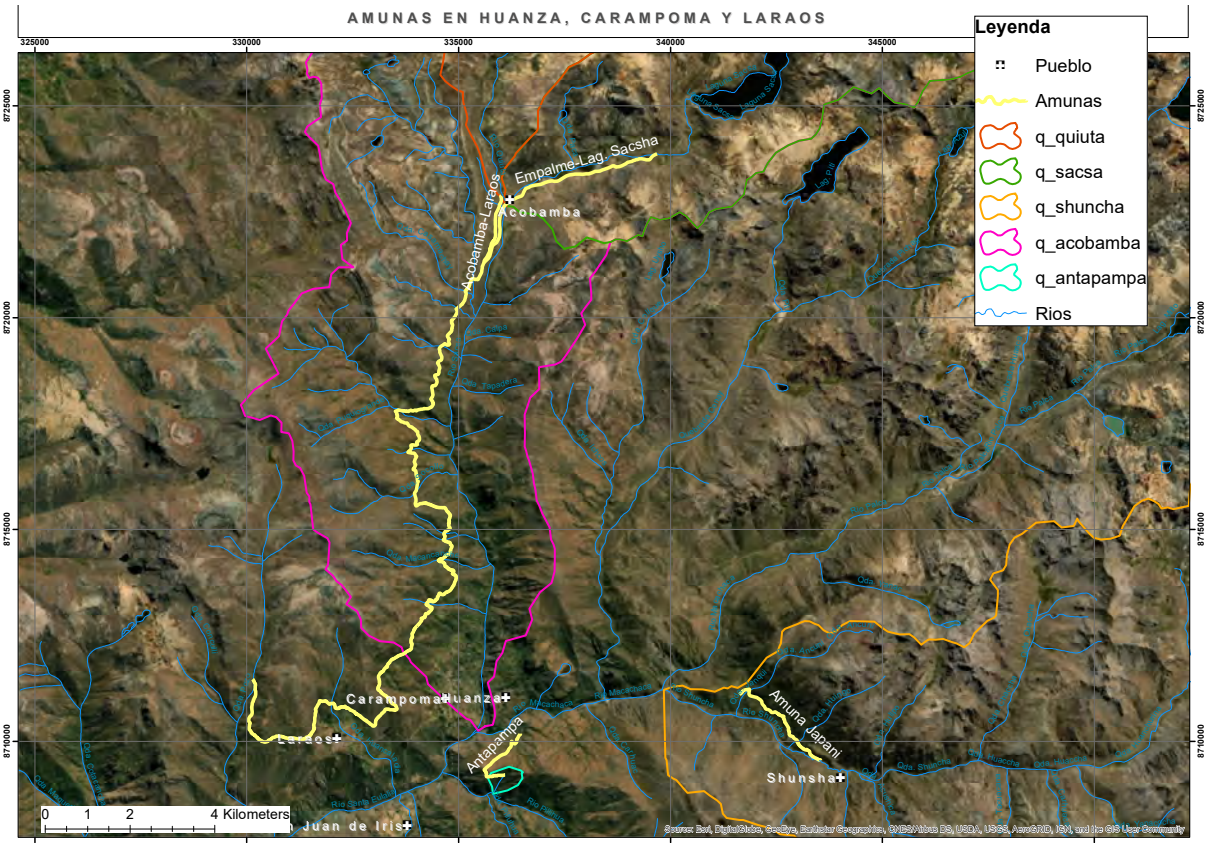


Figura N° 22: Mapa de las amunas Huanza, Carampoma y Laraos
Fuente: Elaboración Propia

Canal Acobamba – Carampoma - Laraos

El canal Acobamba – Carampoma - Laraos es el canal más largo en la subcuenca Santa Eulalia, con 24.7 km de longitud, nace en el poblado de Acobamba, distrito de Huanza y termina en Laraos. Esta se encuentra en buen estado de conservación debido al constante mantenimiento que se le da tanto para consumo humano como para riego. Por otro lado, debemos indicar que por referencia del Sr. Pedro Julian Villaroel, Vicepresidente de la Comunidad Mitma, este canal ya se encuentra recubierto con concreto por tramos, tal como se observa en la siguiente Figura N° 23 tomada en la parte inicial en el sector de Acobamba.

Figura N° 23: Canal Acobamba recubierto con concreto en su parte inicial
Fuente: Rene Pumayalli-Unu Kamachiq

Por encima del poblado de Santiago de Carampoma y por el tramo final, en el poblado de San Pedro de Laraos, el uso y mantenimiento de este canal se encuentra compartido entre las comunidades de Acobamba (distrito de Huanza), Mitma, Santiago de Carampoma (ambos en el distrito de Carampoma) y San Pedro de Laraos; siendo estas mismas comunidades quienes se repartieron, por tramos, la responsabilidad de su mantenimiento, según se menciona en el siguiente cuadro.

Cuadro Nº 10: Mantenimiento de tramos canal Acobamba - Carampoma – Laraos

Nº	Tramo	Responsabilidad mantenimiento
1	Acobamba - Quipacancha	Comunidad de San Pedro de Laraos
2	Quipacancha – Llallpo	Comunidad de Mitma
3	Llallpo – Tomanwaccha	Comunidad de San Pedro de Laraos
4	Tomanwaccha - Llapashca	Comunidad de Santiago de Carampoma
5	Llapashca – Laraos	Comunidad de San Pedro de Laraos

Fuente: referencia Sr. Pedro Julián Villaroel (Vicepresidente Comunidad Mitma)
Fuente: Elaboración Propia

El canal tiene 24,660 metros de longitud, por 0.4 metros de ancho y 0.4 metros de altura, pasando por material suelto, bloques de roca con matriz fina y afloramientos rocosos. Sin embargo, varios tramos han sido impermeabilizados con concreto, tal como indican sus usuarios; por lo tanto, el canal Acobamba – Carampoma - Laraos dejo de ser canal amunero para pasar a ser un canal de riego, siendo su relación más con los terrenos de cultivo ubicados en las comunidades por donde pasa este canal. Es más, los pobladores indican que sus autoridades distritales están dispuestas a impermeabilizar de forma total este canal.

Como gran parte de este canal está impermeabilizado, la permeabilidad es muy baja, siendo de 2.97 m/día. Según el aforo realizado, se determinó un caudal de conducción al inicio del canal de 165 l/s; sin embargo, nuestra estimación para esa impermeabilidad es que este canal puede infiltrar un caudal de 8.5 l/s en buenas condiciones, con lo cual se podría recargar 197,749 m^3 al año.

CANALES AMUNEROS SAN LORENZO DE HUACHUPAMPA

Dentro del Distrito de San Lorenzo de Huachupampa se ubicaron 2 canales amuneros los cuales no se encuentran en funcionamiento. Esto se debe a que la población, ahora depende del agua proveniente de la ventana 4 de túnel de la hidroeléctrica de Huinco, utilizando el agua para consumo humano y riego.

En el Cuadro N° 11 y Cuadro N° 12 se presentan las principales características físicas e hidráulicas respectivamente, y un mapa de ubicación en la Figura N° 24 de las amunas identificadas en San Lorenzo de Huachupampa.

Cuadro N° 11: Características físicas de las amunas de San Lorenzo de Huachupampa

Nº	NOMBRE	GEOLOGÍA PREDOMINANTE	LONG. (m)	COTA INICIO	COTA FINAL	PEN-DIENTE	ESTADO ACTUAL (**)	COBERTURA VEGETAL (*)	USO/ OBS	OBSERVACIONES
1	Chucuhuasi	Materiales sueltos con predominancia de afloramientos de roca	1,186	4,340	4,194	12.31	Malas condiciones	Escasa	Recarga de acuífero	Mapeado con imagen satelital
2	Carhuachayo	Materiales sueltos con predominancia de afloramientos de roca	1,473	3,952	3,900	3.53	Malas condiciones	Escasa	Recarga de acuífero	Mapeado con imagen satelital

(*) Cobertura Vegetal: **Escasa:** Cuando se aprecian esporadicas plantas y algo de paja

(**) Estado Actual **Malas condiciones:** La amuna se encuentra parcialmente interrumpida, gran parte de la amuna debe ser reconstruida

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro Nº 12: Características hidráulicas de las amunas de San Lorenzo de Huachupampa

Nº	NOMBRE	FUENTE AGUA	RÉGIMEN FUNC.	LONG. (m)	ANCHO prom. (m)	PERMEAB. (m/dia)	CAUDAL PROM. RECUPERADO (l/s)	VOLÚMEN DE INFIL. (m3)	ARTICULACIÓN CON OTROS SISTEMAS HÍDRICOS
1	Chucuhuasi	Sector Chucuhuasi	Temporal	1 186	0,4	13,26	1,8	42,461	Cabecera de cuenca
2	Carhuachayo	Quebrada Carhachayo	Temporal	1 473	0,4	13,26	2,3	52,736	Cabecera de cuenca

