

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Análisis de cobertura vegetal y fuentes hídricas del proyecto de siembra y cosecha de agua, Oropesa, Cusco, 2025

Asesor:

Mg. Ing. Flores Condori, Jessica

Autor:

Figueroa Pucho, Carlos Augusto

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Cusco - Cusco - Perú

2026



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 009

En la ciudad de Cusco, a los 19 días del mes de Junio del 2026, siendo las 10:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 223-2026-UTEA-FI-EPIC-FC-(e) de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Oscoco Orcohuarancca John Charlie
Dictaminante :	Mg. Canal Apaza Jaime
Replicante :	Mg. Chávarry Morvelí Daniel

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: Análisis de cobertura vegetal y fuentes hídricas del proyecto de siembra y cosecha de agua, Oropesa, Cusco, 2025

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Figueroa Pucho Carlos Augusto

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO(S) ☒ o DESAPROBADO(S) ☐.

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Nota	Detalle (**)
Br. Figueroa Pucho Carlos Augusto	11	Aprobado

Siendo las 12:00 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Oscoco Orcohuarancca John Charlie

(Dr. Mg.) (Apellidos y Nombres)


(Firma)

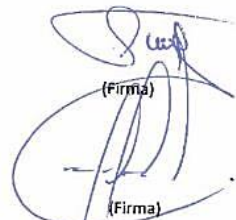
Dictaminante: Mg. Canal Apaza Jaime

(Dr. Mg.) (Apellidos y Nombres)


(Firma)

Replicante: Mg. Chávarry Morvelí Daniel

(Dr. Mg.) (Apellidos y Nombres)


(Firma)

Nota: Desaprobado: 0-10; Aprobado: 11-20

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Figueroa Pucho, Carlos Augusto
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	72620374
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0005-5839-8853
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mg. Ing. Flores Condori, Jessica
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	45216690
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0002-6206-5331
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Febrero – mayo 2026
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	15 %
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, por brindarme la fortaleza, sabiduría y salud para culminar esta importante etapa de mi vida.

A mis padres, por el apoyo moral, sus sacrificios y amor incondicional a lo largo de mi formación académica.

A mi familia, que siempre creyó en mí, inclusive en momentos muy difíciles, y que fue mi principal fuente de motivación.

Y a todos aquellos que, de una u otra manera, fueron parte de este proceso, les dedico este logro con gratitud y cariño.

Figueroa Pucho, Carlos Augusto

Agradecimiento

Agradezco profundamente a Dios por permitirme llegar hasta este momento y por darme la perseverancia para no rendirme ante los desafíos.

A mis padres, quienes me inculcaron valores como la responsabilidad, el esfuerzo y la honestidad. Su guía ha sido fundamental en cada paso que he dado.

Gracias a todos los que creyeron en mí, este logro no es solo mío, sino también de ustedes.

Figueroa Pucho, Carlos Augusto

Resumen

El objetivo principal de este estudio fue investigar cómo el proyecto de Siembra y Cosecha de Agua (SYCA) influyó en la disponibilidad de fuentes hídricas y en los cambios de uso de suelos en la cuenca Pachatusan, ubicada en el distrito de Oropesa (Cusco), entre los años 2017 y 2025. El estudio es de naturaleza descriptiva-correlacional y emplea un enfoque transversal no experimental. Se procesaron imágenes satelitales Sentinel-2 mediante el software ArcGIS; la cobertura vegetal se analizó utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), las fuentes hídricas se evaluaron mediante el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI).

La cobertura vegetal experimentó variaciones significativas entre 2017 y 2025, según los resultados. En concreto, la vegetación baja fluctuó un 4,27 %; los arbustos, un 0,66 %; los pastizales, un 4,52 %; las áreas de cultivo, un 0,69 %; mientras que el suelo desnudo destinado a la agricultura varió en 1,26 %. Asimismo, durante el periodo evaluado, las zanjas de infiltración aumentaron en 9,88 ha y los bofedales se expandieron 14,91 ha; mientras que, los cuerpos de agua pasaron de ser inexistentes a cubrir una superficie de 3,98 ha, las fuentes permanentes de agua lograron un aumento neto del caudal de 0,64 L/s, en el embalse Torococha se ha elevado el suministro total de 3,23 L/s a 3,87 L/s.

Se registraron tasas de infiltración de 0,02 cm/min en dos puntos cercanos al cuerpo de agua favorables para la retención hídrica y de 0,20 cm/min que favorece la infiltración.

Palabras claves

Siembra y cosecha de agua, cobertura vegetal, fuentes hídricas, disponibilidad hídrica, infiltración.

Abstract

The primary objective of this study was to investigate how the Water Harvesting and Retention project (SYCA) influenced water source availability and land-use changes in the Pachatusan watershed, located in the Oropesa district (Cusco), between 2017 and 2025. The study is descriptive-correlational in nature and employs a non-experimental, cross-sectional approach. Sentinel-2 satellite images were processed using ArcGIS software; vegetation cover was analyzed using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and water sources were evaluated using the Normalized Difference Water Index (NDWI).

According to the results, vegetation cover underwent significant variations between 2017 and 2025. Specifically, low vegetation fluctuated by 4.27%; shrubs by 0.66%; grasslands by 4.52%; and cultivated areas by 0.69%; while bare soil designated for agriculture varied by 1.26%. Furthermore, during the evaluated period, infiltration trenches increased by 9.88 hectares and **bofedales** (high-altitude wetlands) expanded by 14.91 hectares. Meanwhile, water bodies went from being non-existent to covering an area of 3.98 hectares; permanent water sources achieved a net flow rate increase of 0.64 L/s; and the total supply at the Torococha reservoir rose from 3.23 L/s to 3.87 L/s.

Infiltration rates of 0.02 cm/min were recorded at two points near the water body—favorable for water retention—alongside a rate of 0.20 cm/min, which favors infiltration.

Keywords: Water harvesting and retention, vegetation cover, water sources, water availability, infiltration.

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen.....	vii
Abstract	viii
Índice.....	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiv
I. Introducción	15
II. Planteamiento del problema	17
2.1. Descripción y formulación del problema.....	17
2.2. Objetivos	21
2.2.1. Objetivo general	21
2.2.2. Objetivos específicos.....	21
2.3. Justificación e importancia	22
2.4. Hipótesis.....	23
2.5. Variables	24
III. Marco teórico	26
3.1. Antecedentes.....	26
3.2. Bases teóricas	31
3.3. Definiciones de términos.....	44
IV. Metodología	59
4.1. Tipo y nivel de investigación	59

4.2.	Alcance del estudio	59
4.3.	Diseño de investigación	60
4.4.	Población y muestra.....	60
4.5.	Procedimientos	62
V.	Resultados y discusión	75
VI.	Conclusiones	105
VII.	Recomendaciones.....	107
VIII.	Referencias	109
IX.	Anexos.....	112

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	25
Tabla 3 Ciclo de inversión (CUI2378489)	49
Tabla 4 Características generales de los diques	50
Tabla 5 Tabla resumen de las características del dique Torococha.....	57
Tabla 9 Clasificación para valores de velocidad de infiltración según la norma ASTM D3385.....	74
Tabla 10 Análisis de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2017	76
Tabla 11 Análisis de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2020	78
Tabla 12 Análisis de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2025	80
Tabla 13 Tasa de cambio de vegetación corta	81
Tabla 14 Tasa de cambio de arbusto	82
Tabla 15 Tasa de cambio de pajonal.....	83
Tabla 16 Tasa de cambio de terreno desnudo para cultivo.....	83
Tabla 17 Tasa de cambio de bofedal.....	84
Tabla 18 Tasa de cambio de área con cultivo.....	85
Tabla 19 Tasa de cambio de zanjas de infiltración	85
Tabla 20 Tasa de cambio de cuerpos de agua.....	86
Tabla 21 Superficies de cuerpos de años en los años 2017 – 2020 y 2025.....	92
Tabla 22 Caudales de las fuentes de agua en la qocha Torococha.....	97
Tabla 23 Caudal de las fuentes de agua en la qocha Torococha.....	99
Tabla 24 Ensayo N° 1 de anillos concéntricos qocha Torococha.....	100
Tabla 25 Ensayo N° 2 de anillos concéntricos qocha Torococha.....	102
Tabla 26 Ensayo N° 3 de anillos concéntricos qocha Torococha.....	103

Índice de figuras

Figura 1	Servicios de siembra y cosecha de agua	33
Figura 2	Procesos de SYCA	34
Figura 3	Componentes de las qochas	34
Figura 4	Estructura de corte de un dique	35
Figura 5	Espectro electromagnético, longitud de onda en metro	38
Figura 6	Distribución de bandas espectrales de Sentinel-2	40
Figura 7	Zona de recarga hídrica	42
Figura 8	Infiltrómetro de doble anillo	46
Figura 9	Plano en corte del dique Torococha	55
Figura 10	Plano en corte de detalle de anclaje de geomembrana del dique Torococha	55
Figura 11	Plano en planta del dique Torococha	56
Figura 12	Relación de fuentes permanentes y temporales de la cuenca Pachatusan	58
Figura 13	Flujograma para obtener los índices radiométricos	63
Figura 14	Índices calculados y formulas según el satélite Sentinel 2A	64
Figura 15	Procesamiento de los archivos DEM	65
Figura 16	Delimitación de la cuenca Pachatusan	66
Figura 17	Descarga de data procesada con Arcgis	67
Figura 18	Selección y reconocimiento de tipos de cobertura	67
Figura 19	Estimación de volumen de agua para el año 2020	70
Figura 20	Visualización en 3d en la qocha Torococha	70
Figura 21	Estimación de volumen de agua para el año 2025	71
Figura 22	Determinación de volumen de agua para el año 2025	71
Figura 23	Ensayo de doble anillo concéntrico (ASTM D3385)	72
Figura 24	Fotografías del desarrollo del ensayo de doble anillo concéntrico	73
Figura 25	Ubicación de los ensayos realizados en la presa Torococha	74
Figura 26	Comparación de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2017	77

Figura 27	Comparación de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2020	79
Figura 28	Comparación de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2025	81
Figura 29	Cambio de cobertura vegetal del 2017	89
Figura 30	Cambio de cobertura vegetal 2020.....	90
Figura 31	Cambio de cobertura vegetal del 2025	91
Figura 32	Comparación del incremento de los cuerpos de agua.....	93
Figura 33	Cambio de fuentes hídricas del 2017	94
Figura 34	Cambio de fuentes hídricas del 2020	95
Figura 35	Cambio de fuentes hídricas del 2025	96
Figura 36	Adecuación de canal para medición de caudal	98
Figura 37	Identificación de las fuentes de agua para la qocha Torococha	98
Figura 38	Medición de caudales por el método volumétrico	99
Figura 39	Diagrama de Tasa de infiltración del ensayo N° 1 de anillos concéntricos ...	101
Figura 40	Diagrama de Tasa de infiltración del ensayo N° 2 de anillos concéntricos ...	102
Figura 41	Diagrama de Tasa de infiltración del ensayo N° 3 de anillos concéntricos ...	104

Índice de anexos

Anexo 1	Matriz de consistencia.....	113
Anexo 2	Operacionalización de variables.....	114
Anexo 3	Documentos de autorización para uso de información - IMA.....	115
Anexo 4	Registro de campo	117
Anexo 5	Trabajo de campo	120

I. Introducción

En los últimos años el cambio climático viene generando distintas variaciones en la disponibilidad hídrica, y esto repercute en las poblaciones aledañas donde la reducción del agua disponible y cobertura vegetal afecta las actividades básicas y económicas en una sociedad. Si bien el Perú es un país privilegiado por su ubicación geográfica y disponibilidad hídrica, en los últimos 40 años en el Perú los glaciares han perdido en promedio un 40 % de su superficie, este hecho ha conllevado distintas consecuencias negativas relacionadas a la disponibilidad hídrica, donde en su mayoría los ríos de los andes peruanos muestran un significativo incremento de caudal solo en temporada de lluvias, mientras que en épocas de sequías solo se recargan por procesos de escurrimiento e infiltración de las zonas altas (Echevarría Suárez, 2021). La siembra y cosecha de agua (SYCA) es una práctica ancestral aplicada en distintos países del mundo y en los últimos años se ha retomado esta práctica debido a su eficiencia y alta practicidad, pero sobre todo por generar sostenibilidad (Durán et al., 2020). La SYCA hace referencia a la implementación de estrategias y técnicas para capturar, retener y almacenar agua de lluvia, con el objetivo de utilizarla de manera efectiva en un lugar y momento específicos, para capturar y retener el agua en las cabeceras de cuenca para infiltrarla en el suelo y recargar las aguas subterráneas. Esta práctica en los últimos años ha sido adoptada por distintas instituciones públicas mediante proyectos de inversión a nivel nacional, regional y local, lo que ha conllevado a la asignación de grandes presupuestos de inversión, buscando mejorar la recarga hídrica en distintos lugares.

El estrés hídrico representa una crisis urgente impulsada por la variabilidad climática y el deterioro de los ecosistemas naturales que regulan el ciclo del agua. Ante este escenario crítico, la siembra y cosecha de agua surge como una solución estratégica que utiliza infraestructuras naturales para capturar y almacenar la lluvia. Este enfoque ancestral permite recargar las fuentes hídricas, optimizando la retención de los suelos y asegurando la disponibilidad del recurso en zonas vulnerables. Al restaurar la capacidad de regulación natural, se fortalece la resiliencia de las comunidades garantizando la seguridad hídrica y la sostenibilidad futura.

Esta investigación pretende analizar la cobertura vegetal y fuentes de agua en el Distrito de Oropesa antes y después de la intervención del proyecto SYCA, buscando evidenciar la variación de la cobertura vegetal y superficies de agua en el Distrito de Oropesa, utilizando herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). Por otro lado, los resultados cuantitativos de esta investigación fortalecerán las decisiones de incrementar los proyectos de SYCA, brindando la confianza necesaria para justificar el incremento de inversión para estos proyectos.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

El déficit hídrico a nivel mundial viene atravesando un periodo crítico, de acuerdo al informe de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), durante el año 2024 se confirmó que más de 3,600 millones de personas representando el 45% de la población mundial enfrenta inadecuado acceso al agua durante al menos una parte del año (1 mes). A esto se suma que los glaciares, fuente esencial de agua en muchas regiones del planeta, han perdido masa de manera acelerada por segundo año consecutivo, lo que representa un ritmo de deshielo de 20% superior al promedio de la última década, comprometiendo así la seguridad hídrica de manera global. El impacto que se viene desarrollando a nivel mundial se está evidenciando rápidamente, la OMM, reporta que la variabilidad de las precipitaciones pluviales ha reducido la recarga hídrica de acuíferos entre el 15 % y 25 % durante los últimos 5 años (Organización Meteorológica Mundial, 2025). Ante este escenario, la siembra y cosecha de agua surge no solo como técnica ancestral, sino como estrategia de adaptación que contrarresta el déficit hídrico.

La Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) en México, indica a inicios del año 2025 que el 65 % del territorio mexicano presentó sequía moderada que se reflejó en los niveles de almacenamiento de las represas del país, en promedio estos espacios de almacenamiento de agua operaron solamente al 42 % de su capacidad total, a su vez realiza una analogía entre los años 1850 y 2024 donde se tenían 18000 m3 y menos 3200 m3 respectivamente de disponibilidad de agua por habitante al año, estos efectos también se ven reflejados en el cambio de cobertura vegetal y uso de suelos en la

superficie del país, llegando a tener la pérdida de cosechas en más del 18 % en la agricultura y teniendo mayor presencia de zonas áridas y semiáridas en el país evidenciando la disminución de cobertura vegetal en los últimos años, además el CONAGUA siendo una institución gubernamental presentó en denominado Plan México, que involucra la implementación de 37 proyectos hídricos con el fin de crear recarga de las fuentes hídricas en todo el país (CONAGUA, 2025).

La gestión del agua constituye actualmente uno de los principales desafíos para la sociedad, debido al incremento de la demanda de este recurso como consecuencia del crecimiento demográfico y de las actividades humanas. Esta problemática no solo se relaciona con el consumo excesivo de agua, sino también con la progresiva pérdida de la capacidad de regulación natural de los sistemas hidrológicos. En este contexto, las técnicas de Siembra y Cosecha de Agua (SYCA), pese a su origen ancestral, son consideradas alternativas sostenibles y pertinentes para el siglo XXI. Estas prácticas se desarrollan principalmente en zonas rurales ubicadas en cabeceras de cuenca, donde contribuyen a enfrentar los problemas de abastecimiento hídrico. Asimismo, diversos países iberoamericanos registran experiencias relevantes de implementación de SYCA como estrategias orientadas a la sostenibilidad y a la mejora en la disponibilidad de agua, evidenciando la vigencia y efectividad de estas técnicas ancestrales en la actualidad (Durán et al., 2020).

El Perú no es ajeno a la reducción de la disponibilidad hídrica ya que actualmente enfrenta niveles de estrés hídrico elevados; en Ayacucho (Saenz Carrillo, 2022), indica en su investigación que la agricultura es un sector fundamental para la seguridad alimentaria del país, según su estudio titulado “Efectos de la captación y el almacenamiento de agua en el distrito de Chiara, región de Ayacucho, 2018 - 2021”, donde se analizaron los efectos sociales, económicos y medioambientales producidos por la aplicación de técnicas de SYCA y afirma que el 55% de la población en condición de pobreza, realiza trabajos agrícolas, de ganadería y silvicultura.

Frente a esta problemática, el gobierno nacional del Perú y el “Fondo Sierra Azul”

establecieron directrices para implementar y desarrollar inversiones denominadas SYCA, mediante la construcción de infraestructuras naturales (qochas, humedales, zanjias de infiltración, etc), buscando asegurar la mayor reserva de agua considerando su uso en agricultura y el consumo humano.

Mientras tanto, la tesis de Suyo Florez (2021), realizada en Cusco, se analizó los efectos sociales, económicos y medioambientales de las iniciativas de regulación hídrica conocidas como “cosecha de agua”, llevadas a cabo por el Instituto del Medio Ambiente (IMA) del Gobierno Regional de Cusco, La investigación señala que las cabeceras de cuenca del Cusco se encuentran en proceso de degradación por la acción humana desmedida, y esto afecta considerablemente los niveles de infiltración y la recarga de acuíferos, repercutiendo directamente en la recarga hídrica. Asimismo, se evaluaron los efectos socioeconómicos y ambientales en las comunidades de Colquepata, Choccopia y Tiracancha durante el periodo 2019 – 2021. Por tanto los resultados evidenciaron un incremento de 452.95 % en las áreas de cultivo bajo riego y un aumento de 66.85 % en los ingresos agrícolas familiares, además del almacenamiento de 200 000 m³ de agua de lluvia. En consecuencia, el incremento de la disponibilidad hídrica en las cuencas contribuyó significativamente al fortalecimiento de la capacidad productiva de las comunidades beneficiarias, mejorando su calidad de vida, salud y seguridad alimentaria.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el año 2023, establece que la interdependencia inadecuada entre el suelo, la vegetación y el agua está relacionada con los problemas derivados del estrés hídrico, lo que genera mayor importancia en la salud de las fuentes hídricas. En este sentido, la disponibilidad de agua no depende únicamente de la precipitación pluvial, sino también de la capacidad de retención hídrica de los ecosistemas. Asimismo, la FAO identifica como principales manifestaciones de la inadecuada interacción entre suelo, vegetación y agua la degradación de la cobertura vegetal y la variabilidad climática extrema. Esta problemática afecta significativamente las principales fuentes de agua dulce destinadas al consumo humano, considerando que aproximadamente el 75 % del agua para

consumo humano a nivel mundial proviene del ciclo hidrológico natural.

En el contexto local la problemática a tratar es el deterioro de los servicios ecosistémicos relacionados con la regulación hídrica en la cuenca de Pachatusan es el problema principal que esta iniciativa busca abordar. En términos prácticos, esto significa que se ha perdido la capacidad natural del ecosistema local para retener, almacenar y filtrar el agua de lluvia. Para el Distrito de Oropesa y sus comunidades (Patabamba, Ccajyapata, Kehuar y Patacancha), esta degradación tuvo dos efectos significativos:

Escasez de agua durante la temporada seca: El agua se perdía rápidamente por escorrentía superficial, ya que no existía una "esponja" natural (cobertura vegetal y suelo sano) que la retuviera durante la temporada de lluvias. Como resultado, durante los meses secos, las comunidades se quedaban sin agua suficiente para el consumo humano y las actividades agrícolas.

Vulnerabilidad ante el cambio climático: La capacidad del territorio para actuar como regulador natural se vio mermada por el deterioro del suelo, incluyendo la erosión y la desaparición de praderas naturales. Las comunidades quedaron más expuestas a la irregularidad en el suministro de agua durante fenómenos meteorológicos extremos, lo que puso en riesgo tanto su seguridad hídrica como su principal fuente de ingresos: la agricultura familiar.

La principal consecuencia de no aplicar prácticas de siembra y cosecha de agua (SYCA) es un aumento gradual del estrés hídrico, al que le siguen condiciones de sequía grave, una disminución de la productividad agrícola, una mala calidad del agua y la pérdida de la seguridad alimentaria.

El objetivo de este estudio es examinar la cobertura vegetal y las fuentes hídricas tras la puesta en ejecución del proyecto de SYCA en el Distrito de Oropesa. En este contexto, la seguridad hídrica es uno de los pilares del desarrollo sostenible y el bienestar social.

2.1.1. Formulación del problema

Problema general

¿En qué medida el proyecto de siembra y cosecha de agua (SYCA) ha logrado incrementar la cobertura vegetal y fuentes de agua en el Distrito de Oropesa, Cusco, en el periodo del 2017 al 2025?

Problemas específicos

- ¿Cómo es el cambio de la cobertura vegetal luego de la intervención del proyecto de SYCA en el Distrito de Oropesa, Cusco?
- ¿Cuál es la tasa de cambio de la cobertura vegetal antes y después de la implementación de la SYCA en el Distrito de Oropesa, Cusco?
- ¿Cuánta es la variación de la cantidad de fuentes de agua luego de la intervención del proyecto de SYCA en el Distrito de Oropesa, Cusco?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Analizar y evaluar la cobertura vegetal y fuentes hídricas luego de la intervención del proyecto de siembra y cosecha de agua en el Distrito de Oropesa, Cusco, en el periodo 2017 al 2025.

2.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el cambio de la cobertura vegetal en el Distrito de Oropesa, Cusco luego de la intervención del proyecto SYCA.
- Determinar la tasa de cambio de la cobertura vegetal en el en el Distrito de Oropesa, Cusco, mediante la comparación de datos multitemporales antes y después de la intervención del proyecto SYCA.
- Evaluar la variación de las fuentes de agua en el Distrito de Oropesa, Cusco, comparando su estado antes y después de la intervención del proyecto SYCA.

2.3. Justificación e importancia

2.3.1. *Conveniencia*

Es oportuna, ya que aborda desafíos relacionados con la escasez hídrica, donde producto del cambio climático se ha generado una limitada accesibilidad del recurso hídrico. Es crucial analizar practicas sostenibles como la SYCA como solución para mejorar la recarga hídrica. Esta investigación proporcionará información relevante para incrementar los proyectos de recarga hídrica mediante la SYCA.

2.3.2. *Relevancia social*

Tiene una alta relevancia social, ya que aborda temas de sostenibilidad del agua como recurso importante. En distintas comunidades producto del cambio climático la disponibilidad del agua para consumo humano, así como para las distintas actividades productivas han sido afectadas. Es por ello que la gestión del agua a través de la SYCA fomenta la colaboración y participación de las comunidades que buscan mejorar la producción y seguridad alimentaria de la sociedad.

