

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**“IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE MONITOREO  
ECOHIDROLÓGICO PARA CUANTIFICAR EL IMPACTO  
DE PRÁCTICAS DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA EN  
LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN ANDRÉS DE  
TUPICOCHA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR  
EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL**

**BACH. ERICK JAVIER ANTIORTA PEÑALOZA**

**LIMA – PERÚ**

**2022**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente  
investigación (Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

## Document Information

Analyzed document	TSP_Antiporta_firmado_JA (1).docx (D158610171)
Submitted	2023-02-14 13:36:00
Submitted by	Victor Barrena
Submitter email	vbarrena@lamolina.edu.pe
Similarity	1%
Analysis address	vbarrena.unalm@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2022/08/CUBHIC-2.0-Documento-Metodologico-Amu...">https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2022/08/CUBHIC-2.0-Documento-Metodologico-Amu...</a> Fetched: 2023-02-08 01:29:10	 3
<b>W</b>	URL: <a href="https://forest-trends.org/infraestructura-natural-en-peru/convenio/convenio-busca-medir-benefi...">https://forest-trends.org/infraestructura-natural-en-peru/convenio/convenio-busca-medir-benefi...</a> Fetched: 2022-06-15 21:14:21	 2

## Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
"IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE MONITOREO ECOHIDROLÓGICO PARA CUANTIFICAR EL IMPACTO DE PRÁCTICAS DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN ANDRÉS DE TUPICOCHA"  
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL  
BACH. ERICK JAVIER ANTIPORTA PEÑALOZA  
LIMA – PERÚ 2022 \_\_\_\_\_ La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación (Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
"IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE MONITOREO ECOHIDROLÓGICO PARA CUANTIFICAR EL IMPACTO DE PRÁCTICAS DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN ANDRÉS DE TUPICOCHA"  
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE: INGENIERA FORESTAL PRESENTADO POR:  
BACH. ERICK JAVIER ANTIPORTA PEÑALOZA  
Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:  
\_\_\_\_\_ Dr. Gilberto Domínguez Torrejón Mg. Sc.  
Karin Begazo Curie Presidente Miembro  
\_\_\_\_\_ Mg. Sc.  
Roxana Guillén Quispe Mg. Víctor Manuel Barrena Arroyo Miembro Asesor  
DEDICATORIA  
A mis padres, Nancy Peñaloza García y Leoncio Antiporta Laymito. A mi hermano, Daniel Antiporta Peñaloza  
AGRADECIMIENTOS  
A la ONG CONDESAN y al proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica, por la oportunidad de aportar al proyecto y de realizar este trabajo. Al profesor Víctor Barrena Arroyo por su asesoramiento durante el proceso de elaboración de este documento. A la profesora Rosa María Hermoza, por su apoyo, consejos y amistad durante estos años. Al profesor Carlos Llerena, por haber sido mi mentor y mi amigo, por los consejos y apoyo, y por haberme llevado por los caminos del agua. A mis padres y a mi hermano, por creer siempre en mí y darme su apoyo incondicional.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**“IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE MONITOREO ECOHIDROLÓGICO PARA  
CUANTIFICAR EL IMPACTO DE PRÁCTICAS DE SIEMBRA Y COSECHA DE  
AGUA EN LA COMUNIDAD CAMPESINA SAN ANDRÉS DE TUPICOCHA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA FORESTAL**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. ERICK JAVIER ANTIPORTA PEÑALOZA**

**Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:**

---

*Dr. Gilberto Domínguez Torrejón*  
*Presidente*

---

*Mg. Sc. Karin Begazo Curie*  
*Miembro*

---

*Mg. Sc. Roxana Guillén Quispe*  
*Miembro*

---

*Mg. Víctor Manuel Barrena Arroyo*  
*Asesor*

## **DEDICATORIA**

*A mis padres,*

*Nancy Peñaloza García y Leoncio Antiporta Laymito.*

*A mi hermano,*

*Daniel Antiporta Peñaloza*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la ONG CONDESAN y al proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica,  
por la oportunidad de aportar al proyecto y de realizar este trabajo.*

*Al profesor Víctor Barrena Arroyo por su asesoramiento durante el proceso de  
elaboración de este documento.*

*A la profesora Rosa María Hermoza, por su apoyo, consejos y amistad durante estos años.*

*Al profesor Carlos Llerena, por haber sido mi mentor y mi amigo, por los consejos y  
apoyo, y por haberme llevado por los caminos del agua.*

*A mis padres y a mi hermano, por creer siempre en mí y darme su apoyo incondicional.*

## RESUMEN

El presente documento describe las actividades desempeñadas bajo el cargo de Especialista en Monitoreo Hidrológico para la ONG Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), dentro del proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (INSH), promovido y financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá y ejecutado por Forest Trends, CONDESAN, la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), EcoDecisión e investigadores del Imperial College London. El proyecto INSH tiene 3 objetivos principales: (i) promover un entorno propicio para la adopción de la infraestructura natural; (ii) mejorar la gestión de la información para la toma de decisiones sobre la infraestructura natural; (iii) proyectos de infraestructura natural diseñados, financiados e implementados. Como parte de las actividades para lograr el objetivo (ii), el proyecto INSH optó por la implementación de sitios de monitoreo ecohidrológico, donde se colectan datos *in situ* y se genera información sobre el impacto de las intervenciones de infraestructura natural en la respuesta hidrológica de una microcuenca. Es así que diseñó e implementó un sitio de monitoreo ecohidrológico en el ámbito de la comunidad de San Andrés de Tupicocha, con la finalidad de generar información sobre el impacto de las intervenciones en la IN conocidas como prácticas de Siembra y Cosecha Agua (SyCA), mediante las que la comunidad gestiona sus recursos hídricos. Dentro de estas prácticas encontramos las amunas, qochas y clausura de pastos. Como resultado se realizó una caracterización del sistema SyCA, y se diseñó e implementó un sistema de monitoreo conformado por una batería de equipos automáticos, los que vienen colectando información de precipitación, temperatura, humedad relativa del aire, radiación, velocidad y dirección del viento, evaporación, nivel de agua en qochas y nivel de agua en amunas.

Palabras clave: monitoreo ecohidrológico, infraestructura natural, San Andrés de Tupicocha, siembra y cosecha de agua, qochas, amunas, clausura de pastos.

## ABSTRACT

This document describes the activities carried out under the position of Hydrological Monitoring Specialist for the NGO Consortium for the Sustainable Development of the Andean Ecoregion (CONDESAN), within the Natural Infrastructure for Water Security (NIWS) project, promoted and financed by the Agency of the United States for International Development (USAID) and the Government of Canada, and executed by Forest Trends, CONDESAN, the Peruvian Society of Environmental Law (SPDA), EcoDecision and researchers from Imperial College London. The NIWS' project has three main objectives: (i) promote an enabling environment for the adoption of natural infrastructure (NI); (ii) improve information management for decision-making on natural infrastructure; (iii) natural infrastructure projects designed, financed, and implemented. As part of the activities to achieve objective two, the NIWS' project implemented ecohydrological monitoring sites looking for collecting data and generating information about the impact of natural infrastructure interventions on the hydrological response of micro watersheds. Thus, an ecohydrological monitoring site was developed and implemented in the area of the community of San Andrés de Tupicocha, in order to generate information on the impact of interventions in the NI known as Water Sowing and Harvesting practices (SyCA), through which the community manages its water resources. SyCA practices of San Andrés de Tupicocha's community are the amunas, the qochas and the closure of pastures. As a result, a characterization of the SyCA system was carried out, and a monitoring system was designed and implemented. Through this system, data of precipitation, temperature, relative humidity of the air, radiation, speed and direction of the wind, evaporation, water level in qochas and water level in amunas, was collected.

Key words: ecohydrological monitoring, natural infrastructure, San Andrés de Tupicocha, water sowing and harvesting, qochas, amunas, closure of pastures.

## **TABLA DE CONTENIDO**

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Objetivos .....	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
III.	DESARROLLO DEL TRABAJO.....	7
3.1.	Descripción de la institución.....	7
3.1.1.	Ubicación .....	7
3.1.2.	Ámbito de intervención.....	7
3.1.3.	Actividad .....	8
3.1.4.	Misión y visión.....	8
3.2.	Descripción general de la experiencia.....	9
3.2.1.	Actividad desempeñada.....	9
3.2.2.	Nombre original del proyecto .....	9
3.2.3.	Resultados Obtenidos.....	9
3.3.	Antecedentes .....	10
3.4.	Descripción del ámbito de trabajo.....	11
3.4.1.	Ubicación .....	11
3.4.2.	Metodología del trabajo .....	17
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1.	Resultados .....	33
4.1.1.	Caracterización del sistema de SyCA de la CC San Andrés de Tupicocha	33
4.1.2.	Diseño de monitoreo .....	46
4.1.3.	Implementación del sistema de monitoreo.....	50
4.2.	Beneficios obtenidos por CONDESAN .....	63
V.	CONCLUSIONES .....	65
VI.	RECOMENDACIONES .....	67
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ecosistemas de la CC San Andrés de Tupicocha.....	14
Tabla 2. Cobertura y uso de suelo de la CC San Andrés de Tupicocha.....	16
Tabla 3. Longitud estimada de amunas en Chullaca y Sansare .....	18
Tabla 4. Medidas estimadas de qochas en Chullaca y Sansare.....	19
Tabla 5. Medidas estimadas de qochas en Chullaca y Sansare.....	21
Tabla 6. Preguntas de monitoreo identificadas por el proyecto INSH.....	26
Tabla 7. Preguntas de monitoreo priorizadas. ....	28
Tabla 8. Resumen de la caracterización de las amunas.....	39
Tabla 9. Resumen de caracterización de qochas .....	44
Tabla 10. Resumen de caracterización de la clausura de pastos .....	46
Tabla 11. Resumen diseño de monitoreo de amunas .....	47
Tabla 12. Resumen diseño de monitoreo de qochas .....	49
Tabla 13. Resumen diseño de monitoreo de clausura de pastos .....	49
Tabla 14. Resumen diseño de monitoreo de cuencas pares .....	50
Tabla 15. Ubicación de sensores para nivel en amunas .....	50
Tabla 16. Ubicación de sensores de nivel de agua en qochas. ....	53
Tabla 17. Tabla 16. Ubicación de sensores de humedad. ....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Amuna de San Andrés de Tupicocha.....	4
Figura 2. Qocha en Huamatanga .....	5
Figura 3. Zanjas de infiltración .....	5
Figura 4. Cuencas priorizadas por el proyecto INSH.....	8
Figura 5. Firma del convenio entre la Comunidad Campesina San Andrés de Tupicocha y el proyecto INSH.....	11
Figura 6. Cuenca Chriluma .....	12
Figura 7. Cuenca del río Lurín .....	13
Figura 8. Microcuencas donde se encuentra el sistema SyCA.....	13
Figura 9. San Andrés de Tupicocha .....	14
Figura 10. Ecosistemas de la CC San Andrés de Tupicocha .....	15
Figura 11. Cobertura y uso de suelo de la CC San Andrés de Tupicocha .....	16
Figura 12. Amunas identificadas en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha.....	18
Figura 13. Amunas identificadas en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha.....	19
Figura 14. Clausura de pastos en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha.....	20
Figura 15. Vista de qochas con el levantamiento topográfico .....	21
Figura 16. Presentación del proyecto INSH a la CC San Andrés de Tupicocha.....	23
Figura 17. Material entregado durante el taller .....	24
Figura 18. Presentación del sistema de monitoreo .....	24
Figura 19. Trabajo en grupos .....	25
Figura 20. Misión y visión de la CC San Andrés de Tupicocha .....	25
Figura 38. Ejemplo de curva de descarga .....	30
Figura 21. Salida de campo para identificación de prácticas SyCA .....	33
Figura 22. Distribución de las amunas caracterizadas de la CC San Andrés de Tupicocha.....	34
Figura 23. Captación amuna Sansare bajo totalmente colmatada.....	35
Figura 24. Tramo de concreto .....	35
Figura 25. Captación de amuna Sansare Alto .....	36
Figura 26. Sección del canal donde canal es reemplazado por tubo .....	37
Figura 27. Canoa en canal amunero Sansare Alto .....	37
Figura 28. Captación de amuna Chullaca Alto .....	38
Figura 29. Sección revestida de concreto.....	38
Figura 30. Sección revestida de concreto.....	39
Figura 31. Distribución de las qochas caracterizadas de la CC San Andrés de Tupicocha .....	40
Figura 32. Qocha 2.....	41
Figura 33. Qocha 3.....	42
Figura 34. Qocha 4.....	42
Figura 35. Qocha 7.....	43
Figura 36. Ubicación de clausura de pasto.....	45
Figura 37. Ubicación de las prácticas SyCA caracterizadas .....	46
Figura 39. Relación nivel-volumen.....	48

Figura 40. Soporte para Arduino en zona media de amuna Sansare bajo.....	51
Figura 41. Soporte para Arduino en captación de amuna Sansare bajo.....	51
Figura 42. Sensor de nivel instalado en caja de seguridad.....	52
Figura 43. Puesta en marcha de sensor de nivel.....	52
Figura 44. Soporte para sensor de nivel en qocha en microcuenca Chullaca .....	53
Figura 45. Soporte instalado en qocha .....	53
Figura 46. Instalación de sensor de nivel en qocha.....	54
Figura 47. Descarga de datos de sensor de nivel.....	54
Figura 48. Tanque evaporímetro tipo A.....	55
Figura 49. Mecanismo del sensor automático del tanque evaporímetro .....	55
Figura 50. Señor Carlos Melo, de la CC San Andrés de Tupicocha, llenando el tanque....	56
Figura 51. Estación meteorológica al lado del tanque evaporímetro .....	56
Figura 52. Pluviómetro en zona de qochas .....	57
Figura 53. Estación central para los sensores de humedad .....	58
Figura 54. Sensores de humedad instalados a diferentes profundidades. ....	59
Figura 55. Distribución de pluviómetros en el ámbito de la CC San Andrés de Tupicocha	60
Figura 56. Pluviómetro SAT_PO_04 instalado .....	60
Figura 57. Pluviómetro SAT_PO_01 instalado .....	61
Figura 58. Pluviómetro SAT_PO_07 instalado .....	61
Figura 59. Ubicaciones seleccionadas para los vertederos mixtos.....	62
Figura 61. Distribución de equipos para monitoreo a escala de microcuencas.....	63

## I. INTRODUCCIÓN

En enero de 2018 se inicia el proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (INSH), promovido y financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá y ejecutado por Forest Trends, el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), EcoDecisión e investigadores del Imperial College London. El proyecto INSH promueve la conservación, restauración y recuperación de los ecosistemas a nivel nacional con el fin de reducir los riesgos hídricos como sequías e inundaciones, mediante la generación de alianzas con organizaciones públicas y privadas. El proyecto tiene 3 actividades principales: i) Promover un entorno propicio para la adopción de la infraestructura natural; ii) Mejorar la gestión de la información para la toma de decisiones sobre infraestructura natural; iii) Proyectos de infraestructura natural diseñados, financiados e implementados. En este marco, el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN) lidera las actividades ii y iii. CONDESAN cuenta con un equipo de gestión del conocimiento que está encargado de generar y gestionar información de infraestructura natural para la mejora de toma de decisiones.