Fuente: Elaboración Propia

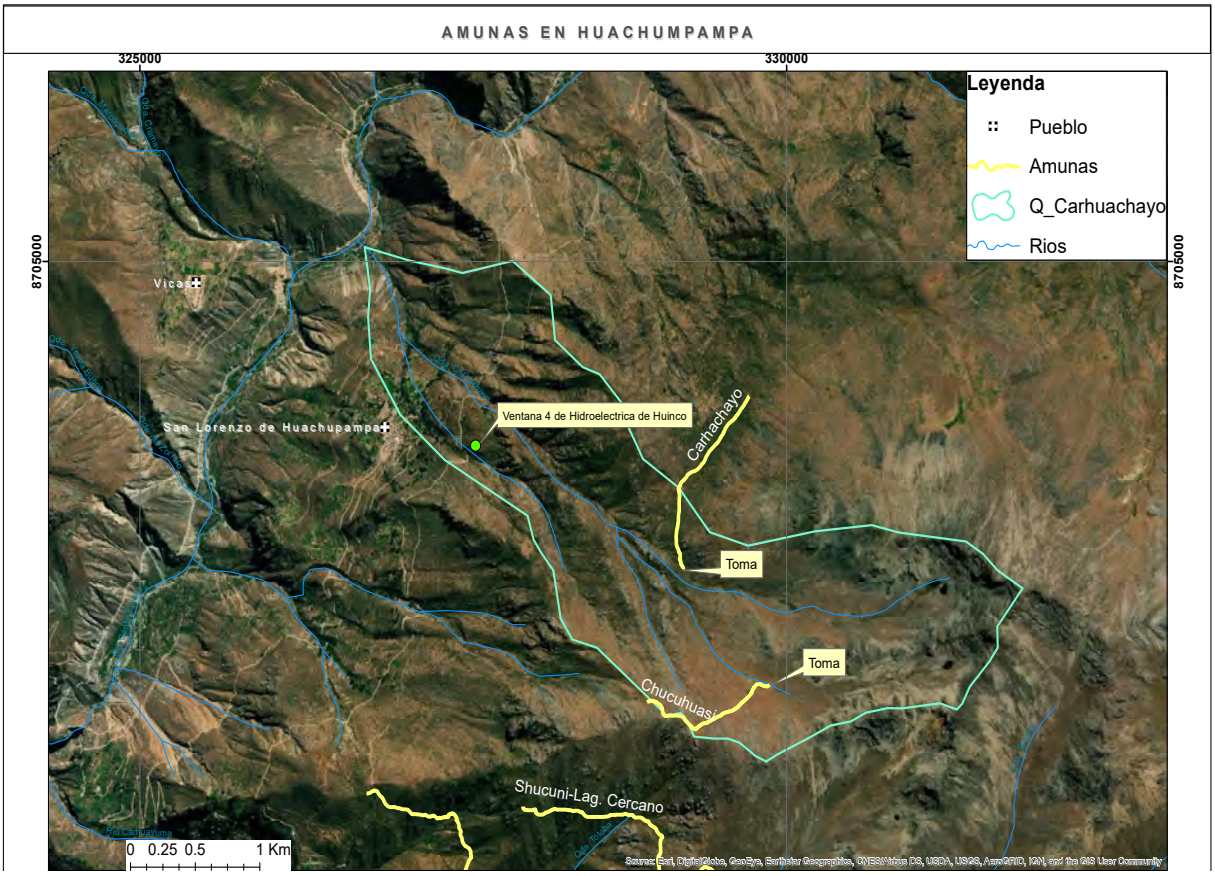


Figura N° 24: Mapa de ubicación de las amunas en Huachumpampa
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, explicaremos uno de los canales amuneros de mayor importancia.

Canal amunero Chucuhuasi

El canal amunero Chucuhuasi se encuentra ubicado al Sur Este del poblado de San Lorenzo de Huachupampa, en la margen izquierda de la quebrada Chucuhuasi. Su accesibilidad se realiza por camino de herradura, desde el poblado de San Lorenzo de Huachupampa, hasta llegar al canal amunero por un lapso de 2 horas y 50 minutos.

El canal amunero Chucuhuasi tiene 1,186 metros de longitud, por 0.4 metros de ancho y por 0.1 metros de altura. El canal a lo largo de todo su recorrido atraviesa material suelto, bloques de roca, bloques con matriz de finos, afloramientos rocosos, cuya característica principal es la alta permeabilidad, por lo que podemos clasificarla como una estructura excelente para la recarga de los acuíferos de este sector.

Es importante la recuperación del canal amunero de Chucuhuasi ya que en su trayecto se puede apreciar la presencia de un bofedal que se encuentra degradado.

De acuerdo con los cálculos efectuados, se obtuvo una permeabilidad promedio de 13.26 m/día, y se ha estimado un caudal de 1.8 l/s, con lo cual se podría almacenar 42,461 m^3 por año.

1.5 IMPACTO POTENCIAL

De acuerdo con la descripción de los canales amuneros, en total se identificaron 69,526 metros de canal, de los cuales se han recuperado 8,133 metros en San Pedro de Casta y 2,089 metros en San Juan de Iris, lo cual suma 10,222 metros de amunas rehabilitados, faltado recuperar 59,304 metros. Asimismo, el caudal promedio mensual de conducción si se recuperan todas las amunas se ha estimado en 119 l/s, el cual permitirá almacenar en el acuífero un volúmen de 2,781,137 m³ al año, tal como se muestra en el Cuadro N° 13.

En base a la experiencia de los canales rehabilitados, se ha estimado un costo de recuperación de S/. 110 por metro lineal de canal amunero. El cual equivale a decir que recuperar los 69,526 metros, que nos permitiría almacenar 2,781,137 m³ al año, tiene un costo de inversión de S/. 7'647,882. Entonces, por cada metro cúbico que se recarga al acuífero se estaría invirtiendo S/. 2.75.

De los 25 canales destaca la amuna Senega-Tambo, con una longitud de 8,367 metros y un caudal promedio de 31.2 l/s, y un volúmen de recarga de 728,895 m³, el cual representa el 26% del total de volumen de infiltración, y a un costo de S/.1.26 por metro cúbico, tal como se muestra en la Figura N° 25. Una longitud de 1,500 metros de este canal fue recuperada, con una recarga estimada de 130,673 m³ al año.

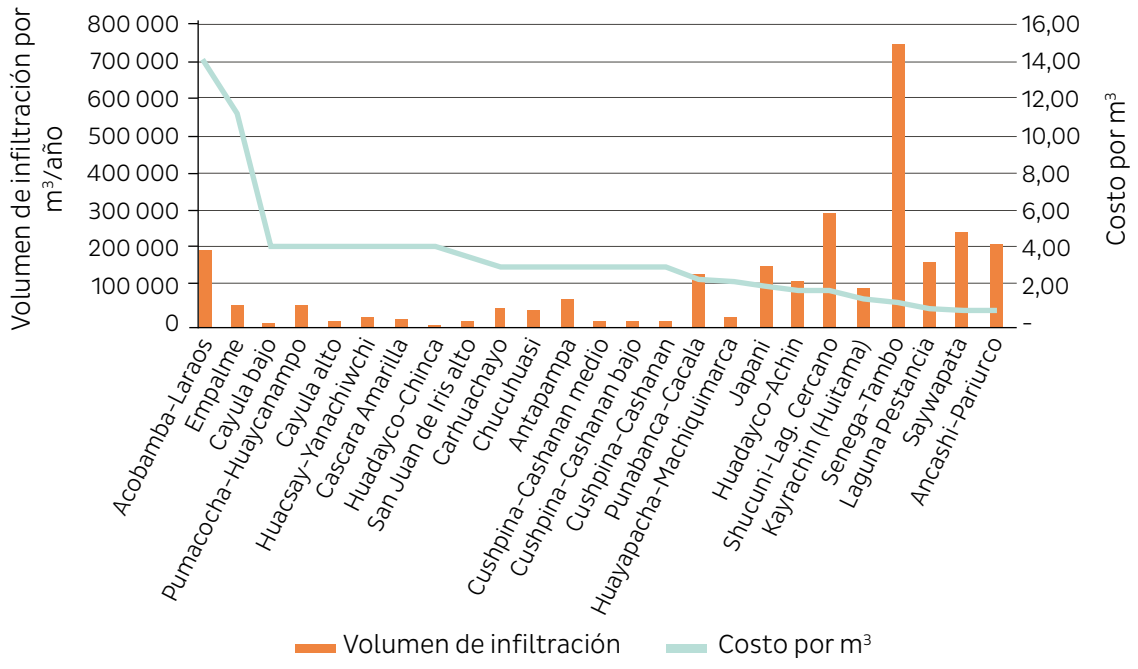


Figura N° 25: Volumen de Infiltración y costo por m³ de las 25 amunas
Fuente: Alfredo Salinas - TNC

Cuadro N° 13: Resumen de las características hídricas de las 25 amunas

Nº	LOCALIZACIÓN	NOMBRE	REGIMEN FUNC.	LONG. (m)	ANCHO PROM. (m)	A. INFIL. (m^2)	PERMEAB. (m/dia)	CAUDAL PROM. RECUPERADO (l/s)	VOLÚMEN DE INFIL. (m^3)
1	San Pedro de Casta	Saywapata	Temporal	1,939	0,7	1 260.4	28.7	10.5	243,991
2	San Pedro de Casta	Kayrachin (Huitama)	Temporal	1,276	0,5	638.2	22.1	4.1	95,206
3	San Pedro de Casta	Laguna Pestancia	Temporal	1,418	0,6	850.7	28.7	7.1	164,680
4	San Pedro de Casta	Senega - Tambo	Permanente	8,367	0,5	3 765.2	28.7	31.2	728,895
5	San Pedro de Casta	Shucuni-Lag. Cercano	Temporal	4,967	0,4	1 986.8	21.8	12.5	292,358
6	San Pedro de Casta	Huacsay - Yanachiwchi	Permanente	865	0,3	259.5	13.3	1.0	23,227
7	San Pedro de Casta	Huaclayco - Chinca	Permanente	191	0,3	57.3	13.3	0.2	5,129
8	San Pedro de Casta	Punabanca - Cacala	Permanente	3,045	0,5	1 522.5	13.3	5.8	136,271
9	San Pedro de Casta	Huaclayco - Achin	Temporal	2,022	0,3	606.6	28.7	5.0	117,432
10	San Pedro de Casta	Cushpina - Cashanan	Temporal	466	0,4	186.4	13.3	0.7	16,684
11	San Pedro de Casta	Cushpina - Cashanan medio	Temporal	440	0,4	176.0	13.3	0.7	15,753
12	San Pedro de Casta	Cushpina - Cashanan bajo	Temporal	324	0,4	129.6	13.3	0.5	11,600
13	San Pedro de Casta	Cayula alto	Temporal	567	0,3	170.1	13.3	0.7	15,225
14	San Pedro de Casta	Cayula bajo	Temporal	315	0,3	94.5	13.3	0.4	8,458
15	San Pedro de Casta	Cascara Amarilla	Temporal	717	0,3	215.1	13.3	0.8	19,253
16	San Juan de Iris	Pumacocha - Huaycanampo	Permanente	2,089	0,3	626.7	13.3	2.4	56,093
17	San Juan de Iris	Huayapacha - Machiquimarca	Temporal	548	0,6	328.8	11.9	1.1	26,300
18	San Juan de Iris	Ancashi - Pariurco	Temporal	1,593	0,9	1 433.7	21.9	9.1	211,743
19	San Juan de Iris	San Juan de Iris alto	Temporal	553	0,4	221.2	11.9	0.8	17,693
20	Carampoma	Antapampa	Temporal	2,016	0,4	806.4	13.3	3.1	72,177
21	Carampoma	Japani	Temporal	3 012	0,4	1 054.2	21.8	6.6	155,126
22	Acobamba, Carampoma, Laraos	Acobamba - Laraos	Permanente	24,660	0,4	9 864.0	3.0	8.5	197,749
23	Acobamba	Empalme	Permanente	5,477	0,5	2 738.5	3.0	2.4	54,900
24	Huachupampa	Chucuhuasi	Temporal	1,186	0,4	474,4	13.3	1.8	42,461
25	Huachupampa	Carhuachayo	Temporal	1,473	0,4	589.2	13,3	2.3	52,736
TOTAL				69,526				119	2,781,137

Fuente: Elaboración Propia

Otro impacto potencial es que las amunas deben verse como complemento a los objetivos de proyectos de infraestructura gris, en especial a las obras de regulación como presas o reservorios. Las amunas, como se mencionó anteriormente, al recargar el acuífero, ayuda a regular el flujo superficial. Es decir, al infiltrar el agua de lluvia en el subsuelo, para que luego en época de estiaje pueda emerger en la parte baja y cercanas al río, donde otras infraestructuras puedan aprovechar esta agua.