2.3.3. *Implicancias prácticas*

La investigación es determinante ya que muestra alternativas de solución ante la reducción de la disponibilidad hídrica, esto nos permitirá conocer de forma más precisa y detallada, como las técnicas de SYCA afectan la recarga hídrica local y el incremento de la cobertura vegetal, lo que conllevará a realizar mejor la toma de decisiones en la sostenibilidad del manejo de los recursos hídricos en nuestra región, la misma que puede ser aplicada en distintas zonas que lo requieran.

2.3.4. *Justificación teórica*

Además de profundizar en nuestra comprensión de los mecanismos de recarga de las aguas subterráneas y de la mejora de la cobertura vegetal mediante técnicas de SYCA en un entorno concreto, esta investigación contribuirá al avance del conocimiento

científico en los ámbitos de la hidrología, la gestión sostenible de los recursos hídricos y la adaptación al cambio climático. Asimismo, con el objetivo de optimizar diversos procedimientos de SYCA y estrategias de adaptación en zonas vulnerables, este trabajo podría abrir nuevas vías de investigación en numerosos sectores hidrológicos.

2.3.5. Utilidad metodológica

La investigación podría plantear una metodología para estimar el incremento de la cobertura vegetal y las fuentes hídricas antes y después de la implementación de las técnicas de SYCA. Podría fortalecer también, una colaboración interdisciplinaria entre investigadores, técnicos y la comunidad; promoviendo y fortaleciendo la generación de nuevos conocimientos ante los problemas de la gestión y escases del agua.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La intervención del proyecto de siembra y cosecha de agua en el Distrito de Oropesa, Cusco. Durante el periodo 2017 – 2025 generará un impacto positivo y significativo evidenciado por el crecimiento de la cobertura vegetal e incremento de las fuentes hídricas.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La intervención del proyecto de SYCA determinará un cambio positivo en el Distrito de Oropesa Cusco, evidenciado en el crecimiento de la extensión de la cobertura vegetal en el área de estudio.
- La implementación del proyecto de SYCA establecerá un incremento significativo en los valores promedios de la tasa de cambio de la cobertura vegetal, en el Distrito de Oropesa, Cusco, evidenciando una mejora en la salud y densidad de la cobertura vegetal.
- Existirá una variación positiva en las fuentes de agua en el Distrito de Oropesa Cusco, con un incremento del número de manantiales, luego de la intervención del proyecto de SYCA.

2.5. Variables

2.5.1. *Variable independiente*

Siembra y cosecha de agua. Son técnicas que implican la recolección y almacenamiento de agua de lluvia en el subsuelo, permitiendo su recuperación posterior.

2.5.2. *Variables dependientes*

Cobertura vegetal. Son los distintos tipos de vegetación que pueden encontrarse en una zona determinada, y su evolución se ha visto influida por factores topográficos, climáticos edáficos. etc.

Fuentes hídricas. Son fuentes de agua independientemente de su calidad, proveniente de ríos, pozos, manantiales, etc.

Tabla 1.

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIÓN		INDICADOR	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
SYCA (VI)	La SYCA es una técnica que implica la recolección y almacenamiento de agua de lluvia en el subsuelo, permitiendo su recuperación posterior (Quispe Martínez, 2024).	La SYCA se operacionalizará mediante la identificación, caracterización y cuantificación de técnicas implementadas en la zona de Estudio (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022).	Técnicas utilizadas	naturales	Número de gochas y zanjas de infiltración ejecutadas	Observación directa
					Área intervenida (km2) con técnicas naturales	Imágenes satelitales (Sentinel 2)
Cobertura vegetal (VD)	Son los distintos tipos de vegetación que pueden encontrarse en una zona determinada, y su evolución se ha visto influida por factores topográficos, climáticos edáficos. etc. (Quinto Caja & Taipe Ramos, 2025).	La cobertura vegetal se operacionalizará mediante la determinación del cambio de cobertura vegetal, mediante la clasificación de imágenes satelitales para mapear el incremento de la cobertura vegetal (Carranza Gallardo & Tasilla Montalvan, 2020).	Impacto ambiental		Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	Imágenes satelitales (Sentinel 2)
					Extensión de la cobertura vegetal.	Imágenes satelitales (Sentinel 2)
Fuentes hídricas (VD)	Son fuentes de aguas, independientemente de su calidad, provenientes de ríos, manantiales pozos etc. (Matus et al., 2019).	Las fuentes hídricas se operacionalizarán mediante el mapeo utilizando la teledetección y la verificación en campo, comparando antes y después de la intervención del proyecto SYCA (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022).	Impacto ambiental		Número de fuentes hídricas	Imágenes satelitales (Sentinel 2) Observación directa

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes Internacionales

Ruano Flores (2024), en su investigación sobre la gestión comunitaria del agua bajo el método SYCA en las parroquias de La Merced, Guangopolo y Tumbaco (Ecuador), analizó cómo estas prácticas ayudan a la preservación del recurso hídrico en la zona del Volcán Ilaló. Mediante un enfoque mixto (cuanti-cualitativo) y de alcance descriptivo, el autor destaca que el SYCA y prácticas ancestrales como la "minga" son fundamentales para la adaptación al cambio climático. No obstante, identifica a la urbanización descontrolada y la carencia de políticas públicas como los principales obstáculos. El estudio concluye recomendando el respaldo institucional a los esfuerzos comunitarios para equilibrar el desarrollo urbano con la protección ambiental.

Granja Hidalgo (2024), en su estudio titulado "Análisis multitemporal de los cambios de cobertura vegetal en el Cantón Latacunga durante el periodo 2015-2023", evaluó las transformaciones del suelo mediante el uso de imágenes Landsat 8 y la metodología CORINE Land Cover. Para garantizar la fiabilidad de los datos, el autor empleó matrices de confusión y transición en el análisis de cinco clases de cobertura. Los resultados revelaron una reducción significativa de la tierra herbácea, fenómeno atribuido a la expansión de la frontera agrícola en zonas de alta montaña. Finalmente, el estudio concluye que esta pérdida afecta directamente los servicios ecosistémicos, mermando la

disponibilidad de recursos hídricos para la población local.

En su estudio sobre saberes ancestrales de SYCA en Ecuador, Ramos Rodríguez (2022) empleó un enfoque descriptivo y documental para recopilar técnicas tradicionales de gestión hídrica. La investigación resalta que la SYCA constituye una herramienta estratégica para mejorar la regulación del agua mediante métodos económicos y accesibles de recolección de lluvia. Estos sistemas no solo facilitan el uso doméstico y productivo del recurso, sino que permiten su almacenamiento regional para un aprovechamiento planificado. El autor infiere que la revalorización de estas técnicas es fundamental para fortalecer el abastecimiento de agua en el sector agrícola, especialmente frente a desafíos climáticos.

En la investigación (Endara Gonzales, 2020) realizada en Crucita de Oriente, Honduras, se analizaron los efectos de los sistemas de cosecha de agua y riego en la economía familiar. El estudio empleó una metodología mixta y técnicas de observación directa y encuestas. Los hallazgos demuestran una transformación crítica en la situación de los productores: de un estado de vulnerabilidad por sequía e inseguridad alimentaria, se pasó a un fortalecimiento de los medios de vida sostenibles. Se determinó un efecto positivo inmediato en los cinco capitales del desarrollo (natural, físico, humano, social y financiero), validando la efectividad de la cosecha de agua como estrategia de resiliencia climática y económica.

En el artículo (Veneros et al., 2020) “Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua” se evaluó la utilidad de sensores remotos para analizar coberturas vegetales y cuerpos de agua de conservación, aplicando imágenes satelitales en estudios de cobertura vegetal y los usos de los vehículos aéreos no tripulados (VANT), se realizó mediante una revisión bibliográfica (tesis, artículos científicos, libros y resúmenes en congresos) encontrándose un total de 20 aplicaciones. Se presentaron diez estudios (cobertura forestal, expansión urbana, índices de vegetación, cambios en la cobertura del suelo, deforestación, distribución espacial del agua, monitorización del agua, dinámica de las lagunas, parámetros de calidad del agua y umbrales para el Índice de

Diferencia Normalizada de la Nieve) y otros diez estudios (abundancia de vegetación, dinámica de las poblaciones vegetales, conservación ecológica, vegetación acuática, cartografía de la vegetación, calidad del agua, dinámica fluvial, caudal fluvial, mapas batimétricos de un lago y variaciones de la vegetación acuática) utilizaron imágenes de satélite para el análisis medioambiental. En conclusión, se deben emplear los VANT con cámaras multispectrales que ofrezcan información con una resolución superior a 10 cm en áreas reducidas. Sin embargo, los análisis de áreas más extensas (km) se realizan mediante imágenes satelitales.

Finalmente es imperativo conocer las limitación, ventajas y diferencias entre ambos sistemas, para poder utilizarlo en la aplicación, protección y conservación de áreas afectadas.

3.1.2. Antecedentes nacionales

(Ricra et al. 2022), en su investigación titulada "Siembra de agua a través de infraestructura natural de recarga hídrica (AMUNA) en la comunidad San Pedro de Casta, Lima, Perú", evaluaron la eficacia de estas estructuras en la regulación del ciclo hídrico y la recarga de acuíferos. Mediante un monitoreo hidrológico que empleó sensores de nivel en once vertederos, los autores aplicaron el método de balance de masas para estimar la recarga. Los resultados demostraron una correlación directa entre la precipitación (máxima entre enero y marzo) y el caudal, evidenciando que las AMUNAS controlan la escorrentía y mitigan la erosión hídrica en las laderas. Asimismo, se cuantificó una infiltración potencial de $225.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{km}$ durante el periodo de lluvias, confirmando el papel crítico de la infraestructura natural en la recuperación de los acuíferos de la zona.

(Quispe Barrios, 2023), en su investigación sobre la Siembra y Cosecha de Agua (SYCA) en Ayacucho, analiza la vulnerabilidad de la sierra peruana frente a la inseguridad hídrica. La metodología aplicada consistió en una evaluación social bajo el enfoque de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE), empleando un diseño de análisis comparativo de escenarios. Para ello, el autor contrastó un escenario base (SCALL sin proyecto) frente

a un escenario intervenido (SCALL con proyecto AbE), utilizando indicadores socioeconómicos y ambientales para medir la recuperación de los servicios de provisión y regulación hídrica. Los resultados indican que, si bien la SYCA ofrece grandes oportunidades, requiere de una ejecución técnica específica para ser efectiva. El estudio concluye proponiendo tres ejes de acción: 1) la construcción y mantenimiento de catorce qochas; 2) el cercado y protección de manantes y nacientes; y 3) una estrategia transversal de fortalecimiento de capacidades mediante el acompañamiento de expertos locales. Estas acciones permiten reducir las pérdidas por el cambio climático y aseguran la sostenibilidad de la recarga hídrica en el área de estudio.

(Saenz Carrillo, 2022), en su investigación titulada "Efectos de la siembra y cosecha de agua en el Distrito de Chiara, región Ayacucho, periodo 2018-2021", evaluó las repercusiones sociales, económicas y ambientales de la SYCA en las comunidades de Cochabamba (Alto y Bajo), Aguapuquio y Chupa. La metodología se basó en un enfoque cualitativo-exploratorio, empleando entrevistas directas mediante una guía estructurada aplicada a actores clave. Para garantizar la validez de los hallazgos, el autor realizó una triangulación de datos, contrastando la información de campo con una revisión bibliográfica sistemática. Los resultados demuestran que la implementación del proyecto generó un impacto positivo integral, destacando no solo la mejora en los indicadores socioeconómicos, sino también la revitalización de prácticas ancestrales y culturales. El estudio concluye que la gestión hídrica bajo este modelo actúa como el eje central del desarrollo comunal, fortaleciendo la identidad local y garantizando la sostenibilidad del recurso agua en zonas altoandinas.

El artículo de (Carranza Gallardo & Tasilla Montalvan, 2020) "Pérdida de cobertura vegetal en el Distrito de Morales, San Martín, Perú (periodo 1987 – 2017)" tuvo como objetivo analizar la pérdida de la cobertura vegetal en el Distrito de Morales esta investigación aplicó el método análisis multitemporal de las imágenes satelitales, mediante una clasificación supervisada, utilizando el software ArcGIS. El análisis de estudio se realizó en tres periodos el primer periodo (1987 – 1997), segundo periodo (1997 – 2007) y

el tercer periodo (2007 – 2017), luego del análisis se evidencio cambios en la cobertura vegetal en el primer periodo se evidencia una pérdida de 948.42 ha, en el segundo periodo continúa reduciéndose a 81.83 ha y el tercer periodo se redujo hasta 59.26 ha. Finalmente, esta investigación concluye que se ha experimentado perdidas de la cobertura vegetal en el Distrito Morales (San Martín – Perú), considerando el principal factor el crecimiento demográfico en el Distrito.

3.1.3. Antecedentes locales

(Cárdenas Rodríguez, 2021), en su tesis titulada "Impacto de la cosecha de agua de lluvias en la comunidad campesina de Cuyuni, Distrito de Ccatcca", evaluó las repercusiones tecnológicas, económicas y socioculturales de esta práctica. La metodología empleó un diseño descriptivo de corte transversal, utilizando encuestas individuales y colectivas aplicadas en los habitantes de la comunidad de Cuyuni, en esta investigación los resultados determinaron que el impacto de la cosecha de agua fue notablemente positivo, manifestándose inicialmente en una mejora de la producción agrícola y en el incremento de los ingresos económicos familiares. Un hallazgo relevante de la investigación es el fortalecimiento de la institucionalidad local, evidenciado en la consolidación de organizaciones de usuarios de la mini presa, comités de riego y grupos dedicados a la reforestación, la crianza de cuyes, el turismo y la artesanía. En conclusión, el estudio demuestra que la Siembra y Cosecha de Agua (SYCA) trasciende la recarga hídrica, actuando como un catalizador de beneficios socioeconómicos multifuncionales para las comunidades rurales.

(Suyo Florez, 2021), en su investigación titulada "Evaluación de impacto socio-económico y ambiental del proyecto de regulación hídrica (cosecha de agua) en la cuenca de la laguna de Quescay - Región Cusco", analizó los efectos derivados de la infraestructura hídrica en las comunidades locales. La metodología aplicada fue de tipo cuantitativa, de corte transversal y nivel explicativo. La muestra se centró en las

intervenciones realizadas entre 2008 y 2010, que incluyeron la construcción de una presa, el tratamiento de acuíferos mediante zanjas de infiltración y la recuperación de pastos naturales, beneficiando a 490 familias de las comunidades de Choccopia, Colquepata y Tiracancha. Los resultados indican que el proyecto logró un incremento del 21% en la cobertura vegetal destinada a la actividad agrícola. Sin embargo, el autor subraya que la sostenibilidad de estos impactos no depende únicamente de la infraestructura, sino del fortalecimiento de la organización de los usuarios. En conclusión, la investigación determina que la constitución de organizaciones sólidas es clave para la operación y mantenimiento del sistema, demostrando que el éxito de la regulación hídrica requiere un equilibrio entre la intervención técnica y la gestión social.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. *Siembra y cosecha de agua*

La técnica conocida como Siembra y Cosecha de Agua (SYCA) consiste en retener el agua en la cabecera de una cuenca hidrográfica para que se filtre en el suelo y recargue las capas freáticas (siembra), con el objetivo de que esté disponible durante los periodos de sequía (cosecha). (Ricra et al., 2022).

3.2.2. *Origen*

Según la historia y la arqueología de estas técnicas, la SYCA ha sido una práctica habitual entre los pueblos indígenas que habitan en regiones áridas y semiáridas. Esto indica que la SYCA se sustenta en un conjunto de conocimientos y prácticas relacionadas con el uso y la gestión del agua de lluvia. (Quispe Martínez, 2024).

Principios

Los principios de la SYCA se basan en la recolección, almacenamiento, infiltración, percolación, conducción, afloramiento y aprovechamiento de aguas superficiales (Quispe Barrios, 2023). Constituyendo un sistema que involucra ingresos, interacciones y egresos, posibilitando cubrir la demanda de agua para fines domésticos, de agricultura y ganadería.

Tipos y características

Entre los tipos de SYCA más conocidas se tienen las siguientes: (Durán et al., 2020)

Qochas. Se trata de depósitos naturales de agua ubicados en las regiones altoandinas del país, que recogen el agua de lluvia y permiten almacenar grandes cantidades para su uso racional durante la estación seca.

Zanjas de infiltración. Se trata de zanjas excavadas en el terreno con forma de canales rectangulares o trapezoidales, construidas siguiendo las curvas de nivel para retener el agua de escorrentía y almacenarla para riego de pastos y cultivos situados aguas abajo.

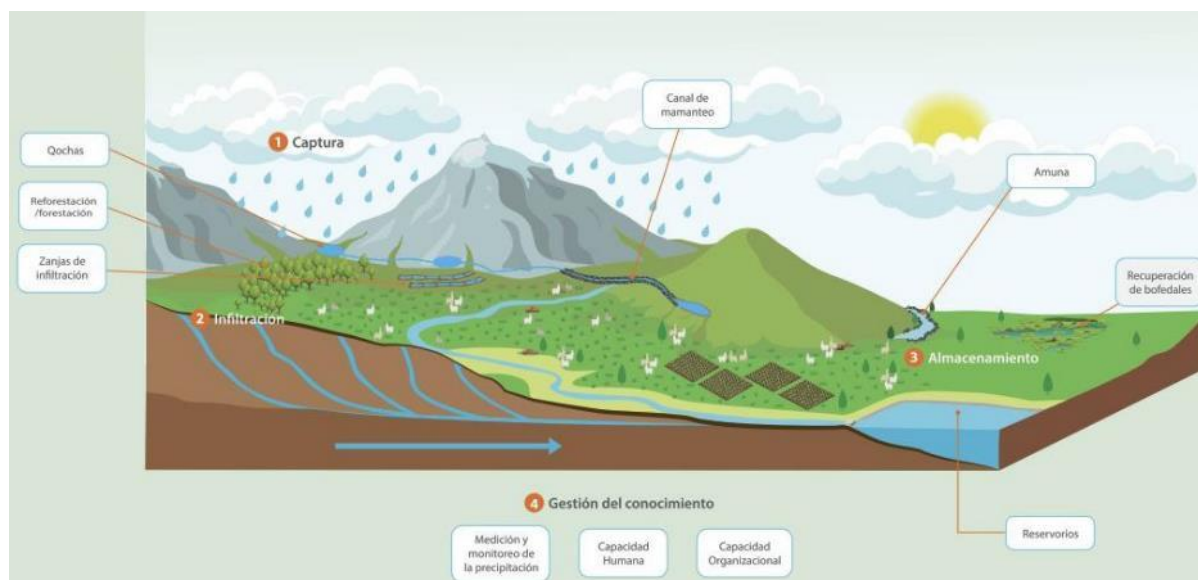
Reforestación. La reforestación consiste en replantar especies de árboles y arbustos, tanto nativos como exóticos, en áreas que previamente tuvieron o no cobertura forestal, con la concepción de producir bienes ecológicos, proteger el medio ambiente o proporcionar servicios ecosistémicos.

Amuna. Se refiere a un antiguo sistema de manejo de agua creado por la cultura Wari hace más de 1,400 años. Estos canales tradicionales, construidos con piedra impermeable sobre suelo permeable, permiten que el agua de lluvia se filtre hacia el subsuelo, recargando el acuífero y protegiendo las laderas de la erosión.

Se puede observar en la figura N° 1 los servicios de la siembra y cosecha de agua en una cuenca hidrográfica, donde se inicia con la captura de las lluvias luego proceden al almacenamiento donde un porcentaje pasa a infiltrarse en el suelo y el resto pasa a ser escorrentía (caudal superficial) el que se almacena en qochas.

Figura 1

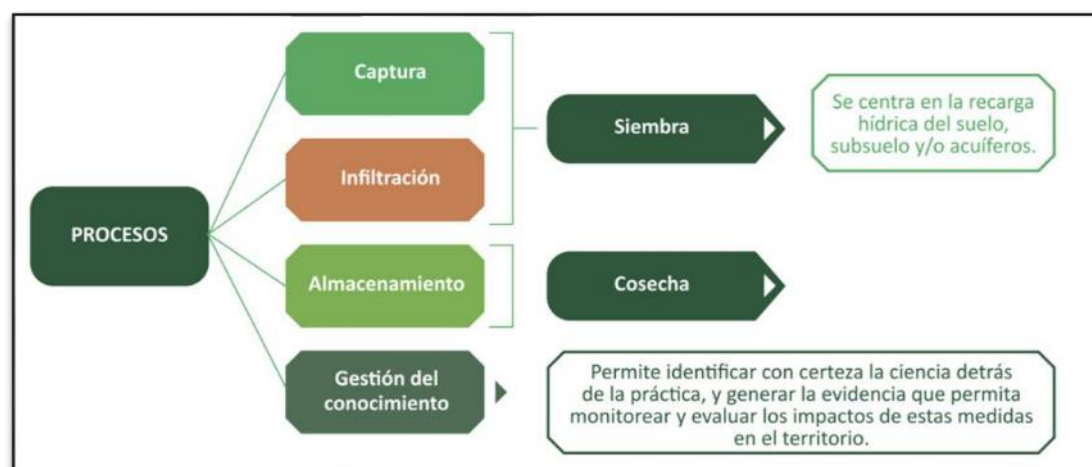
Servicios de siembra y cosecha de agua



Nota: Elementos que componen el ciclo hidrológico donde se incluyen la aplicación de las técnicas de siembra y cosecha de agua: captura, infiltración y almacenamiento. Fuente: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, (2022).

Procesos

La captación e infiltración de agua se consideran procedimientos de (siembra) en los proyectos SYCA, mientras que la recolección almacenamiento de agua se considera (cosecha). Además, la gestión del conocimiento se considera un componente del proceso (Ministerio de Desarrollo Agrícola y Riego, 2022), tal y como se muestra en la figura 2 a continuación:

Figura 2*Procesos de SYCA*

Nota: Esquema de los procesos de siembra y cosecha de agua, imagen donde se describe el mecanismo de aplicación de los proyectos SYCA. Fuente: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, (2022).

Componentes físicos de una qocha.

Buscando mejorar y mantener la disponibilidad hídrica en proyectos de SYCA se vienen construyendo infraestructuras que aumenten la capacidad de almacenamiento de agua y garantizar una gestión eficaz de los recursos hídricos establecieron 6 componentes básicos para su correcto funcionamiento, con el fin de preservar y mejorar el suministro de agua en las qochas. (Fernández Quispe, 2021).

Figura 3*Componentes de las qochas*

una de sus características más importantes. Esta combinación permite un análisis y una visualización más eficaces de la información, lo que se traduce en una mejor toma de decisiones. Gracias a la aparición de software de código abierto como QGIS, que permite a un gran número de personas acceder a estos programas de forma gratuita, los SIG han madurado y se han convertido en herramientas más accesibles en la actualidad. Como resultado, cada vez más expertos y usuarios utilizan los SIG, lo que genera nuevas oportunidades para la investigación y el desarrollo de esta tecnología. (Moreno Rivera, 2024).