Las prácticas de siembra y cosecha de agua vienen siendo promovidas durante años en nuestro país. Encontramos a programas nacionales como PRONAMACHS, Sierra Azul, así como a instituciones como Agrorural, que destinan millones de soles de su presupuesto a la implementación de estas prácticas: amunas, qochas, zanjas de infiltración, terrazas, andenes y clausura de pastos. Sin embargo, aún no existe evidencia robusta del impacto o beneficio obtenidas por la implementación de estas prácticas, debido a que no se ha realizado un monitoreo robusto a los proyectos implementados con anterioridad. El proyecto INSH ha identificado este vacío de conocimiento y ha desarrollado revisiones sistemáticas con la finalidad de encontrar evidencia existente que permita disminuir el vacío de conocimiento existente. Asimismo, ha realizado algunas investigaciones con el fin de disminuir esta brecha. Sin embargo, aún queda este vacío de conocimiento sobre estas intervenciones.

El presente documento tiene como objetivo dar a conocer la experiencia en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo ecohidrológico para evidenciar el impacto de las prácticas de siembra y cosecha de aguas en la hidrología de microcuencas andinas. Esta experiencia se llevó a cabo en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha, ubicada a más de 3300 msnm en la cuenca del río Lurín. Esta comunidad es reconocida por

gestionar un sistema de siembra y cosecha de agua con prácticas ancestrales como las amunas y las qochas. Para este fin se consideraron los siguientes objetivos específicos: i) caracterizar las intervenciones de siembra y cosecha de agua en la CC San Andrés de Tupicocha, ii) determinar la metodología a utilizar para el monitoreo ecohidrológico del impacto potencial de las prácticas; iii) diseñar el sistema de monitoreo; e iv) implementar el sistema de monitoreo.

## **Objetivos**

### **i. Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo ecohidrológico que permita cuantificar el impacto de las intervenciones de siembra y cosecha de agua en el servicio de regulación hídrica, en la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha, cuenca alta del río Lurín.

### **ii. Objetivos específicos**

- Caracterizar las intervenciones de siembra y cosecha de agua en la CC San Andrés de Tupicocha.
- Determinar la metodología a utilizar para el monitoreo ecohidrológico del impacto potencial de las prácticas.
- Diseñar el sistema de monitoreo.
- Implementar el sistema de monitoreo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

Buytaert et al. (2006) señalan que los ecosistemas localizados en la parte alta de la cuenca cumplen funciones importantes para los habitantes de la zona media y baja, tanto ecológicas como económicas. Más del 50% de la población en el mundo depende del agua proveniente de la zona de montañas para su consumo diario, industria, agricultura, alimentación, hidroeléctricas, y otros propósitos (Molina et al., 2007). Asimismo, Kholer et al. (2004), señala que el agua proveniente de los ecosistemas de montaña representa un volumen muy importante en 65 países, los que utilizan el 75 por ciento del agua disponible en la producción de alimentos.

Los ecosistemas andinos tropicales sufren un gran impacto debido al cambio climático. Estos ecosistemas presentan dos estaciones muy marcadas: la época de lluvia y la época de estiaje; y es durante la época de estiaje en que la gestión del agua significa todo un reto debido a que el volumen producido en las cuencas no es suficiente para abastecer a toda la población, por lo que estas dependen de reservorios, manantiales perennes y pozos subterráneos.

Según la Ley de mecanismos de retribución de servicios ecosistémicos (Ley N°30215, 2014) se conocen como servicios ecosistémicos (SE) a los beneficios económicos, sociales y ambientales, que la población obtiene de los ecosistemas que se encuentran en buen funcionamiento. La regulación hídrica es un SE hídrico, y se define como la capacidad que tiene el ecosistema para almacenar el agua durante la época de lluvia y liberarla durante la época de estiaje (SUNASS, 2017). Asimismo, existen prácticas antrópicas que pueden ayudar a este proceso de regulación, almacenando el agua en la superficie o en el suelo, como las represas, reservorios, qochas, zanjas de infiltración, amunas, clausura de pastos, etc. Estas prácticas son conocidas en el Perú como prácticas de siembra y cosecha de agua (SyCA).

Las intervenciones SyCA son un conjunto de técnicas ancestrales cuyo fin es retener, almacenar e infiltrar en el suelo, el agua que precipita en época de lluvia, para ser aprovechadas en época de estiaje (Taboada, R. 2020). Estas tecnologías han ganado atención durante las últimas décadas, por lo que diferentes programas estatales como PRONAMACHS, Sierra Azul y Agro Rural, promueven su implementación en territorio peruano, destinando millones de soles. Sin embargo, aún existe una brecha por cubrir relacionada a la evidencia científica del impacto de todas estas intervenciones en el servicio de regulación hídrica (Ochoa-Tocachi, B. et al. 2019).

Las amunas son una técnica ancestral de más de 1,500 años de antigüedad, en donde los canales divergen el agua de las quebradas durante la época de lluvias, y las conducen por las laderas de las montañas, incentivando la infiltración del agua (Ochoa-Tocachi, B. et al, 2019). Esta técnica ha sido conservada por los comuneros de San Andrés de Tupicocha hasta la actualidad, debido a su importancia en la gestión del agua y en sus tradiciones.



*Figura 1. Amuna de San Andrés de Tupicocha*

Las qochas son reservorios de agua que permiten la captación y almacenamiento del agua de lluvias (FONCODES, 2015). Se pueden formar en depresiones naturales, en donde se construye un dique con materiales disponibles de las zonas; o pueden ser construidos, en donde se realiza mediante trabajo manual o se pueden utilizar máquinas. Las qochas en San Andrés de Tupicocha han sido construidas hace 10 años aproximadamente, mediante presupuesto de la municipalidad del distrito.



*Figura 2. Qocha en Huamatanga*

Las zanjas de infiltración son trincheras de tierra construidas en laderas siguiendo las curvas de nivel y buscan captar el agua de lluvia que escurre en las laderas e infiltrarla en el suelo. Sin embargo, no hay suficiente evidencia que demuestre que esta experiencia aumente la infiltración de agua en el suelo (Locatelli, et al., 2020).



*Figura 3. Zanjas de infiltración*

La clausura de pastos consiste en excluir un área del pastoreo, para que la vegetación y el suelo puedan recuperarse. Esto permitirá que disminuya la velocidad del escurrimiento superficial y aumentar la infiltración del agua en el suelo (FONCODES, 2015).

Una de las figuras para la inversión de fondos públicos en la conservación y recuperación de los servicios ecosistémicos son los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos, conceptualizados como herramientas, esquemas, incentivos que permiten canalizar e invertir fondos en la conservación, recuperación y uso sostenible de las fuentes de los servicios ecosistémicos (Ley N°30215, 2014). Uno de los limitantes para la implementación de estos fondos a escala nacional es la brecha de información aún existente sobre el diseño, implementación e impacto de las intervenciones en los ecosistemas. Es por esto que se hace necesario generar información que permita mejorar la gestión hídrica y la toma de decisiones.

En el 2019, Ochoa-Tocachi, B. et al. realizaron una investigación sobre amunas, donde encontraron que el agua infiltrada por estas queda retenida en el subsuelo por un promedio de 45 días, antes de resurgir a la superficie. Asimismo, Locatelli, B. et al. (2020) realizaron una revisión sistemática de 57 estudios donde encontraron que no existe suficiente evidencia para asegurar que las zanjas de infiltración aumentan o no la tasa de infiltración en los suelos.

### **III. DESARROLLO DEL TRABAJO**

#### **Descripción de la institución**

El Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN) es una organización no gubernamental (ONG) con sede en dos países: Perú y Ecuador. Trabaja por la conservación de los ecosistemas de montaña y el bienestar de las comunidades rurales de la comunidad andina. Cuenta con un aproximado de 25 años de existencia, en los que ha liderado más de 50 programas y proyectos relacionados a las tres prioridades temáticas: biodiversidad, cuencas andinas y medios de vida.

Desde el año 2017, CONDESAN es socio ejecutor del proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (INSH), promovido y financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá. Este proyecto es ejecutado por un consorcio formado por Forest Trends, la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), EcoDecisión, investigadores del Imperial College London y CONDESAN. El proyecto INSH promueve la conservación, restauración y recuperación de los ecosistemas a nivel nacional con el fin de reducir los riesgos hídricos como sequías e inundaciones, mediante la generación de alianzas con organizaciones públicas y privadas. (Forest Trends, 2022)

#### **Ubicación**

La oficina de CONDESAN en Perú está ubicada en calle Las Codornices N° 253, Surquillo – Lima. El proyecto INSH cuenta con sede en Avenida Ricardo Palma N° 698, Miraflores – Lima, por lo que las actividades presentadas en este documento, cuando se realizaron en oficina, se llevaron a cabo en esta sede. Las actividades en campo se realizaron en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha, en el distrito de San Andrés de Tupicocha – Huarochirí.

#### **Ámbito de intervención**

El proyecto INSH tiene como ámbito de intervención todo el territorio peruano. Sin embargo, como estrategia para poder enfocar sus actividades y tener impacto a nivel territorial, ha priorizado 6 cuencas hidrográficas:

- Cuenca Chira-Piura, en la región Piura;
- Cuenca Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro, en la región Lima;

- Cuenca Quilca-Chili, en la región Arequipa;
- Cuenca Tambo-Moquegua, en la región Moquegua;
- Cuenca Mayo, en la región San Martín;
- y Cuenca Vilcanota- Urubamba, en la región Cusco. (Forest Trends, 2022)

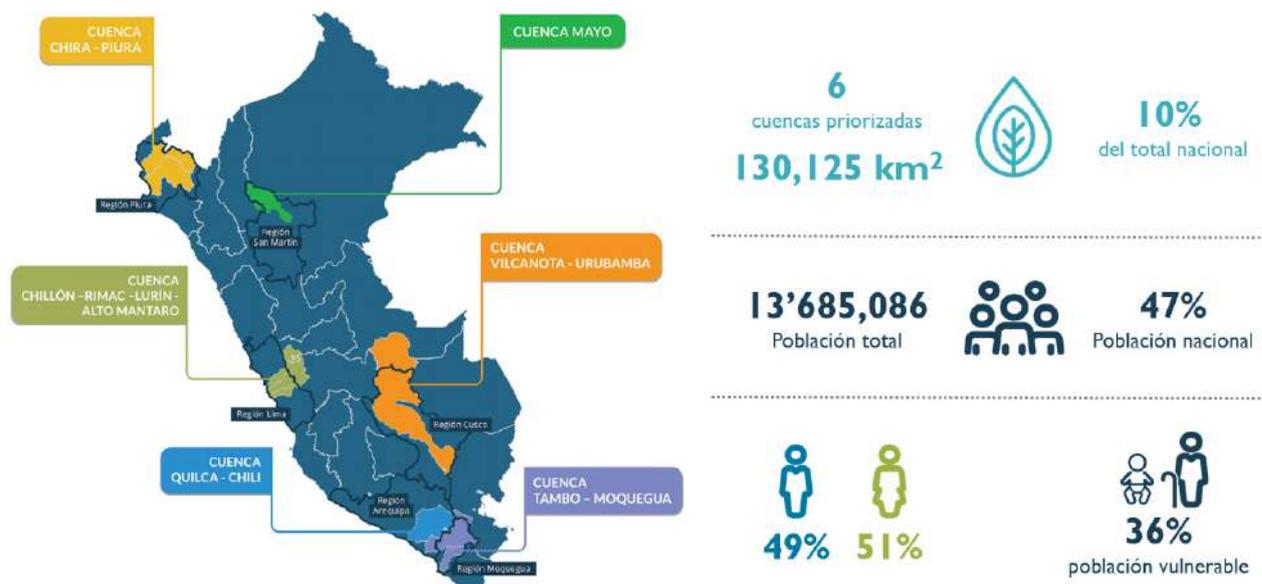


Figura 4. Cuencas prioritizadas por el proyecto INSH

## Actividad

Con el fin de lograr la conservación de los ecosistemas de montañas y el bienestar de las comunidades rurales de la región andina, CONDESAN desempeña acciones en tres líneas temáticas: La gestión integral de cuencas, la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos naturales, y la implementación de vidas sostenibles.

## Misión y visión

### i. Misión

“Ayudar a las poblaciones rurales andinas, a los gobiernos nacionales y a los organismos regionales a tomar las mejores decisiones en cuanto a conservación y desarrollo. Motivamos la utilización del conocimiento más actual sobre el medio ambiente y las sociedades andinas, promovemos el diálogo de políticas a distintos niveles y fortalecemos el capital humano para contar con nuevos líderes del desarrollo sostenible” (CONDESAN, 2022)

## **ii. Visión**

“Ser la organización con mayores capacidades en la región andina para lograr que las poblaciones de los Andes integren el ambiente en sus estrategias de desarrollo.”  
(CONDESAN, 2022)

## **Descripción general de la experiencia**

### **Actividad desempeñada**

El puesto de especialista de monitoreo hidrológico que he ejercido como parte del equipo de CONDESAN y del proyecto INSH, se enfoca en la coordinación, seguimiento y asistencia técnica a las actividades de monitoreo hidrológico del proyecto, en particular las relacionadas a los sitios de monitoreo hidrológico en las cuencas priorizadas y a la Iniciativa regional de monitoreo hidrológico de ecosistemas andinos (iMHEA).

En el presente documento se desarrolla las actividades relacionadas al diseño e implementación de un sitio de monitoreo ecohidrológico en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha, en el distrito de San Andrés de Tupicocha, provincia de Huarochirí.

Desde mi posición en la institución he liderado las siguientes actividades:

- i. Caracterización del sistema de siembra y cosecha de agua.
- ii. Selección de la metodología de monitoreo hidrológico para cada práctica.
- iii. Diseño e implementación del sistema de monitoreo.

### **Nombre original del proyecto**

El nombre original del proyecto bajo el marco en el que se han desarrollado las actividades presentadas en este documento es “Natural Infrastructure for Water Security”, siendo el nombre en español “Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica”.

### **Resultados Obtenidos**

Los resultados obtenidos mediante las actividades desarrolladas son:

- Caracterización de las prácticas de siembra y cosecha de agua de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha: 5 amunas, 14 qochas y clausura de pastos.
- Diseño de sistema de monitoreo hidrológico por práctica: amunas, qochas, clausura de pastos.

- Implementación del sistema de monitoreo hidrológico: 1 estación meteorológica, 1 tanque evaporímetro, 7 pluviómetros, 6 sensores de nivel en 4 amunas y 3 sensores de nivel en 3 qochas.

Es así que CONDESAN y el proyecto INSH cuentan con un sitio de monitoreo ecohidrológico en la cuenca alta del río Lurín, donde se están generando datos que permitirán estimar el impacto de las prácticas de siembra y cosecha de agua en la hidrología de microcuencas andinas, brecha de información que aún está pendiente por cubrir. Esta información ayudará a mejorar la toma de decisiones con respecto a la implementación de estas prácticas, y apoyará a los tomadores de decisión a mejorar las estrategias para la gestión integrada de recursos hídricos.