Este es el caso de la futura represa de Autisha, obra de gran envergadura que esta en el plan de inversiones de SEDAPAL y que beneficiaría a la ciudad de Lima. Este proyecto contempla el almacenamiento de los excedentes de agua en los períodos de avenida, permitiendo el almacenamiento de 27.0 MMC (millones de metros cúbicos), mediante una presa de gravedad de 171 m de altura en el cauce del río Santa Eulalia cerca del puente Autisha, camino a San Pedro de Casta, tal como se muestra en la Figura N° 26.

En la imagen se aprecia las 25 amunas distribuidas en la subcuenca Santa Eulalia, aguas arriba de la futura represa, los cuales permitirán almacenar o regular cerca de 2.8 MMC a este anhelado proyecto de SEDAPAL, es decir, alimentarían de agua a este embalse. La inversión estimada de la represa Autisha es de aproximadamente S/. 220 millones. Esto equivale a decir que el costo de metro cubico almacenado es de S/. 8.15 soles, siendo casi 3 veces mayor al costo de la recuperación de las amunas. Esta obra está prevista para ejecutarse en el año 2025.

Fotografía: Aldo Cardenas -TNC

Figura N° 26: Ubicación de la presa Autisha proyectado por SEDAPAL con las amunas aguas arriba
Fuente: Elaboración Propia

1.6 CONCLUSIONES

- Toda la subcuenca de Santa Eulalia se encuentra conformada por formaciones geológicas que han sufrido una serie de eventos tectónicos, los que han fracturado el basamento rocoso. Estas fracturas son aprovechadas por las aguas de precipitación pluvial para poder infiltrarse y conformar las aguas subterráneas que se encuentran almacenadas en estas grandes masas de roca denominadas rocas acuíferas.

- Durante la elaboración del presente estudio, entre enero y febrero, se identificaron 25 canales amuneros: 15 en San Pedro de Casta, 04 en San Juan de Iris, 04 en Huanza, Carampoma y Laraos, y 02 en Huachupampa. Asimismo, debemos recalcar que existen varios canales amuneros que no pudieron ser considerados como tal, por estar convertidos en canales de riego (el caso del canal Acobamba-Carampoma-Laraos funciona como un canal de riego) y muchos prácticamente se encuentran desaparecidos o ya fueron erosionados como el caso de la comunidad de Vicas en Huachupampa.

- Desde el punto de vista de impacto ambiental, podemos indicar que la recuperación de las amunas son proyectos ambientalmente positivos ya que ayudan a incrementar el agua almacenada en el acuífero; las acciones implementadas durante la etapa de rehabilitación pueden genera algunos impactos negativos muy leves y de carácter temporal y recuperable. Aun así, los impactos generados por una mayor disponibilidad de agua y el mejoramiento del ecosistema de la zona externa al acuífero son de mayor relevancia.

- Las amunas expresan un grado muy importante de resiliencia social ante riesgos de eventos estacionales extremos (lluvias y sequías); así como ante los efectos del cambio climático en los lugares de cabecera de cuencas.

- Desde el punto de vista del manejo de cuenca, las amunas deben ser consideradas como un sistema de recarga artificial que tiene influencia en el ciclo hidrológico a nivel de microcuenca y cuenca.

- La recarga artificial de acuíferos, mediante la recuperación y/o construcción de amunas, es una alternativa eficiente para el aprovechamiento del recurso hídrico en las temporadas de lluvia el cual nos permitiría almacenar un volúmen de 2'781,137 m^3.

1.7 RECOMENDACIONES

- Es de suma importancia promover la recuperación de todos los canales amuneros de la cuenca, factor que favorece en el almacenamiento de agua en los acuíferos y contribuye a la mitigación de desastre en la parte baja de la cuenca.

- Los canales amuneros deben ser reconstruidos considerando los conocimientos ancestrales (uso de piedras y tierra compactada) y evitar, en lo posible, el uso de materiales foráneos.

- Para la evaluación del funcionamiento de los canales amuneros, es de suma importancia realizar un inventario de fuentes de agua (manantiales, bofedales, cauces de las quebradas principales, entre otros) de la microcuenca donde se encuentran las amunas; tomando principal interés en las zonas aledañas a los canales amuneros, con la finalidad de contar con información previa a futuras intervenciones en amunas de cada zona. Esto es un requisito básico para el diseño de un monitoreo hidrológico.

- La recuperación de las amunas no solo debe ser considerando como estructuras de recarga artificial de acuíferos, sino también como estructuras que contribuyen a la prevención de desastres para la parte baja de la cuenca, y como instrumento de inyección económica para las comunidades de este ámbito, por la gran cantidad de mano de obra que se requiere de parte de los pobladores del lugar. Con el respecto al primero, los eventos extremos o el fenómeno El Niño, como el ocurrido en el año 2017, generan gran arrastre de sólidos y escorrentía superficial. Las amunas pueden ayudar a disminuir la escorrentía en la parte alta de cuenca. Con respecto a la mano de obra, el 70% del costo de la construcción de una amuna corresponde al pago de mano de obra local, generando un ingreso económico importante para los pobladores de la zona. En contraste con la infraestructura gris (con uso de concreto, fierro y maquinaria) el pago de mano de obra, en muchos casos, no supera ni el 25% del presupuesto.

- Una recomendación final es señalar que las amunas deberían verse como una medida que complemente la infraestructura gris. Por ejemplo, en el caso de la subcuenca Santa Eulalia, la empresa de agua de Lima SEDAPAL tiene entre sus planes de inversión la construcción de la represa Autisha, aguas arriba de la toma de la hidroeléctrica de Callahuanca. Todas estas amunas ayudarían a regular el flujo superficial, entregando más agua en época de estiaje a la futura presa.

2

Fotografía: Alfredo Salinas-TNC

2 INFORME DEL MONITOREO HIDROLÓGICO DE LA AMUNA SAYWAPATA EN SAN PEDRO DE CASTA

El monitoreo hidrológico busca generar información hidrometereológica confiable a través de la obtención de datos desde un sistema de monitoreo hidrológico, el cual está conformado por un conjunto de instrumentos y equipos de medición y ensayos. Con este estudio se logra mejorar las condiciones de escasez de información en el contexto hidrológico de la subcuenca del río Santa Eulalia (principal aportante del rio Rímac) y a la vez describir la eficiencia del sistema hidráulico de las amunas.

En este monitoreo se pone énfasis a la estimación de la eficiencia de la amuna Saywapata en cuanto a la infiltración o recarga de agua subterránea. Estas actividades fueron llevadas a cabo por el Centro de Investigación de Tecnología del Agua de la Universidad de Ingeniería y Tecnología (CITA - UTEC) con la ayuda de miembros de la comunidad de San Pedro de Casta, quienes además de su buena disposición y voluntad de trabajo aportaron su conocimiento en cuanto al uso de estos tipos de infraestructura hidráulica milenaria.

TNC viene monitoreando la amuna Saywapata desde setiembre del 2017. En este periodo de lluvia 2017-2018 se trabajó junto con el Consorcio para el Desarrollo de la Ecoregion Andina – CONDESAN, y consistió básicamente en la medición de precipitación y caudal dentro de la amuna. Para el periodo 2018-2019, se trabajó con la Universidad de Ingeniería y Tecnología - UTEC y AQUAFONDO. El cual consistió en hacer un análisis más integral, tomando en cuenta un análisis hidrológico, hidráulico e hidrogeológico. Para ello se instalaron y probaron equipos de medición como estaciones automáticas, tanque evaporímetro, tensiómetros, entre otros. Este informe resume los principales hallazgos que se lograron en estos 2 años de monitoreo de la amuna Saywapata en San Pedro de Casta.

2.1 Precipitación en la amuna Saywapata

La información pluviométrica proviene de dos estaciones automáticas ubicadas en la parte alta y baja de la quebrada Saywa. La primera denominada Amuna, ubicada a 4355 msnm, fue instalada en el 2017; la segunda denominada Cima, ubicada a 4646 msnm, fue instalada en el 2018; tal como se muestra en la Figura N° 1.

Estación Amuna

Estación Cima

Figura N° 1: Descarga de información pluviométrica de las dos estaciones instaladas
Fuente: CITA-UTEC

En vista de que solo se tiene dos años de registro de lluvias, se usó información histórica del SENAMHI a través del producto PISCO 2.1 (Peruvian Interpolation data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations)[1]. Se hizo un análisis de 36 años (1981-2016), el cual se muestra en la siguiente figura.

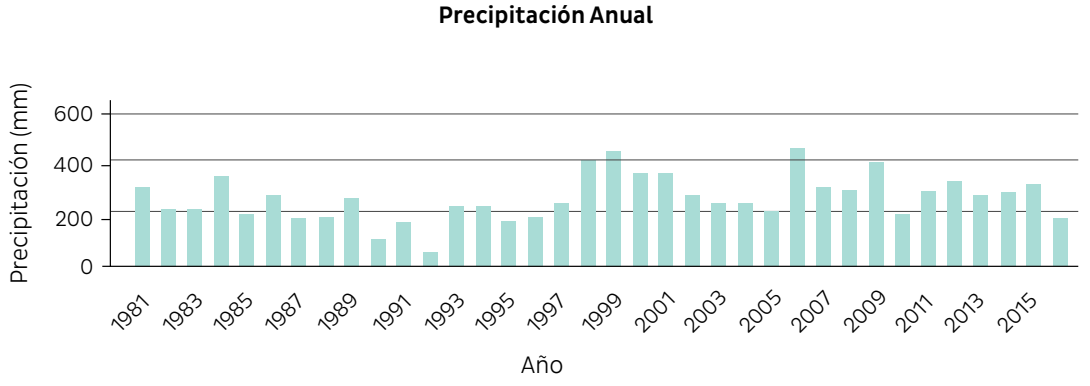


Figura N° 2: Precipitación total anual de la serie histórica estimada del sector Saywapata

1 PISCO, presenta una serie de datos hidroclimáticos a buena escala espacial (0.05°) entre ellas, escalas temporales mensuales de las variables precipitación, temperatura máxima, mínima y evapotranspiración.