ArcGIS Desktop

Se trata de un paquete de software integral creado por ESRI que utiliza sofisticadas tecnologías de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para crear, visualizar, analizar y gestionar datos geográficos. Entre sus capacidades se incluyen la creación de mapas interactivos, análisis geográficos avanzados, una gestión eficaz de los datos geográficos, visualización en 3D, geoprocesamiento y herramientas de edición para gestionar y actualizar datos espaciales (ESRI, 2002)

Earth Explorer

USGS Earth Explorer es un recurso en línea desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) que ofrece acceso gratuito a una variedad de datos de observación de la Tierra. Esta aplicación permite a los usuarios buscar, descargar y organizar datos provenientes de diversas misiones satelitales y sensores, incluyendo imágenes satelitales, datos de radar y productos atmosféricos. El acceso a múltiples misiones satelitales, la posibilidad de obtener imágenes multitemporales, la descarga de series temporales de datos, la capacidad de buscar y descargar información según criterios específicos y las aplicaciones en diversos campos —tales como estudios ambientales, agricultura, gestión de recursos naturales, planificación urbana y monitoreo de desastres— constituyen algunas de sus características clave (Lora, 2016).

Teledetección

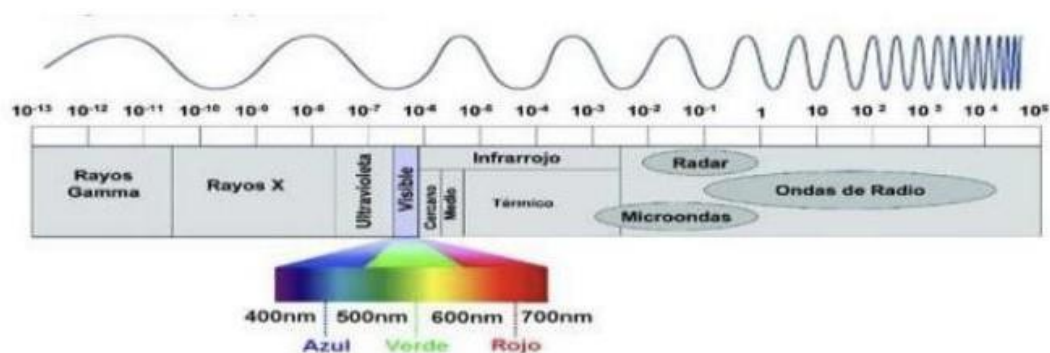
Mediante la captación y el procesamiento de la energía electromagnética procedente de la superficie terrestre, un método conocido como teledetección ha hecho posible recopilar información sobre el planeta. (Fujimoto, 2005) define este método como «la detección y medición de la energía electromagnética emitida o reflejada por la superficie terrestre». Se puede utilizar para recopilar datos sobre una gran variedad de temas, entre los que se incluyen la vegetación, la geografía, la geología, el clima y los océanos.

Dado que la teledetección permite recopilar datos de forma rápida y precisa a diferentes escalas, se ha convertido en una herramienta esencial para el seguimiento y la evaluación de los cambios medioambientales. (Jensen, 2007) afirma que este método puede aplicarse en diversos ámbitos, entre ellos la planificación urbana, la agricultura, la gestión forestal, la gestión de los recursos hídricos y la vigilancia de catástrofes naturales.

Existen varios tipos de dispositivos que se utilizan en la teledetección, entre ellos el radar de apertura sintética (SAR), los sistemas LIDAR y los sensores remotos. Cada uno de ellos se utiliza para recopilar datos con distintas resoluciones y en diferentes bandas del espectro electromagnético. Sin embargo, “los sensores remotos son los instrumentos más utilizados en la teledetección, ya que ofrecen una amplia cobertura de la superficie terrestre y pueden detectar información en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético”.

Figura 5

Espectro electromagnético, longitud de onda en metro



Nota: Esta imagen explica la distribución electromagnética según su frecuencia y longitud de onda, se resalta la franja de luz visible, lo que resulta esencial conocer para comprender de manera básica el funcionamiento de la teledetección. Fuente: Granja Hidalgo, (2024).

Imágenes satelitales

Los satélites de observación de la Tierra son dispositivos que orbitan alrededor del planeta y captan la radiación electromagnética que emite la superficie terrestre. La firma espectral, es decir, la capacidad de determinados materiales u objetos para reflejar o emitir energía electromagnética constituye la base de su funcionamiento. (Pech May et al., 2021). Dado que los datos satelitales permiten recopilar continuamente información sobre los cambios en la superficie terrestre y ofrecen datos y estadísticas fundamentales para la toma de decisiones, pueden contribuir al cumplimiento de los ODS. Sin embargo, el uso de estas imágenes también plantea numerosas dificultades. El creciente volumen de imágenes requiere capacidad de procesamiento y almacenamiento para poder analizarlas. (Castro Barrera & Niño Romero, 2020).

Landsat

De los ocho satélites que componen esta serie de misiones de observación de la Tierra, solo el Landsat 5 y el Landsat 8 están operativos en la actualidad. Su mantenimiento y administración corren a cargo de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA). Por su parte, el Servicio Geológico de los Estados

Unidos (USGS) se encarga de la elaboración y distribución de las imágenes.

Sentinel

La Agencia Espacial Europea (ESA) puso en marcha esta iniciativa multisatélite como parte del Programa Copernicus. Está compuesta por cinco satélites, cada uno de los cuales tiene una función específica, desde la observación del mar hasta la vigilancia terrestre. (Pech May et al., 2021):

- a) Sentinel-1, destinado a la vigilancia de la Tierra y del agua
- b) Sentinel-2, compuesto por dos satélites que proporcionan imágenes de alta resolución y cuyo objetivo principal es la vigilancia terrestre
- c) Sentinel-3, cuyo objetivo principal es la observación marina
- d) Sentinel-4, dedicado a la monitorización de la calidad del aire
- e) Sentinel-5, similar a su predecesor

Además, el proyecto Copernicus Sentinel-2 está formado por una constelación de dos satélites de órbita polar en una órbita sincrónica con el Sol. Su objetivo principal es proporcionar fotografías de alta resolución de la misma región cada diez días y realizar un seguimiento de los cambios en la superficie terrestre.

Figura 6*Distribución de bandas espectrales de Sentinel-2*

Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
1. Aerosol costero	0.43	60
2. Azul	0.49	10
3. Verde	0.56	10
4. Rojo	0.66	10
5. Infrarrojo cercano (NIR)	0.7	20
6. Infrarrojo cercano (NIR)	0.74	20
7. Infrarrojo cercano (NIR)	0.78	20
8. Infrarrojo cercano (NIR)	0.84	10
8a. Rojo de borde (RedEdge)	0.86	20
9. Vapor de agua	0.94	60
10. Cirrus	1.37	60
11. Onda corta infrarroja (SWIR)	1.61	20
12. Onda corta infrarroja (SWIR)	2.19	20

Nota: Imagen de tabla que detalla la clasificación de bandas y sus valores numéricos según longitud de onda y resolución. Fuente: Pech May et al., (2021).

3.2.3. Recarga hídrica

La recarga de aguas subterráneas, un componente esencial del sistema hidrológico de una cuenca hidrográfica, es el proceso mediante el cual el agua procedente de fuentes externas penetra en un acuífero. Este proceso se ve influido por los patrones de precipitación, la escorrentía superficial, el caudal de los ríos, la permeabilidad del suelo, el contenido de humedad del suelo, la duración y la intensidad de las lluvias, y el patrón de drenaje de la cuenca hidrográfica (Matus et al., 2019).

Tradicionalmente, se adoptaba un enfoque sistemático de la gestión de las cuencas, haciendo hincapié en la identificación de las entradas y salidas del sistema hidrográfico de la cuenca, que se basaba principalmente en el recurso hídrico. Hoy en día, no solo se valoran los recursos hídricos, sino también otros recursos como el aire, la biodiversidad, el suelo y la cubierta vegetal, entre otros. Es necesaria una gestión

adecuada para mantener, mejorar y hacer sostenible el ecosistema, lo que implica relacionar los factores sociales y económicos teniendo en cuenta la capacidad del sistema. (Rodríguez Lugo & Pérez Álvarez, 2014).

Las precipitaciones en las zonas de recarga de acuíferos constituyen la principal y más importante fuente de agua para una amplia variedad de cursos de agua, manantiales y masas de agua subterráneas, tal y como ya sabían nuestros antepasados. Sin embargo, al erosionar, compactar, impermeabilizar y dejar al descubierto el suelo, diversas actividades relacionadas con la agricultura, la ganadería, la silvicultura, el desarrollo urbano y la industria alteran las propiedades de las zonas de recarga hídrica y limitan la infiltración, lo que aumenta la escorrentía superficial y reduce la recarga de los acuíferos.

Tipos y clasificación

En función al movimiento de agua en el suelo y sub suelo las zonas de recarga hídrica pueden clasificarse en (Matus et al., 2019):

Zonas de recarga hídrica superficial: Salvo en las regiones totalmente impermeables, cubren casi toda la cuenca hidrográfica. Dependiendo de las condiciones de drenaje (saturación del suelo y topografía del terreno), la zona de recarga superficial se satura tras cada tormenta y genera escorrentía superficial.

Zonas de recarga hídrica subsuperficial: Se corresponden con zonas de la cuenca donde el flujo horizontal subsuperficial se concentra aguas abajo dentro de la red de drenaje, debido a la capacidad de los suelos para retener agua o almacenarla en la superficie, sobre una capa impermeable.

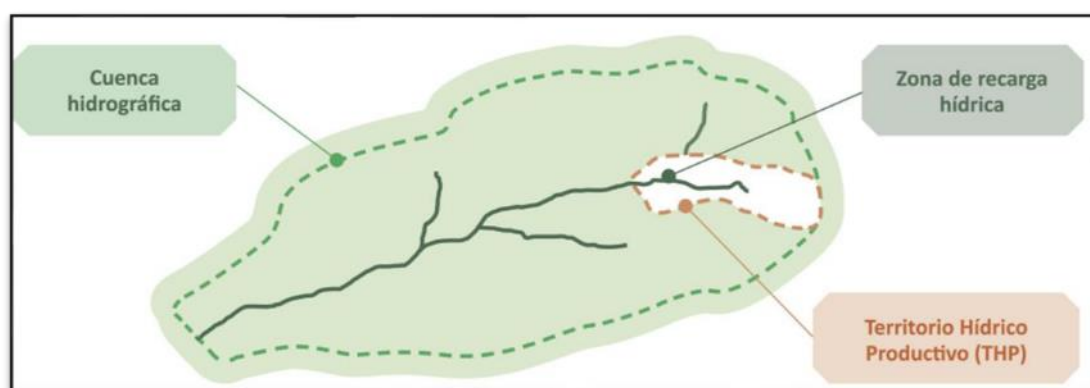
Zonas de recarga hídrica subterránea: Estas son las zonas de la cuenca hidrográfica (rocas permeables y terrenos llanos o cóncavos) en las que el flujo de infiltración vertical es importante; es lo que da lugar a los acuíferos o los recarga. La relación entre los acuíferos y la recarga externa que proviene de otra cuenca hidrográfica es un componente fundamental de esta zonificación.

Zonas de recarga hídrica subterránea: Se trata de zonas de la cuenca hidrográfica que presentan fallas geológicas profundas o en las que la filtración profunda provoca desequilibrios en el balance hidrogeológico.

Las zonas de recarga hídrica dentro de una cuenca hidrográfica se muestran en la figura 5, donde las precipitaciones efectivas suelen producirse en los tramos superior y medio. Esta zona es donde se pueden adoptar medidas para mejorar la recarga de agua, principalmente con fines de abastecimiento. Por consiguiente, el ámbito de las aguas productivas incluye la zona de recarga de aguas subterráneas. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022).

Figura 7

Zona de recarga hídrica



Nota: Imagen referencial que describe como se distribuye las zonas de recarga hídrica, territorio hídrico en una cuenca hidrográfica. Fuente: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, (2022).

Cobertura vegetal

En el medio ambiente, la vegetación cumple una serie de funciones importantes. Para empezar, actúa como una manta protectora del suelo, protegiéndolo de la erosión provocada por el viento y la lluvia. Además, las raíces de las plantas ayudan a mantener el suelo en su sitio y evitan que sea arrastrado por el agua. Esto es necesario para preservar la fertilidad del suelo y frenar la pérdida de nutrientes (Granja Hidalgo, 2024).

Cambio en la cobertura vegetal del suelo

Según (Carranza Gallardo y Tasilla Montalván, 2020), la cobertura del suelo es el término utilizado para describir la vegetación natural que cubre la superficie de la Tierra. Abarca una gran variedad de biomas con características físicas y ambientales distintas, desde praderas hasta regiones cubiertas por bosques naturales. Se caracteriza por la conversión, la apropiación y el uso antinatural de la tierra por diversas razones; suele estar vinculada a procesos de degradación del suelo y deforestación provocados tanto por fenómenos naturales como por la actividad humana.

Utilizamos la fórmula propuesta por (MINAM, 2016) para determinar la tasa de cambio. Este cálculo se basa en las superficies de cobertura vegetal al inicio y al final del período de estudio, así como en la duración del período analizado. La siguiente fórmula permite determinar la tasa de cambio

$$T_c = \left(1 - \frac{t_1 - t_2}{t_1} \right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

Donde:

Tc: es la tasa de cambio

t1 y t2: son las superficies de la cobertura vegetal en el año inicial y final t: equivale a la amplitud del periodo analizado

Los valores fluctúan entre el -1% a +1%, los valores negativos representan pérdida y los valores positivos ganancia.

3.3. Definiciones de términos

3.3.1. *Siembra de agua*

Esto se refiere a los métodos que utilizan técnicas tanto estructurales como no estructurales para recoger e infiltrar el agua procedente de la escorrentía superficial y de la lluvia (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022)

3.3.2. *Cosecha de agua*

Técnicas de almacenamiento local de agua para su uso posterior en momentos y lugares específicos, con fines como el consumo humano, la agricultura, ganadería y piscicultura. Esto se logra mediante la implementación de infraestructuras de almacenamiento de agua a pequeña escala, como reservorios de cosecha y qochas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2022).

3.3.3. *Cobertura vegetal*

Es la capa de vegetación que cubre el suelo en una zona determinada, como pastos, arbustos o árboles; resulta fundamental para regular la temperatura, favorecer la infiltración del agua, reducir la erosión del suelo y fomentar la biodiversidad (Quinto Caja & Taipe Ramos, 2025).

3.3.4. *Tasa de cambio*

La tasa de variación es una medida de la variación relativa o de la velocidad a la que cambia una cantidad durante un determinado periodo de tiempo. Resulta más fácil comprender y seguir los patrones y las tendencias de los cambios cuando se expresan como el porcentaje de variación observado en intervalos de tiempo predeterminados (Parrot & Tejeda, 2005).

3.3.5. Infiltración

Se trata del proceso mediante el cual las precipitaciones o la escorrentía superficial penetran en el suelo a través de sus espacios intersticiales; es fundamental para mantener la humedad del suelo y recargar los acuíferos subterráneos. Hay una serie de variables, como el tipo de suelo, la pendiente y la cubierta vegetal, que influyen en la velocidad de infiltración (Quinto Caja & Taipe Ramos, 2025).

3.3.6. Permeabilidad de suelo

La característica física fundamental que mide la facilidad con la que los fluidos principalmente el agua pueden desplazarse a través de los espacios porosos interconectados de una masa de suelo ante la presencia de un gradiente hidráulico se conoce como permeabilidad del suelo. Esta propiedad es crucial para analizar problemas de filtración y la estabilidad de taludes, así como para el diseño seguro de diversas infraestructuras geotécnicas, ya que se ve influida por factores importantes como la estructura interna del material, la relación de vacíos y la distribución granulométrica (Das, 2001).

Ensayo de permeabilidad según la norma ASTM D3385-18

El infiltrómetro de doble anillo se utiliza como una técnica de campo estandarizada para medir la velocidad de infiltración de agua (u otros líquidos) que penetra en el suelo. El procedimiento consiste en instalar dos cilindros metálicos concéntricos que se introducen parcialmente en el terreno. Ambos cilindros se llenan de líquido, manteniéndose siempre un nivel constante. La cantidad de líquido que es necesario añadir al anillo interior para mantener dicho nivel constituye un indicador directo de la cantidad de agua que se infiltra verticalmente en el suelo, como se ve en la imagen a continuación:

Figura 8

Infiltrómetro de doble anillo



El anillo interior con diámetro interno de 30 cm y altura de 30 cm, el anillo exterior con diámetro interno de 60 cm y altura de 30 cm que incluya además una regla graduada.

Aspectos importantes establecidos por la norma:

- Objetivo: Calcular la tasa de infiltración del suelo —expresada como profundidad por unidad de tiempo (p. ej., mm/h o cm/h)— hasta alcanzar el valor de estado estacionario o estabilizado.
- Concepto fundamental: Dado que el anillo exterior actúa como una barrera hidráulica que reduce o elimina el flujo lateral, el movimiento bajo el

anillo interior es predominantemente vertical, lo que permite realizar mediciones precisas.

- **Ámbito de aplicación:**

Es un ensayo de campo en excavaciones o en superficie, idealmente los suelos deben estar nivelados y estar libres de piedras grandes o arcillas extremadamente plásticas, la prueba no es aplicable si la superficie de ensayo se encuentra por debajo del nivel freático y se aplican las siguientes formulas:

Cálculo y expresión de resultados

$$\text{Fórmula base: } I = \frac{\Delta V}{A \times \Delta t}$$

Donde:

- I = tasa de infiltración
 - ΔV = volumen repuesto en el anillo interior
 - A = área del anillo interior
 - Δt = tiempo del intervalo
- Se expresa en mm/h, cm/h o m/día; el resultado final reportado es el valor estabilizado.

3.3.7. Qocha

Es una técnica ancestral desarrollada en los andes para gestionar de forma eficiente los recursos hídricos, basado en la construcción de reservorio naturales en el terreno con el objetivo de captar y almacenar el agua proveniente principalmente de la lluvia.

3.3.8. Volumetría en caudales

Este método de medición del caudal de agua en campo consiste en recoger el flujo en un recipiente de volumen conocido y cronometrar el tiempo que tarda en llenarse. Es una técnica sencilla y de alta precisión que solo requiere un recipiente y un cronómetro, lo que la hace ideal para manantiales, tuberías o caudales reducidos y se

considera para su cálculo la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{v}{t}$$

Donde:

Q = Caudal, teniendo como unidad de medida litros /segundo “l/s”

v = Volumen de agua, teniendo como unidad de medida litros “l”

t = Tiempo, teniendo como unidad de medida segundo “s”

3.4. Datos del Proyecto

3.4.1. Nombre del proyecto

RECUPERACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DE PACHATUSAN, EN LAS LOCALIDADES DE PATABAMBA, CCAJYAPATA, KEHUAR Y PATACANCHA DEL DISTRITO OROPESA - QUISPICANCHI – CUSCO

CUI: 2378489

3.4.2. Ubicación

UBICACIÓN POLITICA

Sector	: Tipon y Huasao
Distrito	: Oropesa.
Provincia	: Quispicanchi
Departamento	: Cusco
Comunidad	: Huasao y Choquepata
Anexos	: Patabamba, Ccajyapata, Quehuar y Patacancha

UBICACIÓN GEOGRAFICA

Altitud media	:	3,970.79 msnm
Altitud mínima	:	3,099.64 m.s.n.m.
Altitud máxima	:	4,828.47 m.s.n.m.

3.4.3. Ciclo de inversión

Las fechas y años que designan el ciclo de inversión del proyecto CUI 2378489

Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del

Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi – Cusco, de acuerdo al sistema Invierte.pe corresponden a una cronología histórica propia de la gestión del Gobierno Regional de Cusco a través del IMA.

Con base en la trayectoria de ejecución del proyecto, a continuación, se presentan los tiempos aproximados de cada fase:

Tabla 2

Ciclo de inversión (CUI2378489)

Fase del Proyecto	Periodo / Año	Detalle Temporal
Programación (PMI)	2017 – 2018	Identificación de la necesidad en la cartera de inversiones del Gobierno Regional del Cusco.
Formulación y Evaluación	y Mayo 2018	Fecha clave donde se registró la Declaración de Viabilidad en el sistema del MEF, permitiendo el pase a la ejecución.
Ejecución (Expediente Técnico)	2018 – 2019	Elaboración del expediente técnico detallado y procesos de aprobación administrativa previos al inicio de obra.
Ejecución (Obra Física)	2019 – 2021	Periodo de trabajos de campo, forestación, zanjas de infiltración y adecuación de ecosistemas.
Funcionamiento	2022 adelante en	Registro de proyecto como " Culminado ". Fase actual de operación y mantenimiento a cargo de la entidad responsable y los beneficiarios locales.

En resumen, se tuvieron tres fases bien diferenciadas:

Fase de formulación (2018): Este año fue crucial, ya que expertos del sector evaluaron el proyecto para garantizar que la intervención en la cuenca de Pachatusan fuera viable tanto económica como técnicamente para la zona.

Implementación (2019–2021): Durante estos tres años se realizó la mayor parte

de la inversión. Dado que actividades como la plantación de especies nativas o el cercado de áreas dependen de los ciclos hidrológicos y las temporadas de lluvias del terreno altoandino de Cusco, la implementación de proyectos de "infraestructura natural" suele requerir varios años.

Operación (2022 en adelante): Con el proyecto ya clasificado como "Finalizado", se ha llegado a la etapa en la que los activos (zonas de recarga y áreas protegidas) deberían aportar los beneficios prometidos en cuanto a la gestión del agua.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS QOCHAS

Los represamientos se encuentran ubicados en la cuenca del Pachatusán, microcuencas de Ccancayoc-Chincacocha-Chaupihuaylla, Ccarachalhuachayoc, Chuñumasana y Torococha-Quchucancha, sectores de Patabamba, Ccayapata, Quehwar y Patacancha; en su parte alta. En el siguiente cuadro se muestra la ubicación de los represamientos:

Tabla 3

Características generales de los diques

Nombre	Tipo de dique	Altura del dique M	Volumen almacenamiento o M3	Caudal de evacuación M3/seg.
Chincacocha	Tierra compactada	3.60	4,377.00	2.2
Chaupihuaylla	Tierra compactada	4.00	3,675.00	2.2
Ccancayoc	Tierra compactada	5.50	8,769.00	2.1
Torococha	Tierra compactada	5.50	65,165.00	0.5
Quchucancha	Tierra compactada	5.50	7,223.00	0.9
Ccarahuallhuachayoc	Tierra compactada	2.50	4,060.00	0.03
Chuñumasana	Tierra compactada	7.00	7,189.00	6.0
Pujruhuaylla	Tierra compactada	1.80-2.50	958.00	-

Nota: Tabla que donde se dan detalles de el volumen de almacenamiento de agua de cada dique ejecutado. Fuente: Expediente técnico del proyecto Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de

Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi – Cusco CUI: 2378489

El planteamiento de las presas se basó en los estudios básicos y considera los siguientes criterios sociales, económicos y técnicos; siendo los siguientes:

La zona se caracteriza por la gran escasez de agua; los pequeños almacenamientos permitirán contar con agua para uso complementario en riego de cultivos para las comunidades mencionadas.

Las zonas elegidas para represamientos en las partes altas de la cuenca son bofedales que representan las mejores posibilidades topográficas, geotécnicas e hídricas para almacenamiento de aguas superficiales y subsuperficiales.

De acuerdo a las condiciones topográficas del vaso y la boquilla, los almacenamientos serán de pequeña magnitud con pequeños diques hasta 6m de altura.

Según las condiciones geotécnicas de materiales fluvio-glaciares con suelos semipermeables, los represamientos tendrán una función mixta permitirán el almacenamiento de aguas superficiales y filtraciones para el mantenimiento de acuíferos. Por otro lado, las características hidromórficas (bofedales) dentro del vaso permitirán el almacenamiento de agua en el suelo.