### **Antecedentes**

El proyecto INSH tiene como objetivo principal la promoción de la conservación, restauración y recuperación de los ecosistemas a nivel nacional con el fin de reducir los riesgos hídricos como sequías e inundaciones, mediante la generación de alianzas con organizaciones públicas y privadas. Tiene como una de sus actividades principales mejorar la gestión de la información para la toma de decisiones sobre la infraestructura natural.

La comunidad campesina de San Andrés de Tupicocha es una comunidad ubicada en la cuenca alta del río Lurín. Esta comunidad tiene la misión de “conservar sus suelos mediante la forestación, clausura de praderas, construcción de zanjas de infiltración, diques, qochas y conservar las amunas”.

El 08 de mayo del 2021 se firma el Memorando de entendimiento entre la Comunidad Campesina de San Andrés de Tupicocha y Forest Trends, en representación del proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica. Este convenio tiene como objetivo “la implementación de un sistema de monitoreo ecohidrológico que permita cuantificar los beneficios hidrológicos de las intervenciones en infraestructura natural en la comunidad de San Andrés de Tupicocha.”



*Figura 5. Firma del convenio entre la Comunidad Campesina San Andrés de Tupicocha y el proyecto INSH.*

## **Descripción del ámbito de trabajo.**

### **Ubicación**

El río Lurín es uno de los cuatro ríos que abastecen de agua a la ciudad de Lima Chillón, Rímac, Lurín y alto Mantaro; y es una de las cuencas priorizadas para la implementación de las actividades del proyecto INSH.

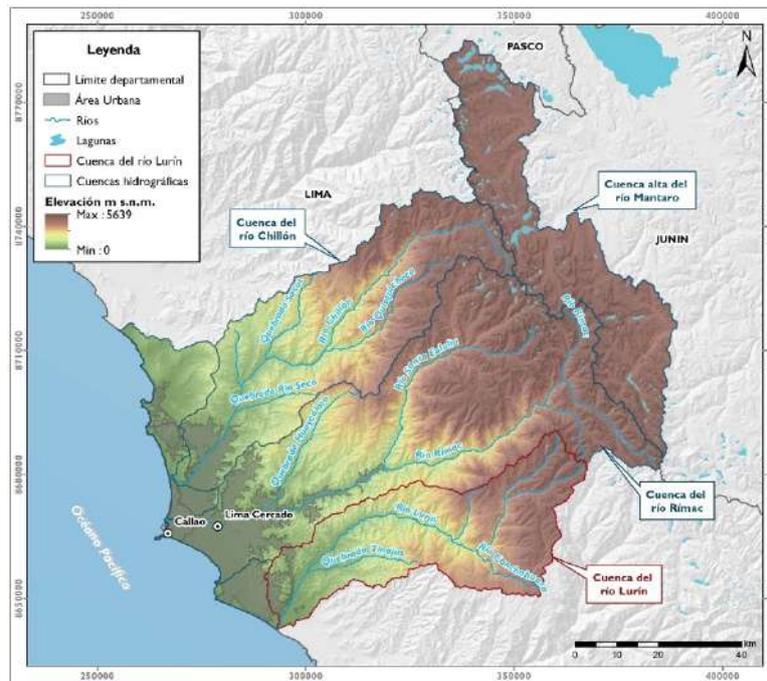


Figura 6. Cuenca Chiriluma

La cuenca del río Lurín está ubicada al sureste de la ciudad de Lima, cuenta con un área de 1670 km<sup>2</sup> y un perímetro de 257,56 km. Tiene su origen en el nevado Surococha (5300 m.s.n.m.) y descarga sus aguas en el Océano Pacífico. La precipitación pluvial tiene una relación directa con respecto a la altitud, teniendo así una precipitación casi nula en la costa, hasta un promedio de 650 mm en la cuenca alta (5000 m.s.n.m.). (INRENA, 2004; León, C. et al, 2021; Moreno, J. et al, 2021)

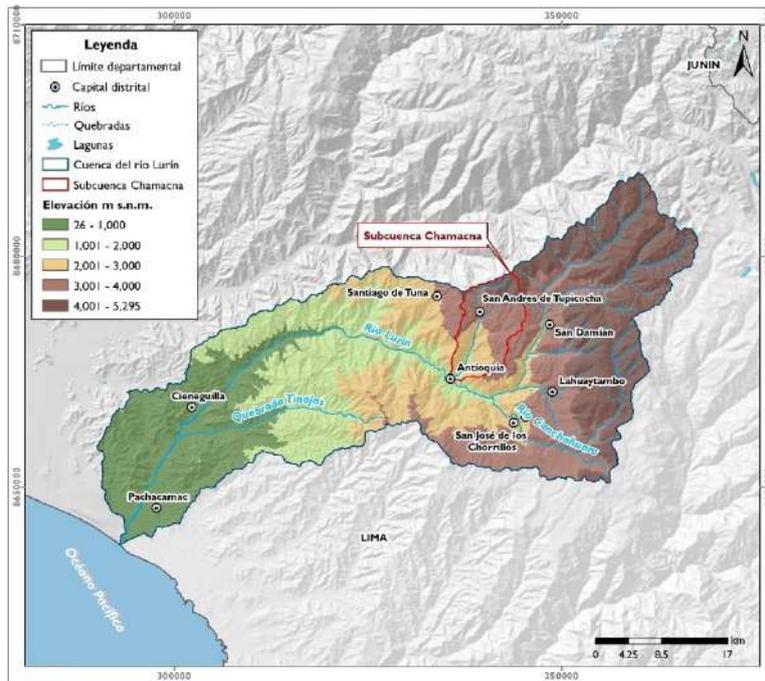


Figura 7. Cuenca del río Lurín

Las actividades descritas en este documento fueron realizadas en la cuenca alta del río Lurín, en el ámbito de la comunidad campesina (CC) San Andrés de Tupicocha, en el distrito de San Andrés de Tupicocha, en la provincia de Huarochirí, en la región Lima. La CC se ubica a una altitud de 3300 msnm y cuenta con una superficie de 118 km<sup>2</sup> aproximadamente (CONDESAN, 2022).

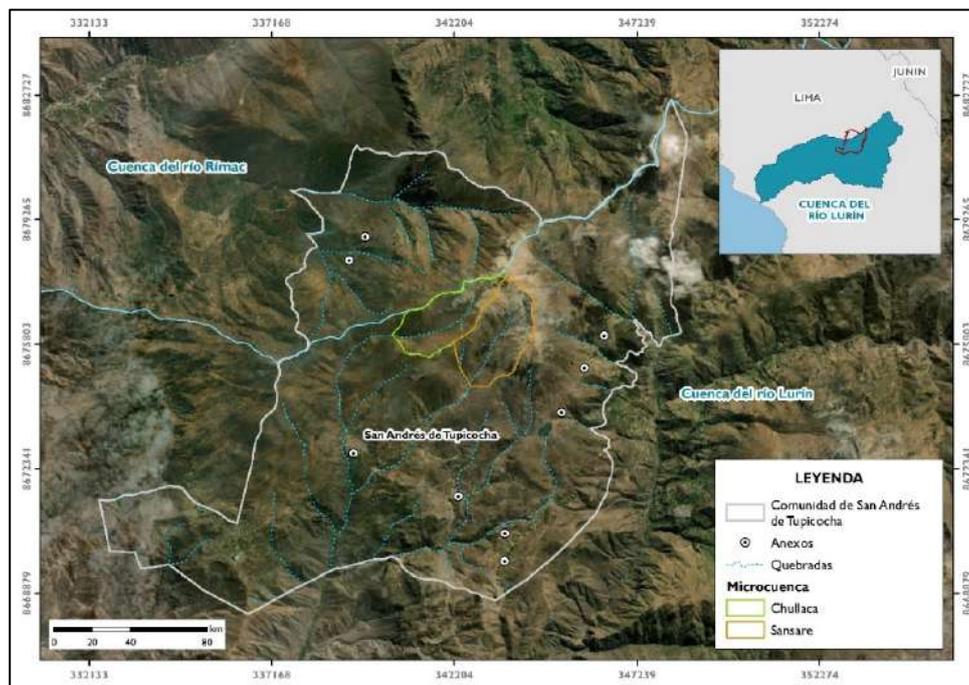


Figura 8. Microcuencas donde se encuentra el sistema SyCA

La CC San Andrés de Tupicocha está formada por el pueblo principal de nombre Tupicocha, y sus anexos. Cuenta con una población de aproximadamente 780 habitantes en el pueblo principal, y alrededor de 654 personas en los anexos, haciendo un total de 1400 personas aproximadamente. (León, C. et al, 2021)



*Figura 9. San Andrés de Tupicocha*

Según el mapa nacional de ecosistemas (MINAM, 2018), la CC San Andrés de Tupicocha presenta como ecosistema dominante el matorral andino (55%), seguido del pajonal de puna húmeda (40%), zona agrícola y el bosque relicto mesoandino (1%).

*Tabla 1. Ecosistemas de la CC San Andrés de Tupicocha*

<b>Ecosistema</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>%</b>
Bosque relicto mesoandino	169.82	Br-ma	1
Matorral andino	6,412.08	Ma	55
Pajonal de puna húmeda	4,650.86	Pjph	40
Zona agrícola	488.81	Agri	4
Área Comunidad SAT	11,722.00		

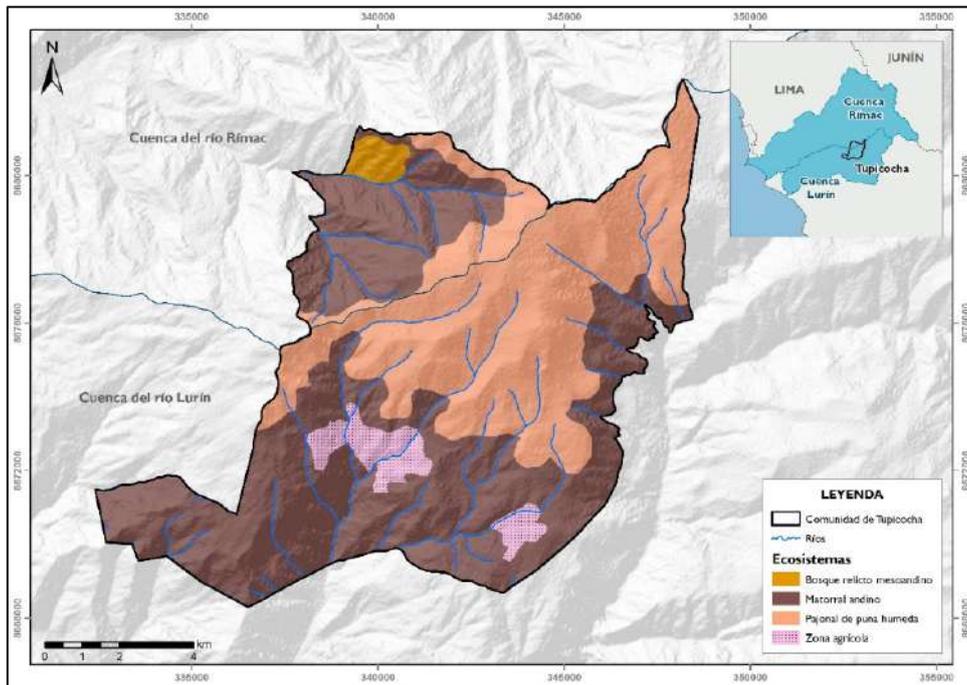


Figura 10. Ecosistemas de la CC San Andrés de Tupicocha

Durante el 2020, el proyecto INSH realizó un análisis de cobertura y uso de suelo, determinando que el matorral presenta la mayor área (5647 ha), seguido por el pajonal (4228 ha) y la categoría sin vegetación altoandina (423 ha). En la tabla N°2 se puede observar la categorización completa de cobertura y uso de suelo.

Tabla 2. Cobertura y uso de suelo de la CC San Andrés de Tupicocha

Cobertura y Uso	Área (ha)	%
<b>Matorral</b>	5,647.50	48
<b>Pajonal</b>	4,228.20	36
<b>Sin vegetación Altoandina</b>	432.18	4
<b>Cultivos</b>	397.89	3
<b>Arenales</b>	306.99	3
<b>Bosque</b>	273.06	2
<b>Bofedal</b>	214.38	2
<b>Cardonal</b>	131.22	1
<b>Mosaico Agropecuario</b>	61.92	1
<b>Pastizales</b>	16.92	0
<b>Agua - Lagos - Lagunas</b>	11.52	0
<b>Desierto</b>	1.44	0
<b>Área Comunidad SAT</b>	11,722.00	

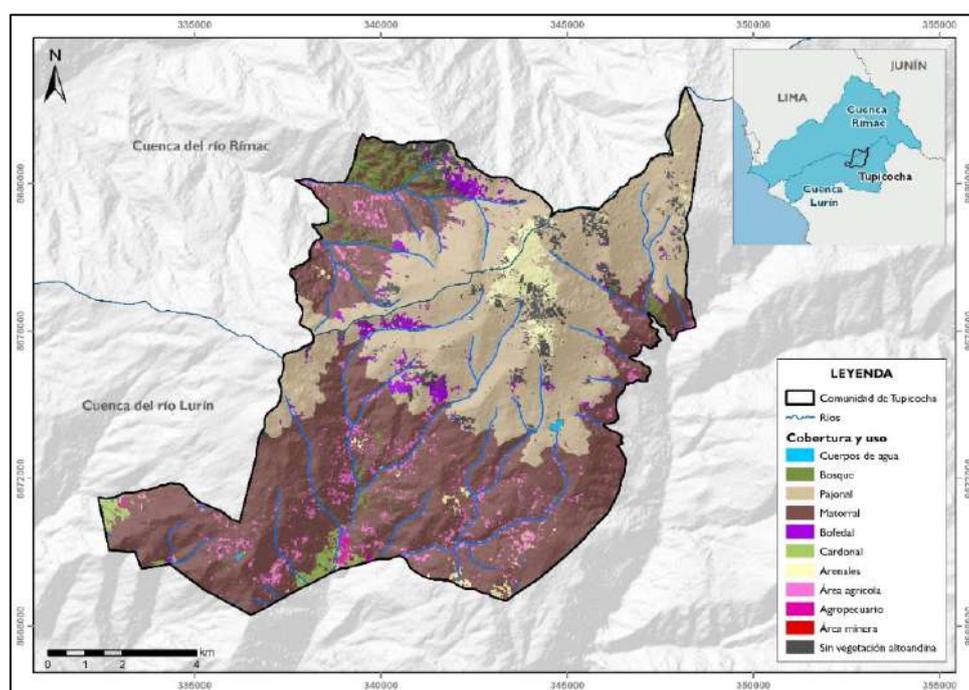


Figura 11. Cobertura y uso de suelo de la CC San Andrés de Tupicocha

La CC San Andrés de Tupicocha presenta una precipitación promedio anual de 434.6 mm, y una estacionalidad muy marcada: una temporada de lluvias entre los meses de diciembre a abril; y una temporada de estiaje muy seca, entre mayo a noviembre (Forest Trends, 2021). Es

por esto que la gestión del agua en la comunidad es sumamente importante para el abastecimiento de la población y para el desarrollo de las actividades agropecuarias. Esto no ha sido ajeno a los comuneros de San Andrés de Tupicocha, quienes durante generaciones han implementado y conservado un sistema de siembra y cosecha (SyCA) de agua, el que está conformado por prácticas como las amunas, qochas, zanjias de infiltración y clausura de pastos. Este sistema está ubicado en las cabeceras de dos microcuencas que abastecen de agua a la comunidad, las microcuencas Chullaca y Sansare.