Podemos notar que la precipitación promedio multianual en la zona es de 265 mm anual, con una máxima de 461 mm en el 2006 y una mínima de 51 mm en 1992. Sin embargo, con el registro de lluvia de las estaciones automáticas de la estación Amuna se tiene una precipitación anual de 684 mm, siendo el mes de marzo el más lluvioso con 193 mm, tal como se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro N° 1: Precipitación total mensual estación Amuna del 25/SET al 27/MAY del 2019

			MES									
Nº	ESTACIÓN	ALTITUD	S	O	N	D	E	F	M	A	M	Total
1	Amuna	4 366	0,2	33	21	35,6	178,2	173	193	40,4	96	684

Asimismo, el registro de la estación automática de la Cima fue similar, con una precipitación total anual de 635.6 mm, siendo el mes de enero el más lluvioso con 202.2 mm, tal como se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro N° 2: Precipitación total mensual estación Cima del 25/SET al 27/MAY del 2019

			MES							
Nº	ESTACIÓN	ALTITUD	N	D	E	F	M	A	M	Total
1	Cima	4 648	6,2	26,4	202,2	138,8	201,8	44,6	15,6	635,6

Como se puede observar, los datos de las estaciones automáticas ubicadas en la zona superan en más del doble a las estimadas por el producto PISCO del SENAMHI, por lo que se requiere continuar monitoreando la lluvia. Si analizamos el comportamiento del día más lluvioso, 9 de marzo, se puede observar a través del siguiente hietograma que solamente llueve entre 3 a 4 horas al día, con una mayor intensidad a las 13:00 horas con 11.2 mm, tal como se muestra en la Figura N° 3.

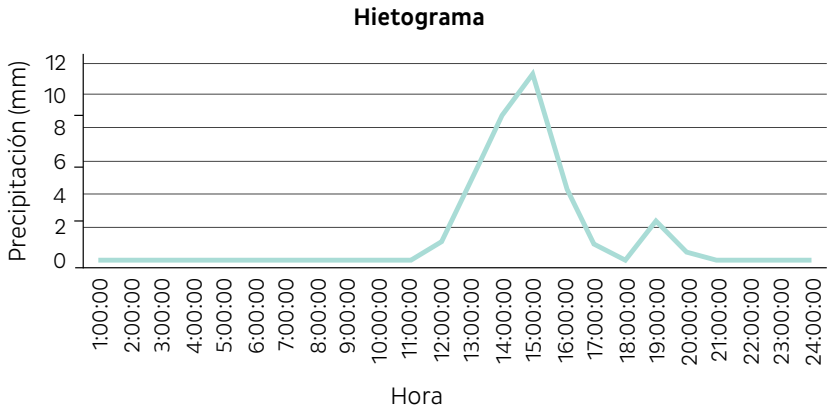


Figura N° 3: Hietograma del 9 de marzo del 2019, día más lluvioso del registro presentado de la estación amuna, parte baja

En resumen, se observa que los meses de diciembre a marzo son mayores en la zona de la quebrada Saywa, según registros de la estación automática instaladas sobre la Amuna y en la parte alta de la quebrada, llamada Cima.

2.2 Humedad del suelo y Temperatura

Para la medición de humedad y temperatura se instalaron seis sensores de humedad, tres a 30 centímetros y otros tres a 60 centímetros de profundidad. Estos sensores también miden la temperatura del suelo y del aire. De acuerdo con los resultados, entre febrero y marzo del 2019, se pudo observar una variación más amplia en los registros de temperatura del suelo a comparación con los de temperatura del aire. La temperatura del suelo registró máximas de 11.5°C y mínimas de hasta 0°C, mientras que la temperatura de aire registró temperaturas máximas de 12°C y mínimas de hasta 4°C. Las tensiones registradas en los sensores instalados a una profundidad de 60 centímetros son mayores a los instalados a 30 centímetros, ya que los suelos mantienen una mayor humedad a más profundidad.

Asimismo, la temperatura mensual a nivel diario registrados por la estación de la Cima[2], instalado en noviembre del 2018, muestra un promedio de 4°C entre noviembre y mayo del 2019, tal como se muestra en la Figura N° 4. Debemos mencionar que la temperatura media mensual presentada a continuación corresponde a la temperatura promedio horaria diaria (24h) en donde se consideran pocas horas de radiación solar predominando las bajas temperaturas que se dan desde las 16:00 h hasta las 9:00 h del día siguiente.

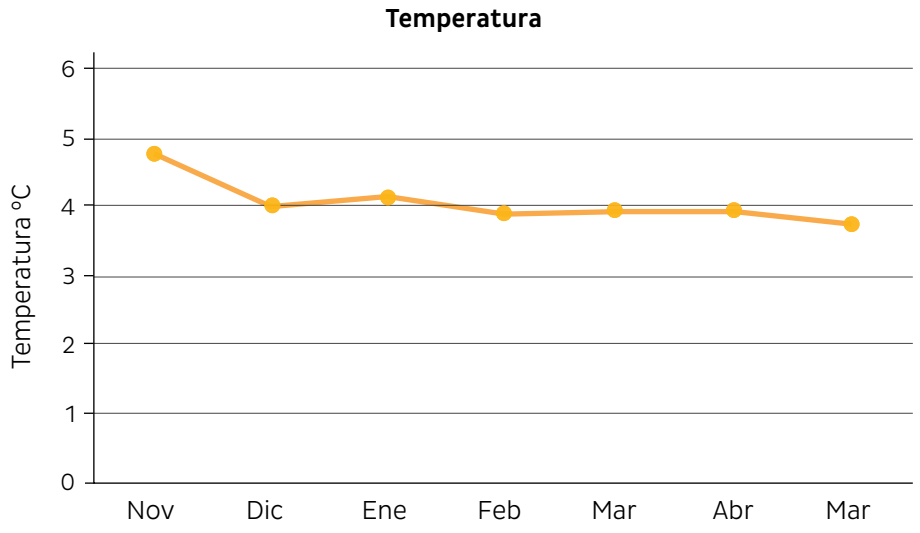


Figura N° 4: Temperatura promedio noviembre-mayo
Fuente: CITA-UTEC

2 El registro de temperatura solo fue obtenido de la estación de la Cima, ya que en la estación de la amuna se encontró configurada solamente los registros de precipitación.

2.3 Evaporación y Evapotranspiración

Para medir la evaporación se instalaron dos tanques evaporímetros, uno al costado de la amuna y otro en la cima de la quebrada Saywa. Es así como se estimó una tasa promedio de evaporación para la estación de la "Amuna" de 2.24 mm/día y para la estación de la "Cima" de 2.11 mm/día desde noviembre del 2018 a mayo del 2019, tal como se muestra en la Figura N° 5.

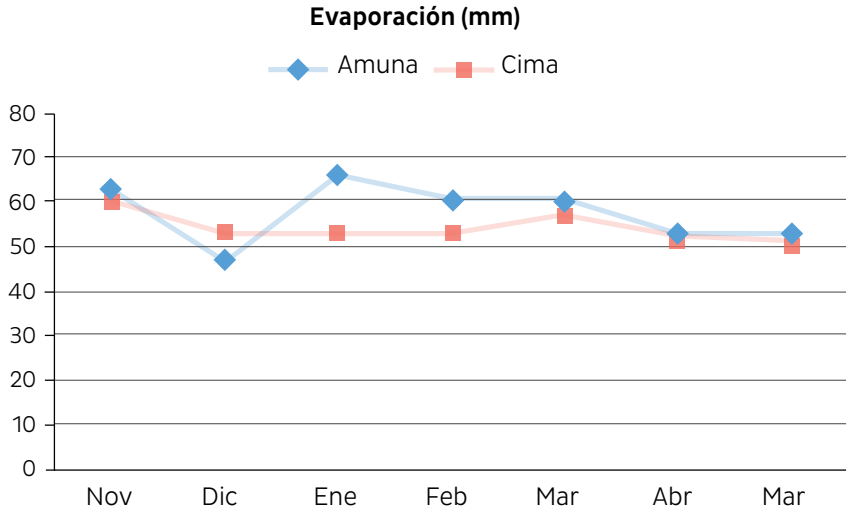


Figura N° 5: Variación de la evaporación en los tanques instalados
Fuente: CITA-UTEC

Debemos tener en cuenta que para realizar una apreciación y estimación más exacta es necesario un registro más denso y prolongado, con estaciones de registro automático diario. Sin embargo, los datos obtenidos revelan que la fluctuación de esta variable es compleja debido al gradiente altitudinal, esto quiere decir que se percibe que la evaporación entre estos dos puntos de monitoreo tiene relación inversa a su altura; la tasa de evaporación total mensual es menor en la estación más alta que en la de menor altitud.

Para determinar la evapotranspiración - ETP se usó tres lisímetros distribuidos altitudinalmente. El primero cerca a la estación automática de la Cima a 4,647 msnm, el segundo en la parte media de la quebrada (cerca de la estación automática) a 4,352 msnm, y el tercero a unos cuarenta metros bajo la amuna (aguas abajo de la quebrada) a 4,296 msnm. Los lisímetros también se usan para comprender el comportamiento de la humedad del suelo sobre suelos agrícolas. Debido a la complejidad geológica de la zona en estudio, se optó por un lisímetro artesanal para la estimación del volumen almacenado en el suelo. Para esta prueba se usó un simulador de lluvia donde las láminas de agua fueron vertidas uniformemente y se realizaron con un aspersor artesanal, tal como se muestra en la siguiente figura.

Simulación de lluvia

Recojo de agua de infiltración

Figura N° 6: Funcionamiento de simulador de lluvia en el lisímetro, ladera de la amuna Saywapata
Fuente: CITA-UTEC

La variación de la humedad de los suelos fue mayor en el lisímetro de la parte alta, ya que la estacionalidad en mayo del 2019 no presentó lluvias representativas; asimismo, se debe poner hincapié que en la zona de la amuna y sobre ella se encontró una humedad previa grande, debido a eventos lluviosos recientemente ocurridos. Para una medición continua de la humedad de los suelos se recomienda usar tensiómetros con datalogger.