Según los estudios de geotecnia, la zona cuenta con materiales adecuados de tierra para la conformación de diques de materiales sueltos, gravas y champas in situ aún dentro del vaso, que pueden ser utilizados para conformar represas de tierra y su protección respectiva; sin embargo la carencia de materiales finos (arcillosos) para la impermeabilidad del dique es escaso por lo que una buena alternativa es el uso de geomenbranas, igualmente arenas y piedras también son escasos por lo que el uso de geotextiles como filtros sería necesario.

Los volúmenes de represamiento se consideran bajos debido a que las pendientes de los vasos son relativamente altas; por lo que se adopta la ampliación del volumen de represamiento con la excavación del vaso, cuyos materiales serán usados en la conformación del dique y suprotección.

La zona contará con acceso las zonas de represamiento salvo la presa de Pujruhuaylla, por lo que es posible el traslado de maquinaria, equipos y materiales entre ellos el uso de tractor, compactadora y volquetes.

Los represamientos tendrán los siguientes componentes:

Presa de tierra

Obra de toma

Vertedero de excedencia

Canal de evacuación

Poza disipadora

3.4.4. Dique Torococha

Almacenamiento. - Complementariamente al almacenamiento por la conformación del dique; el área del vaso fue excavado para aumentar el volumen de almacenamiento cuyo material, fue utilizado en la conformación del dique y su protección. Además, se estimó el volumen de extracción de 805 m³ de material excedente.

Dique de tierra. - Se encuentra ubicada en el sector denominado Torococha, se destinó para un almacenamiento de 86,185.00 m³, el dique principal tiene una altura al desplante de 5.50m, una longitud total en la corona de 66 m, un ancho de corona de 3.50 m y taludes aguas arriba y abajo V:1 - H:2.0, los cuales se consideran estables para presas pequeñas. La corona tiene una pendiente de 2% hacia la cara aguas arriba del dique, para evitarla acumulación de agua o presencia de Charcos que erosionen el talud aguas abajo. El dique principal fue complementado por un pequeño dique de tierra adyacente al vertedero de excedencia en su lado izquierdo. Su altura promedio es de 0.70m, un largo de 23m, ancho de la corona 2.00m.

Según los informes obtenidos de los archivos del proyecto el dique fue compactado al proctor (95%) de material tipo SM; el cual se obtuvo del propio vaso, del cual se eliminó la materia orgánica y materiales sólidos mayores 4".

El dique en el desplante y en toda su longitud, cuneta con un dentellón de tierra

compactada para lograr una mejor adherencia entre el dique y el terreno firme, tiene un ancho mínimo en la base de 3m, altura 1m y talud 1:1.

Impermeable. - La impermeabilización del dique aguas arriba se realizó mediante la implementación de una geomembrana de polietileno de alta densidad de 1.5mm de espesor, la cual está protegida por dos capas de geotextiles de 200 gr. (arriba y abajo), dichas capas, se encuentran ancladas a la corona en una zanja de anclaje de 0.60 m de ancho por 0.50m de profundidad, ubicada a 0.50m del borde del dique aguas arriba.

Filtro y drenaje. - La naturaleza de la cimentación es de baja permeabilidad por lo que no fue necesario la instalación de filtros; sin embargo, en el talón del dique aguas abajo se colocó un empedrado o enrocado sobre geotextil que canaliza las filtraciones de la cimentación y el dique. El enrocado tiene una altura de 1.50 m y sigue la tendencia del talud aguas abajo, internamente según los planos tiene un talud de 1:1.

Protección. - Tanto en la corona como el talud aguas abajo se colocó un enchampado con una cama de materia orgánica para proteger de la erosión por la lluvia; aguas arriba, el talud está protegido contra el oleaje por una geocelda de 3" de altura relleno con grava.

Obra de toma. - La obra de toma consta de una caja de toma aguas arriba del dique en el lado izquierdo, sobre terreno firme de la ladera, este es de concreto $f'c$ 140 kg/cm², de dimensiones 0.40 x 0.40 x 0.40m, en la parte superior según los informes se instaló una rejilla de platinas de 2" x 3/16" con bisagra, separadas cada 2.0 cm, para evitar la entrada de sólidos.

Inmediatamente de la caja de toma se tiene un tubo de PVC clase 5, de 30m de longitud, de 4" de diámetro, con una pendiente de 2.3%, que permite evacuar un caudal de 34 lt/seg. con la carga máxima.

El tubo fue recubierto con concreto de $f'c$ 140 kg/cm² de 0.10m de espesor, para lograr una mejor adherencia entre la presa de tierra y el concreto. Se colocó 06 pantallas de concreto de $f'c$ 140 kg/cm² alrededor del recubrimiento, para alargar las líneas de

filtración hasta un 25% más, evitando un posible sifonamiento ante filtraciones, las pantallas están separadas en 1.20m, altura 0.40m y espesor 0.20m.

Al final del tubo se colocó una válvula de 3" del tipo compuerta, la cual está dentro de una caja de válvula de concreto $f'c$ 140 kg/cm² de dimensiones 0.40 x 0.40 x 0.40m, a continuación de la caja se cuenta con una poza disipadora de empedrado, para disipar la energía cinética en condiciones de máxima carga. Tiene una longitud de 1.35 m, ancho 0.80m y alto 0.70m.

Vertedero de excedencia. - En el lado izquierdo, inmediatamente aguas arriba del dique se construyó el vertedero de excedencias del tipo frontal para evacuar una avenida máxima de 0.50 m³/seg. Tiene un largo de 1.50 m de longitud, con una altura de 0.80m y está construido de concreto ciclópeo $f'c$ 140 kg/cm² + 70% PM.

Canal de evacuación. - El vertedero se conecta a la rápida a través de una transición con la sección de control de 3m de longitud, la sección de control es de forma rectangular de ancho en la base 0.60m, altura 0.80 y talud vertical, con una pendiente de 8.7%.

El vertedero está construido en mampostería de piedra asentada con concreto de $f'c$ 140 kg/cm² + 70 % de PM., recubierto por tarrajeo de 5 cm, de $f'c$ 175 kg/cm².

Rápida. - La rápida comienza inmediatamente a la sección de control, con una longitud de 7.50 y una pendiente de 12.20% y que empalma a la poza disipadora con una transición de 3m de longitud. El canal-rápida de forma rectangular tiene un ancho de 0.60 y 0.60m de altura. Su construcción se realizó de mampostería (piedra asentada en concreto $f'c$ 100 kg/cm²), con una cama de 5cm de concreto pobre 1:8 sobre suelo compactado y tarrajeo de 5cm de concreto $f'c$ 175 kg/cm².

Poza disipadora. - Al final de la rápida se tiene la poza disipadora para disipar la elevada energía cinética; sus dimensiones son 3.40m de largo, ancho 1.20m y altura 1.00m, es de concreto ciclópeo (concreto $f'c$ 140 kg/cm² + 70% de PM).

La poza disipadora fue construida en mampostería de concreto $f'c$ 140 kg/cm² + 70% de PM.

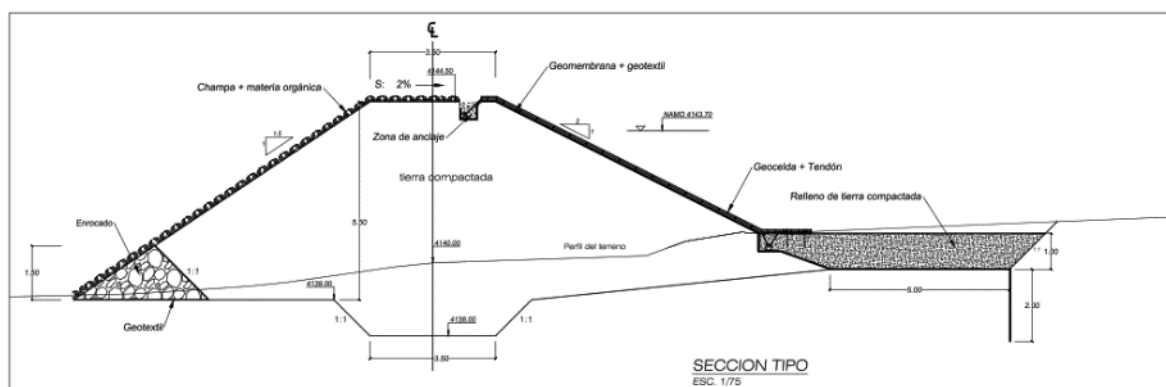
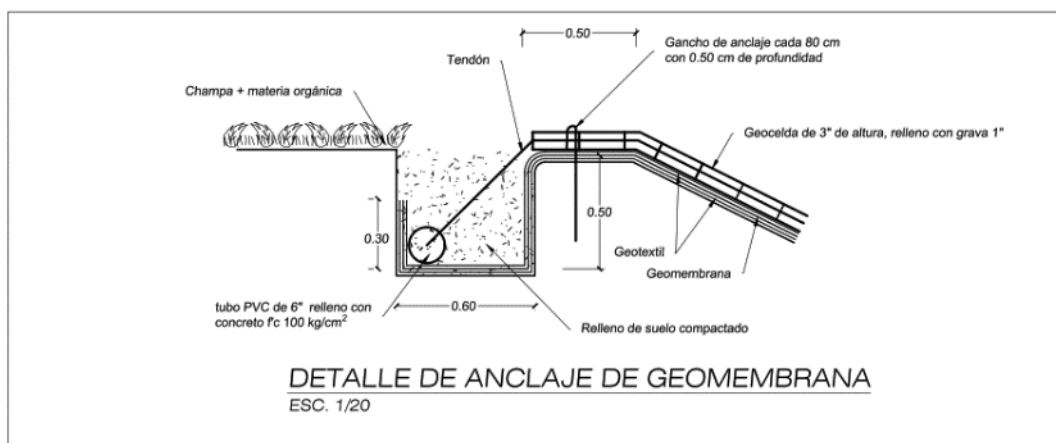
Figura 9*Plano en corte del dique Torococha***Figura 10***Plano en corte de detalle de anclaje de geomembrana del dique Torococha*

Tabla 4*Tabla resumen de las características del dique Torococha*

N°	Descripcion	Und	Metrado
Dique			
1	Volumen de almacenamiento	M3	65165.00
2	Volumen útil o neto	M3	58648.50
3	Cota de coronamiento	MSNM	4144.50
4	Cota de embalse NAMO	MSNM	4143.70
5	Cota de embalse NAMIN	MSNM	4140.00
6	Cota de fundación (nivel de desplante)	MSNM	4138.00
7	ALTURA DE VOLUMEN DE OPERACIÓN (h=NAMO-NAMIN)	M	3.70
8	Bordo libre (bl)	M	0.80
9	Altura efectiva de la presa (he=h+bl)	M	5.50
10	Altura total de la presa (ht=he+c)	M	5.50
11	Longitud de la corona (lc)	M	71.70
12	Ancho de coronamiento (a)	M	3.50
13	Talud espaldas aguas arriba (1:n)	1:N	'1/2
14	Talud espaldas aguas abajo (1:n)	1:N	'1/1.5
15	Caudal de descarga aproximado (2 meses)	M3/SEG	0.50
Caja de valvula (salida)			
1	Ancho de la base	M	1.10 X 1.10
2	Válvula de control	PULG.	3"
3	Tapa metálica	UND	0.50 X 0.50
Vertedero de excedencias			
1	Apertura de aliviadero (trapezoidal)	M	1.65 X 2.00 10.25 X
2	Canal de rápida (recto)	M	0.60
3	Salida del vertedor	M	5.10 X 1.20

3.4.5. Inventario de fuentes de agua

El inventario de puntos de agua, nos permite caracterizar la potencialidad de las unidades acuíferas más importantes de la cuenca. Este inventario nos ha conllevado a que podamos complementar más el nivel del acuífero del área de estudio.

En el siguiente cuadro, se presenta el inventario y aforos de manante; asimismo, de los riachuelos, donde se ha identificado 49 fuentes de agua, de las cuales 26 a un régimen permanente y 23 atemporales. Para la qocha Torococha se tienen identificados 4 fuentes de agua permanente con un caudal promedio de 3.23 lt/s, considerando que tres de ellos son manantes y uno es riachuelo.

Figura 12*Relación de fuentes permanentes y temporales de la cuenca Pachatusan*

N°	ZONA	NOMBRE	Aforo	REGIMEN	Ql/seg	T°	S	CE
1	19	Pinchapuccgio	Manante	Permanente	0.110		0.020	93.4
2	19	Accocasa	Manante	Permanente	0.190	12.300	0.020	66.3
3	19	Huayrocancha	Riachuelo	Permanente bajo a la mitad	1.960		0.090	218.0
4	19	Chuñumasana	Manante	Permanente	3.700	Frio	0.060	144.0
5	19	Minero	Manante	Permanente	0.510	8.800	0.050	119.3
6	19	Bofedal Mineropata	Bofedal manante	Permanente	2.860	13.200	0.060	145.0
7	19	Ccarachallhuachayoc	Manante	Permanente	0.580	8.000	0.060	136.3
9	19	Chincacocha2	Manante	Permanente	0.100		0.000	0.0
10	19	Chincacocha1	Manante	Permanente	0.880		0.060	139.0
11	19	Ttotorcocha2	Manante	Permanente	0.560		0.020	74.0
12	19	Ttotorcocha1	Manante	Permanente	0.950	8.000	0.040	112.3
13	19	Totoracocha 3	Manante	Permanente	0.120		0.050	122.4
14	19	Riachuelo Ttotorcocha	Riachuelo	Permanente	1.600		0.050	130.0
15	19	M7- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
16	19	M5- sn	Manante	Permanente	0.013	Frio	0.000	0.0
17	19	M6- sn	Manante	Permanente	0.180	Frio	0.000	0.0
18	19	M4- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
19	19	M3- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
20	19	M2- sn	Manante	Permanente	0.110		0.000	0.0
21	19	M1- sn	Manante	Permanente	0.030		0.000	0.0
22	19	Qda Minero	Riachuelo	Permanente	0.042	Frio	0.000	0.0
23	19	Punchaypucyo	Manante	Permanente	0.050	12.500	0.020	61.6
24	19	M14- sn	Bofedal manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
25	19	M8- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
26	19	M9- sn	Bofedal manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
27	19	M11- sn	Bofedal manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
28	19	M10- sn	Bofedal manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
29	19	M12- sn	Bofedal manante	Intermitente	0.000		0.000	0.0
30	19	M13- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
31	19	M17- sn	Manante	Permanente	0.110		0.000	0.0
32	19	M16- sn	Manante	Permanente	0.023		0.000	0.0
33	19	M15- sn	Manante	Permanente	0.065		0.000	0.0
34	19	M14- sn	Manante	Permanente	0.031		0.000	0.0
35	19	M18- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
36	19	M19- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
37	19	M20- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
38	19	M21- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
39	19	M22- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
40	19	M23- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
41	19	M24- sn	Manante	Temporal(seco)	0.000		0.000	0.0
42	19	M27- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
43	19	M25- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
44	19	M26- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
45	19	M27- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
46	19	M28- sn	Manante	Permanente	0.002		0.000	0.0
47	19	M29- sn	Manante	Permanente	0.007		0.000	0.0
48	19	M30- sn	Manante	Intermitente	0.000		0.000	0.0
49	19	M31- sn	Manante	Temporal	0.000		0.000	0.0
50	0	Pillpinto Quehuay	Qda.	Permanente	5.540		0.000	0.0
51	0	Cuchucancha	Riachuelo	Permanente	1.170	12.000	0.000	0.0

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

El estudio es del tipo básico, ya que se profundizará los principios y teorías de la SYCA y su relación con la recarga hídrica, donde se estudiará los aspectos y hechos observables generando un conocimiento acerca de la relación entre las variables, todo ello con el objetivo de incrementar los conocimientos relacionados a la SYCA. Según (Haro Sarango et al., 2024) la investigación básica o fundamental que busca ampliar el conocimiento teórico sin un enfoque inmediato en aplicaciones prácticas, centrándose en comprender los principios fundamentales.

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, este enfoque se aplicará en la identificación de los tipos de técnicas naturales, las áreas de cobertura vegetal y las fuentes hídricas.

4.2. Alcance del estudio

El alcance de la investigación es descriptiva correlacional, ya que se describirán situaciones, características y eventos generados por la SYCA, con el propósito de medir el grado de relación que existe entre la SYCA con la recarga hídrica.

Según (Hernández Sampieri et al., 2014) los estudios descriptivos usualmente describen el comportamiento de situaciones y eventos, que buscan especificar las características importantes de un fenómeno sometido a análisis. Por otro lado, las investigaciones correlacionales, sirven para saber cómo se puede comportar una variable conociendo el comportamiento de otra variable relacionada, midiendo si están o no relacionadas entre sí.

4.3. Diseño de investigación

Esta investigación adopta un diseño no experimental, pues busca analizar las variables en su estado natural. Asimismo, posee un carácter transversal, debido a que la recopilación de información se realiza en una sola ocasión. Según (Hernández Sampieri et al., 2014) la investigación no experimental, es la que se realiza sin manipular deliberadamente variables, donde solo se limita a observar los acontecimientos que ocurren en un contexto natural. Y el diseño transversal se distingue por la forma de recolección de datos, que es en un único tiempo, facilitando el análisis y descripción de las variables que afectan a las acciones en un periodo determinado.

4.4. Población y muestra

4.4.1. *Población*

La población está conformada por el componente 2 (Construcción de sistemas de almacenamiento superficial) y el componente 3 (incremento del proceso de recarga y almacenamiento de los ecosistemas) del proyecto de inversión Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi – Cusco, los mismos que contemplan siete diques de tierras, 60 ha de zanjias de infiltración y tres pantallas de estructura de tierra.

4.4.2. *Muestra*

La selección de la muestra se realizará mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, dado que la magnitud de la población no es muy amplia y se requiere toda la información disponible para cumplir los objetivos planteados en la investigación Según (Hernández Sampieri et al., 2014) la elección de muestras no probabilísticas no depende de que todos tengan la misma posibilidad de ser elegidos, sino de la decisión de un investigador o grupo de personas que recolectan los datos, siendo este el caso de investigación.

Bajo la justificación descrita líneas anteriores, la muestra en esta investigación se considera los siete diques de tierras, 60 ha de zanjas de infiltración y tres pantallas de estructura de tierra y la evaluación de fuentes hídricas se centra en la presa TOROCOCHA, la que fue ejecutada mediante el proyecto de inversión “Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi – Cusco”.

4.4.3. Instrumentos

Para la recolección de datos relacionados con las dimensiones espaciales y temporales, se consideró las obras civiles del proyecto de inversión Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi – Cusco, del mismo se analizaron los siete diques de tierras, 60 ha de zanjas de infiltración y tres pantallas de estructura de tierra a las coberturas que están unidas a la infraestructura antrópica y la vegetación.

Los instrumentos principales fueron el software ARGIS y las imágenes satelitales, el software SIG permitirá analizar la distribución del uso de cobertura vegetal y las fuentes hídricas del proyecto de SYCA en el departamento del Cusco, creando mapas y visualizaciones que reflejen la evolución de la cobertura vegetal y las fuentes hídricas del proyecto SYCA a lo largo del tiempo de los años 2017, 2020 y 2025.

La determinación de caudales en la presa TOROCOCHA se realizó mediante el método volumétrico que consiste en recolectar un volumen fijo de agua en recipiente y controlar el tiempo que tarda en llenar el recipiente, es un método directo que se aplica en campo.

El levantamiento de información se ha realizado utilizando información documentaria relacionada al informe final de la obra “Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi –

Cusco”, y las imágenes satelitales a partir de los satélites SENTINEL, para ver la temporalidad y funcionamiento del proyecto de SYCA, dado que contienen los registros oficiales de cada intervención, como los años de inicio y las actividades realizadas.

4.5. Procedimientos

El procesamiento de imágenes satelitales incluye una serie de procedimientos técnicos destinados a modificar y examinar los datos obtenidos por los satélites. La corrección inicial de la imagen, que consiste en modificar los valores radiométricos y corregir las distorsiones geométricas, es el primer paso de este proceso. A continuación, se aplican técnicas de mejora para minimizar el ruido y resaltar características concretas.

Mientras que la corrección geométrica corrige posibles distorsiones espaciales y garantiza que la representación de la imagen sea fiel a la distribución espacial de los elementos geográficos, la corrección radiométrica modifica los niveles de radiación para reflejar adecuadamente los atributos de los objetos de la imagen (Granja Hidalgo, 2024).

Una vez corregidas las imágenes es posible usarlas para realizar análisis en aplicaciones especializadas. Para el caso de esta investigación se busca realizar una clasificación de la cobertura vegetal y fuentes hídricas, además de clasificar el uso de los suelos dentro de la cuenca Pachatusan.

La metodología aplicada para el análisis de las zonas de cultivo y cuerpos de agua se dividió en 5 pasos (Pech May et al., 2021):

- a) Se establecieron las áreas de interés,
- b) Se determinaron las series de tiempo basadas en un conjunto de características.
- c) Se adquirieron las colecciones de imágenes de las áreas de interés acorde a las series de tiempo.
- d) Se preprocesaron digitalmente las imágenes para realizar correcciones atmosféricas y, finalmente.

e) Se aplicaron los algoritmos correspondientes para calcular los índices radiométricos.

A continuación, se presenta la metodología para el análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua.

Figura 13

Flujograma para obtener los índices radiométricos



En primer lugar, se compilaron las bandas de cada satélite en una sola imagen, luego del proyecto de acuerdo a la Base Cartográfica del Gobierno Regional del Perú – Cusco DATUM: WGS84 UTM, Zona: 18 Sur. del Perú Zona 18S y por último se recortó la imagen mediante la delimitación de la cuenca del Pachatusan que representa el área de intervención del proyecto de SYCA. A partir de imágenes correspondientes a los años 2017, 2020 y 2025 se realizó el cálculo de los índices dentro del mismo módulo. En la tabla N°3 se muestra las fórmulas de cada índice según el satélite Sentinel 2A

Figura 14

Índices calculados y formulas según el satélite Sentinel 2A

INDECES		SENTINEL 2A
ÍNDICES DE CONSTRUCCIÓN	NDBI (Normalized Difference Build-up Index)	$\frac{B11 - B8A}{B11 + B8A}$
	UI (Urban Index)	$\frac{B12 - B8A}{B12 + B8A}$
ÍNDICES DE VEGETACIÓN	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\frac{B8A - B4}{B8A + B4}$
	SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$\frac{B8A - B4}{B8A + B4 + L} \times (L + 1)$ $L = 0 \text{ a } 1. L = 0.75$
ÍNDICES DE AGUA	NDWI (Normalized Difference Water Index)	$\frac{B8A - B11}{B8A + B11}$
	MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)	$\frac{B3 - B8A}{B3 + B8A}$

Nota: Tabla de clasificación de los índices calculados y fórmulas con las que el satélite Sentinel 2 proporciona las imágenes satelitales en su página web. Fuente. Picone, (2021).