## **Metodología del trabajo**

### **Caracterización del sistema de SyCA de la CC San Andrés de Tupicocha**

La caracterización del sistema de siembra y SyCA de agua se realizó mediante el uso de diferentes fuentes de información:

#### **i. Información secundaria**

Se recopiló y revisó fuentes de información secundaria sobre las amunas de la CC San Andrés de Tupicocha, lo que sirvió para identificar el ámbito de la CC, el contexto social, la gestión de sus recursos hídricos y el sistema de SyCA que se tiene en la comunidad. Asimismo, se identificaron las prácticas SyCA que existían en la comunidad: amunas, qochas y clausura de pastos.

#### **ii. Uso de imágenes**

##### **Google Earth Pro**

Las imágenes en Google Earth Pro permitieron realizar una primera caracterización de las prácticas SyCA de la CC San Andrés de Tupicocha. Mediante estas imágenes se identificaron las zonas donde se encuentran las amunas, qochas y la clausura de pastos. Asimismo, permitieron estimar algunas características de estas prácticas, las que posteriormente fueron corroboradas durante los recorridos de campo.

En el caso de las amunas, las imágenes permitieron corroborar la presencia de amunas en las microcuencas Chullaca y Sansare, 3 en cada una.

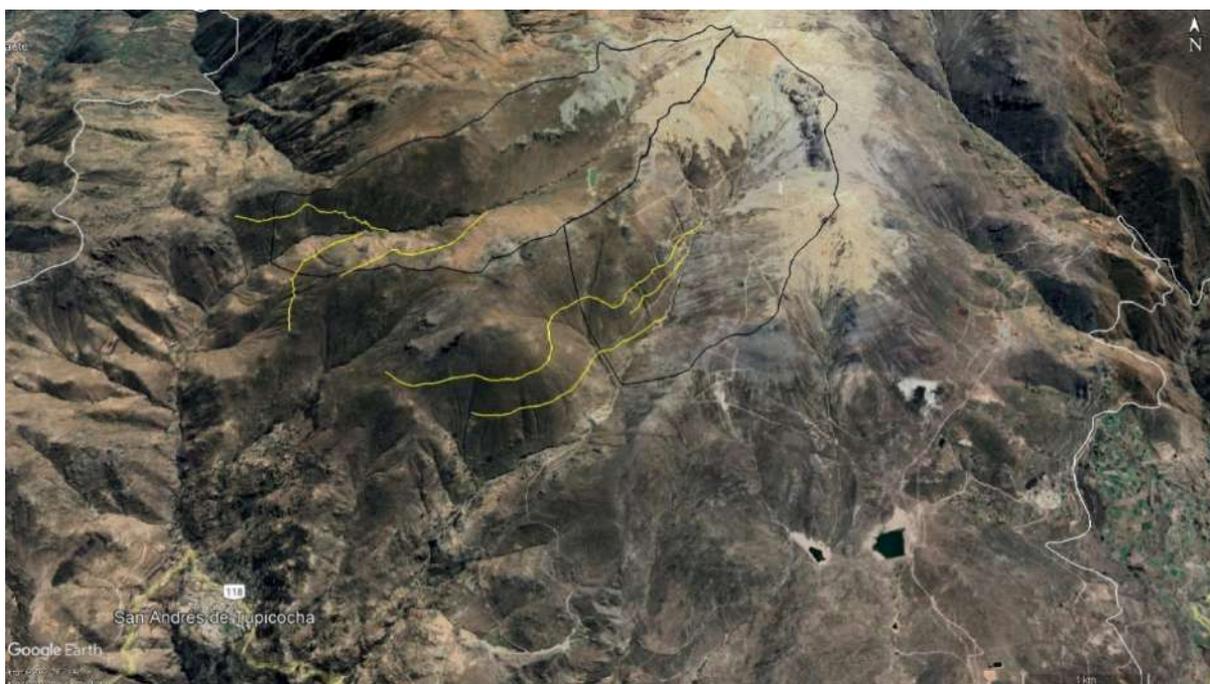


Figura 12. Amunas identificadas en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha

Mediante el uso de las imágenes de Google Earth también se estimó la longitud de las amunas identificadas, tal como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Longitud estimada de amunas en Chullaca y Sansare

Nombre de la amuna	Longitud (km)
Chullaca alto	1.42
Chullaca medio	1.57
Chullaca bajo	1.28
Sansare alto	3.47
Sansare medio	0.74
Sansare bajo	1.86

Para el caso de las qochas, se identificaron 6 en la microcuenca Chullaca y, 7 en Sansare. Estas se encuentran ubicadas en un rango altitudinal entre 4300 y 4580 msnm.



Figura 13. Amunas identificadas en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha

Las imágenes permitieron estimar las medidas (ancho y largo) de las qochas, mas no su profundidad. En el siguiente cuadro se pueden observar estas medidas.

Tabla 4. Medidas estimadas de qochas en Chullaca y Sansare

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Microcuenca</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>
<b>Q1</b>	Qocha_1	Chullaca	48	178
<b>Q2</b>	Qocha_2	Chullaca	32	54
<b>Q3</b>	Qocha_3	Chullaca	37	42
<b>Q4</b>	Qocha_4	Chullaca	20	58
<b>Q5</b>	Qocha_5	Chullaca	15	51
<b>Q6</b>	Qocha_6	Chullaca	14	47
<b>Q7</b>	Qocha_7	Sansare	13	59
<b>Q8</b>	Qocha_8	Sansare	22	66
<b>Q9</b>	Qocha_9	Sansare	22	68
<b>Q10</b>	Qocha_10	Sansare	20	55
<b>Q11</b>	Qocha_11	Sansare	39	30
<b>Q12</b>	Qocha_12	Sansare	13	37
<b>Q13</b>	Qocha_13	Sansare	26	109

En el caso de la clausura de pastos, se estimó que la zona protegida cuenta con un perímetro de 4.22 km y un área de 1 km<sup>2</sup>. El cerco de protección se puede apreciar en la imagen 4.



*Figura 14. Clausura de pastos en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha*

### **Estudio fotogramétrico**

Mediante un servicio de la empresa GGREEN se realizó un levantamiento fotogramétrico de las microcuencas, las que fueron divididas en 3 zonas: Zona A, zona B y zona C. En el caso de las imágenes se obtuvo una distancia de muestreo del suelo (GSD) resultante de 2,13 cm para la zona A, 5,36 cm en la zona B y 5,23 cm para la zona C. Asimismo, se obtuvieron modelos de elevación con una precisión de  $\pm 8$  cm para la zona C,  $\pm 15$  cm para la zona A y de  $\pm 54$  cm para la zona B. Las imágenes y los modelos Estas imágenes fueron utilizadas para caracterizar con mayor detalle las qochas, obteniendo con mayor precisión las medidas de ancho, largo y profundidad.

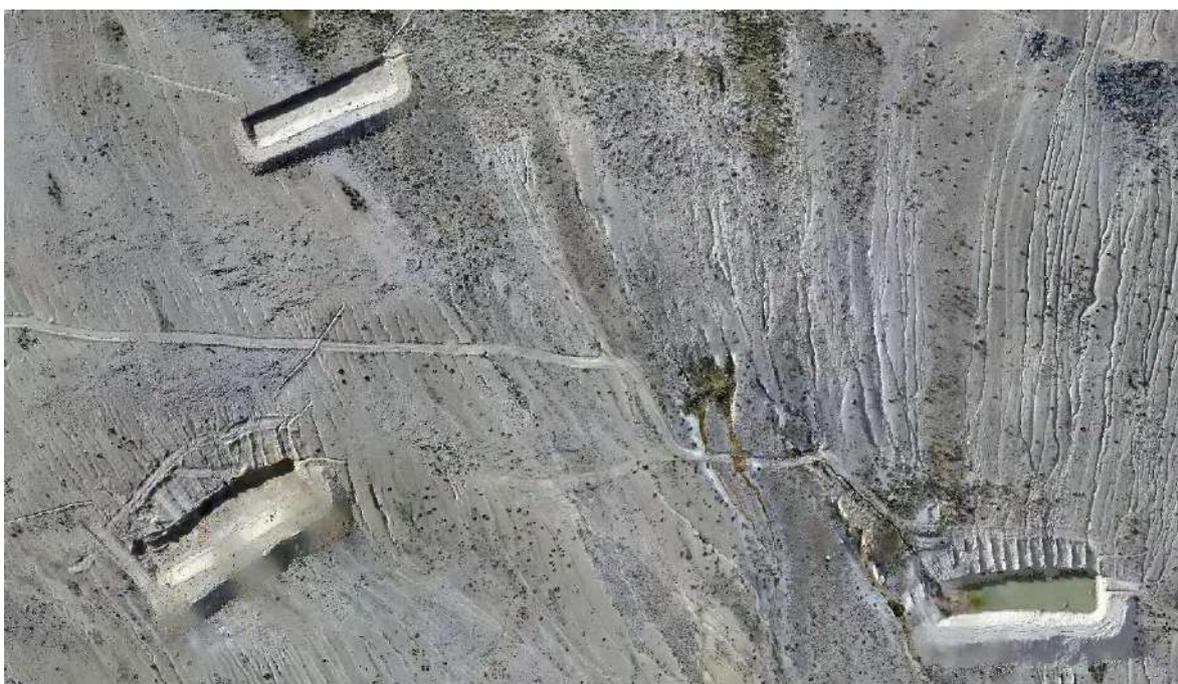


Figura 15. Vista de qochas con el levantamiento topográfico

Tabla 5. Medidas estimadas de qochas en Chullaca y Sansare

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Microcuenca</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Q1</b>	Qocha_1	Chullaca	54	180	Aparentemente en funcionamiento
<b>Q2</b>	Qocha_2	Chullaca	47	56	Aparentemente no está en funcionamiento
<b>Q3</b>	Qocha_3	Chullaca	45	48	Aparentemente en funcionamiento
<b>Q4</b>	Qocha_4	Chullaca	28	59	Aparentemente en funcionamiento
<b>Q5</b>	Qocha_5	Chullaca	14	50	Aparentemente en funcionamiento
<b>Q6</b>	Qocha_6	Chullaca	14	47	Aparentemente en funcionamiento
<b>Q7</b>	Qocha_7	Sansare	14	61	Aparentemente en funcionamiento

<b>Q8</b>	Qocha_8	Sansare	23	73	Aparentemente en funcionamiento
<b>Q9</b>	Qocha_9	Sansare	22	69	Aparentemente en funcionamiento
<b>Q10</b>	Qocha_10	Sansare	25	60	Aparentemente no está en funcionamiento
<b>Q11</b>	Qocha_11	Sansare	35	52	Aparentemente no está en funcionamiento
<b>Q12</b>	Qocha_12	Sansare	9	35	Aparentemente en funcionamiento
<b>Q13</b>	Qocha_13	Sansare	27	109	Aparentemente en funcionamiento

### **iii. Inventario *in situ* de intervenciones de SyCA.**

Se realizaron diferentes salidas de campo donde se recorrieron las microcuencas Chullaca y Sansare, con el fin de corroborar la información sobre las prácticas SyCA, obtenidas en gabinete.

- En el caso de las amunas se recorrieron cuatro de los cinco canales identificados, desde la captación en la quebrada hasta la zona de descarga, con lo que se pudo describir a detalle las amunas y generar ideas del monitoreo a realizar en los canales.
- Para las qochas, se identificaron cuáles estaban en funcionamiento y cuales no, con el fin de seleccionar las qochas a monitorear.
- Para la clausura de pastos, se visitó la zona de transición entre la zona de protección y la zona de pastoreo, con el fin de decidir el monitoreo a realizar en la zona.

### **iv. Conocimiento local recogido durante taller y reunión con representantes de la comunidad.**

Se realizó un taller donde participaron los representantes de la comunidad San Andrés de Tupicocha y de todos los anexos. En este taller se presentaron los mapas desarrollados con la información recogida durante la caracterización. El objetivo del taller fue presentar el trabajo de monitoreo que se realizaría en el ámbito de la comunidad; las preguntas de monitoreo seleccionadas por el proyecto INSH con el fin de conocer las preguntas de

monitoreo de su interés para añadirlas a nuestra investigación; e identificar y validar ubicación, características y nombres de las intervenciones.

La metodología utilizada para este taller con líderes comunales se dividió en cuatro momentos:

- Presentación del proyecto INSH: Se realizó un breve resumen del proyecto INSH, con énfasis en el trabajo que realiza el equipo del componente 2 “Gestión y generación del conocimiento”. Asimismo, se explicaron los detalles del convenio entre la CC San Andrés de Tupicocha y el proyecto INSH.



*Figura 16. Presentación del proyecto INSH a la CC San Andrés de Tupicocha*



Figura 17. Material entregado durante el taller

- Presentación sobre el monitoreo hidrológico y el porqué es importante para la toma de datos y generación de información acerca del funcionamiento de las prácticas SyCA. Asimismo, se hizo énfasis en que esta información permitiría mejorar la toma de decisiones de la comunidad con respecto a la gestión de sus recursos hídricos.



Figura 18. Presentación del sistema de monitoreo

- Dinámica donde los comuneros se dividieron en 3 grupos. Se presentaron 3 mapas similares para presentar la información base de Tupicocha, información de monitoreo y preguntas a responder con el monitoreo.