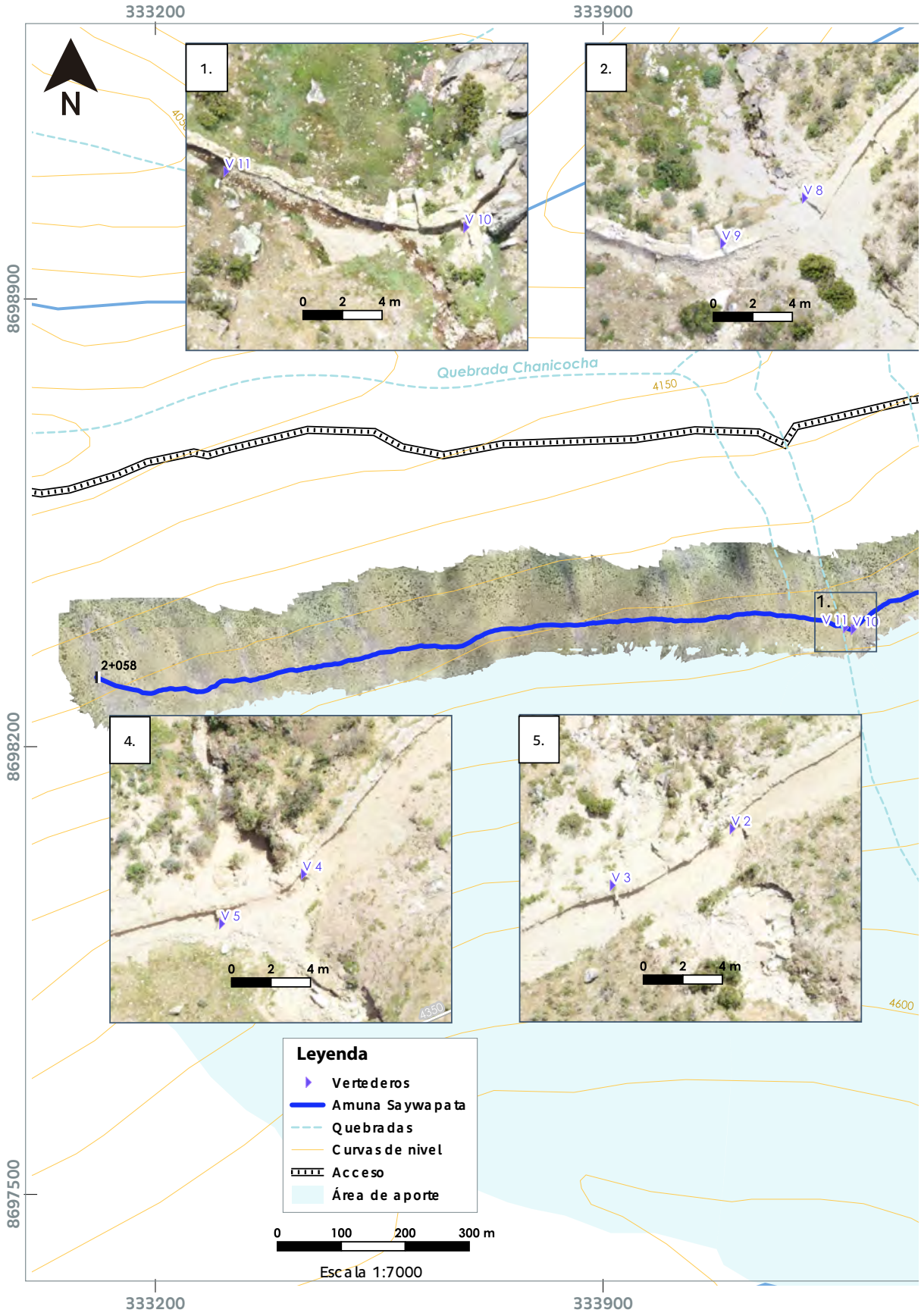
De esta manera se puede concluir que gracias a los microclimas registrados que generan mayor cantidad de lluvias en la parte media de la ladera y la gran capacidad de infiltración de los suelos de estos sectores, la amuna Saywapata es una estructura hidráulica adecuadamente posicionada y de gran potencial de infiltración. Estos resultados corroboran que se trata de un suelo altamente permeable y con gran capacidad de almacenamiento.

2.4 Caudales y estimación de la infiltración y eficiencia de la amuna

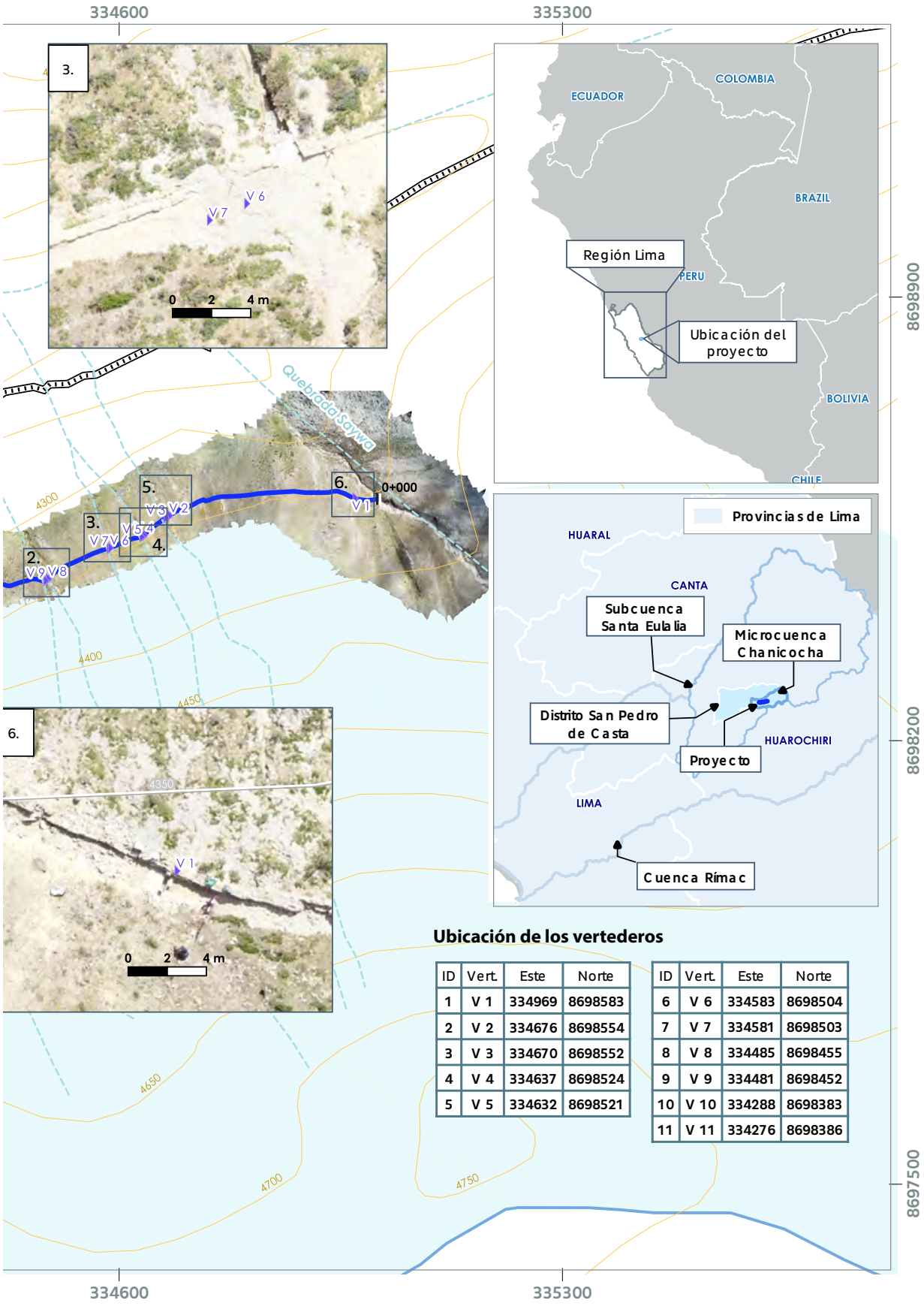
Para la medición de caudales que pasa por el canal amunero se instalaron 12 vertederos de forma triangular a lo largo de los 1,939 metros de canal. En estos vertederos se instalaron sensores de nivel que miden el caudal de manera instantánea. Esta amuna es cruzada por varias quebradas tipo cárcavas que solo se activan en época de mucha lluvia. Por ello, se colocaron varios vertederos casi juntos para medir la entrada y a salida después de cada quebrada, tal como se muestra en la Figura N° 7.

Cabe señalar que el vertedero 12 solo funcionó el primer año de monitoreo del 2017 al 2018, y se encontraba en el tramo final de la amuna. Para periodo de lluvia del 2018 al 2019, este sensor estaba dañado. Asimismo, no se pudo medir el caudal en el vertedero 7 para el periodo 2017-2018 porque el sensor se averió.

Figura N° 7 Distribución de los vertederos a lo largo del canal



Fuente: CITA-UTEC



Ubicación de los vertederos

ID	Vert.	Este	Norte
1	V 1	334969	8698583
2	V 2	334676	8698554
3	V 3	334670	8698552
4	V 4	334637	8698524
5	V 5	334632	8698521

ID	Vert.	Este	Norte
6	V 6	334583	8698504
7	V 7	334581	8698503
8	V 8	334485	8698455
9	V 9	334481	8698452
10	V 10	334288	8698383
11	V 11	334276	8698386

En la Figura N° 8 se muestra la variación de caudales mensuales a lo largo de los dos periodos de lluvia y obteniendo un promedio de 9.0 l/s para los dos periodos. Estos caudales se obtuvieron de los caudales promedios mensuales que se registraron en los 12 vertederos de la amuna Saywapata.