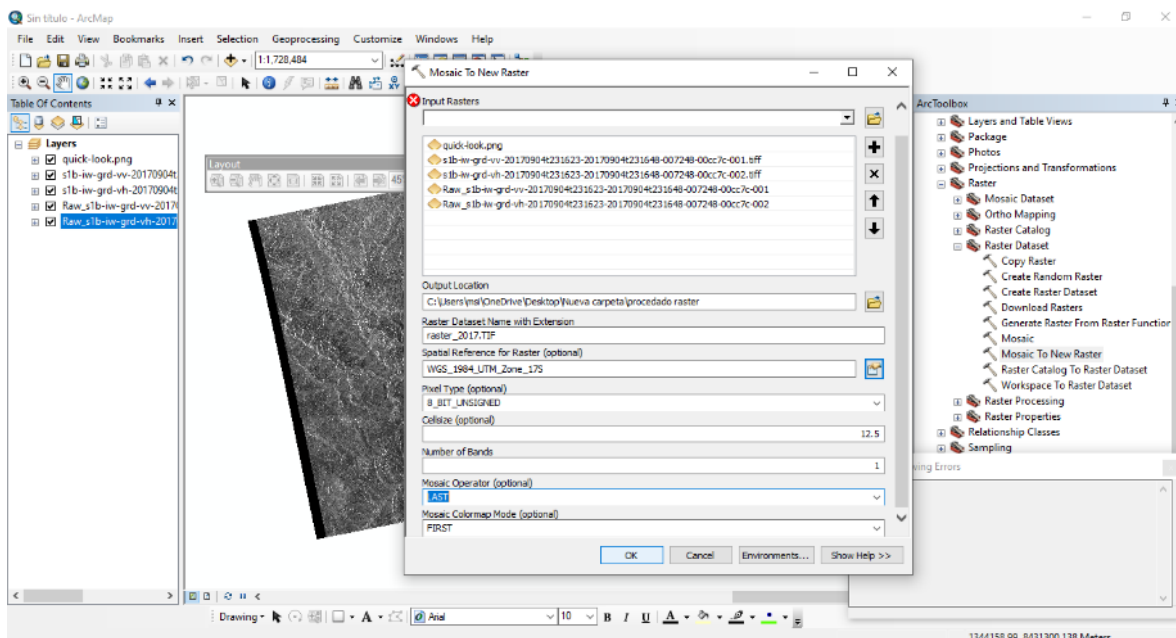
De la obtención de data de los satélites Sentinel, de acuerdo a la descripción presentada en el portal web Copernicus, el Navegador del Ecosistema Espacial de Datos de Copernicus, permite acceder a imágenes satelitales de manera precisa con acceso público, estas imágenes son generadas a partir de las constelaciones Sentinel de Copernicus, gracias a este navegador los usuarios pueden visualizar, comparar, analizar y descargar datos para diversas aplicaciones, desde la monitorización ambiental y la gestión de desastres hasta la planificación urbana y la agricultura, una vez ingresado a la plataforma se procede a la ubicación del sector y/o lugar para análisis primero se desarrolló un polígono en Google Earth pro identificando el lugar de análisis y se guarda en formato KMZ para luego ingresar a la página de copernicus y poder descargar data del satélite

sentinel 2, las imágenes descargadas de sentinel 2 ya cuentan con las correcciones de nubosidad, radiométrica, atmosférica o alguna otra corrección, esta información se descarga de la página para su procesamiento con el software ArcGis.

En referencia al procesamiento de datos con el software ArcGis en su versión 10.8 se procedió de la siguiente manera: una vez obtenida la data de los satélites, el procesamiento se inicia determinando el sistema de referencia (data frame properties, ingresando a la opción de coordinate system) *WGS 1984 UTM zone 18S* - se agregan los datos descargados de Copernicus, una vez descargado y ubicado el archivo DEM en el ordenador se carga al programa de ArcMap, ahora empezamos a procesar los dem para el análisis mediante la opción de ArcToolbox Data management tools – Raster – Raster dataset – Mosaic to new raster, una vez ubicada la herramienta se procede a realizar el análisis de creación de una sola banda a partir de los archivos DEM obtenidos de Copernicus, como se muestra a continuación en la imagen

Figura 15

Procesamiento de los archivos DEM



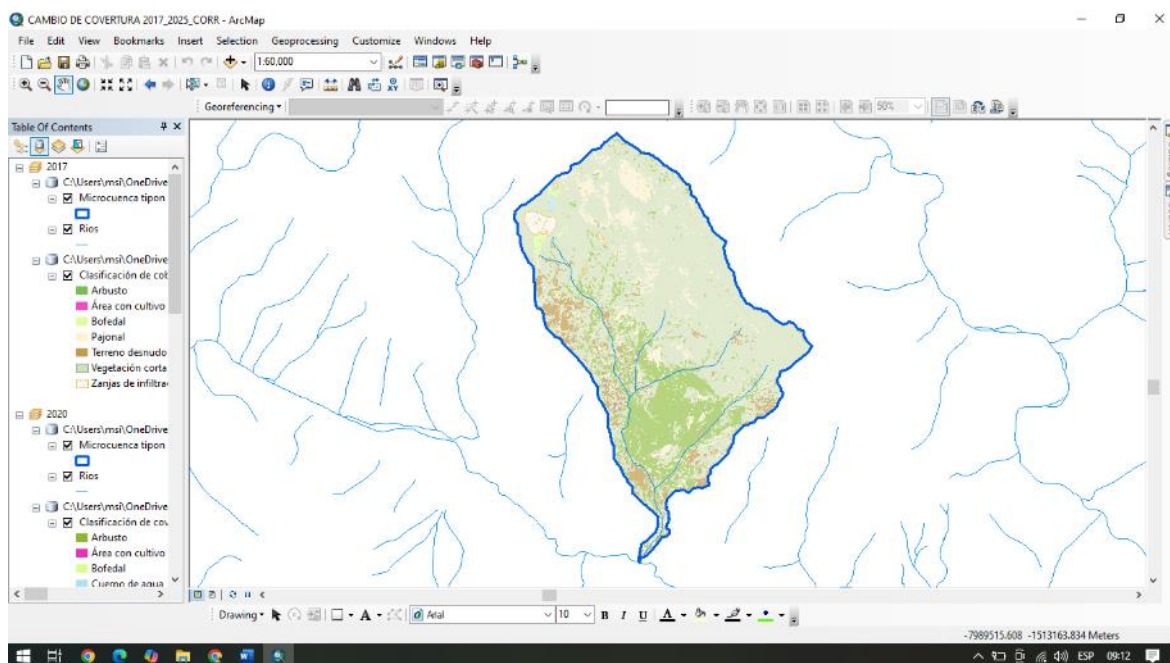
Nota: La imagen muestra el procesamiento de los archivos DEM con el software ArcGis para su análisis de acuerdo a esta investigación.

Luego se procede a la delimitación de cuenca e identificación de zona de estudio,

para posteriormente determinar la clasificación y uso de suelos que vamos a utilizar para la identificación de las coberturas y sus áreas respectivas.

Figura 16

Delimitación de la cuenca Pachatusan..



Nota: Imagen que muestra la delimitación de la cuenca Pachatusan que es objeto de estudio de la presente investigación.

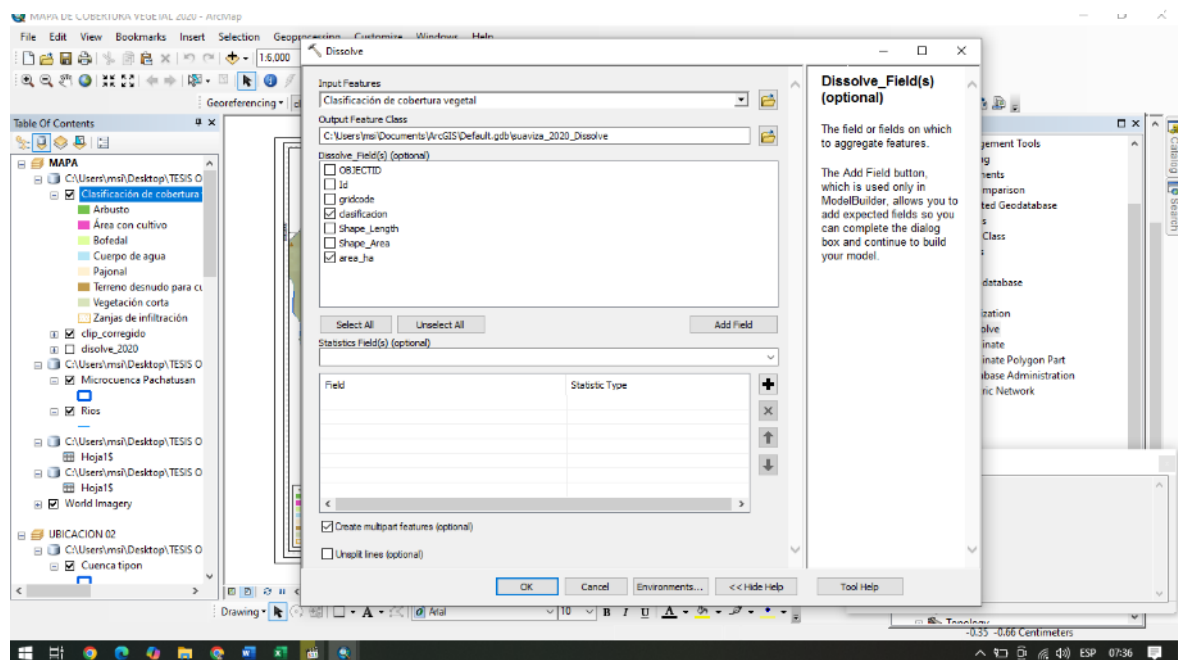
Una vez delimitada la cuenca y seleccionado el área de estudio se procede a realizar el reconocimiento y selección de las coberturas existentes en la cuenca y reconocimiento de la clasificación de coberturas seleccionando los colores que representaran a cada cobertura en particular, se hace el uso de las herramientas del software ArcGIS Arctoolbox a continuación buscamos Data management tools y ubicamos la herramienta de Generalization y ejecutamos Dissolve para poder filtrar el área de cada cobertura y seleccionar las unidades.

Realizado el proceso anterior ya se tiene la medición del área de la cuenca al igual que de cada cobertura para comprobar y descargar los resultados procedemos ingresando a la opción de propiedades de la pestaña clasificación de cobertura y verificar la medición que realizó el software, una vez confirmada las extensiones se

descargan los datos para su evaluación.

Figura 17

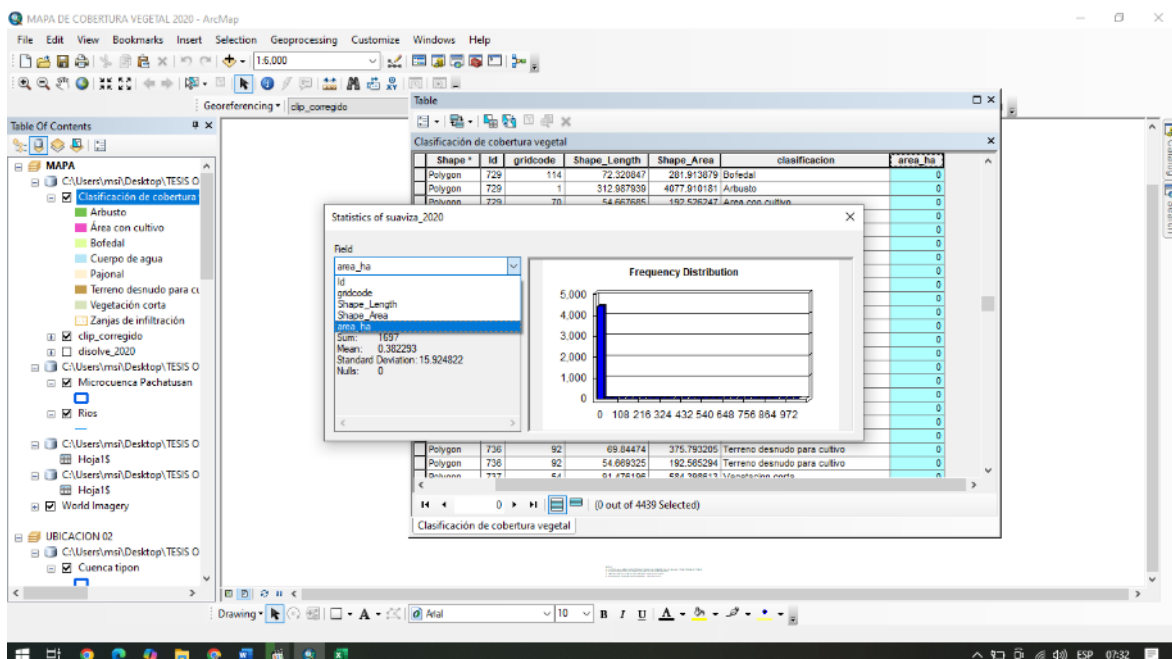
Descarga de data procesada con Arcgis



Nota: Imagen que muestra el reconocimiento y clasificación que se asignó para los tipos de coberturas existentes en la cuenca Pachatusan.

Figura 18

Selección y reconocimiento de tipos de cobertura



Nota: La imagen muestra el proceso de descarga de datos obtenidos después del análisis realizado por el software ArcGis.

Por otro lado, el procedimiento realizado para determinar el caudal consiste en recoger el flujo en un recipiente de volumen conocido y cronometrar el tiempo que tarda en llenarse. Al requerir únicamente un recipiente y un cronómetro, este método es sencillo y sumamente preciso resulta ideal para manantiales, tuberías o situaciones de bajo caudal.

Análisis de datos

Cambio de cobertura vegetal en el periodo 2017–2025

El análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la cuenca del Pachatusan permitió identificar variaciones significativas en la extensión y distribución espacial de las diferentes clases de uso y cobertura del suelo entre los años 2017, 2020 y 2025.

Estos cambios se encuentran directamente asociados a la implementación progresiva de las técnicas de siembra y cosecha de agua (SYCA), tales como zanjas de infiltración, recuperación de bofedales y construcción de represas.

En el año 2017, correspondiente al escenario pre intervención, la cuenca del Pachatusan presentaba una cobertura vegetal dominada por vegetación natural de baja densidad, bofedales fragmentados y extensas áreas con vegetación corta y terrenos con limitado contenido de humedad.

Para los años 2020 y 2025, correspondientes a los escenarios durante y post intervención, se evidencia una mejora progresiva en la cobertura vegetal y en la disponibilidad hídrica superficial y subterránea.

Justificación de la clasificación de cobertura vegetal

La selección de las clases de cobertura vegetal se realizó considerando las características biofísicas de la cuenca del Pachatusan, el tipo de intervenciones del proyecto SYCA y la capacidad de discriminación espectral de las imágenes Sentinel-2.

En ese sentido, las clases definidas (arbusto, área con cultivo, bofedal, cuerpo de agua, pajonal, terreno desnudo para cultivo, vegetación corta y zanjas de infiltración) permiten representar de manera adecuada los principales componentes del paisaje

altoandino y las modificaciones inducidas por la regulación hídrica. Asimismo, estas clases presentan respuestas espectrales diferenciables, lo que garantiza una clasificación más precisa y confiable (Congalton & Green, 2019).

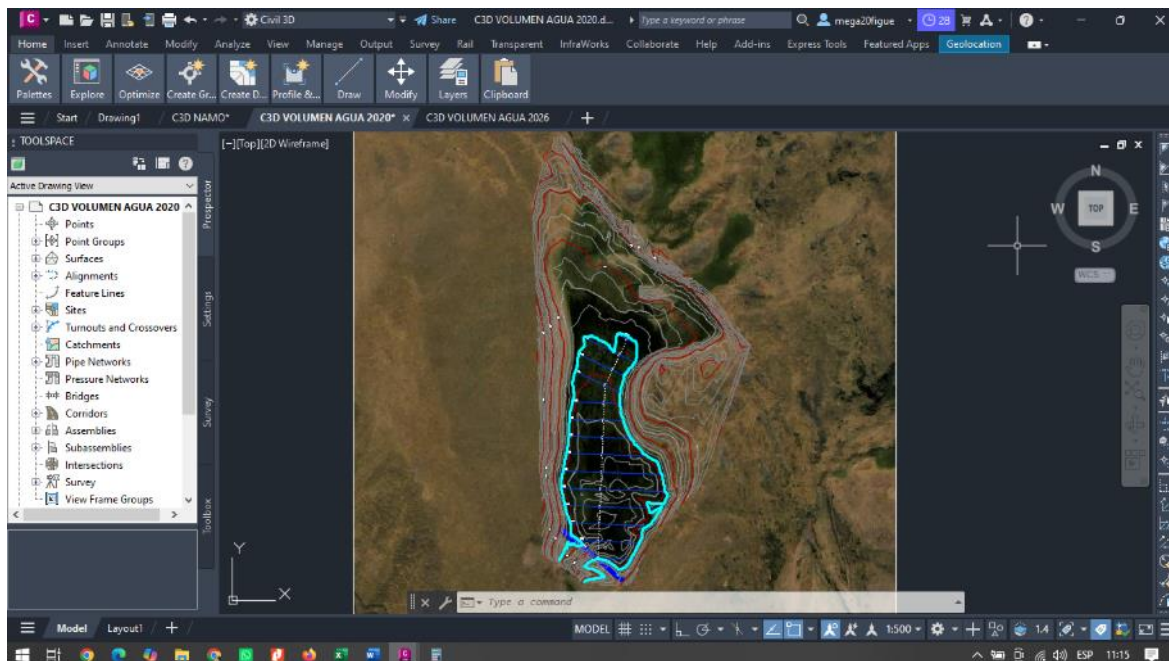
La inclusión específica de bofedales y cuerpos de agua responde a su importancia como elementos clave en la regulación del ciclo hidrológico, especialmente en contextos de proyectos de siembra y cosecha de agua, donde estos ecosistemas actúan como reservorios naturales y artificiales de agua.

Las imágenes Sentinel-2 fueron seleccionadas debido a su alta resolución espacial (10 m), adecuada resolución temporal de 5 días y amplia cobertura espectral, lo que las convierte en una fuente óptima para estudios de cobertura vegetal y análisis hidrológicos a escala de microcuenca.

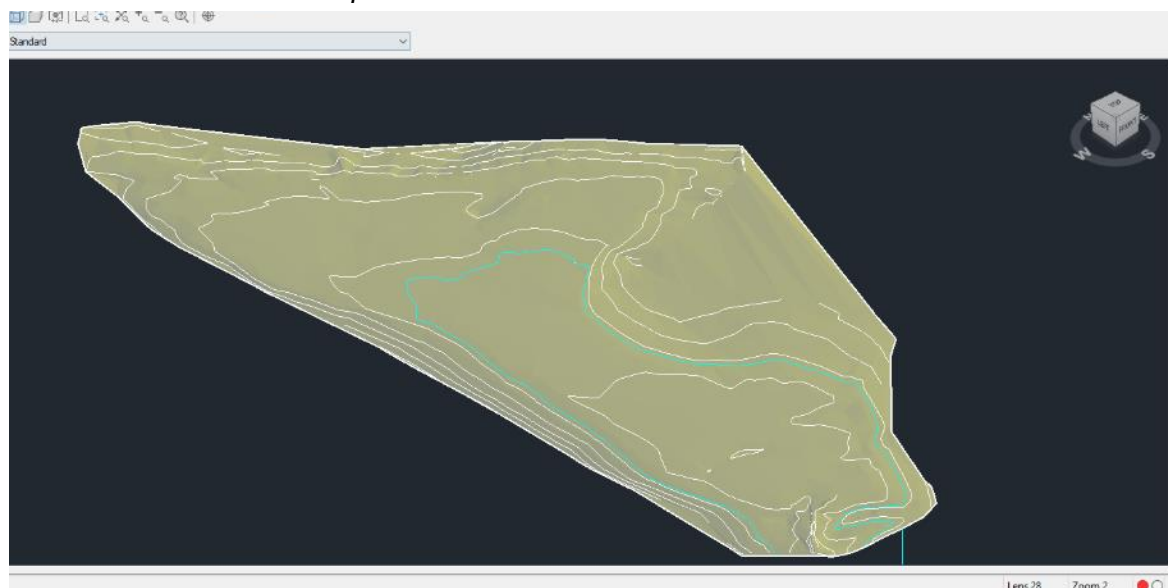
Además, Sentinel-2 cuenta con bandas específicas en el visible, infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR), que permiten una adecuada discriminación entre vegetación, suelos desnudos y cuerpos de agua. Estas características han sido ampliamente validadas en estudios de clasificación de cobertura vegetal y cálculo de índices espectrales como el NDVI.

Volumen de agua

Para determinar los volúmenes de agua para los años 2017, 2020 y 2025 en la qocha denominada Torococha se utilizaron el software Autodesk Civil 3d y el levantamiento topográfico existente en los archivos de expediente técnico del proyecto: “Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa – Quispicanchi – Cusco” , se desarrolló la estimación de los volúmenes del espejo de agua mediante la comparación de superficies como se muestra en las siguientes imágenes:

Figura 19*Estimación de volumen de agua para el año 2020*

Se georreferenciaron las curvas de nivel y se hizo una analogía entre la imagen satelital para la estimación de la superficie del espejo de agua y creando superficies en el software se definió el volumen del cuerpo de agua para el año 2020, definiendo el seccionamiento cada 20 metros para determinar los volúmenes. Se determinó que la qocha almacenaba un volumen de 19085.44 m³ de agua.

Figura 20*Visualización en 3d en la qocha Torococha*

Para la estimación de volumen de agua almacenada en el año 2025 en la qocha Torococha, se procedió a la creación de superficies en el software Autodesk Civil 3d teniendo como base las curvas de nivel extraídas del expediente técnico, realizando la comparación de superficies y creando secciones en el software se calcula el volumen de agua en la qocha, obteniéndose el valor de 30384.13 m³ almacenados como se muestra a continuación:

Figura 21

Estimación de volumen de agua para el año 2025

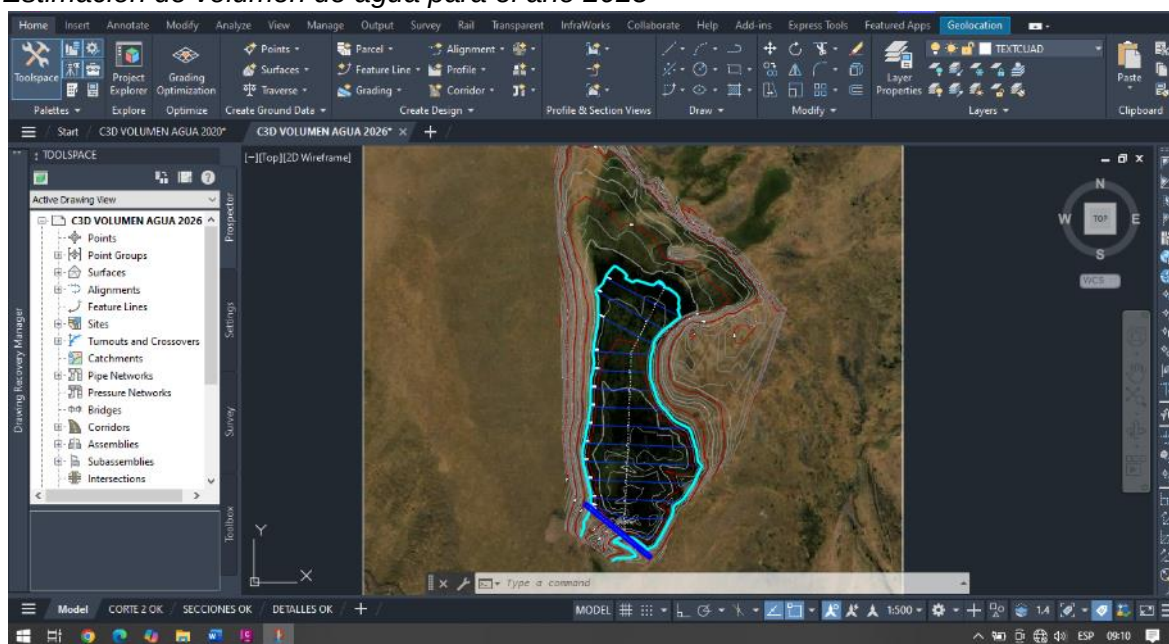


Figura 22

Determinación de volumen de agua para el año 2025

TABLA DE VOLUMENES			
	AREA DE CORTE	VOL. DE CORTE	VOL. ACUMULADO
10	85.55	0.00	0.00
10	148.84	2314.87	2314.87
10	164.17	3128.82	5443.69
10	185.98	3499.26	8942.95
10	196.62	3825.59	12768.53
10	200.89	3975.11	16743.64
10	154.11	3539.75	20283.39
10	113.66	2667.50	22950.89
10	87.15	2002.28	24953.17
10	61.60	1480.12	26433.29
10	53.58	1150.83	27584.12
10	46.06	995.45	28579.57
10	42.28	883.15	29462.73
10	28.52	703.53	30166.26
10	0.47	217.62	30383.88
17	0.09	0.25	30384.13

Permeabilidad

Para determinar la permeabilidad del suelo en la Qocha Torococha se procedió mediante la aplicación del ensayo de doble anillo concéntrico en referencia a la norma ASTM D3385-18, donde se escribe en detalle el equipo, dimensiones, instalación, ejecución a nivel constante/variable, registro, cálculo y es la referencia técnica oficial para este ensayo en campo.