Figura 19. Trabajo en grupos

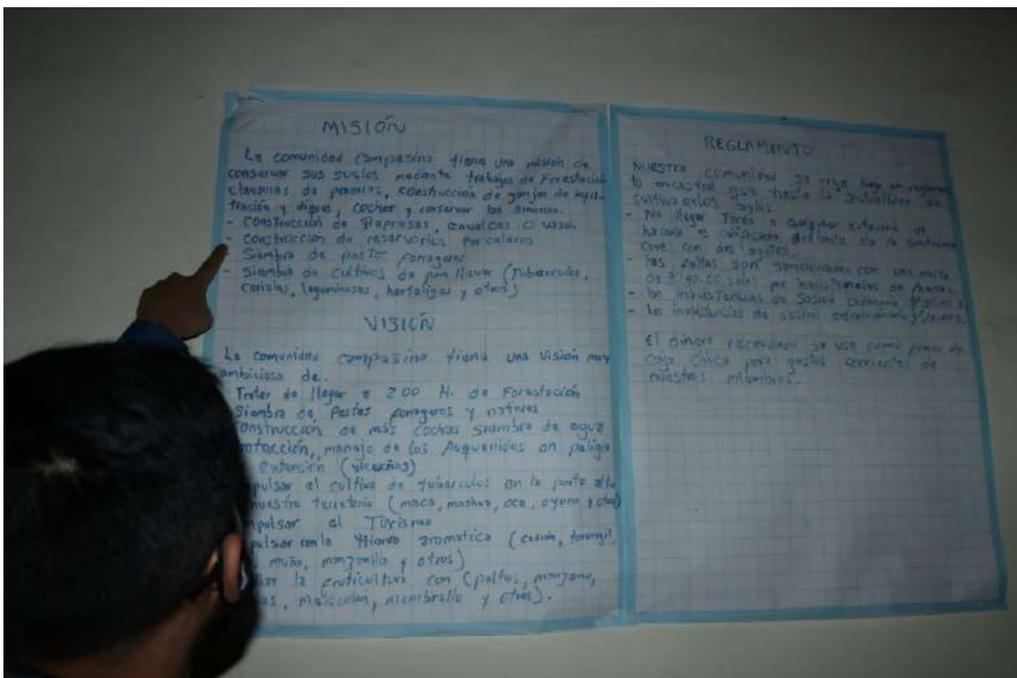


Figura 20. Misión y visión de la CC San Andrés de Tupicocha

Durante el taller se identificó que la comunidad está interesada en obtener información de lo siguiente:

- Volumen de agua producido por las microcuencas. Esto con el fin de contar con la oferta de cada microcuenca, ya que cuentan con planes de instalar más presas en el ámbito de la comunidad.
- Beneficios en volumen obtenidos por las qochas instaladas en las cabeceras de las microcuencas Chullaca y Sansare.
- Beneficios en volumen obtenidos por la amunas ubicadas en las microcuencas Chullaca y Sansare.
- Zonas de descarga de amunas y qochas, ya que tienen hipótesis de que su sistema de SyCA no solo los beneficia a ellos, sino a comunidades que están en zonas más bajas.

### Selección de la metodología de monitoreo hidrológico

Luego de caracterizar el sistema de SyCA de la comunidad San Andrés de Tupicocha, y las intervenciones que hacen parte de este: amunas, qochas, clausura de pastos; además de conocer el interés de la comunidad con respecto a la información necesaria para su toma de decisiones, se procedió a definir las preguntas de monitoreo a responder con el sistema a diseñar e instalar.

El proyecto INSH identificó las siguientes preguntas de monitoreo para el sitio San Andrés de Tupicocha:

*Tabla 6. Preguntas de monitoreo identificadas por el proyecto INSH*

<b>Temática</b>	<b>Pregunta</b>
<b>Territorio</b>	¿Cuál es la caracterización ecológica e hidrológica de las principales unidades ecohidrológicas y cuál es su nivel de degradación?
<b>Pastizal - manejo de la ganadería</b>	¿Cuál es la dinámica de recuperación ecológica e hidrológica en pastizales de Puna sobre pastoreados luego de excluir el ganado?
<b>Pastizal - manejo de la ganadería</b>	¿Cuál es el impacto de la recuperación de pastizales de puna degradados sobre el volumen de agua infiltrada?
<b>Pastizal - manejo de la ganadería</b>	¿Cuál es el impacto de la recuperación de pajonales de Puna sobre la erosión por cárcavas?

<b>Territorio</b>	¿Cuál es la relación entre las intervenciones de siembra y cosecha de agua con la provisión de SEH percibida y valorada por la comunidad de San Andrés de Tupicocha?
<b>Amunas</b>	¿Cuál es la ubicación de las zonas de afloramiento del agua infiltrada por las amunas?
<b>Qochas</b>	¿Cuál es la ubicación de las zonas de afloramiento del agua infiltrada por las qochas?
<b>Amunas</b>	¿Cuál es el impacto en el volumen de agua en los manantiales por una amuna recuperada?
<b>Qochas</b>	¿Cuál es el impacto de las qochas en el volumen de agua en los manantiales?
<b>Amunas</b>	¿Cuál es el volumen infiltrado por acción de las amunas?
<b>Qochas</b>	¿Cuál es el volumen infiltrado por acción de las qochas?
<b>Amunas</b>	¿Cuál es el impacto de las amunas en el servicio de regulación hídrica?
<b>Qochas</b>	¿Cuál es el impacto de las qochas en el servicio de regulación hídrica?
<b>Calidad agua</b>	¿Como se compara la calidad del agua (microbiológica, sedimentos) entre manantial y agua superficial y cuál es la percepción local sobre estas 2 fuentes?

CONDESAN, 2019

Para el diseño e implementación del sistema de monitoreo materia de este documento, se realizó la priorización de las preguntas de monitoreo teniendo en cuenta el interés de la comunidad y las preguntas identificadas por el proyecto. Luego de esto, se pasó a identificar el mejor método de monitoreo para cada práctica, teniendo como base la caracterización de las prácticas SyCA y una revisión de bibliografía especializada en el tema.

Tabla 7. Preguntas de monitoreo priorizadas.

N°	Temática	Pregunta
1	Pastizal - manejo de la ganadería	¿Cuál es el impacto de la recuperación de pastizales de puna degradados sobre el volumen de agua infiltrada?
2	Amunas	¿Cuál es el volumen infiltrado por acción de las amunas?
3	Qochas	¿Cuál es el volumen infiltrado por acción de las qochas?
4	Amunas	¿Cuál es el impacto de las amunas en el servicio de regulación hídrica?
5	Qochas	¿Cuál es el impacto de las qochas en el servicio de regulación hídrica?

Una vez identificadas las intervenciones y las preguntas de monitoreo se seleccionaron los métodos de monitoreo. Se seleccionaron 2 escalas de monitoreo para responder las preguntas priorizadas: escala de intervención y escala de microcuenca. La escala de intervención servirá para responder las preguntas 1, 2 y 3 de la tabla N°7; mientras que, las preguntas 4 y 5 serán respondidas mediante un monitoreo a escala de microcuenca.

a) Monitoreo a escala de intervención

- i. ¿Cuál es el impacto de la recuperación de pastizales de puna degradados sobre el volumen de agua infiltrada?
- ii. ¿Cuál es el volumen infiltrado por acción de las amunas?
- iii. ¿Cuál es el volumen infiltrado por acción de las qochas?

b) Monitoreo a escala de microcuenca

- i. ¿Cuál es el impacto de las amunas en el servicio de regulación hídrica?
- ii. ¿Cuál es el impacto de las qochas en el servicio de regulación hídrica?

## Selección de metodología por práctica SyCA

### i. Amunas

Para la estimación del volumen de agua infiltrada por efecto de las amunas, se ha seleccionado el método de volúmenes diferenciales. Este método consiste en la medición de caudales en diferentes puntos del canal amunero durante su tiempo de funcionamiento, con la finalidad de identificar en que tramos del canal se dan los procesos de infiltración. Este método ha sido utilizado por Martos, S. et al (2015) en el estudio de las canales de careo en Sierra Nevada, España, canales que tienen un funcionamiento parecido a las amunas.

Para la estimación del caudal en diferentes puntos del caudal, se propuso el monitoreo por diferentes metodologías que son complementarias.

- Aforos automáticos.

Consiste en el monitoreo continuo nivel de agua en el punto de aforo. Para el caso de las amunas, se eligió el uso de equipos que permitan medir el nivel del agua de manera continua y que cuenten con una memoria para el almacenamiento de datos.

- Aforo con sal.

Consiste en la estimación del caudal mediante la inyección de NaCl en el curso de agua. Se analiza el cambio de la conductividad eléctrica ocasionado por el NaCl inyectado en la corriente de agua.

Estas metodologías se deben complementar en los puntos de aforos automáticos. Para poder estimar caudales a partir de los sensores de nivel, se deben realizar aforos en diferentes momentos durante el año, con la finalidad de desarrollar la curva de descarga. La curva de descarga es la relación entre el nivel de agua y el caudal circulante por la sección de control (Westberg. J. et al. 2011). Según Domeneghetti, et al. 2012) se necesitan por lo menos 15 aforos a diferentes niveles para desarrollar una adecuada curva de descarga, por lo que se consideró realizar entre 8 a 10 aforos en época húmeda y época seca, haciendo un total de 16 campañas de aforo, aproximadamente.

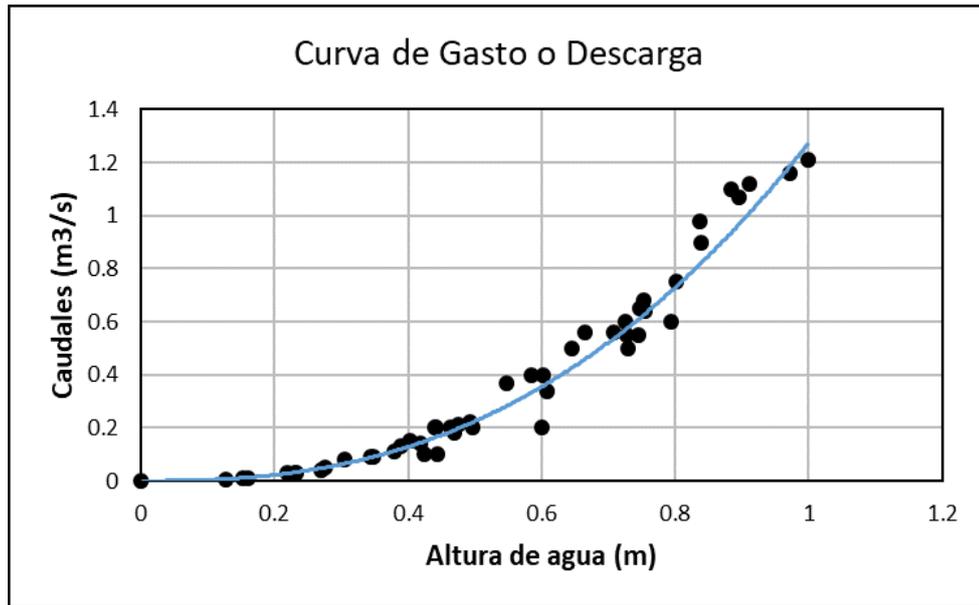


Figura 21. Ejemplo de curva de descarga

ii. Qochas

Para la estimación del volumen de agua infiltrada por efecto de las qochas se seleccionó la metodología de balance hídrico. Se tomó como base el balance hídrico de reservorios cuya ecuación es la siguiente:

$$V_t = P + Q_{in} + Q_{sub} - V_{evp} - V_{inf} - Q_{out}$$

Donde:

$V_t$ : Volumen total

$P$ : Precipitación

$Q_{in}$ : Escorrentía entrante

$Q_{sub}$ : Volumen de aporte por agua subterránea

$V_{evp}$ : Volumen evaporado

$V_{inf}$ : Volumen infiltrado

$Q_{out}$ : Escorrentía saliente

Mediante el trabajo en campo, se identificaron cuales son las variables a medir en el caso de las qochas, por lo que el balance hídrico para las qochas sería el siguiente

$$V_t = P + Q_{in} - V_{evp} - V_{inf}$$

Donde:

$V_t$ : Volumen total

*P*: Precipitación

*Q<sub>in</sub>*: Escorrentía entrante por ladera y por canal conductor

*V<sub>evp</sub>*: Volumen evaporado

*V<sub>inf</sub>*: Volumen infiltrado

Por consiguiente, el cálculo del volumen infiltrado en las qochas responderá al siguiente

modelo:  $V_{inf}=P+Q_{in}-V_{evp}-V_r-Q_{out}$

### iii. Clausura de pastos

Para estimar el impacto de la clausura de pastos en el movimiento del agua en el suelo, se decidió realizar un monitoreo de la humedad del suelo a diferentes profundidades. Este método consiste en comparar como cambia la humedad del suelo entre las zonas clausuradas con zonas de pastoreo, mediante la instalación de sensores de humedad ubicados a diferentes profundidades en diferentes calicatas.

### iv. Impacto de SyCA a nivel de microcuenca

Para el cálculo del impacto de las SyCA en el servicio ecosistémico de regulación hídrica a nivel de microcuencas se ha seleccionado el método de cuencas pares. Este método permite un monitoreo fácil de implementar y que presenta resultados en corto tiempo, ayudando a la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos.

## **Diseño e implementación del sistema de monitoreo**

a) El diseño del sistema de monitoreo se realizó en dos etapas: gabinete y campo.

### i. Gabinete

Luego de realizar la caracterización de las amunas, qochas y clausura de pastos, se procedió a diseñar un sistema de monitoreo acorde al contexto del ámbito de la CC San Andrés de Tupicocha, que respondiera a las preguntas de monitoreo, a la metodología seleccionada y a las variables a medir. Se diseñó un sistema de monitoreo integral, con el que se puedan medir variables que permitan responder preguntas a nivel de microcuenca, además de desarrollarse un monitoreo específico para cada práctica de SyCA (amunas, qochas, clausura de pastos), el que permita estimar el impacto de cada intervención al servicio de regulación hídrica.

La selección de equipos de monitoreo a implementar se hizo acorde a las especificaciones técnicas de los equipos, a las variables a medir y a la frecuencia de toma de datos. Asimismo, la selección de puntos de monitoreo se realizó siguiendo los objetivos del monitoreo y de la pregunta de monitoreo.

El diseño final fue validado por el equipo del componente 2 del proyecto INSH y por los investigadores asociados del Imperial College London.

## ii. Campo

Durante la fase de campo, se realizaron visitas a campo con la finalidad de verificar, y de ser el caso, ajustar el diseño de monitoreo y las ubicaciones de los equipos. Esta fase de campo se realiza para reconfirmar aspectos como la accesibilidad al punto de monitoreo, la factibilidad de instalar los equipos en ese lugar (si es propiedad comunal o privada), y la seguridad de los equipos.

Para la fase de campo se contó con la participación del presidente de la CC San Andrés de Tupicocha, y de representantes de la comunidad, quienes acompañaron en las diferentes salidas de campo y quienes aportaron desde el conocimiento del funcionamiento de las prácticas SyCA, y del manejo del territorio.

La implementación del sistema de monitoreo fue progresiva conforme se dio la entrega de los equipos comprados a la empresa Sensor Vital, y a la implementación de los cercos de protección para los equipos y de las estructuras de soporte donde fueron instalados los equipos de monitoreo.

Al igual que en la fase de gabinete, durante la fase de implementación participaron el presidente de la CC San Andrés de Tupicocha, además de representantes de la comunidad.