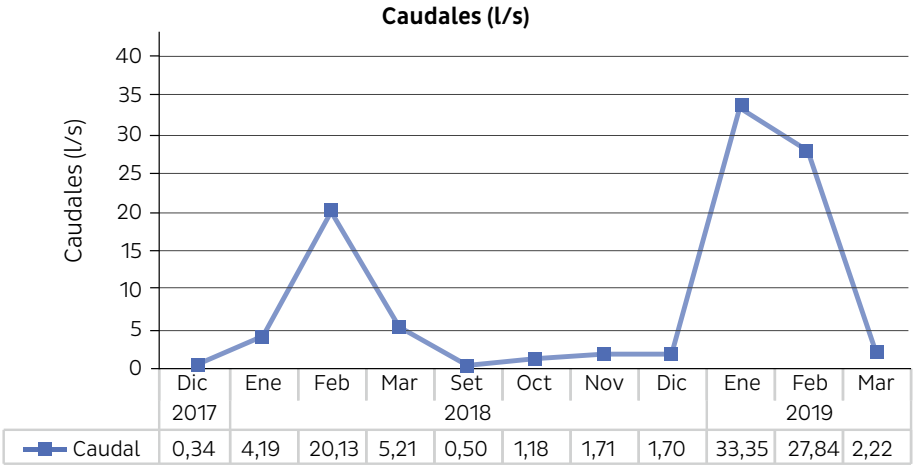


Figura N° 8: Caudales promedios mensuales en la amuna Saywapata
Fuente: CITA-UTEC

Como se observa los mayores caudales se dan entre enero y febrero, siendo mucho mayor el caudal promedio de enero del 2019 con 33.3 l/s. Sin embargo, si se toma en cuenta los caudales que pasan por cada uno de los vertederos, en el periodo húmedo del 2017-2018 se registró un caudal máximo de 46.5 l/s en el vertedero 1, mientras que en el periodo 2018 y 2019 se registró un caudal máximo de 78 l/s en el vertedero 4. Esto resulta más interesante si analizamos los caudales diarios registrados con los sensores de nivel para el periodo 2018-2019, donde podemos observar una crecida rápida en la quincena del mes de enero, producto de las intensas lluvias. Esto originó la activación de quebrada Saywa y la quebrada tipo cárcava que se encuentra justo antes del primer sensor, tal como se muestra en la Figura N° 9.

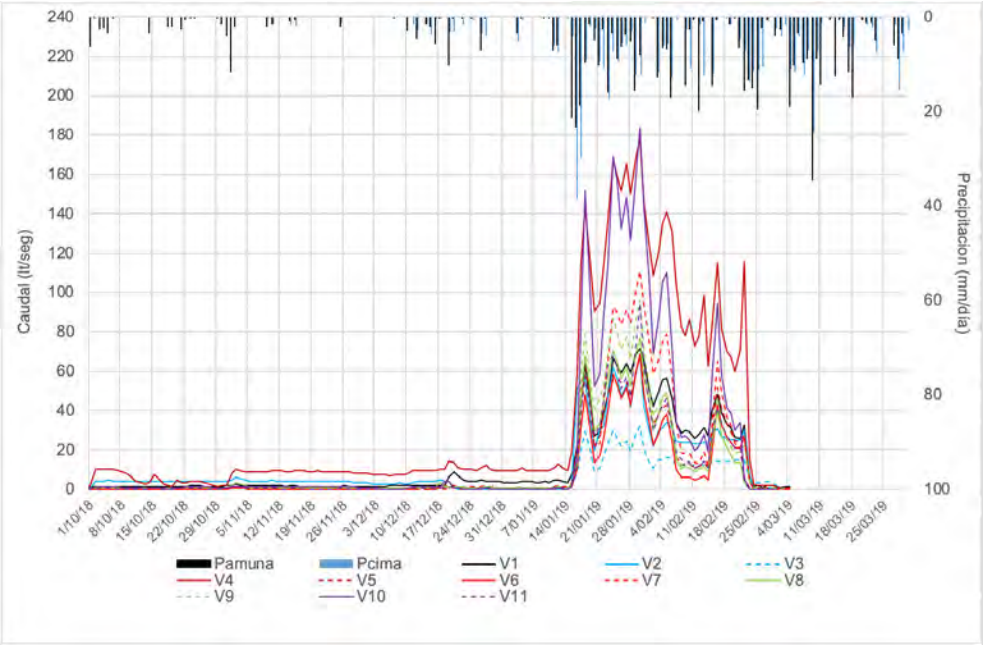


Figura N° 9: Hidrogramas de los once sensores instalados y dos pluviómetros
Fuente: CITA-UTEC

Como se puede observar todos los vertederos siguen el mismo patrón, pero casi todos registran caudales diferenciados, debido a que los caudales de ladera generan estas diferencias. Por ejemplo, los vertederos 4 y 10 registran los mayores caudales diarios en este periodo, siendo el 30 de enero, el día que se registraron los mayores caudales con 178 l/s y 183 l/s respectivamente. Este es un indicador de la capacidad máxima de conducción que puede tener esta amuna. Sin embargo, estos caudales picos son diarios.

Se tiene que considerar que las quebradas tipo cárcavas que interceptan a la amuna proveen de caudal constantemente en épocas de avenida, caudal que no se cuantificó por falta de un medidor. De esta manera podemos afirmar que la captación de la quebrada Saywa hacia la amuna, no es el único medio de abastecimiento de esta. Es así como podemos observar que los caudales no disminuyen desde el vertedero uno (V1) al vertedero once (V11) por efecto de la infiltración, sino que muestran un comportamiento diferenciado por factores físicos, climatológicos y hasta antrópicos.

En Figura N° 10 se muestra la dinámica de caudales entre el vertedero 1 y 2 donde los mayores caudales registrados son producto del caudal de aporte de ladera o el captado por la quebrada Saywa. Asimismo, se visualiza la cantidad de precipitación, siendo naturalmente que a mayor precipitación registrada los caudales dominantes son los captados desde la quebrada Saywa. Se observa, en color anaranjado, el aporte de ladera dominante que significa que el caudal medido en el vertedero 2 es mayor que en el vertedero 1. Esta diferencia nos da valores positivos de caudal, en el cual no se podía percibir la tasa de infiltración. A partir del 19 de diciembre el gráfico muestra que la diferencia entre los caudales registrado en el vertedero 2 y el vertedero 1 es negativa, es decir, el caudal en el vertedero 2 es menor que en el 1, pudiendo cuantificar la infiltración como la diferencia de estos registros.

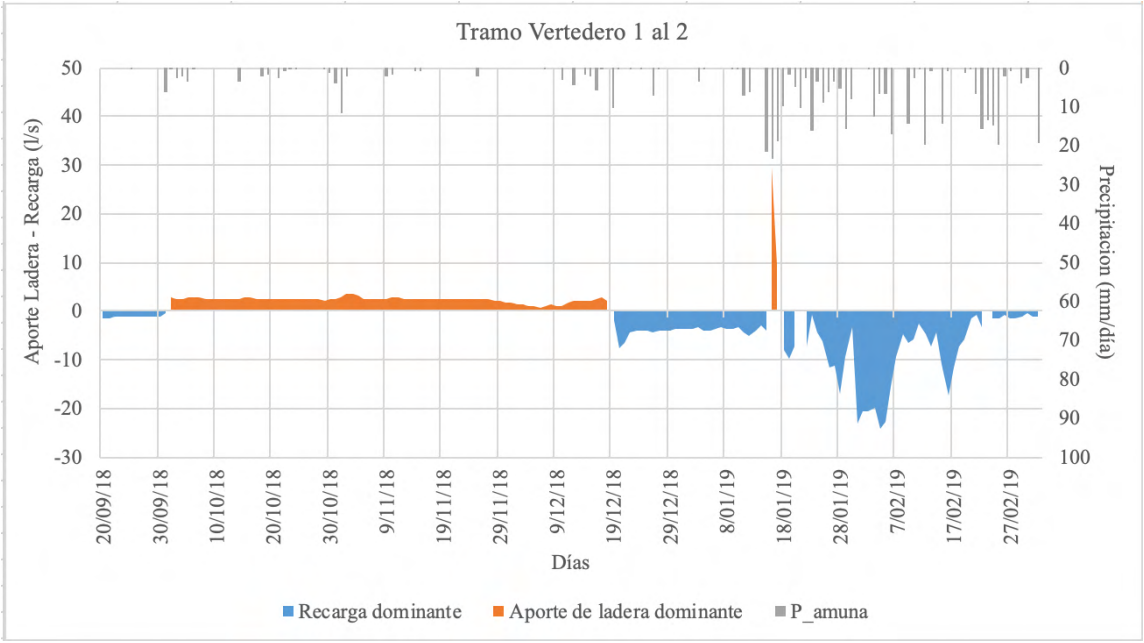


Figura N° 10: Dinámica de los caudales y la precipitación registrada
Fuente: CITA-UTEC

Esta dinámica se observa mejor en la siguiente figura.

Figura N° 11: Esquema Caudales de Ingreso, Infiltración, Fuga y Aporte de Ladera
Fuente: CITA-UTEC

De acuerdo con el esquema anterior, la estimación del caudal de infiltración en este tramo no se puede calcular por considerar el caudal de fuga (Q fuga) y el caudal de ladera (Q ladera).

2.5 Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie entra en el suelo, y la tasa de infiltración es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Con la diferencia de caudales obtenido entre los vertederos descritos anteriormente se ha logrado cuantificar la infiltración a lo largo del canal amunero.

Sin embargo, no se consideraron la diferencia de infiltración entre vertederos contiguos (V2-V3, V4-V5, V6-V7 y V8-V9) ya que por estar a una distancia relativamente cercana (de 1 a 5m), la infiltración que se trataría de estimar sería poco representativa y se encontraría dentro del rango de error de mediciones. Otra razón por la cual no se consideran estas diferencias es que entre estos vertederos se encuentran quebradas o cárcavas de aporte de caudal de agua y sedimento. Asimismo, se observan estructuras de alivio o vertedero de excedencia (descritos en los componentes de la amuna) que hace difícil determinar el caudal de aporte y de continuidad de la amuna (caudal registrado entre un vertedero y otro).

En el Cuadro N° 3 se observa la infiltración potencial que ocurrió en la amuna durante el periodo húmedo 2017-2018, el cual equivale a un caudal total infiltrado de 30.13 l/s. El tramo de mayor infiltración se encuentra entre el vertedero 3 y 4 (V3-V4), haciendo un total de 13.28 l/s; y es en el mes de febrero que se tuvo la mayor infiltración con 9.07 l/s, de un total de 17.5 l/s. En los espacios por mes en donde no existen datos, se entiende que el aporte de ladera fue mucho mayor al de la infiltración haciendo que los caudales registrados en el sensor aguas abajo sean mayores que los registrados en el sensor aguas arriba.