Para realizar el ensayo de infiltración de doble anillo a carga constante, se hincan vertical y uniformemente dos cilindros metálicos concéntricos hasta una profundidad de 10 centímetros. En primer lugar, se selecciona un sitio representativo, se retira la cobertura vegetal suelta y se nivela suavemente la superficie sin alterar la estructura natural del suelo. Tras la instalación, ambos anillos se llenan simultáneamente hasta alcanzar una altura precisa de 10 centímetros por encima de la superficie del suelo.

Figura 23

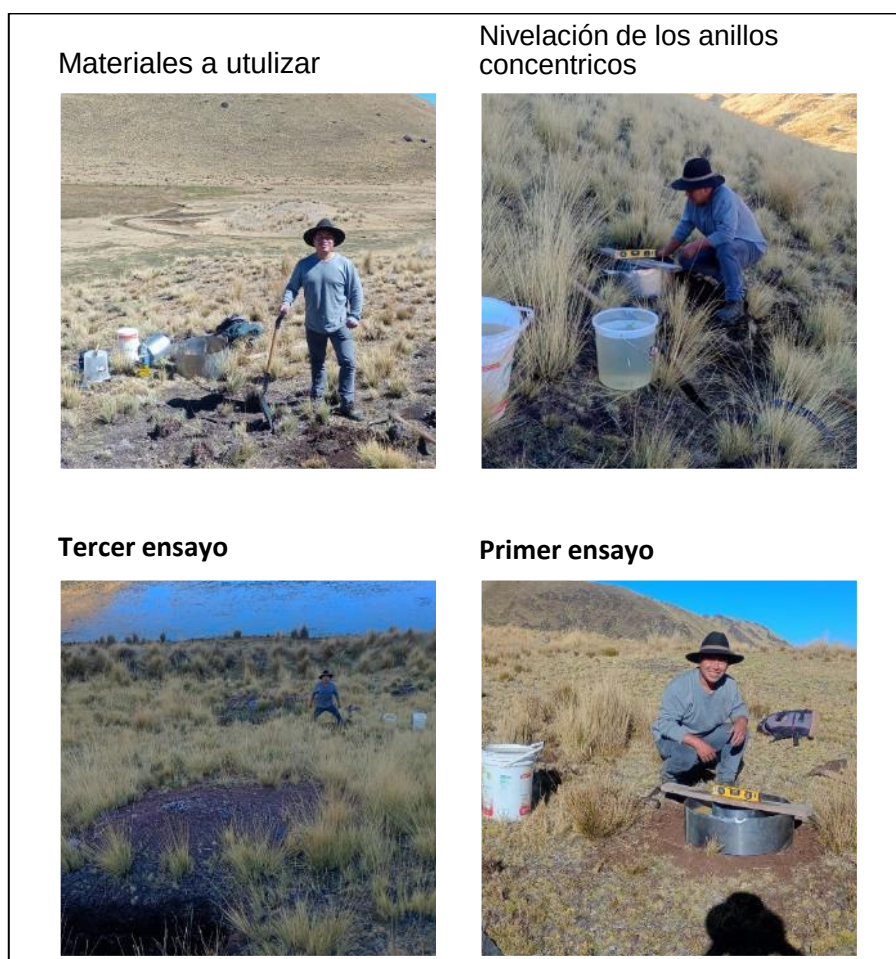
Ensayo de doble anillo concéntrico (ASTM D3385)



Ambos recipientes se mantienen a este nivel de agua durante toda la duración del ensayo reponiendo rápidamente el volumen que se infiltra; el anillo exterior actúa como barrera hidráulica para garantizar que el flujo bajo el área de medición sea predominantemente vertical, de modo que solo se registre el agua añadida al anillo interior. Las lecturas se toman a intervalos regulares (inicialmente cada 5 a 10 minutos, luego cada 15 o 20 minutos y, finalmente, cada 30 minutos). Se registran el volumen repuesto y el tiempo transcurrido hasta que tres mediciones consecutivas muestran una variación inferior al 10%, momento en el cual se considera estabilizada la tasa de infiltración. Para determinar el resultado, se calcula el área del anillo interior.

Figura 24

Fotografías del desarrollo del ensayo de doble anillo concéntrico



Por último, la interpretación de los resultados se da de acuerdo a la siguiente tabla propuesta en la norma ASTM D3385.

Tabla 5

Clasificación para valores de velocidad de infiltración según la norma ASTM D3385

Velocidad de infiltración	Clasificación
> 508 cm/h	Muy rápida
152 – 508 cm/h	Rápida
50 – 152 cm/h	Moderada rápida
15 – 50 cm/h	Moderada
5 – 15 cm/h	Moderadamente lenta
1.5 – 5 cm/h	Lenta
0.038 – 1.5 cm/h	Muy lenta
< 0.038 cm/h	Impermeable

Los ensayos practicados se desarrollaron en los lugares indicados en la siguiente imagen:

Figura 25

Ubicación de los ensayos realizados en la presa Torococha



Nota: Imagen donde se ve la ubicación de los ensayos de infiltración realizados.

V. Resultados y discusión

Resultados para el análisis del 2017

En el año 2017 la cobertura predominante en la cuenca Pachatusan fue la vegetación corta con una superficie aproximada de 12193628.23 m² (1219.36 ha) representando el 61.95% del área de la cuenca del Pachatusan, mientras que los arbustos presentaron en el año 2017 una superficie de 3599959.57 m² (360 ha) sumando el 18.29% de la superficie de la cuenca, los pajonales para el año 2017 tienen una extensión de 2724381.64 m² (272.44 ha) que representa un 13.84% de la cuenca Pachatusan concentrándose principalmente en las zonas altas de la cuenca. Por otro lado, los terrenos desnudos para cultivo suman una superficie de 920539.57 m² (92.05 ha) cubriendo el 4.68% de la cuenca, los bofedales ocuparon una superficie aproximada de 128800.51 m² (12.88 ha) representando el 0.65% de la superficie total de la microcuenca, presentándose de manera fragmentada y con signos de degradación. Las áreas con cultivo tienen una superficie de 77758.36 m² (7.78 ha) con un porcentaje de 0.40% en la superficie de la cuenca para este año el área que ocupa las zanjales de infiltración es de 39353.34 m² (3.94 ha) que suma el 0.20% de la cuenca y de acuerdo al análisis realizado mediante el software ArcGis no se tiene presencia de cuerpos de agua representativos.

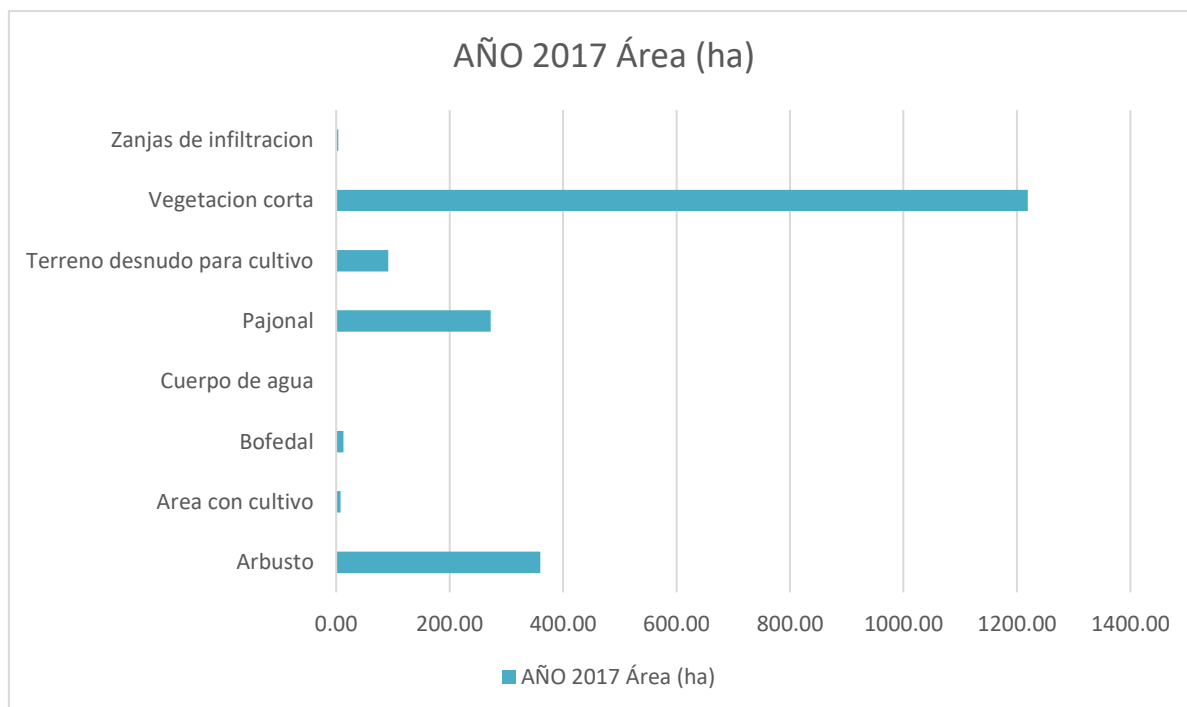
A continuación, se presenta la tabla N° 9 donde se presenta la clasificación de las distintas coberturas generales y fuentes hídricas encontradas para el año 2017.

Tabla 6*Análisis de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2017*

TIPO	Área (m2)	Área (km2)	Área (ha)	%
Arbusto	3599959.57	3.60	360.00	18.29
Área con cultivo	77758.36	0.08	7.78	0.40
Bofedal	128800.51	0.13	12.88	0.65
Cuerpo de agua	0.00	0.00	0.00	0.00
Pajonal	2724381.64	2.72	272.44	13.84
Terreno desnudo para cultivo	920539.57	0.92	92.05	4.68
Vegetación corta	12193628.23	12.19	1219.36	61.95
Zanjas de infiltración	39353.34	0.04	3.94	0.20
Área total	19684421.21	19.68	1968.44	100.00

Nota: La tabla muestra la clasificación asignada a cada tipo de cobertura detallando sus extensiones y porcentajes dentro de la cuenca Pachatusan para el año 2017.

De los resultados de la cobertura vegetal y fuentes hídricas obtenidos en la cuenca de Pachatusan para el año 2017, se puede concluir que en esta cuenca predomina la vegetación corta, seguida por arbustos y pajonales. Las demás coberturas (terrenos desnudos, bofedales, cultivos y zanjas de infiltración) tuvieron una presencia marginal, la ausencia de los cuerpos de agua refleja una condición de limitada disponibilidad hídrica, mientras que los bofedales muestran signos de fragmentación y degradación ambiental.

Figura 26*Comparación de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2017*

Nota: Cuadro de barras donde se detalla la superficie que ocupa cada tipo de cobertura en el año 2017 expresando en hectáreas (ha).

Resultados para el análisis del 2020

Para el año 2020, la cobertura con mayor presencia en la cuenca Pachatusan es la vegetación corta teniendo un área de 12528988.99 m² (1252.90 ha) que representa el 63.65% del área total de la cuenca, en seguida se tiene la cobertura con arbusto en una extensión de 3798174.50 m² (379.81 h) haciendo un porcentaje de 19.30%, los pajonales para el año 2020 cubrieron una superficie aproximada de 1636609.81 m² (163.66 ha) considerándose un 8.31% del área de la cuenca, el área de terreno desnudo para cultivo ocupa la extensión de 1198750.88 m² (119.88 ha) teniendo un valor porcentual de 6.09% de la cuenca en análisis, por otro lado los bofedales teniendo un valor porcentual de 1.12% cubre una superficie de 220785.33 m² (22.08 ha), mientras que el área con cultivo tiene una extensión de 54366.51 m² (5.44 ha) sumando el 0.28% de superficie de la cuenca, las zanjias de infiltración para el año 2020 cubren un área de 213082.97 m² (21.31 ha) que representa el 1.08% de la superficie total, por último para

este año la presencia de los cuerpos de agua asciende a una superficie de 32875.89 m² (3.29 ha) sumando un valor porcentual de 0.17% en la microcuenca Pachatusan.

A continuación, en la tabla N° 10 se presenta la clasificación de las distintas coberturas generales y fuentes hídricas encontradas para el año 2020.

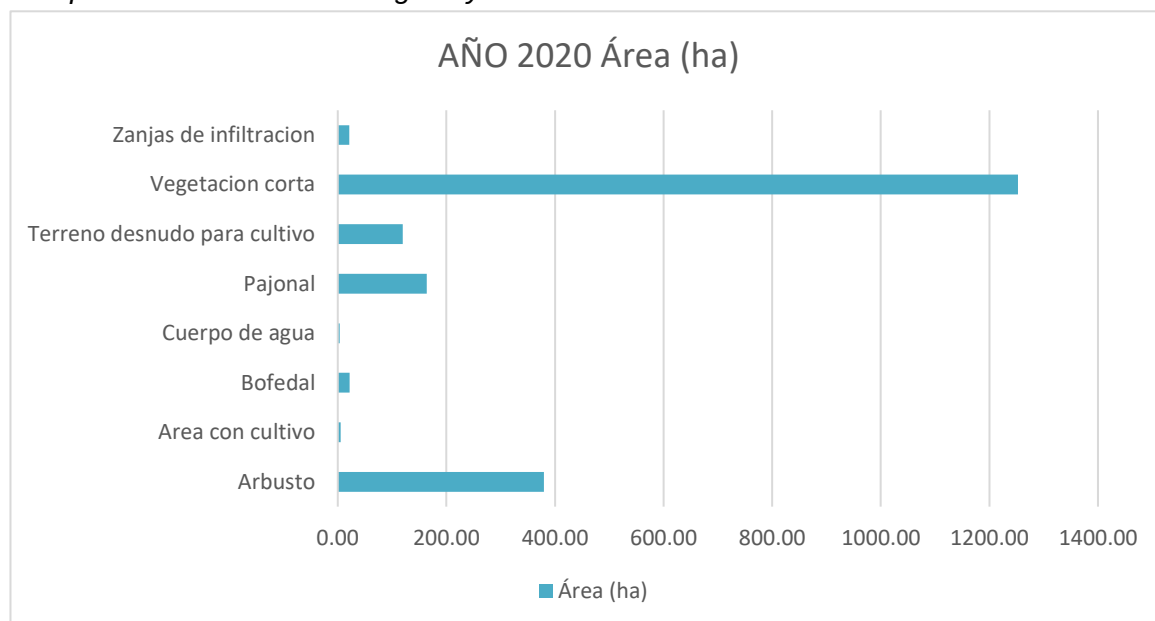
Tabla 7

Análisis de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2020

AÑO 2020				
TIPO	Área (m2)	Área (km2)	Área (ha)	%
Arbusto	3798174.50	3.80	379.82	19.30
Área con cultivo	54366.51	0.05	5.44	0.28
Bofedal	220785.33	0.22	22.08	1.12
Cuerpo de agua	32875.89	0.03	3.29	0.17
Pajonal	1636609.81	1.64	163.66	8.31
Terreno desnudo para cultivo	1198750.88	1.20	119.88	6.09
Vegetación corta	12528988.99	12.53	1252.90	63.65
Zanjas de infiltración	213082.97	0.21	21.31	1.08
Área total	19683634.89	19.68	1968.36	100.00

Nota: La tabla muestra la clasificación asignada a cada tipo de cobertura detallando sus extensiones y porcentajes dentro de la cuenca Pachatusan para el año 2020.

En resumen, la cuenca Pachatusan en el año 2020 evidencia un predominio de la vegetación corta y arbustiva, la presencia de la reducida extensión de superficies hídricas como bofedales y cuerpos de agua, además del crecimiento en la extensión de zanjas de infiltración evidencia los avances en la ejecución de la obra “Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi – Cusco”, lo cual sugiere que la implementación de técnicas de SYCA en la cuenca Pachatusan ya viene generando recarga hídrica y mostrando los primeros resultados del trabajo e inversión que desarrollan en esta cuenca.

Figura 27*Comparación de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2020*

Nota: Cuadro de barras donde se detalla la superficie que ocupa cada tipo de cobertura en el año 2020 expresando en hectáreas (ha).

Resultados para el análisis del 2025

Durante el año 2025, la clasificación de uso y cobertura de suelos se presentó de la siguiente manera: la vegetación corta tuvo la mayor presencia con una extensión de 13036110.28 m² (1303.61 ha) conformando el 66.93% de la superficie total de la cuenca Pachatusan, seguido por los arbustos teniendo una superficie de 3471069.72 m² (347.11 ha) que tiene un valor porcentual de 17.63%, en tercer lugar tenemos los pajonales cubriendo un área de 1835625.96 m² (183.56 ha) con un valor porcentual de 9.32%, el terreno desnudo para cultivo cubre 672752.27 m² de extensión, sumando 67.28 ha aproximadamente representando de esta manera el 3.42% de superficie de la cuenca, los bofedales para este año representan el 1.41% de la cuenca con una superficie aproximada de 277893.00 m² (27.79 ha), seguido por el área con cultivo de 215189.91 m² (21.52 ha) de extensión que conforma el 1.09% del área total de la cuenca Pachatusan, por otro lado la presencia de zanjias de infiltración se tiene con una extensión de 138162.00 m² (13.82 ha) sumando el valor porcentual de 0.70% y

finalmente se tiene 39825.01 m² (3.98 ha) de superficie de los cuerpos de agua conformando el 0.20% del área total de la cuenca, que en referencia a años posteriores tiene mayor cobertura.

A continuación, se presenta la tabla N° 11 de clasificación de la cobertura y uso de suelos de la cuenca Pachatusan para el año 2025.

Tabla 8

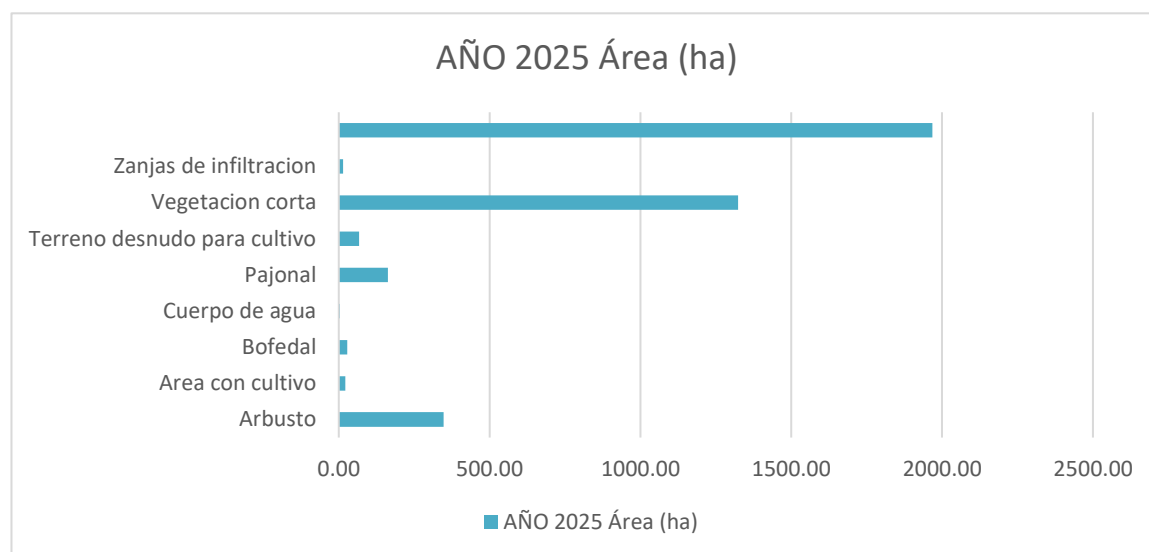
Análisis de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2025

AÑO 2025				
TIPO	Área (m2)	Área (km2)	Área (ha)	%
Arbusto	3471069.72	3.47	347.11	17.63
Área con cultivo	215189.91	0.22	21.52	1.09
Bofedal	277893.00	0.28	27.79	1.41
Cuerpo de agua	39825.01	0.04	3.98	0.20
Pajonal	1835625.96	1.84	183.56	9.32
Terreno desnudo para cultivo	672752.27	0.67	67.28	3.42
Vegetación corta	13036110.28	13.04	1303.61	66.22
Zanjas de infiltración	138162.00	0.14	13.82	0.70
Área total	19686628.15	19.69	1968.66	100.00

Nota: La tabla muestra la clasificación asignada a cada tipo de cobertura detallando sus extensiones y porcentajes dentro de la cuenca Pachatusan para el año 2025.

Los resultados de la clasificación de uso y cobertura de suelos en la cuenca Pachatusan durante el año 2025 permiten determinar que con el predominio de vegetación corta (66.22%), reduce procesos erosivos y favorece la infiltración natural favoreciendo la capacidad de recarga hídrica en la cuenca además de la presencia significativa de arbustos y pajonales (26.95% en conjunto).

Los bofedales (1.41%) y cuerpos de agua (0.20%): Aunque de menor extensión, son estratégicos para la regulación hídrica, en comparación a los años 2017 y 2020 ha cubierto mayor extensión, esto es una clara evidencia de recarga hídrica, por otro lado, la falta de mantenimiento en las zanjas de infiltración viene afectando la superficie de las mismas reflejando una disminución del 0.38% en referencia al año 2020.

Figura 28*Comparación de cobertura vegetal y fuentes hídricas - 2025*

Nota: Cuadro de barras donde se detalla la superficie que ocupa cada tipo de cobertura en el año 2025 expresando en hectáreas (ha).

Tasa de cambio para la cuenca Pachatusan

Para determinar la tasa de cambio en la cobertura vegetal y uso de suelos de la cuenca Pachatusan se midió la variación relativa a partir de las imágenes satelitales de sentinel 2 para los años 2017, 2020 y 2025 evidenciando los cambios que experimenta en un periodo de tiempo específico de acuerdo a la aplicación de la formula establecida para su análisis se determinaron los siguientes resultados según su clasificación se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 9

Tasa de cambio de vegetación corta

Vegetación corta											
Periodo 2017-2020				Und	Periodo 2020-2025				Und	Periodo 2017-2025	
2017	t1	1219.36	ha		2020	t1	1252.9	ha		2017	t1
2020	t2	1252.9	ha		2025	t2	1303.61	ha		2025	t2
	T	3	años			t	5	años			t
	Tc	0.0091	%			Tc	0.0080	%			Tc

Nota: Tabla que detalla la tasa cambio que ha experimentado la cobertura de vegetación corta en la cuenca Pachatusan durante los tres periodos de tiempo analizados.