A la fecha de escritura de este documento, aún queda pendiente la implementación de dos aforadores tipo vertederos mixtos en las dos microcuencas (Chullaca y Sansare), actividad calendarizada para la segunda semana de setiembre de 2022. Se tiene el diseño basado en las salidas de campo anteriores, sin embargo, el diseño final se obtendrá durante la salida de campo de la primera semana de setiembre de 2022.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados

#### Caracterización del sistema de SyCA de la CC San Andrés de Tupicocha

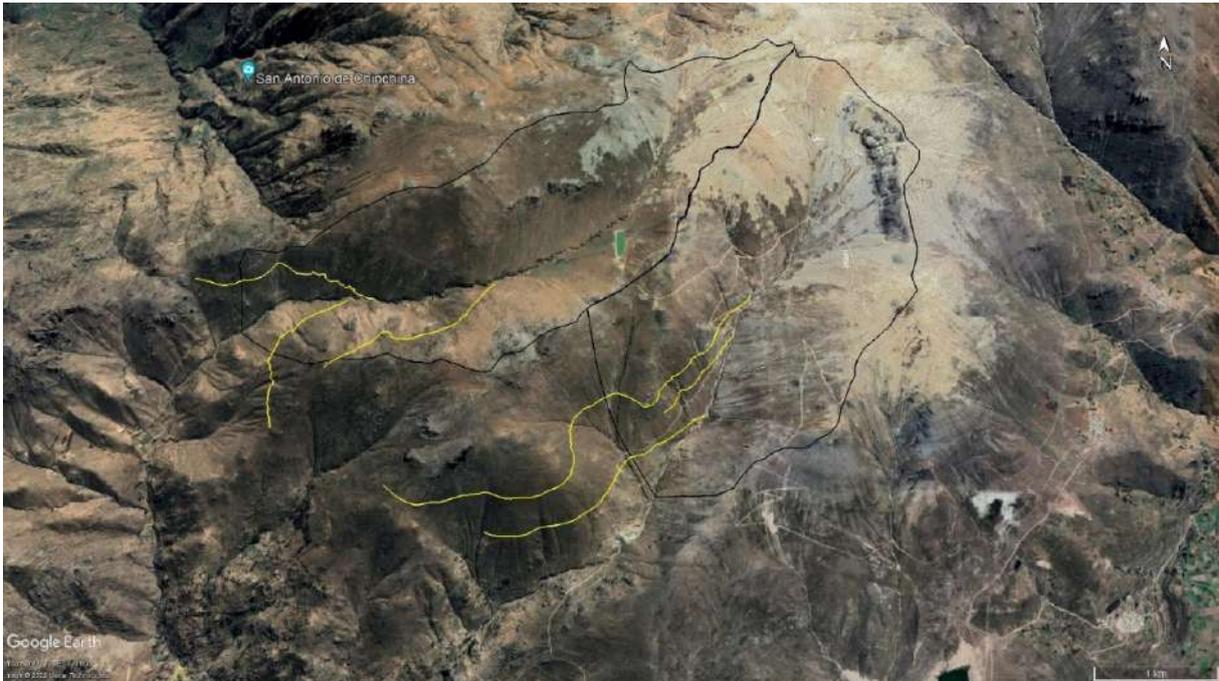


*Figura 22. Salida de campo para identificación de prácticas SyCA*

#### i. Amunas

Esta práctica tiene como fin aprovechar el agua de las quebradas durante la época húmeda, desviando el agua de las quebradas hacia las laderas y posteriormente a una zona de alta infiltración, promoviendo la infiltración del agua en el suelo para poder asegurar o aumentar la cantidad de agua en manantiales y cuerpos de agua durante la época de estiaje.

Se identificaron 5 amunas en el ámbito de la comunidad, localizadas en las microcuencas Chullas y Sansare. Para la caracterización de las amunas se realizaron varias salidas de campo donde se recorrieron todos los canales. En la siguiente imagen de Google Earth se muestra la distribución de las 5 amunas caracterizadas como parte de las actividades realizadas en la CC San Andrés de Tupicocha.



*Figura 23. Distribución de las amunas caracterizadas de la CC San Andrés de Tupicocha*

a) Amuna Sansare bajo

Esta amuna se encuentra ubicada en la microcuenca Sansare. Está compuesta por 2 canales amuneros que en años anteriores eran 2 canales individuales.

El canal superior es el que capta el agua de la quebrada Sansare y lo dirige hacia la zona de infiltración. Este canal presenta como captación un muro de mampostería con salida hacia la amuna, un tramo inicial de 50 m revestido de concreto para impermeabilizarlo, seguido de un tramo de canal rústico de 700 m aproximadamente que descarga el agua en una pequeña quebrada. El agua discurre por esta quebrada hasta llegar al segundo canal, metros abajo. El segundo canal, es una amuna cuya captación fue destruida por efecto de un deslizamiento, por lo que actualmente capta el agua de la quebrada que recibe agua del canal descrito anteriormente. Este segundo canal presenta un tramo rústico de aproximadamente 1800 m de longitud, para luego descargar el agua en la zona de infiltración. Este tramo presenta un tramo de concreto, metros más adelante, donde se cruza con una quebrada.



*Figura 24. Captación amuna Sansare bajo totalmente colmatada*



*Figura 25. Tramo de concreto*

b) Amuna Sansare Alto

Canal amunero que cuenta con una captación de mampostería, un primer tramo impermeabilizado por revestimiento de concreto con una longitud de 50 m, y un segundo tramo de canal rústico de una longitud aproximada de 3400 m.



*Figura 26. Captación de amuna Sansare Alto*

Este canal es cortado por 2 cárcavas, por lo que presenta una sección donde el canal es reemplazado por un tubo de PVC para que el agua pueda cruzar la primera cárcava; y una sección donde se construyó una canoa para permitir que el agua y los sedimentos que este arrastre, pasen por encima del canal.



*Figura 27. Sección del canal donde canal es reemplazado por tubo*



*Figura 28. Canoa en canal amunero Sansare Alto*

c) Amuna Chullaca Alto

Canal amunero que presenta una captación con muros de mampostería, un primer tramo impermeable revestido con concreto de 10 m de longitud, seguido por un tramo de 1400 m de longitud de canal rústico.



*Figura 29. Captación de amuna Chullaca Alto*



*Figura 30. Sección revestida de concreto*

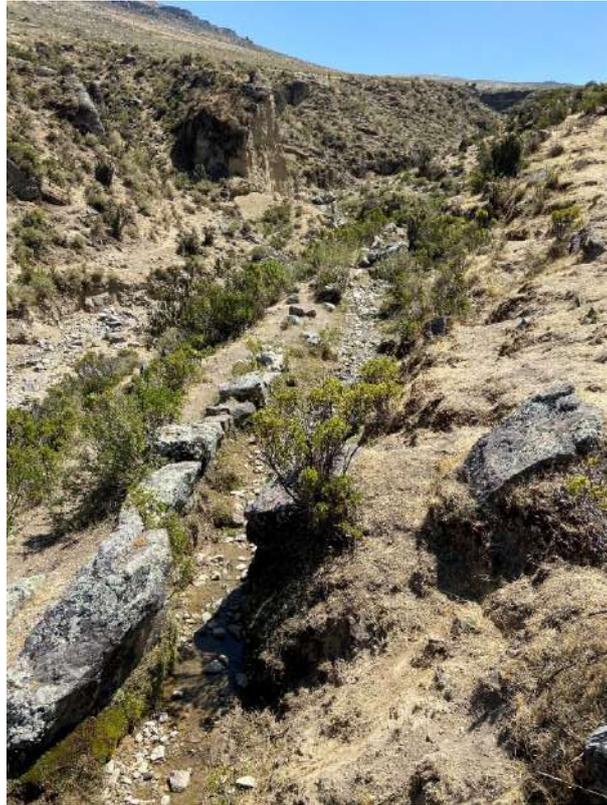


Figura 31. Sección revestida de concreto

d) Amuna Chullaca Medio

Canal amunero con una captación de mampostería, un primer tramo de 15 m de longitud revestido con concreto, y un tramo de canal rústico de aproximadamente 1200 m de longitud.

e) Amuna Chullaca Bajo

Canal amunero que cuenta con una captación con muro de mampostería, un primer tramo recubierto con de concreto con una longitud de 10 m de longitud, y un segundo tramo de canal rústico con una longitud aproximada de 1460 m.

En la tabla 3 se presenta el resumen de la caracterización de las amunas.

Tabla 8. Resumen de la caracterización de las amunas

Nombre	Microcuenca	Longitud (m)
Sansare bajo	Sansare	750 + 1800
Sansare alto	Sansare	3400

<b>Chullaca alto</b>	Chullaca	1400
<b>Chullaca medio</b>	Chullaca	1200
<b>Chullaca bajo</b>	Chullaca	1460

ii. Qochas

Se identificaron 13 qochas en las cabeceras de las microcuencas Chullaca y Sansare, las que hacen parte del sistema de siembra y cosecha de agua de la comunidad. Las qochas están distribuidas en las dos microcuencas de la siguiente manera: 6 en Chullaca y 7 en Sansare (figura 1). Estas qochas han sido construidas en las cabeceras mediante el uso de máquinas y mano de obra comunal, por lo que no son las clásicas qochas que se forman mediante la construcción de un dique en un vaso natural. Esta práctica tiene como fin, captar el agua de lluvia durante la época húmeda, y promover la infiltración del agua en el suelo, para poder asegurar o aumentar la cantidad de agua en manantiales y cuerpos de agua durante la época de estiaje.



Figura 32. Distribución de las qochas caracterizadas de la CC San Andrés de Tupicocha

a) Qocha 1

Ubicada en la microcuenca Chullaca, esta qocha es una de las más grandes del sistema SyCA. Cuenta con un ancho de 54 m y un largo de 180 m. Esta qocha es permanente ya que capta el agua de lluvia durante la época húmeda, además de recibir un aporte directo de la quebrada Chullaca, a través de un canal.

b) Qocha 2

Se encuentra ubicada en la microcuenca Chullaca. Presenta un ancho de 47 m y un largo de 56 m. Esta qocha no está en funcionamiento debido a que sufrió un derrumbe de una de sus esquinas, por lo que no puede retener el agua que capta de las lluvias.



*Figura 33. Qocha 2*

c) Qocha 3

Se encuentra ubicada en la microcuenca de Chullaca. Presenta un ancho de 45 m y un largo de 48 m. Esta qocha es permanente, es decir que presenta agua durante todo el año. El nivel del agua disminuye durante la época de estiaje, pero no termina de secarse.



*Figura 34. Qocha 3*

d) Qocha 4

También ubicada en la microcuenca Chullaca. Tiene un ancho de 28 m y un largo de 59 m. Esta qocha solo cuenta con agua durante la época de lluvia.



*Figura 35. Qocha 4*

e) Qocha 5

Ubicada en la microcuenca Chullaca. Tiene un ancho de 14 y un largo de 50 m. Esta qocha logra captar agua durante época de lluvia, pero no se estaría aprovechando todo su volumen, según comentarios de los comuneros que acompañaron a las salidas de campo.

f) Qocha 6

Ubicada en la parte más alta de la microcuenca Chullaca. Tiene un ancho de 14 m y un largo de 47 m. Al momento de la caracterización, la qocha presentaba vegetación en su interior. Esta qocha solo cuenta con agua durante la época de lluvia.

g) Qocha 7

Qocha ubicada en la microcuenca Sansare. Tiene un ancho de 14 m y un largo de 61 m. Metros más arriba de la qocha, en la ladera, se encontró un manantial temporal, el que aporta agua durante la época de estiaje a la qocha. La presencia del manantial también hace posible la presencia de vegetación en la zona. Esta qocha solo cuenta con agua durante la época de lluvia.



*Figura 36. Qocha 7*

h) Qocha 8

Ubicada en la microcuenca Sansare. Presenta un ancho de 23 m y un largo de 73 m. Esta qocha solo cuenta con agua durante la época de lluvia.

i) Qocha 9

Ubicada en la microcuenca Sansare. Presenta un ancho de 22 m y un largo de 69 m. Según lo observado en campo y por testimonios de los comuneros, esta presenta agua durante casi todo el año.

j) Qocha 10

Hace parte de las qochas ubicadas en la microcuenca Sansare. Tiene un ancho de 25 m y un largo de 60 m. Esta qocha no está terminada, por lo que no almacena agua durante la época de lluvia.

k) Qocha 11

Ubicada en la microcuenca Sansare, tiene un ancho de 35 m y un largo de 52 m. Al igual que la qocha 10, no está terminada, por lo que no almacena agua durante la época de lluvia.

l) Qocha 12

Ubicada en la microcuenca Sansare, es la qocha más pequeña del sistema de qochas, con un ancho de 9 y un largo de 35 m. Se observa que esta qocha presenta agua durante todo el año.

m) Qocha 13

Ubicada en la microcuenca Sansare, es la qocha más grande de Sansare, presenta un ancho de 27 m y un largo de 109 m.

En la tabla 4 se presenta el resumen de la caracterización de las qochas.

*Tabla 9. Resumen de caracterización de qochas*

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Microcuenca</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Q1</b>	Qocha_1	Chullaca	54	180	En funcionamiento. Perenne.
<b>Q2</b>	Qocha_2	Chullaca	47	56	Falla en la estructura. No está en funcionamiento.
<b>Q3</b>	Qocha_3	Chullaca	45	48	En funcionamiento. Perenne.
<b>Q4</b>	Qocha_4	Chullaca	28	59	En funcionamiento. Temporal.
<b>Q5</b>	Qocha_5	Chullaca	14	50	En funcionamiento. Temporal.
<b>Q6</b>	Qocha_6	Chullaca	14	47	En funcionamiento. Temporal.
<b>Q7</b>	Qocha_7	Sansare	14	61	En funcionamiento. Temporal.

<b>Q8</b>	Qocha_8	Sansare	23	73	En funcionamiento. Temporal.
<b>Q9</b>	Qocha_9	Sansare	22	69	En funcionamiento. Temporal.
<b>Q10</b>	Qocha_10	Sansare	25	60	Construcción inconclusa. No está en funcionamiento.
<b>Q11</b>	Qocha_11	Sansare	35	52	Construcción inconclusa. No está en funcionamiento.
<b>Q12</b>	Qocha_12	Sansare	9	35	En funcionamiento. Perenne.
<b>Q13</b>	Qocha_13	Sansare	27	109	En funcionamiento. Temporal.

### iii. Clausura de pastos

La práctica de clausura de pastos se encuentra en la microcuenca Sansare. Esta consiste en un cerco de protección con un perímetro de 4.22 km y cubre un área de 1 km<sup>2</sup>. Esta práctica se implementó aproximadamente hace 5 años, y tiene como fin evitar el sobrepastoreo de esta zona; sin embargo, la clausura no se realiza en un 100%, ya que se identificó que algunos ganaderos hacen pastar su ganado en esta zona. En campo se puede observar las diferencias entre la zona clausurada y la zona de pastoreo. Uno de los aspectos más resaltantes es que en la zona clausurada se observa mayor presencia de pastos; mientras que, en la zona pastoreada, se tiene mayor presencia de arbustos. En la imagen 3 se puede observar la ubicación del cerco para la clausura de pastos.