Cuadro N° 3: Caudales promedio (l/s) que infiltra la amuna entre vertederos consecutivos (Diciembre 2017 y Marzo 2018)

Año	DIC	ENE	FEB	MAR	TOTAL (l/s)
V.1-V.2	0,36	4,25	4,86	1,14	10,61
V.3-V.4	0,07	3,73	9,07	0,41	3,32
V.5-V.6	0,03	0,35	0,94	0,4	0,43
V.6-V.8			0,41		0,41
V.9-V.10	0,03	0,25	1,07	0,16	0,38
V.11-V.12	0,02	0,11	1,16	1,31	0,65
Total (l/s)	0,51	8,69	17,51	3,42	7,84

Fuente: Elaboración Propia

Para el caso de la temporada 2018-2019 se realizó una medición de la infiltración más exacta, ya que se consideró la diferencia de caudales diarios entre cada vertedero. En el Cuadro N° 4, se destaca la capacidad de los tramos V7-V8, V1-V2 y V5-V6 (en ese orden de prioridad) los cuales son capaces de favorecer la infiltración por las condiciones de revestimiento y/o geológicas. El caudal total infiltrado fue de 64.51 l/s, de los cuales se observa que el mes de febrero también es el de mayor infiltración con 32.59 l/s, siendo el tramo en V7-V8 donde se produjo la mayor infiltración potencial con 13.33 l/s. Al hacer el análisis de infiltración diaria se muestra diferencias significativas con el periodo 2017-2018; por lo que es muy importante seguir monitoreando.

Cuadro N° 4: Infiltración potencial (l/s) de la amuna entre vertederos consecutivos (Setiembre 2018 y Febrero 2019)

TRAMO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL (l/s)
V.1-V.2	1.29	0.56		4.32	6.26	8.64	**21.06**
V.3-V.4						1.31	**1.31**
V.5-V.6		0.05	0.11	0.16	6.93	6.01	**13.26**
V.7-V.8	0.08	0.09	0.22	0.40	9.89	13.33	**24.01**
V.9-V.10	0.33	0.18	0.01	0.49	0.56	3.29	**4.86**
Total (l/s)	1.69	0.88	0.34	5.36	23.65	32.59	**64.51**

* Los meses en gris no generaron infiltración potencial
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados anteriores a nivel promedio podrían ser escalados considerando toda la extensión de la amuna, así como el aporte de volúmenes en periodos de tiempo definidos. Esto es posible debido a la característica discreta de los tramos. A continuación, se muestra el Cuadro N° 5, la infiltración potencial del periodo 2018-2019 considerando las extensiones de los 5 tramos analizados que en total suman 727 metros de canal amunero. Como se observa en el tramo V3-V4, se obtiene valores de infiltración potencial muy bajos (1.3 l/s) por el hecho de presentar solo 42 metros de longitud. Sin embargo, para el tramo V5-V6 de tan solo 47 m. presenta valores altos de infiltración. Esto nos muestra cuales son los tramos de canal amunero con mayor infiltración y, por ende, de mayor importancia.

Cuadro N° 5: Infiltración escalada por longitud de tramo de la amuna

TRAMO	LONGITUD (M)	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	TOTAL (l/s)
V.1-V.2	317	1.29	0.56		4.32	6.26	8.64	**21.06**
V.3-V.4	42						1.31	**1.31**
V.5-V.6	47		0.05	0.11	0.16	6.93	6.01	**13.26**
V.7-V.8	109	0.08	0.09	0.22	0.40	9.89	13.33	**24.01**
V.9-V.10	212	0.33	0.18	0.01	0.49	0.56	3.29	**4.86**
Total (l/s)	**727**	**1.69**	**0.88**	**0.34**	**5.36**	**23.65**	**32.59**	**64.51**
Total (m^3/dia /km)		200.7	104.3	40.4	637.5	2 810.2	3 873.4	**7 666.45**
Total (m^3/dia /km)		6 021.3	3 233.8	1 210.7	19 762.5	87 115.1	108 455.2	**225 798.7**
Total (m^3/km)		225 798.7						

Fuente: Elaboración Propia

Del cuadro anterior, se observa que la infiltración potencial de 64.51 l/s se da a lo largo de los 727 metros de amuna. Si se escala o amplia a 1 kilómetro de amuna se obtiene 88.7 l/s durante los 6 meses húmedos que se realizó la medición (septiembre a febrero). La infiltración potencial podría alcanzar hasta 3,873.4 m^3/día/km de amuna en el mes de febrero y considerando que es posible una persistencia de este fenómeno en algunos tramos con mayores tasas de infiltración, durante todo el periodo de monitoreo fue posible infiltrar potencialmente 225.8 x 103 m^3/km. Es decir, un kilómetro de amuna facilitaría la infiltración potencial de 225.8 x 103 m^3 de agua[4].

Adicionalmente se hicieron unas pruebas en campo para determinar la infiltración encima de la amuna. Estos ensayos dieron como resultado que después de varios días de un evento de precipitación significativa, el suelo en la parte baja de la quebrada Saywa, por inmediaciones de la amuna Saywapata, tiene una mayor capacidad de infiltración del agua remanente y estando en condiciones de infiltrar en mayor proporción ante posteriores eventos de precipitación. Esto quiere decir que la amuna se ubica en una zona capaz de infiltrar con mayor facilidad el agua posterior a eventos de precipitación, retardando el flujo subsuperficial hacia la quebrada Saywa y Chanicocha para días después y también facilitar la percolación hacia algún acuífero regional.

4 Estas cifras no incluyen el monitoreo del mes de marzo porque los sensores presentaron daños y la amuna se llenó de escombros. Si hubiera información la cifra debería aumentar.

2.6 Flujos subterráneos

El estudio del flujo subterráneo entre la amuna Saywapata y el río Chanicocha consistió en la verificación de la posible conexión de flujos originada por un proceso de infiltración subsuperficial y/o profunda que se da en el lecho de la amuna y su ladera, para finalmente emerger a través de formaciones de manantiales ubicadas aguas abajo y cercanas al rio. La distancia perpendicular promedio entre ambos cauces, que se encuentran aproximadamente paralelos, es de 400 a 450 metros.

El funcionamiento del sistema empieza entre los meses de diciembre y abril con la precipitación pluvial y de granizo que escurren hacia la quebrada Chanicocha. En la parte media – baja de la quebrada se encuentran una serie de diques de pircado que protegen la bocatoma de captación de la amuna Saywapata, y regulan los caudales de escurrimiento durante las tormentas. Aunado a ello, existe un ingreso de agua a la amuna por escorrentía superficial y flujos de retorno presentes en medios saturados.

A partir del estudio geológico se identificaron afloramientos de rocas ígneas volcánicas tipo dioritas y andesitas que conforman cuerpos intrusivos, además de domos rio líticos que ejercieron grandes esfuerzos de compresión y que finalmente fracturaron las andesitas. Todas estas características geo mecánicas configuran un acuífero fisurado y un sistema de carga y recarga natural en donde se han identificado puntos de emanación de agua a través de las fracturas y los manantiales cercanos al rio Chanicocha.

La hipótesis es que existe una conexión de flujos subterráneos de poca profundidad y/o subsuperficiales entre la amuna Saywapata y el rio Chanicocha, a través de una serie de manantiales, que durante épocas secas sirven de recarga al río Chanicocha, tal como se muestra en la Figura N° 12.

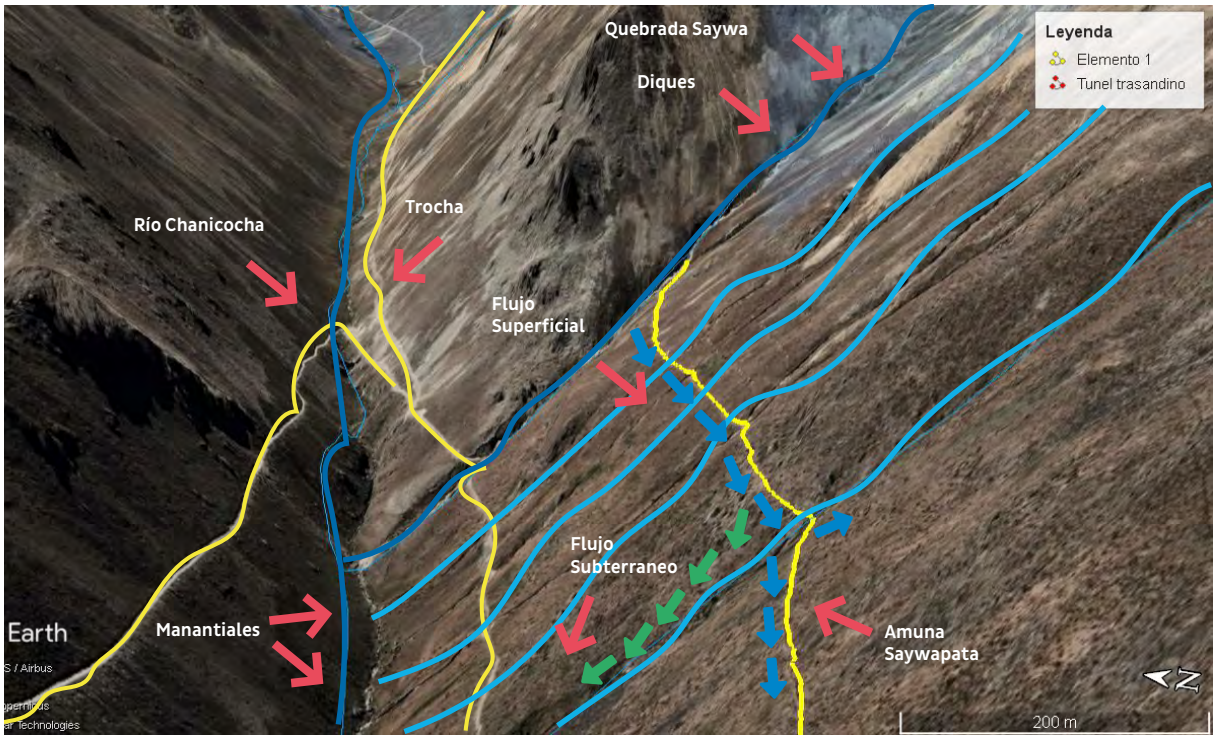


Figura N° 12: Esquema en 3D del flujo subterráneo entre la Amuna Saywapata y el río Chanicocha
Fuente: Elaboración Propia

El proceso de monitoreo de los flujos subterráneos consistió en recoger porcentajes de concentración de la fluoresceína (trazador o colorante orgánico) a través de los muestreadores de carbón activado, a lo largo de diferentes periodos de tiempo. El proceso de inyección y primer monitoreo se realizó durante la época más húmeda, a inicios del mes de marzo, aprovechando la mayor disponibilidad de agua para mejorar la cantidad de infiltración y flujos subterráneos hacia los manantiales. Por ello, los primeros trabajos de recolección se realizaron pocos días después de la inyección, para confirmar la velocidad del flujo; y posteriormente, el intervalo de tiempo que irá aumentando inversamente proporcional a la disminución del caudal superficial del río Chanicocha y de los manantiales.