Durante el primer periodo 2017 – 2020, la tasa de cambio de cobertura y uso de suelos para la vegetación corta demostró una variación de 0.0091 % que evidencia un crecimiento de 33.54 ha en 3 años, mientras que para el segundo periodo 2020 – 2025 la variación es de 0.0080 % que representa el aumento de extensión de 50.71 ha en una diferencia de 5 años, finalmente para el tercer periodo entre los años 2017 a 2025 la tasa de cambio fue de 0.0084 % que representa una superficie de 84.25 ha, en resumidas cuentas la vegetación corta en la cuenca Pachatusan obtuvo mayor presencia en comparación al año 2017.

Tabla 10

Tasa de cambio de arbusto

Arbusto											
Periodo 2017-2020				Periodo 2020-2025				Periodo 2017-2025			
	Und				Und				Und		
2017	t1	360	Ha	2020	t1	379.82	Ha	2017	t1	360	ha
2020	t2	379.82	Ha	2025	t2	347.11	Ha	2025	t2	347.11	ha
	T	3	Años		t	5	años		t	8	años
	Tc	0.0180	%		Tc	-0.0178	%		Tc	-0.0045	%

Nota: Tabla que detalla la tasa cambio que ha experimentado la cobertura de arbusto en la cuenca Pachatusan durante los tres periodos de tiempo analizados.

La tasa de cambio de la cobertura de arbustos en el periodo del 2017 a 2020 tiene una variación de 0.0180 % en tres años de diferencia varió en una extensión de 19.82 ha, durante el segundo periodo analizado 2020 – 2025 se tiene una considerable disminución con un valor porcentual de -0.0178 % que asciende a una superficie de 32.71 ha, en cambio para el periodo del 2017 a 2025 se observó que luego de 8 años disminuyó la extensión de arbustos en la cuenca Pachatusan en una superficie de 12.89 ha.

Tabla 11*Tasa de cambio de pajonal*

Pajonal											
Periodo 2017-2020			Und	Periodo 2020-2025			Und	Periodo 2017-2025			Und
2017	t1	272.44	Ha	2020	t1	163.66	Ha	2017	t1	272.44	ha
2020	t2	163.66	Ha	2025	t2	183.56	Ha	2025	t2	183.56	ha
	T	3	Años		t	5	años		t	8	años
	Tc	-0.1562	%		Tc	0.0232	%		Tc	-0.0482	%

Nota: Tabla que detalla la tasa cambio que ha experimentado la cobertura de pajonal en la cuenca Pachatusan durante los tres periodos de tiempo analizados.

Sobre la superficie de pajonales en la cuenca Pachatusan se tiene una variación porcentual de -0.1562 % en el periodo de 2017 – 2020 representando una superficie de 108.78 ha, por otro lado la variación porcentual de pajonal para el periodo de 2020 a 2025 es ascendente, con un incremento de superficie en 0.0232 % constituyendo 19.90 ha de superficie en cambio para el periodo entre los años 2017 y 2025 se pudo observar un declive en la cobertura de pajonal de -0.0482 %, cubriendo inicialmente la superficie de 272.44 ha y 8 años después con una superficie de 183.56 ha, atribuyendo la disminución en su extensión a la presencia de cuerpos de agua en la cuenca a través de la influencia del tiempo transcurrido para este análisis.

Tabla 12*Tasa de cambio de terreno desnudo para cultivo*

Terreno desnudo para cultivo											
Periodo 2017-2020			Und	Periodo 2020-2025			Und	Periodo 2017-2025			Und
2017	t1	92.05	Ha	2020	t1	119.88	Ha	2017	t1	92.05	ha
2020	t2	119.88	Ha	2025	t2	67.28	Ha	2025	t2	67.28	ha
	T	3	Años		t	5	años		t	8	años
	Tc	0.0920	%		Tc	-0.1091	%		Tc	-0.0384	%

Nota: Tabla que detalla la tasa cambio que ha experimentado la cobertura de terreno desnudo para cultivo en la cuenca Pachatusan durante los tres periodos de tiempo analizados.

Para esta clasificación de uso y cobertura de suelos la tasa de cambio en el periodo 2017 – 2020 tuvo un valor porcentual positivo de 0.0920 % compuesta de 27.83 ha de cambio durante los 3 años, para el periodo de 2020 – 2025 se observó menor cobertura de terreno desnudo para cultivo en la cuenca Pachatusan obteniendo el valor porcentual de -0.1091 % sumando 52.6 ha de superficie, para el periodo de 2017 – 2025 resulto el valor porcentual negativo de -0.0384 % donde se tiene una disminución de 24.77 ha estas variaciones se presentaron a consecuencia de la implementación de las técnicas de siembra y cosecha de agua en la cuenca.

Tabla 13

Tasa de cambio de bofedal

Bofedal											
Periodo 2017-2020				Periodo 2020-2025				Periodo 2017-2025			
	Und				Und				Und		
2017	t1	12.88	Ha	2020	t1	22.08	Ha	2017	t1	12.88	ha
2020	t2	22.08	Ha	2025	t2	27.79	Ha	2025	t2	27.79	ha
	T	3	Años		t	5	años		t	8	años
	Tc	0.1968	%		Tc	0.0471	%		Tc	0.1009	%

Nota: Tabla que detalla la tasa cambio que ha experimentado la cobertura de bofedal en la cuenca Pachatusan durante los tres periodos de tiempo analizados.

Los resultados de tasa de cambio en los bofedales se presentaron de la siguiente manera, para el periodo de 2017 – 2020 el resultado fue positivo con un valor de 0.1968 % teniendo una extensión de crecimiento de 9.2 ha, este patron de crecimiento se repite en los periodos 2020 – 2025 y 2017 – 2025, donde se tienen los valores porcentuales de 0.0471 % y 0.1009 % respectivamente, en resumen la variación mostrada entre el año 2017 y 2025 es de 14.91 ha de esta manera logrando duplicar su área de cobertura en la cuenca Pachatusan.

Tabla 14*Tasa de cambio de área con cultivo*

Área con cultivo													
Periodo 2017-2020				Und	Periodo 2020-2025				Und	Periodo 2017-2025		Und	
2017	t1	7.78	Ha		2020	t1	5.44	Ha		2017	t1	7.78	ha
2020	t2	5.44	Ha		2025	t2	21.52	Ha		2025	t2	21.52	ha
	T	3	Años			T	5	años			t	8	años
	Tc	-0.1124	%			Tc	0.3166	%			Tc	0.1356	%

Nota: Tabla que detalla la tasa cambio que ha experimentado la cobertura de área con cultivo en la cuenca Pachatusan durante los tres periodos de tiempo analizados.

De acuerdo a la tabla 12 tasa de cambio de área con cultivo se tienen los siguientes resultados, para el periodo 2017 – 2020 se observó un resultado con valor negativo -0.1124% que representa la disminución en su superficie de cobertura, transcurridos tres años la variación fue de 2.34 ha, en cambio para el periodo 2020 – 2025 sucedió lo contrario la tasa de cambio fue positiva dando el valor porcentual de 0.3166 % que constituye 16.08 ha, para el periodo general del 2017 a 2025 se observó crecimiento en 0.1356 % haciendo la sumatoria de 13.74 ha de diferencia en relación al año 2017, donde se encontró solo 7.78 ha de cobertura de área con cultivo y para el año 2025 se observaron 21.52 ha, este crecimiento se dio con la implementación del proyecto: “Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi – Cusco”.

Tabla 15*Tasa de cambio de zanjas de infiltración*

Zanjas de infiltración													
Periodo 2017-2020				Und	Periodo 2020-2025				Und	Periodo 2017-2025			Und
2017	t1	3.94	Ha		2020	t1	21.31	Ha		2017	t1	3.94	ha
2020	t2	21.31	Ha		2025	t2	13.82	Ha		2025	t2	13.82	ha
	T	3	Años			t	5	años			t	8	años
	Tc	0.7553	%			Tc	-0.0830	%			Tc	0.1698	%

Nota: Tabla que detalla la tasa cambio que ha experimentado la cobertura de las zanjas de infiltración en la cuenca Pachatusan durante los tres periodos de tiempo analizados.

Las zanjas de infiltración propias de la tipología de proyectos SYCA tuvieron variaciones notables durante el periodo de ocho años, de la evaluación y análisis se obtuvieron los siguientes resultados: para el periodo 2017 – 2020 se observó una tasa de cambio positiva con el valor porcentual de 0.7553 % que conforma la extensión superficial de 17.37 ha de crecimiento en referencia al año 2017, para el segundo periodo evaluado 2020 – 2025 la variación fue negativa teniendo el valor porcentual de -0.0830 % que representa 7.49 ha de variación entre los años 2020 y 2025, durante el periodo 2017 – 2025 de ocho años en general hubo mayor cobertura de las zanjas de infiltración llegando a cubrir el área de 13.82 ha donde se obtuvo variación de 0.1698 % según la fórmula de tasa de cambio para la cuenca Pachatusan.

Tabla 16

Tasa de cambio de cuerpos de agua

Cuerpos de agua											
Periodo 2017-2020				Periodo 2020-2025				Periodo 2017-2025			
2017	t1	0.01	Ha	2020	t1	3.29	Ha	2017	t1	0.01	ha
2020	t2	3.29	Ha	2025	t2	3.98	Ha	2025	t2	3.98	ha
	T	3	Años		t	5	años		t	8	años
	Tc	5.9034	%		Tc	0.0388	%		Tc	1.1134	%

Nota: Tabla que detalla la tasa cambio que ha experimentado la cobertura de cuerpos de agua en la cuenca Pachatusan durante los tres periodos de tiempo analizados.

La tasa de cambio para los cuerpos de agua en la cuenca Pachatusan fue de valores positivos demostrando la influencia del proyecto: “Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi – Cusco”, en la cuenca cumplió con el objetivo de generar recarga hídrica, tal como se muestra en los periodos de tiempo evaluados, tales como: primer periodo 2017 – 2020 donde el valor porcentual fue de 5.9064 % que corresponde a la superficie de incremento de 3.29 ha donde inicialmente no existían cuerpos de agua, para el periodo

de 2020 – 2025 se observó el crecimiento del área de cobertura de 0.0388 % que en hectáreas suman 0.69 ha, finalmente durante los ocho años la variación de cobertura de los cuerpos de agua fue de 1.1134 % sumando el área de 3.98 ha.

De los volúmenes de agua para los años 2017, 2020 y 2025 se tienen 0 m³, 19085.44 m³ y 30384.13 m³; teniendo un caudal de ingreso 3.87 lt/s y 2.14 lt/s de salida que tienen una diferencia de 1.73 lt/s lo cual se viene infiltrando en las capas del suelo en la qocha Torococha.

Interpretación por tipo de cobertura vegetal

Vegetación corta

En el año 2017, la vegetación corta constituyó la cobertura predominante en la cuenca del Pachatusan, con una superficie aproximada de 12193628.23 m² (1219.36 ha), lo que evidencia la presencia de pastos de baja altura y vegetación herbácea adaptada a condiciones de estrés hídrico. Esta alta extensión está asociada a la limitada infiltración y a la fuerte dependencia de las precipitaciones estacionales. Para el año 2020 con una extensión de 12528988.99 m² (1252.90 ha), se observa una redistribución espacial de esta cobertura, evidenciando una transición progresiva hacia coberturas de mayor densidad vegetal. Finalmente, en el año 2025, esta cobertura también sufrió un aumento en la extensión de cobertura llegando a tener 13036110.00 m² (1303.61 ha) el crecimiento relativo de esta categoría responde a la conversión natural hacia pastizales más densos y bofedales mejorados, producto del incremento sostenido de la humedad del suelo.

Pajonal

Los pajonales presentaron en el año 2017 una superficie de 2724381.64 m² (272.44 ha), concentrándose principalmente en las zonas altas de la cuenca del Pachatusan. Para los años posteriores, esta cobertura mostró una disminución en la extensión de su superficie en densidad y continuidad espacial, especialmente en áreas

cercanas a zanjas de infiltración. En el año 2025, los pajonales evidencian un menor estado de conservación pasando de un valor porcentual de 13.84% en el año 2017 a 9.32% al 2025, lo que se refleja la variación en la distribución espacial de cobertura de la cuenca además de valores más altos del NDVI, confirmando una mejora en la salud vegetal.

Bofedales

Antes de la intervención con los proyectos de qochas (2017), los bofedales ocuparon una superficie aproximada de 128800.51 m² (12.88 ha), presentándose de manera fragmentada y con signos de degradación. Esta limitada extensión se explica por la baja recarga hídrica y la pérdida progresiva de humedad superficial. Para el año 2020, donde se desarrollaba la ejecución de la obra “Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi – Cusco”, se observa una recuperación parcial de los bofedales con un incremento del 0.47%, mientras que en el año 2025 se evidencia una expansión significativa y mayor continuidad espacial representando el 1.41% del área total de la cuenca que conforma una superficie de 277893.00 m² (27.79 ha), consolidándose como ecosistemas estratégicos para la regulación hídrica de la microcuenca.

Área con cultivo

En el año 2017, las áreas con cultivo presentaron una extensión reducida de aproximadamente 77758.36 m² (7.78 ha), reflejando una actividad agrícola limitada y altamente dependiente del régimen de lluvias, para el año 2025, estas áreas muestran un incremento progresivo, asociado a una mayor disponibilidad de agua regulada por las represas y la recarga subterránea, lo que permitió ampliar las áreas bajo producción agrícola llegando a conformar el 1.09 % del área total de la cuenca Pachatusan sumando un área de 21.52 ha en comparación con el año 2017 donde presentaba la extensión de 7.78 ha.

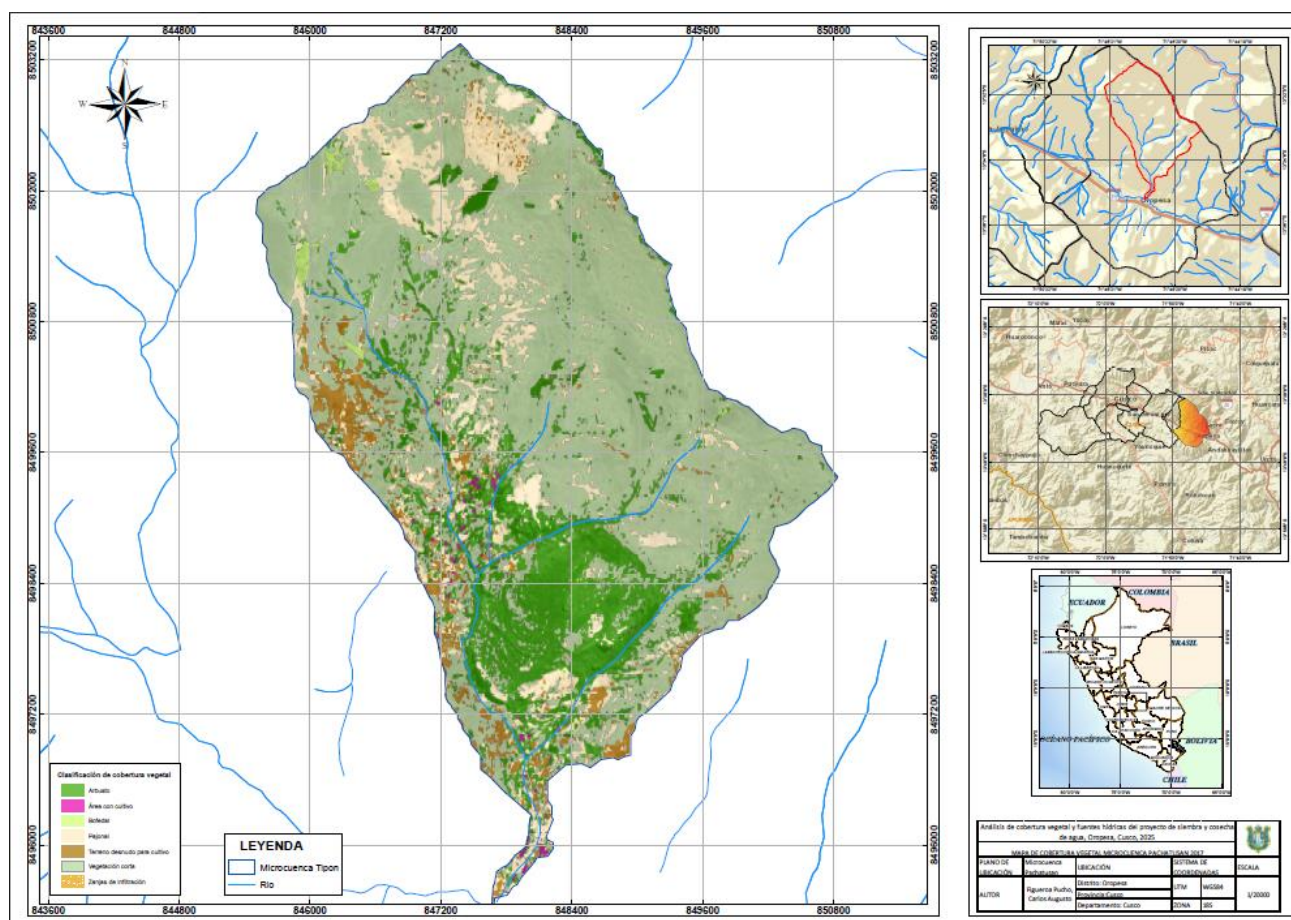
Terreno desnudo para cultivo

En el año 2017, el terreno desnudo para cultivo ocupó aproximadamente 920539.57 m² (92.05 ha), evidenciando suelos expuestos y con bajo contenido de humedad. Para el año 2025, esta categoría presentó una reducción significativa conformando un área de 672752 m² (67.28 ha), tal variación es de 24.77 ha debido a la colonización progresiva por vegetación herbácea y pastizales.

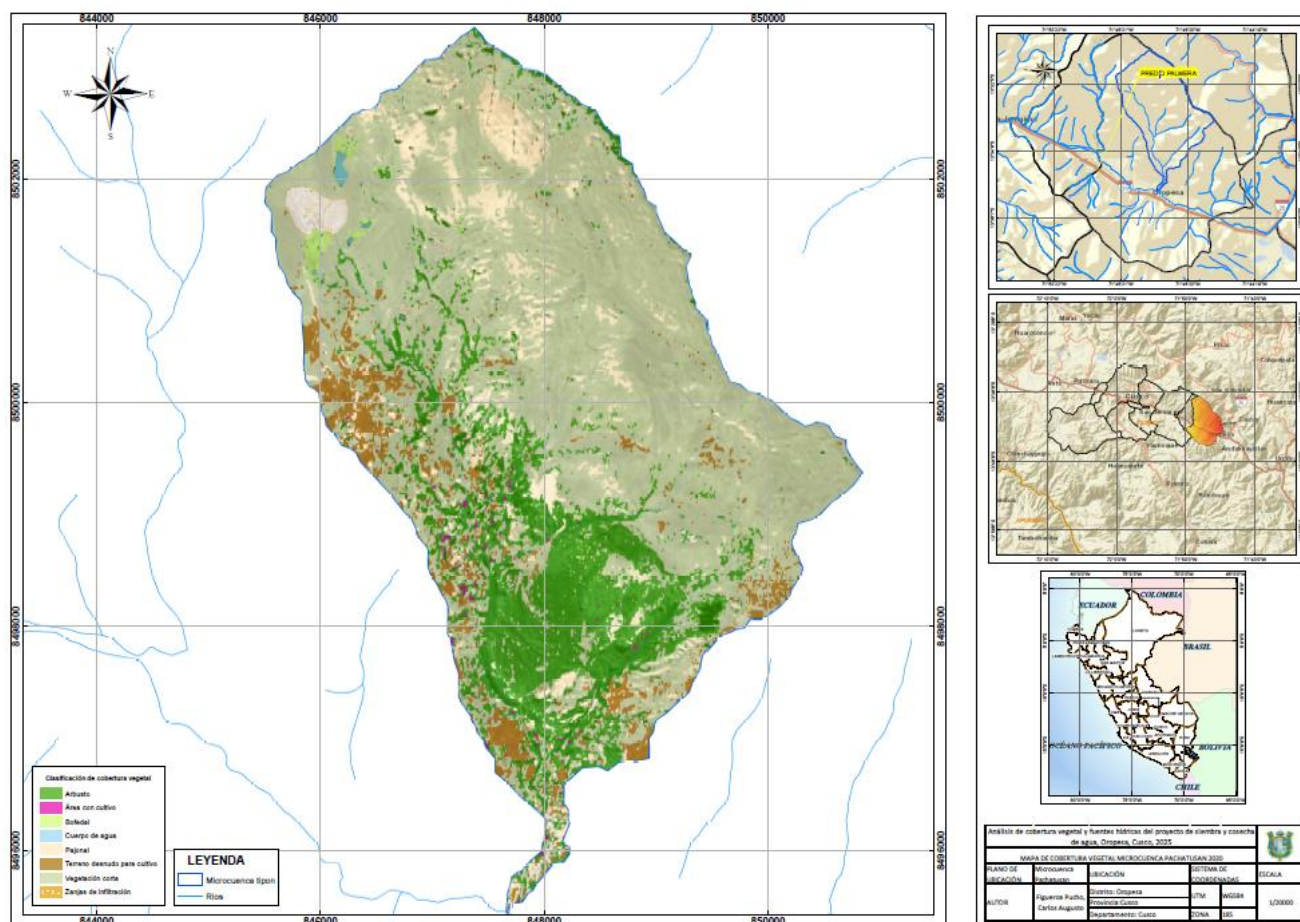
A continuación, se presenta el mapa de cambio de cobertura vegetal en el año 2017, 2020 y 2025 clasificado por vegetación corta, pajonal, bofedales, área de cultivo y terreno desnudo para cultivo.

Figura 29

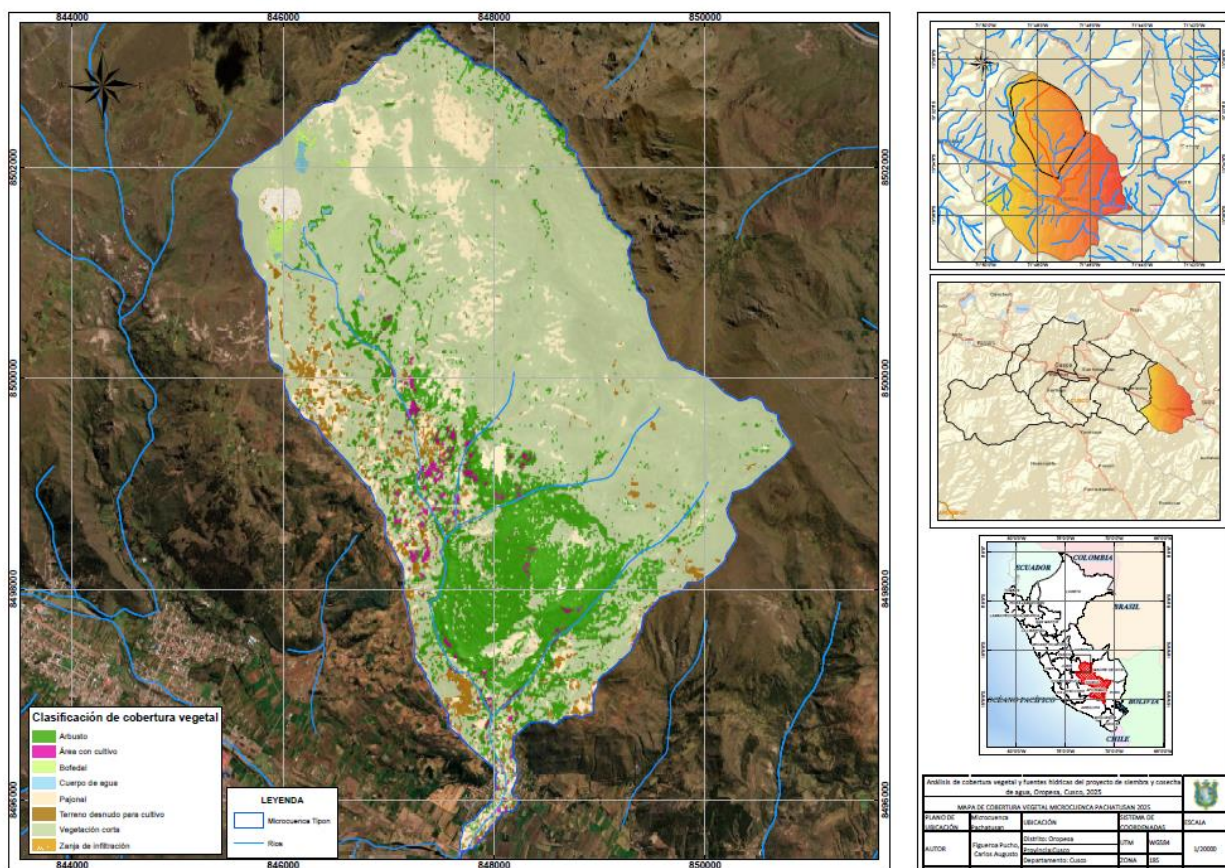
Cambio de cobertura vegetal del 2017



Nota: Mapa que detalla la clasificación y distribución de los usos de suelo que existen en la cuenca Pachatusan para el año 2017.