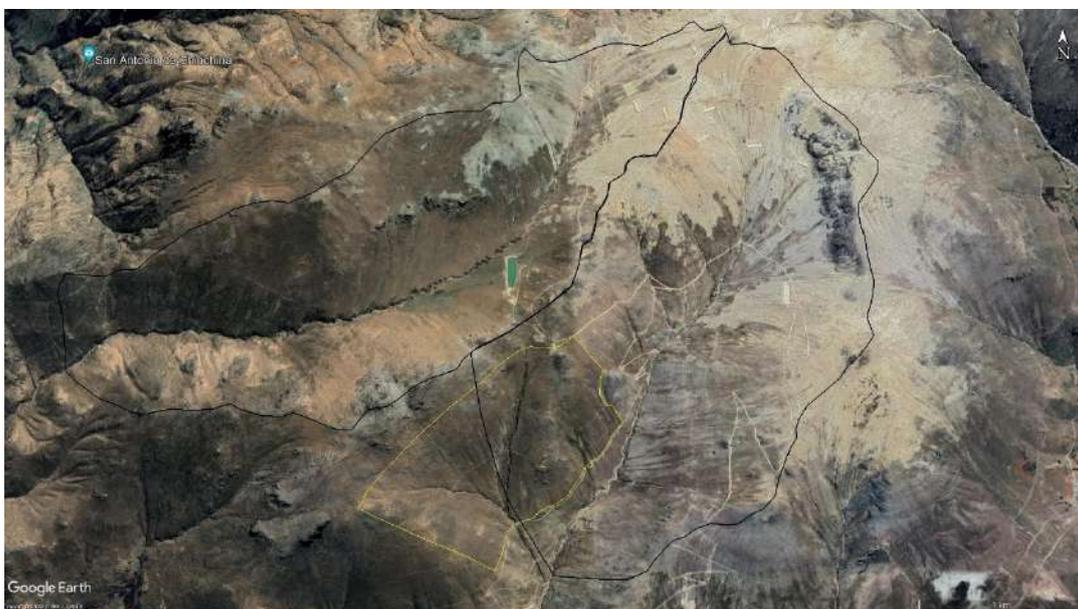


Figura 37. Ubicación de clausura de pasto

Tabla 10. Resumen de caracterización de la clausura de pastos

Práctica	Microcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Observaciones
<b>Clausura de pastos</b>	Sansare	1	Implementada hace 5 años aprox

En el siguiente mapa se observan todas las prácticas SyCA caracterizadas en este documento.

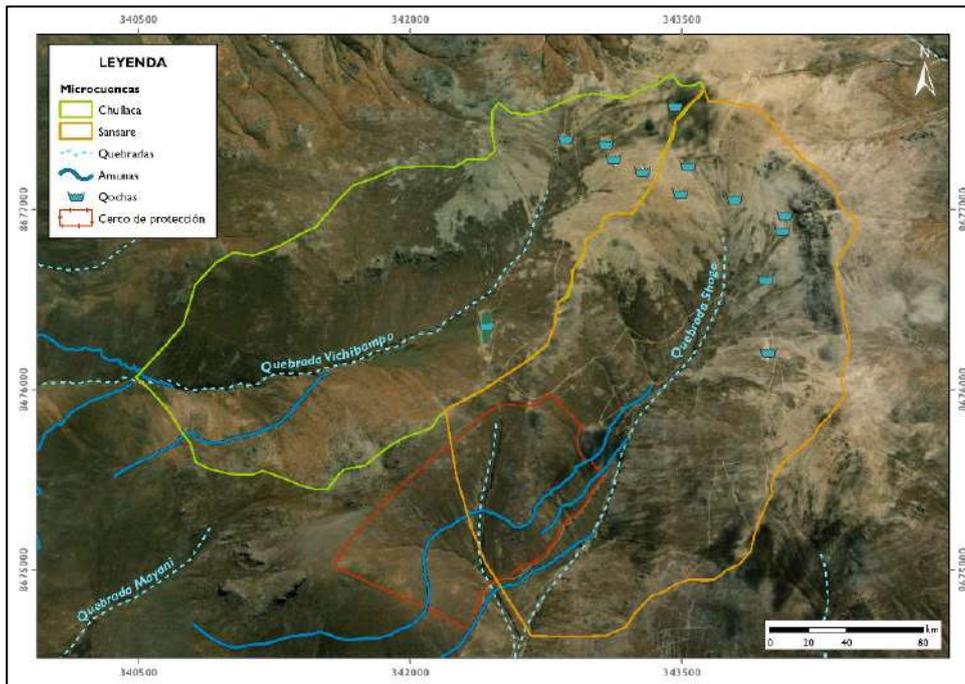


Figura 38. Ubicación de las prácticas SyCA caracterizadas

## Diseño de monitoreo

### i. Amunas

En el caso específico de las amunas de San Andrés de Tupicocha, se seleccionaron 4 amunas para el monitoreo: Sansare alto, Sansare bajo, Chullaca alto y Chullaca bajo. Para el monitoreo de caudales en diferentes puntos de las amunas, se decidió realizar la toma de datos automática de niveles de agua en puntos específicos de los canales, mediante el uso de equipos de monitoreo tecnología Arduino. Se seleccionaron sensores de nivel de tipo ultrasonido, modelo Wari de la marca Riverlabs. Se configuraron los equipos para que tomen datos cada 5 minutos y los almacenen en la memoria. La descarga de datos se da de manera bimensual.

Para los aforos puntuales con sal se utilizará un multiparámetro marca HANNA HI98194. Los aforos con sal se realizarán en los puntos donde se ubicaron los sensores de nivel, además de otros puntos diferentes de la amunas, con la finalidad de relacionar las curvas de descarga en los puntos de monitoreo automático, con los aforos con sal.

*Tabla 11. Resumen diseño de monitoreo de amunas*

<b>Variable</b>	<b>Equipo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Descarga</b>
<b>Nivel de agua</b>	Sensores de nivel de tipo ultrasonido, marca Riverlabs, modelo Wari	5 minutos	Mensual
<b>Conductividad eléctrica</b>	Multiparámetro, marca HANNA, modelo HI98194	16 campañas	-

## ii. Qochas

Para la estimación del volumen de agua infiltrada por efecto de las qochas se han seleccionado 3 qochas, una en la microcuenca Chullaca (Q5) y dos en la microcuenca Sansare (Q7 y Q13). Se seleccionaron estas qochas ya que son temporales, es decir, se secan durante la época seca y se llenan durante la época de lluvia.

### ➤ Monitoreo del volumen almacenado en la qocha

El volumen almacenado en la qocha será calculado mediante la medición de los niveles de agua asociados al volumen de agua en la qocha. Para medir el nivel de agua se instalará un transductor de presión modelo PT2X con tubo ventilado de la marca Sea Metrics. Estos se instalarán dentro de un tubo de PVC que llega hasta la base de la qocha. Los tubos tendrán orificios en toda su longitud, lo que permitirá el ingreso del agua de la qocha, pero estarán recubiertos por mallas para evitar el ingreso de sedimento a la zona donde se encuentra el sensor. Los datos de nivel se tomarán cada 5 minutos y serán almacenados en un datalogger. Los datos serán descargados bimensualmente.

Para poder relacionar el nivel del agua con el volumen almacenado en las qochas se generará la curva nivel-volumen (figura 13), mediante el uso de la información topográfica de las qochas levantada en un estudio de vuelo con RPA realizado durante el 2021.

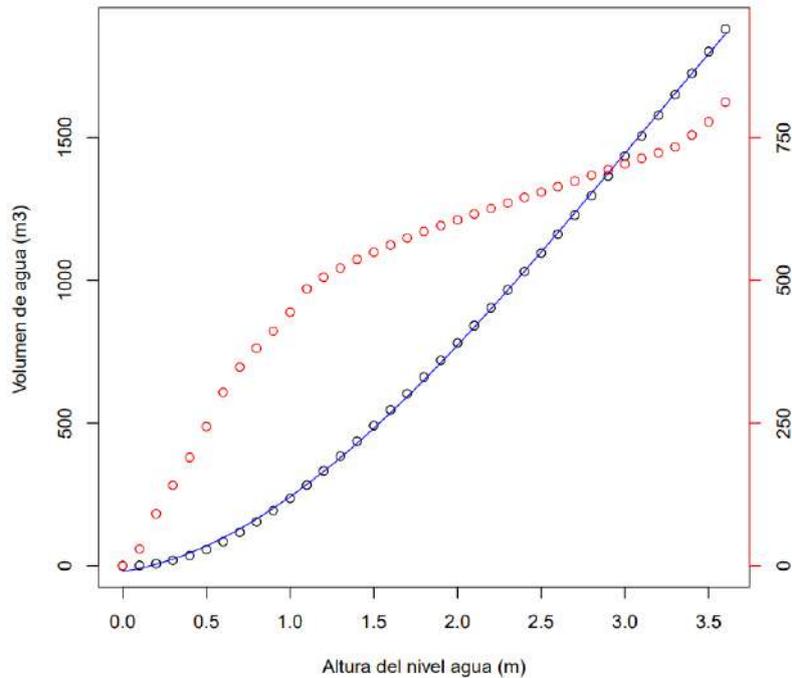


Figura 39. Relación nivel-volumen

➤ Monitoreo de la precipitación

La variable de entrada, precipitación, se mide mediante el uso de los pluviómetros instalados en el ámbito en la zona de las qochas. Se instalaron pluviómetros de balancín modelo RG3-M de la marca HOBO, los que cuentan con una precisión de 0.2 mm. Se han seleccionado 8 ubicaciones en todo el ámbito de estudio, con la finalidad de representar la variabilidad altitudinal y geográfica de la precipitación.

➤ Monitoreo del volumen evaporado

La estimación del volumen evaporado se realiza mediante los datos recogidos por tanque evaporímetro tipo A ubicado en la parte alta de la microcuenca Chullaca. Este tanque cuenta con un medidor automático que permite tomar datos de nivel continuos cada hora.

Tabla 12. Resumen diseño de monitoreo de gochas

Variable	Equipo	Frecuencia / resolución	Descarga
Nivel de agua	Transductor de presión, Sensores INW PT2X, marca Seametrics	5 minutos	Mensual
Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pluviómetro HOBO, modelo RG3 – M.</li> <li>• Pluviómetro Davis (estación meteorológica)</li> </ul>	0.2 mm	Mensual
Evaporación	Tanque evaporímetro clase A	10 minutos	Mensual
Velocidad del viento, dirección del viento, radiación, humedad relativa, temperatura	Estación meteorológica Davis	60 minutos	Mensual

### iii. Clausura de pastos

Para la estimación del impacto de la clausura de pastos al movimiento del agua en el suelo, se decidió excavar 6 calicatas de 1 metro de profundidad, en donde se instalarían 3 sensores tipo TDR a diferentes profundidades. Las calicatas a excavar deben estar distribuidas de la siguiente manera: 3 en zona de clausura y 3 en zona de pastoreo. Asimismo, estas calicatas deben estar distribuidas en la gradiente altitudinal de la ladera.

Tabla 13. Resumen diseño de monitoreo de clausura de pastos

Variable	Equipo	Frecuencia	Descarga
Humedad del suelo	Sensores de humedad marca Campbell Scientific, modelo CS650	15 minutos	Mensual

### iv. Cuencas pares

Para la estimación del impacto de las prácticas SyCA a nivel de microcuenca se utilizará el método de cuencas pares, el que necesita como mínimo datos de precipitación y caudal. Las microcuencas seleccionadas para monitorear fueron las de Chullaca y Sansare, ya que en estas se encuentran las prácticas SyCA de la comunidad. Se instalarán pluviómetros,

los que deben estar distribuidos geográficamente y altitudinalmente, para captar la variabilidad de la precipitación. Asimismo, se seleccionaron los puntos donde deberán ser instalados los vertederos mixtos, los que permitirán conocer la respuesta hidrológica de las microcuencas.

Tabla 14. Resumen diseño de monitoreo de cuencas pares

Variable	Equipo	Frecuencia / Resolución	Descarga
<b>Nivel de agua</b>	Transductor de presión, Sensores INW PT2X, marca Seametrics	5 minutos	Mensual
<b>Precipitación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pluviómetro HOBO, modelo RG3 – M.</li> <li>• Pluviómetro Davis (estación meteorológica)</li> </ul>	0.2 mm	Mensual

## Implementación del sistema de monitoreo

### i. Amunas

Se han instalado 06 sensores de nivel soportes para la instalación de sensores de nivel tipo Arduinos. Los sensores han sido instalados en las captaciones de 4 amunas y en las zonas medias de dos de estas. La implementación se realizó en dos momentos: la primera consistió en la instalación de los soportes de los sensores; y la segunda, en la implementación de las cajas de seguridad e instalación de sensores. Los sensores están distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 15. Ubicación de sensores para nivel en amunas

N°	Amuna	Longitud	Latitud	Observación
1	Chullaca bajo	-76.46495	-11.97268	Captación
2	Chullaca alto	-76.45444	-11.97187	Captación
3	Sansare bajo	-76.44711	-11.98315	Zona media
4	Sansare bajo	-76.44001	-11.97552	Captación

5	Sansare alto	-76.45043	-11.98121	Zona media
6	Sansare alto	-76.43882	-11.97287	Captación



*Figura 40. Soporte para Arduino en zona media de amuna Sansare bajo*



*Figura 41. Soporte para Arduino en captación de amuna Sansare bajo*



*Figura 42. Sensor de nivel instalado en caja de seguridad*



*Figura 43. Puesta en marcha de sensor de nivel*

## **ii. Qochas**

Se han instalado 03 sensores de nivel en 03 qochas. Al igual que en el caso de las amunas, la implementación se realizó en dos momentos: implementación de soportes para la instalación de sensores de nivel tipo transductores de presión, e instalación de sensores de nivel. La tabla 07 presenta la ubicación de los sensores instalados en 03 qochas ubicadas en las microcuencas Chullaca y Sansare.

Tabla 16. Ubicación de sensores de nivel de agua en qochas.

Nº	Latitud	Longitud	Microcuenca
1	-76.432964	-11.971230	Sansare
2	-76.439210	-11.962070	Chullaca
3	-76.437044	-11.961884	Sansare



Figura 44. Soporte para sensor de nivel en qocha en microcuenca Chullaca



Figura 45. Soporte instalado en qocha



*Figura 46. Instalación de sensor de nivel en qocha*



*Figura 47. Descarga de datos de sensor de nivel*

Otra de las variables a medir para la estimación del impacto de qochas es la evaporación. Por lo que se instaló un tanque evaporímetro tipo A en la microcuenca Chullaca, a la altitud donde se encuentran las qochas, por lo que los datos producidos por el tanque servirán para el balance hídrico de qochas. El tanque se encuentra ubicado dentro de un cerco de protección, cerca de la qocha 1 (Q1).



Figura 48. Tanque evaporímetro tipo A



Figura 49. Mecanismo del sensor automático del tanque evaporímetro



*Figura 50. Señor Carlos Melo, de la CC San Andrés de Tupicocha, llenando el tanque*

Para la medición de la precipitación, se han implementados 2 pluviómetros en la zona de qochas. En la zona alta de la microcuenca Chullaca se ha instalado un pluviómetro Davis que hace parte de una estación meteorológica Pro Advantage 2 plus; mientras que, en la zona alta de la microcuenca Sansare, encontramos un pluviómetro HOBO modelo RG3-M. Los datos generados por estos equipos serán almacenados en la memoria y serán descargados bimestralmente.



*Figura 51. Estación meteorológica al lado del tanque evaporímetro*



Figura 52. Pluviómetro en zona de qochas

### iii. Clausura de pastos

La implementación de los sensores de humedad a diferentes profundidades se realizó en 3 momentos: Excavación de calicatas, implementación de cerco de protección, instalación de estación y sensores de humedad.