Figura N° 13: Inyección de la fluoresceína en el primer punto de aforamiento, en la Amuna Saywapata
Fuente: CITA-UTEC

En el primer monitoreo realizado por CONDESAN en el periodo 2017-2018, se han monitoreado 6 manantiales y se encontró una evidencia de conexión entre la amuna y el primer y quinto manantial aguas debajo de la amuna. Para el segundo periodo del 2018-2019 realizado por UTEC y AQUAFONDO se han monitoreado 16 puntos aguas debajo de la amuna, de las cuales 6 estaban en el cauce de la quebrada y 10 en manantiales.

Figura N° 14: Ubicación de puntos de muestreo y el punto de inyección (Pi)Fuente: Elaboración Propia

Se observaron resultados de respuesta rápida para el primer tramo de monitoreo entre el punto 1 y el punto 2, correspondiente a los manantiales 1 y 2, llegando a las mayores concentraciones de fluoresceína. Se puede afirmar que este tramo presenta el suelo con mayor permeabilidad y conductividad hidráulica, considerando que este tramo es atravesado por 2 quebradas que también aportan al afloramiento y caudal del río. La velocidad inicial del flujo subsuperficial se calculó considerando el tramo de recorrido de 438 metros para 3 días (72 horas) lo que nos da una velocidad promedio de 6 m/h. Asimismo, estos dos puntos alcanzaron su máxima concentración de fluoresceína en 18 y 36 días, es decir más de un mes después de vertido el trazador, tal como se muestra en la Figura N° 15. Sin embargo, se recomienda monitorear mas tiempo, por lo menos 6 meses para determinar si efectivamente se encuentra concentración de fluoresceina y en manantiales agua bajo.

En el caso del manantial 7, éste tuvo un retardo en el tiempo de afloramiento dando un valor positivo al segundo periodo de monitoreo. Se puede considerar que su permeabilidad es menor al primer tramo. La velocidad se calculó considerando el tramo recorrido de 438 metros para 7 días (168 horas) lo que nos da una velocidad promedio de 2.6 m/h. Cabe mencionar, que en este tramo no se encuentran quebradas que contribuyan al afloramiento.

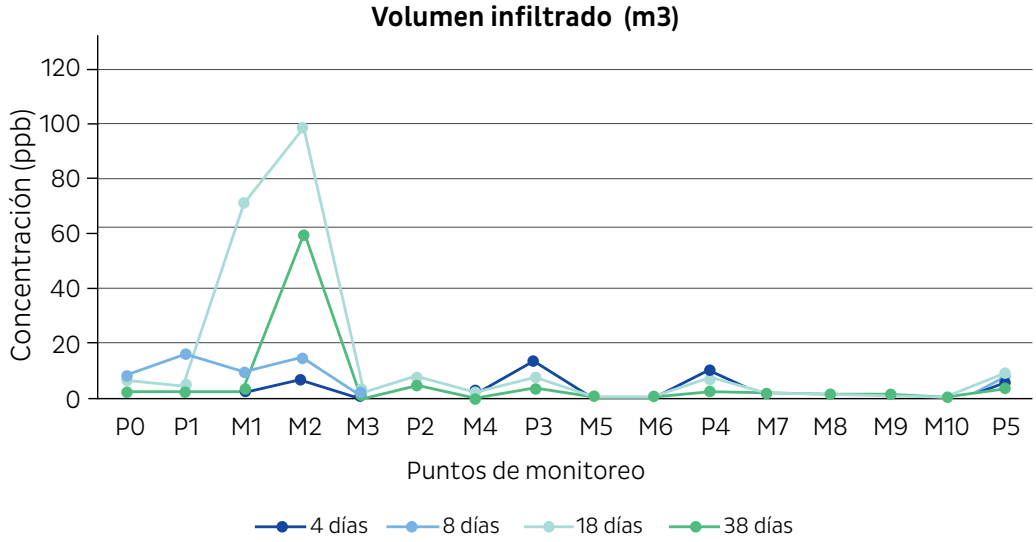


Figura N° 15: Relación entre puntos de monitoreo y concentraciones de fluoresceína para diferentes tiempos de análisis
Fuente: CITA-UTEC

2.7 Conclusiones

- La precipitación en el área del proyecto fue estimada considerando los datos de las dos estaciones pluviométrica instalada en la parte alta y baja de la quebrada Saywa, y el empleo de un producto operacional grillado PISCO-SENAMHI con fines de inferir información en cuencas sin medición. Se observó una diferencia significativa entre ambos, siendo mayor los registrados en situ. Sin embargo, se requiere continuar monitoreando para contar con más años de registro.

- La estimación de los caudales medios y máximos registrados por los vertederos instalados (entre 9 l/s y 183 l/s en época húmeda) en la amuna, revelan valores atípicos (outliers) y fenómenos físicos complejos del contexto de la hidrología de laderas, así como la complejidad de las condiciones climáticas y de operación de equipos tanto a nivel espacial como temporal. Sin embargo, los datos reflejan la dinámica de la escorrentía a escala diaria y estacional, y se plantean las hipótesis del origen de los datos outliers encontrados. La activación de las quebradas hasta su intersección con la amuna también muestra un escenario complejo de condiciones geológicas y geotécnicas, lo cual hace difícil la estimación de flujos líquidos en estas intersecciones.

- Se verificó la eficiencia de esta infraestructura ancestral a través de los caudales en los vertederos, las pruebas de infiltración en el ámbito de la amuna y el estudio hidrogeológico y trazadores. Las fuentes de errores en la estimación de la infiltración se incrementan en los días más húmedos, ante la presencia de reboses o laminaciones en la amuna por sus límites en su capacidad de conducción, la saturación del fondo de la amuna y la impermeabilización del perímetro mojado en la amuna a causa de los materiales finos erosionados y transportados.

- La infiltración potencial de la amuna Saywapata fue de 64.51 l/s en un tramo de 727 metros de canal durante los 6 meses de periodo húmedo (setiembre – febrero) del 2019. Destacando el mes de febrero como el de mayor infiltración. Esto equivale a un rendimiento o eficiencia de infiltración de 88.73 l/s/km. Se concluye que el volumen de infiltración durante todo el periodo de monitoreo fue de 225.8 x 103 m^3/km.

- Se identificaron los tramos: V7-V8 como mayor productor de recarga, luego el tramo V1-V2 y finalmente el tramo V5-V6, los cuales deben ser priorizados en el mantenimiento con fines de recarga de acuífero. Por otro lado, el resto de los tramos (V3-V4 y V9-V10) presentarían mejores condiciones para la conducción del caudal (en especial el tramo V3-V4) lo cual también debe ser considerado en los planes de mantenimiento.

- En el estudio con trazadores se observaron rápidos resultados positivos para el primer tramo de monitoreo entre los manantiales 1 y 2, los cuales presentaron mayores concentraciones de fluoresceína. Se puede afirmar que este tramo presenta el suelo con mayor permeabilidad y conductividad hidráulica. La velocidad inicial del flujo subsuperficial da una velocidad promedio de 6 m/h. Asimismo, estos dos puntos alcanzaron su máxima concentración de fluoresceína en 18 y 36 días, es decir más de un mes después de vertido el trazador.

- Las cifras anteriores muestran la relevancia de este tipo de infraestructura en facilitar el ingreso de agua al subsuelo y/o acuífero. Los volúmenes de agua ingresarían directamente al sistema hídrico de la microcuenca Saywa y discurrirían por el subsuelo y fracturas presentes. Sin embargo, solo un porcentaje de esta infiltración podría llegar a aflorar aguas abajo en los manantiales existentes y retardarse hasta la época seca.

2.8 Recomendaciones

- Se recomienda adecuar instrumentos de medición como las estaciones automáticas con transmisión de datos en tiempo real y de esta forma generar una red de transmisión de información registrada de acceso remoto.

- Para mayor precisión en la cuantificación del aporte de caudal a la amuna, se recomienda instalar secciones de aforo en las quebradas que interceptan a la misma. Dicho esto, otro parámetro importante a medir además del flujo líquido es medir el flujo sólido de aporte.

- Debido a la longitud y quebradas que la interceptan, la amuna se ve afectada varias veces al año por deslizamiento de sedimentos y lodo que colmata y bloquea el flujo normal de agua en época de avenida, siendo así una necesidad, la programación de faenas de descolmatación y limpieza en coordinación con la comunidad.

- Con respecto al la conectividad del flujo subterraneo se recomienda monitorear el trazador por lo menos 6 meses para determinar si efectivamente se encuentra concentración de fluoresceina en los manantiales agua bajo.

- Se recomienda continuar con el monitorear por lo menos unos 5 años más para ir definiendo mejor los parámetros de infiltración.

3 REFERENCIAS

ANA. (2010). Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac: estudio hidrológico y ubicación de la red de estaciones hidrométricas. Retrieved from http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/5

Apaza, D., Arroyo, R., & Alencastre, A. (2006). Las amunas de Huarochirí: Recarga de acuíferos en los Andes. Lima: GSAAC/Embajada de Países Bajos/IICA.

Llosa, J., Pajares, E., & Toro, O. (2009). Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas. Lima: RAAP.(307-334).

Ochoa-Tocachi, B. F., Bardales, J. D., Antiporta, J., Pérez, K., Acosta, L., Mao, F., … Grainger, S. (2019). de la infraestructura preincaica de infiltración de agua para la seguridad hídrica en los Andes. Retrieved from https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2019/10/BRIEF-AMUNAS-COMPLETO.pdf

Peña Laureano, F., Charca Huaricallo, M., & Condori Quispe, E. (2015). Inspección hidrogeológica, para la recarga artificial de acuíferos, en la sub cuenca Santa Eulalia, sectores comprendidos entre Callahuanca-Chauca, San Pedro de Casta y Chaclla. Provincia de Huarochirí, región Lima.

SEDAPAL. (2015). Anuario Estadístico 2014.

TNC. (2018). Lineamientos de componentes y tipos de proyectos del Programa “Sembramos Agua” de SEDAPAL. Lima.
Programa “Sembramos Agua” de SEDAPAL

ALIANZA LATINOAMERICANA DE FONDOS DE AGUA

The Nature Conservancy

FUNDACIÓN FEMSA

BID Banco Interamericano de Desarrollo

fmam

Fomentado por el:

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del Parlamento de la República Federal de Alemania

CATERPILLAR FOUNDATION

CATERPILLAR

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