- Se excavaron 6 calicatas, 3 en la zona de clausura de pastos y 3 en la zona no clausurada. Estas calicatas tienen una profundidad de 1 metro.
- Se implementó un cerco de protección de 4 m x 4 m para la estación donde se conectaron todos los sensores de humedad y donde se encuentra el datalogger.
- Se instaló una estación central para los sensores de humedad. Asimismo, se instalaron 18 sensores de humedad, 3 por cada calicata, a diferentes profundidades: 20 cm, 50 cm y 1 m.

Tabla 17. Ubicación de sensores de humedad.

N°	Latitud	Longitud	Observación
1	-76.443592	-11.973986	Dentro de zona de clausura
2	-76.443163	-11.974403	Dentro de zona de clausura

3	-76.442891	-11.974640	Dentro de zona de clausura
4	-76.443418	-11.973833	Fuera de zona de clausura
5	-76.443016	-11.974222	Fuera de zona de clausura
6	-76.442758	-11.974497	Fuera de zona de clausura



*Figura 53. Estación central para los sensores de humedad*



*Figura 54. Sensores de humedad instalados a diferentes profundidades.*

#### **iv. Monitoreo a escala de microcuenca**

Para el monitoreo que permita estimar el impacto de las intervenciones SyCA en la hidrología de microcuencas, se han implementado 8 pluviómetros en el ámbito de la comunidad, 4 de estos se implementaron en las microcuencas Chullaca y Sansare, como se puede observar en la siguiente imagen.



Figura 55. Distribución de pluviómetros en el ámbito de la CC San Andrés de Tupicocha



Figura 56. Pluviómetro SAT\_PO\_04 instalado



*Figura 57. Pluviómetro SAT\_PO\_01 instalado*



*Figura 58. Pluviómetro SAT\_PO\_07 instalado*

Aún está pendiente la implementación de los vertederos para medir el volumen de agua producido por las microcuencas monitoreadas. En la siguiente imagen se visualizan las ubicaciones seleccionadas para estos.



*Figura 59. Ubicaciones seleccionadas para los vertederos mixtos*

En la siguiente imagen se puede visualizar el monitoreo implementado para el monitoreo de a escala de microcuenca.

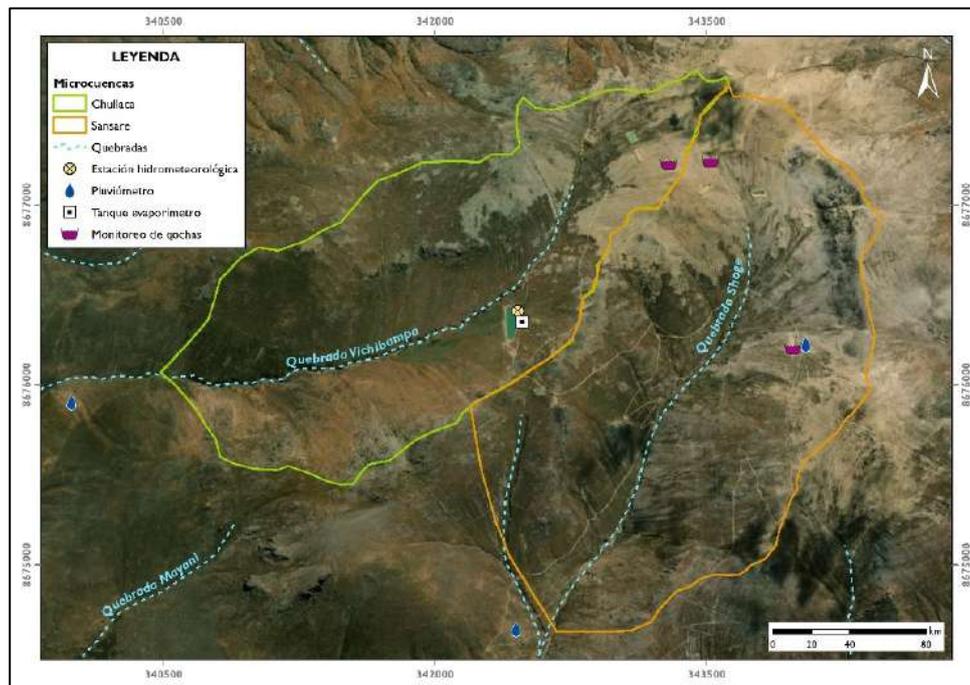


Figura 60. Distribución de equipos para monitoreo a escala de microcuencas

## Beneficios obtenidos por CONDESAN

Con mi aporte en el proyecto y las actividades desarrolladas bajo mi responsabilidad, CONDESAN logró lo siguiente:

- Caracterización hidrológica de las prácticas de siembra y cosecha de agua en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha.
- Diseño e Implementación de un sitio de monitoreo ecohidrológico en el ámbito de la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha. Tanto el diseño como la implementación han sido parte del trabajo en conjunto con la comunidad, así como un grupo multidisciplinario de investigadores que forman parte del proyecto.
- Generación de datos sobre prácticas de siembra y cosecha de agua en microcuencas andinas. Datos que servirán para informar a la comunidad sobre el impacto local de sus actividades, además de servir para reducir la brecha de conocimiento sobre el impacto de estas prácticas.
- Los datos generados por el sistema de monitoreo instalado, están siendo utilizados para tesis de investigación lideradas por CONDESAN y el Imperial College London.
- El sitio de monitoreo “San Andrés de Tupicocha” forma parte de la Iniciativa regional de monitoreo de ecosistemas andinos - iMHEA.

- El sitio de monitoreo “San Andrés de Tupicocha” ha sido considerado para formar parte de la red internacional de Sitios demostrativos de ecohidrología de la UNESCO.

## V. CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un sistema de monitoreo para estimar el impacto de las prácticas de siembra y cosecha de agua en el servicio de regulación hídrica. Este sistema de monitoreo genera datos a escala de intervención y a escala de microcuenca, que permitirán generar evidencia del impacto de estas intervenciones y ayudará a disminuir la brecha de conocimiento relacionada con estas intervenciones.
- Mediante el uso de información secundaria, recorridos de campo y talleres y reuniones con la comunidad, se lograron caracterizar 5 amunas, 13 qochas y 1 clausura de pastos, prácticas del sistema SyCA de la comunidad San Andrés de Tupicocha.
- Se realizaron talleres y reuniones con las autoridades y personas de la comunidad, lo que permitió afinar el diseño del sistema de monitoreo basado en el conocimiento local de la comunidad.
- Se instalaron 6 sensores de nivel de tecnología Arduino para el monitoreo de niveles de agua en las amunas. Estos sensores están ubicados en las captaciones de las amunas monitoreadas, y en algunas secciones más adelante.
- Se instalaron 3 transductores de presión Seametrics, modelo INW PT2X para el monitoreo del nivel del agua en las qochas.
- Se instalaron 7 pluviómetros HOBO, modelo RG3-M, además de una estación Davis Pro Advantage 2. Los datos de precipitación permitirán conocer la dinámica de esta en cuencas andinas.
- Se instalaron 18 sensores de humedad a diferentes profundidades en 6 calicatas, lo que permitirá conocer el impacto de la clausura de pastos luego de 5 años.
- El monitoreo a escala de intervención permitirá conocer el funcionamiento de cada práctica SyCA (amunas, qochas, clausura de pastos) y su potencial beneficio en la regulación hídrica.
- La información generada con el monitoreo de caudales en amunas permitirá conocer el volumen de agua que se infiltra en el suelo por acción de conservar esta práctica. Asimismo, esta información servirá para conocer el beneficio hídrico de recuperar los canales amuneros mediante un proyecto de inversión (IOAR) que es impulsado por el Gobierno Regional de Lima.
- El monitoreo de caudales en las quebradas Sansare y Chullaca, permitirá calcular el volumen de agua que producen cada microcuenca y que estaría disponible para el funcionamiento de los reservorios Sansare y Ausurí.

- Los datos del monitoreo de la clausura de pastos permitirán evidenciar el impacto de esta práctica, y apoyar la decisión de la comunidad de clausurar la cabecera de la microcuenca Sansare.
- El monitoreo de qochas permitirá calcular el volumen infiltrado por esta práctica y apoyar la decisión de la comunidad de implementar más qochas en las cabeceras de las microcuencas Sansare y Chullaca.
-

## VI. RECOMENDACIONES

- Es clave trabajar con los actores locales y mantener informada a la comunidad de las actividades realizadas en su territorio.
- En el monitoreo de prácticas de SyCA, es clave el uso de conocimiento local caracterización de las prácticas, así como para el diseño e implementación del sistema de monitoreo. Los habitantes del lugar son lo que manejan su territorio, recursos y conocen el funcionamiento de estas prácticas.
- Para asegurar el mantenimiento de un sitio de monitoreo en campo se debe lograr el involucramiento de la comunidad en el diseño e implementación, así, los habitantes de la comunidad reconocerán la importancia de los datos para ellos.
- La firma de un convenio con la comunidad permitirá transparentar las actividades a realizar y los objetivos de estas, además de asegurar el cumplimiento de las actividades por parte de las partes involucradas en el monitoreo.
- Luego del diseño de un sistema de monitoreo en gabinete, es necesario realizar salidas a campo con la finalidad de ajustar la propuesta de monitoreo.
- Es importante tener claro que lo más costoso de un sistema de monitoreo no es la instalación sino la operación y mantenimiento a futuro.
- Se deben desarrollar capacitaciones en la operación y mantenimiento de equipos a los actores locales, con la finalidad de afianzar el involucramiento de estos en el monitoreo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J. & Hofstede, R. (2006). *Human impact on the hydrology of the Andean páramos*. Earth-Science Reviews, 79(1–2), 53–72. <http://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Buytaert, W., Iniguez, V. & Bièvre, B. De. (2007). *The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo*. Forest Ecology and Management, 251(1–2), 22–30. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.035>
- Bonnesoeur, V., Locatelli, B., Guariguata, M. R., Ochoa-Tocachi, B. F. & Vanacker, V., Mao, Z., Stokes, A., Mathez-Stiefel, S. L. (2019, February 15). *Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review*. Forest Ecology and Management. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.033>
- CONDESAN (2022). *Monitoreo hidrológico de qochas en la comunidad campesina San Andrés de Tupicocha, cuenca alta del río Lurín*.
- Domeneghetti, A., Castellarin, A., & Brath, A. (2012). *Assessing rating-curve uncertainty and its effects on hydraulic model calibration*. Hydrology and Earth System Sciences, 16(4), 1191–1202. <https://doi.org/10.5194/hess-16-1191-2012>
- Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social. (01 de junio de 2022). *Siembra y cosecha de agua. Manual técnico N6*. Yumpu. <https://www.yumpu.com/es/document/read/62113619/1-siembra-y-cosecha-de-agua-foncodes>.
- INRENA. (2004). *Estudio hidrológico de la cuenca del río Lurín*. Lurín.
- León, C. D., Brauer, F., Hügler, M., Keller, S., Kosow, H., Krauss, M., Wasielewski, S., & Wienhöfer, J. (Eds.) (2021). *Integrated Water Management Solutions in the Lurín Catchment, Lima, Peru – Supporting United Nations’ Sustainable Development Goal 6. Final report of the joint project TRUST*. University of Stuttgart, ISBN 978-3-00-068498-2.
- Locatelli B., Homberger JM, Ochoa-Tocachi BF, Bonnesoeur V., Román F., Drenkhan F., & Buytaert W., 2020. *Impactos de las zanjas de infiltración en el Agua y los Suelos de los Andes: ¿Qué sabemos? Resumen de políticas*, Proyecto “Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica”, Forest Trends, Lima, Perú.
- Marín, F., Dahik, C. Q., Mosquera, G. M., Feyen, J., Cisneros, P., & Crespo, P. (2018). *Changes in soil hydro-physical properties and SOM due to pine afforestation and*

*Grazing in Andean environments cannot be generalized.* Forests, 10(1).  
<https://doi.org/10.3390/f10010017>

- Moreno, J.; Dueñas, K. & Huamán, M. (2021). *Hidrogeología de la cuenca del río Lurín*. INGEMMET, Boletín, Serie H: Hidrogeología, 11, 159 p., 2 mapas.
- Ministerio del Ambiente del Perú (2019). *Mapa nacional de ecosistemas del Perú.: Memoria descriptiva*.
- Ochoa-Tocachi, B. F., Buytaert, W., De Bièvre, B., Célleri, R., Crespo, P., Villacís, M., Llerena, C., Acosta, L., Villazón, M., Gualpa, M., Gil-Ríos, J., Fuentes, P., Olaya, D., Viñas, P., & Rojas, G., Arias, S. (2016a). *Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments*. Hydrological Processes, 30(22), 4074–4089.  
<https://doi.org/10.1002/hyp.10980>
- Ochoa-Tocachi, B. F., W. Buytaert, & B. De Bièvre (2016b). *Regionalization of land-use impacts on streamflow using a network of paired catchments*. Water Resour. Res., 52, 6710–6729, doi:10.1002/2016WR018596.
- Ochoa-Tocachi, B. F., Buytaert, W., Antiporta, J., Acosta, L., Bardales, J. D., Célleri, R., Crespo, P., Fuentes, P., Gil-Ríos, J., Gualpa, M., Llerena, C., Olaya, D., Paro, P., Rojas, G., Villacís, M., Villazón, M., Viñas, P., & De Bièvre, B. (2018). *Data Descriptor: High-resolution hydrometeorological data from a network of headwater catchments in the tropical Andes*. Scientific Data, 5.  
<https://doi.org/10.1038/sdata.2018.80>
- Ochoa-Tocachi, B. F., Bardales, J. D., Antiporta, J., Pérez, K., Acosta, L., Mao, F., Zullkafli, Z., Gil-Ríos, J., Angulo, O., Grainger, S., Gammie, G., De Bièvre, B., & Buytaert, W. (2019). *Potential contributions of pre-Inca infiltration infrastructure to Andean water security*. Nature Sustainability, 2(7), 584–593.  
<https://doi.org/10.1038/s41893-019-0307-1>
- Pan, T., Hou, S., Wu, S., Liu, Y., Liu, Y., Zou, X., Herzberger, A., & Liu, J. (2017). *Variation of soil hydraulic properties with alpine grassland degradation in the eastern Tibetan Plateau*. Hydrology and Earth System Sciences, 21(4), 2249–2261.  
<https://doi.org/10.5194/hess-21-2249-2017>
- Patiño, S., Hernández, Y., Plata, C., Domínguez, I., Daza, M., Oviedo-Ocaña, R., Buytaert, W., & Ochoa-Tocachi, B. *Influence of land use on hydro-physical soil properties of Andean páramos and its effect on streamflow buffering*. CATENA, Volume 202, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105227>.

- Westerberg, J., Guerrero, L., Seibert, J., J., B. K., & Halldin, S. (2011). *Stage-discharge uncertainty derived with a non-stationary rating curve in the Choluteca River, Honduras*. *Hydrological Processes*, 25, 603–613.