Figura 30*Cambio de cobertura vegetal 2020*

Nota: Mapa que detalla la clasificación y distribución de los usos de suelo que existen en la cuenca Pachatusan para el año 2020.

Figura 31*Cambio de cobertura vegetal del 2025*

Nota: Mapa que detalla la clasificación y distribución de los usos de suelo que existen en la cuenca Pachatusan para el año 2025.

Zanjas de infiltración

En el año 2017, las zanjas de infiltración ocuparon una superficie aproximada de 39353.34 m² (3.94 ha), representando una intervención inicial de baja magnitud. Para el año 2020 estas estructuras incrementaron su influencia funcional, actuando como elementos clave para la recarga hídrica y la mejora indirecta de la cobertura vegetal circundante llegando a cubrir un área de 213082.97 m² (31.31 ha), caso curioso para el

año 2025, estas estructuras disminuyeron en su extensión ya sea a causa de la falta de mantenimiento o algún otro motivo tuvo una baja de 0.38%, donde presentó una superficie de 138162.00 m² (13.82 ha).

Cuerpos de agua

En el año 2017 no se registraron cuerpos de agua superficiales, debido a que el proyecto SYCA aún no había sido ejecutado. Durante este periodo, la cuenca del Pachatusan solo presentaba bofedales naturales y zanjas de infiltración, los cuales no generaban espejos de agua permanentes detectables mediante imágenes satelitales. En la tabla N° 21 se puede observar que para el año 2020, se identificó la presencia inicial de cuerpos de agua asociados a la construcción de represas, con una superficie aproximada de 32875.89 m² (3.29 ha) representando el valor porcentual de 0.17% de la superficie de la cuenca, mientras que para el año 2025, estos cuerpos de agua se consolidaron, alcanzando una superficie cercana a 39825.01 m² (3.98 ha), lo que evidencia un incremento progresivo en la capacidad de almacenamiento hídrico,

Tabla 17

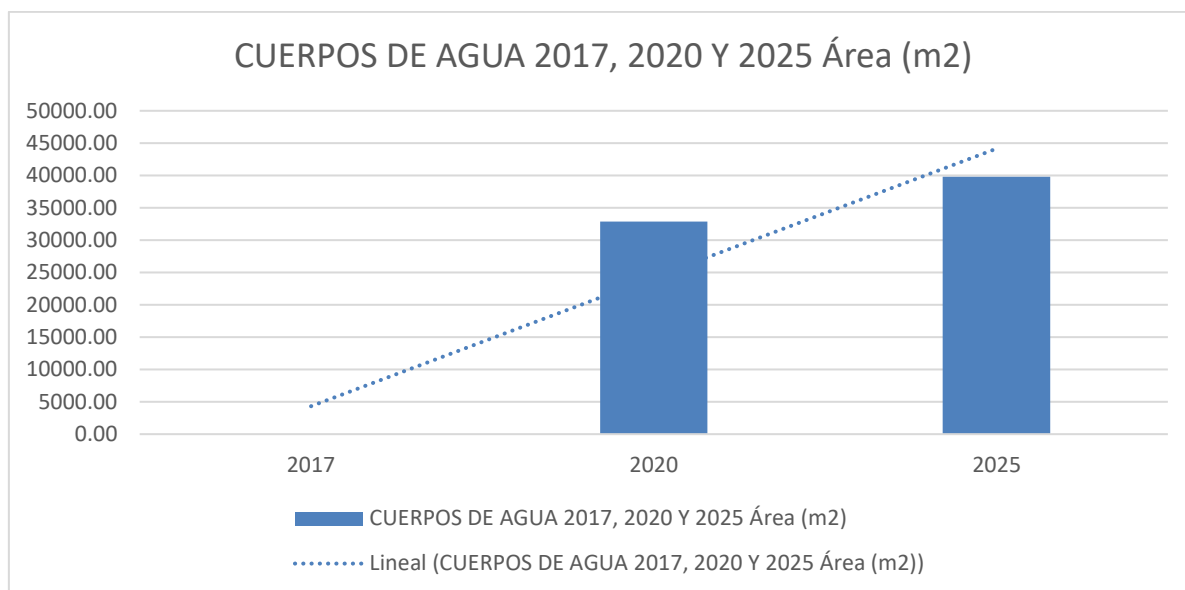
Superficies de cuerpos de años en los años 2017 – 2020 y 2025

Año	Cuerpos de agua (ha)
2017	0.00
2020	3.29
2025	3.98

En la figura 31, se puede observar que durante la intervención del proyecto SYCA y posterior a la ejecución de este, existe un incremento considerable de cuerpos de agua en la cuenca del Pachatusan.

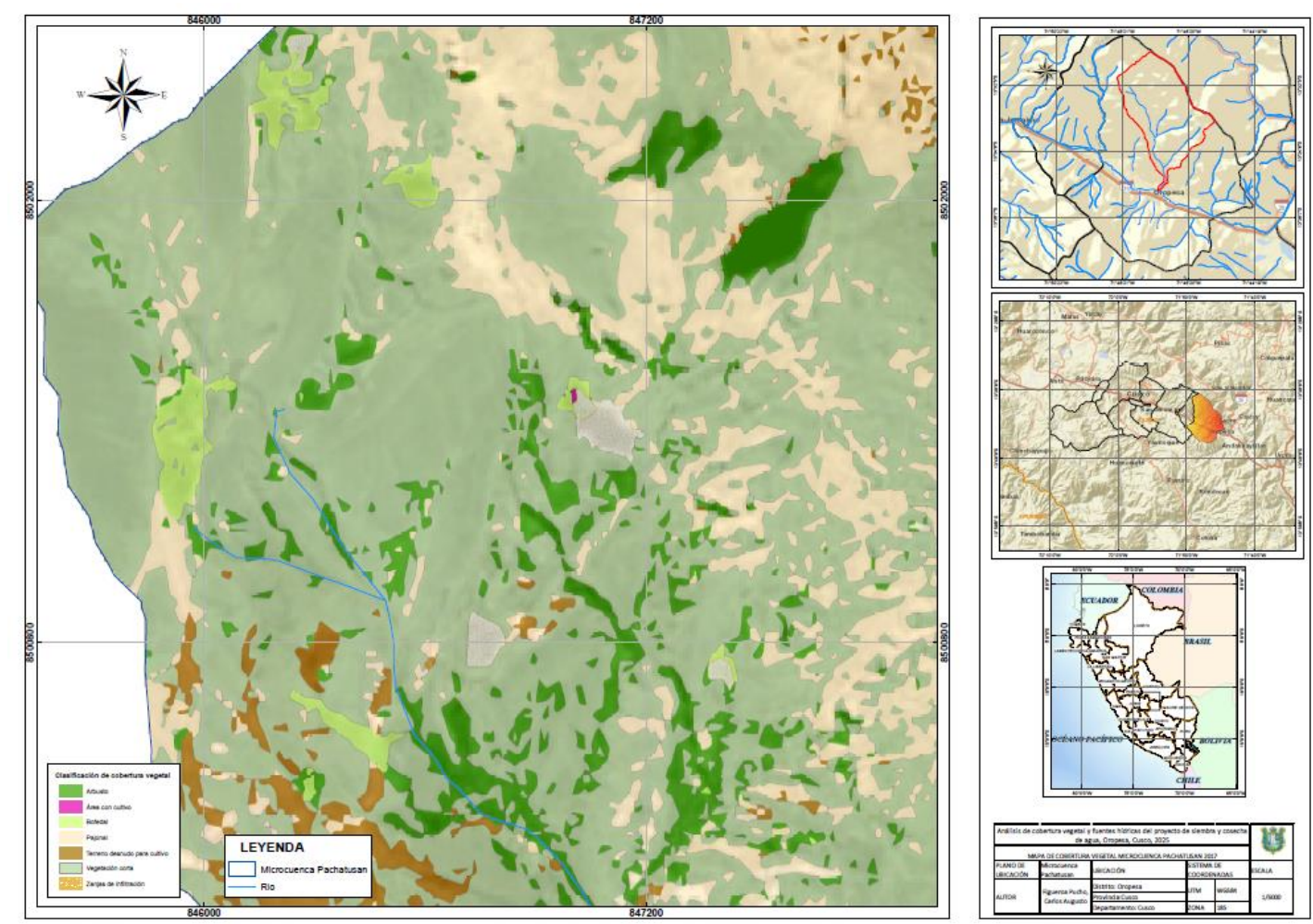
Figura 32

Comparación del incremento de los cuerpos de agua

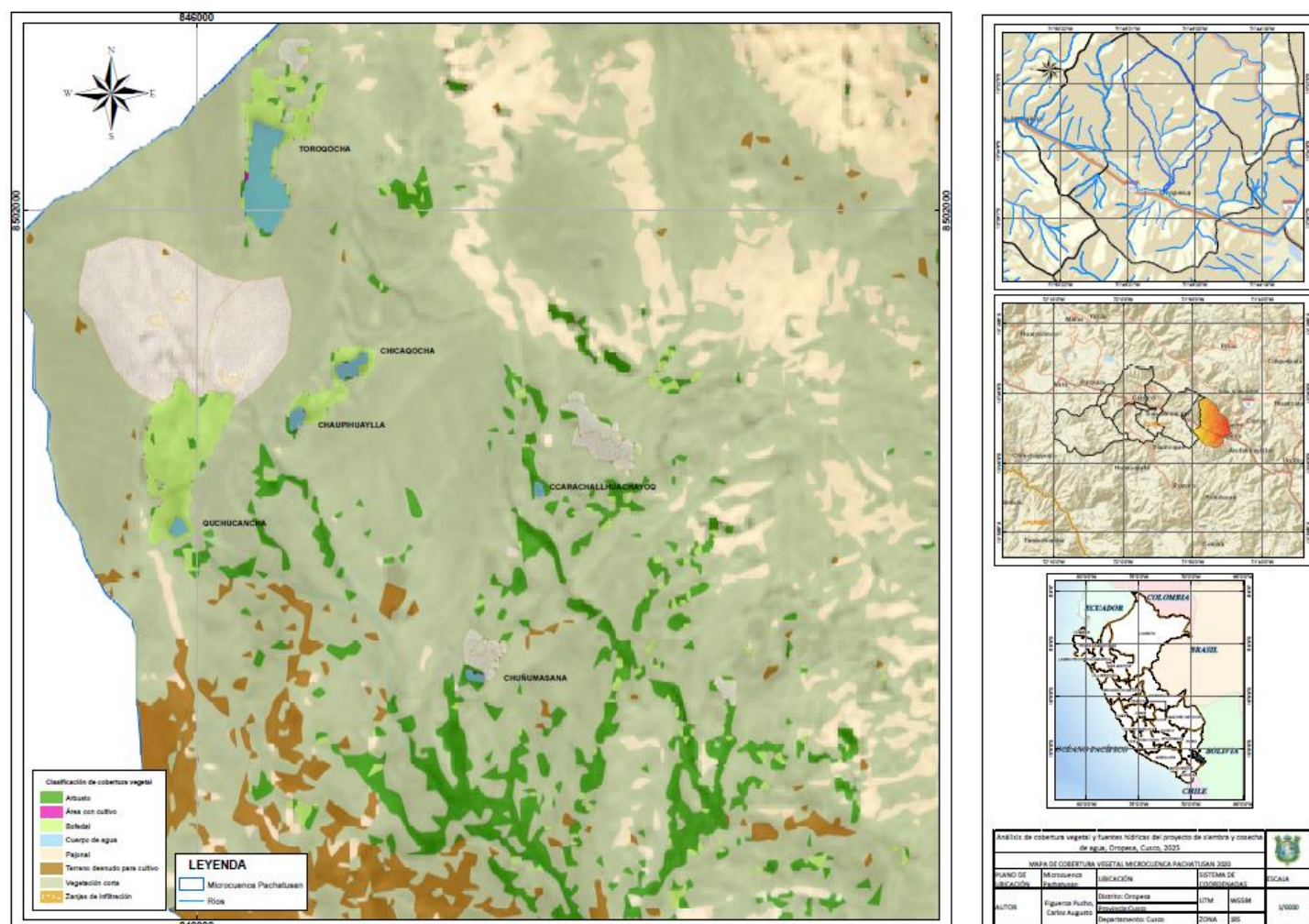


Nota: Cuadro de barras que describe la evolución de los cuerpos de agua en los años 2017, 2020 y 2025 en superficie representados con la unidad de medida metros cuadrados (m2).

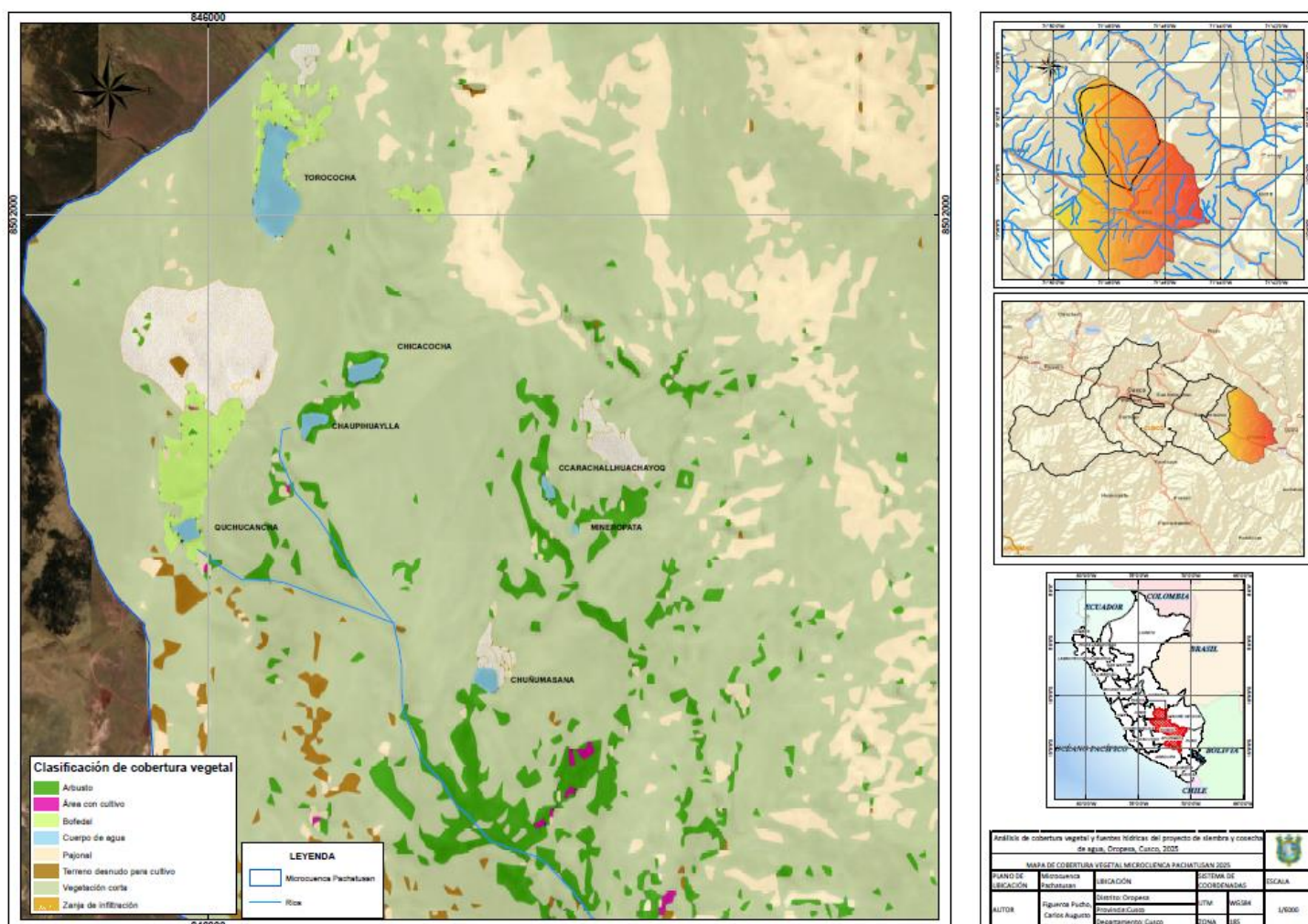
A continuación, se presenta el mapa de cambio de las fuentes hídricas (cuerpos de aguas superficiales) del año 2017, 2020 y 2025 clasificado por zanjas de infiltración, bofedales represas.

Figura 33*Cambio de fuentes hídricas del 2017*

Nota: Mapa que detalla la presencia de fuentes hídricas (cuerpos de agua) en la cuenca Pachatusan para el año 2017.

Figura 34*Cambio de fuentes hídricas del 2020*

Nota: Mapa que detalla la presencia de fuentes hídricas (cuerpos de agua) en la cuenca Pachatusan para el año 2020.

Figura 35*Cambio de fuentes hídricas del 2025*

Nota: Mapa que detalla la presencia de fuentes hídricas (cuerpos de agua) en la cuenca Pachatusan para el año 2025.

Finalmente, los cambios en la cobertura vegetal se encuentran respaldados por el incremento progresivo de los valores del NDVI entre 2017 y 2025. Las áreas con mayor incremento del índice se concentran en zonas próximas a bofedales recuperados, represas y zanjas de infiltración, evidenciando una mejora en la densidad y vigor de la vegetación.

Fuentes de agua en la presa Torococha

De acuerdo al expediente técnico “Recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la cuenca del Pachatusan, en las localidades de Patabamba, Ccajllapata, Kehuar y Patacancha, Distrito de oropesa - Quispicanchi – Cusco” para la qocha denominada Torococha inicialmente existían 4 fuentes de agua , sumando un caudal promedio de 3.23 lt/s a la actualidad se tiene la presencia de 5 fuentes de agua permanentes 3.87 lt/s, constituyendo un incremento de 0.64 lt/s de caudal permanente como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 18

Caudales de las fuentes de agua en la qocha Torococha

FUENTE 1			FUENTE 2			FUENTE 3		
10 litros			10 litros			10 litros		
Prueba 1	00:06:49	Prueba 1	00:00:32	Prueba 1	00:09.0			
Prueba 2	00:06:54	Prueba 2	00:00:31	Prueba 2	00:09.0			
Prueba 3	00:06:57	Prueba 3	00:00:32	Prueba 3	00:09.0			
Prueba 4	00:06:53	Prueba 4	00:00:31	Prueba 4	00:09.4			
Prueba 5	00:06:55	Prueba 5	00:00:31	Prueba 5	00:09.4			
	00:06:54		00:00:31		00:09.2			
TIEMPO PROMEDIO EN SEGUNDOS	414.00	segundos	31.00	segundos	9.20			
Q	0.02415459		0.32258065		1.08695652			

FUENTE 4			FUENTE 5		
15 litros			15 litros		
Prueba 1	00:00:06:92	Prueba 1	00:00:50:36		
Prueba 2	00:00:06:98	Prueba 2	00:00:49:33		
Prueba 3	00:00:06:97	Prueba 3	00:00:49:45		
Prueba 4	00:00:07:00	Prueba 4	00:00:50:07		
Prueba 5	00:00:06:95	Prueba 5	00:00:49:86		
Segundos	7.00	Segundos	50.1		
	2.14285714		0.2994012		
Q promedio 2025	3.8759501	I/s			
Q de ganancia	0.64	I/s			

Figura 36

Adecuación de canal para medición de caudal

**Figura 37**

Identificación de las fuentes de agua para la qocha Torococha

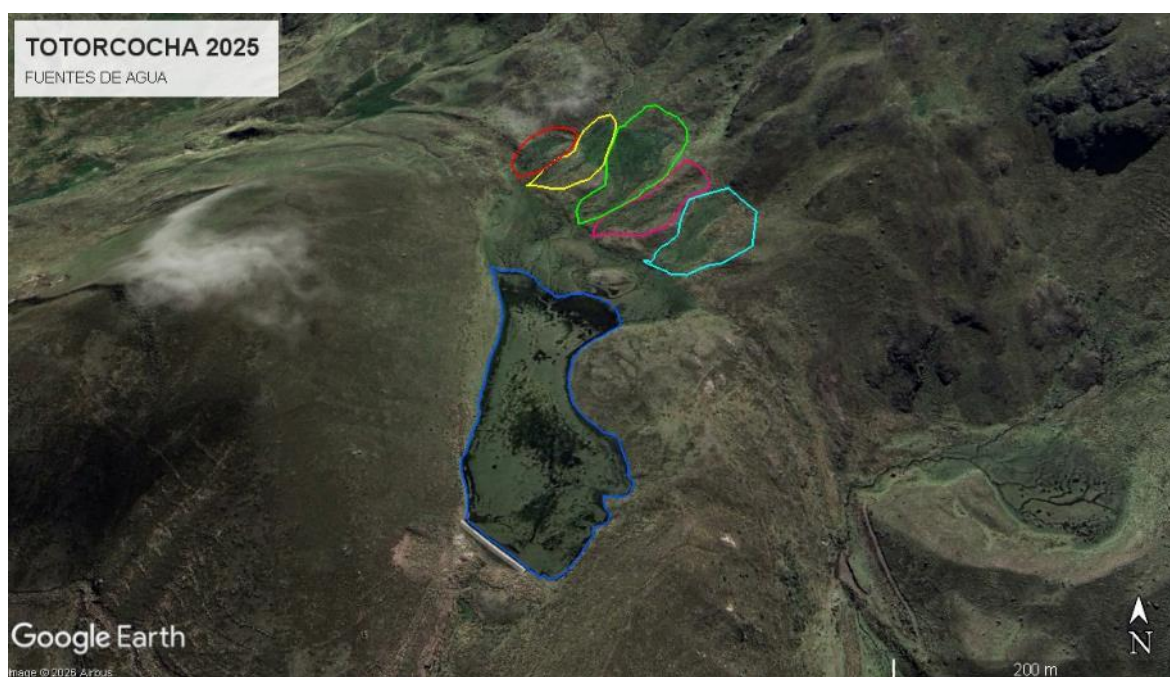


Tabla 19*Caudal de las fuentes de agua en la qocha Torococha*

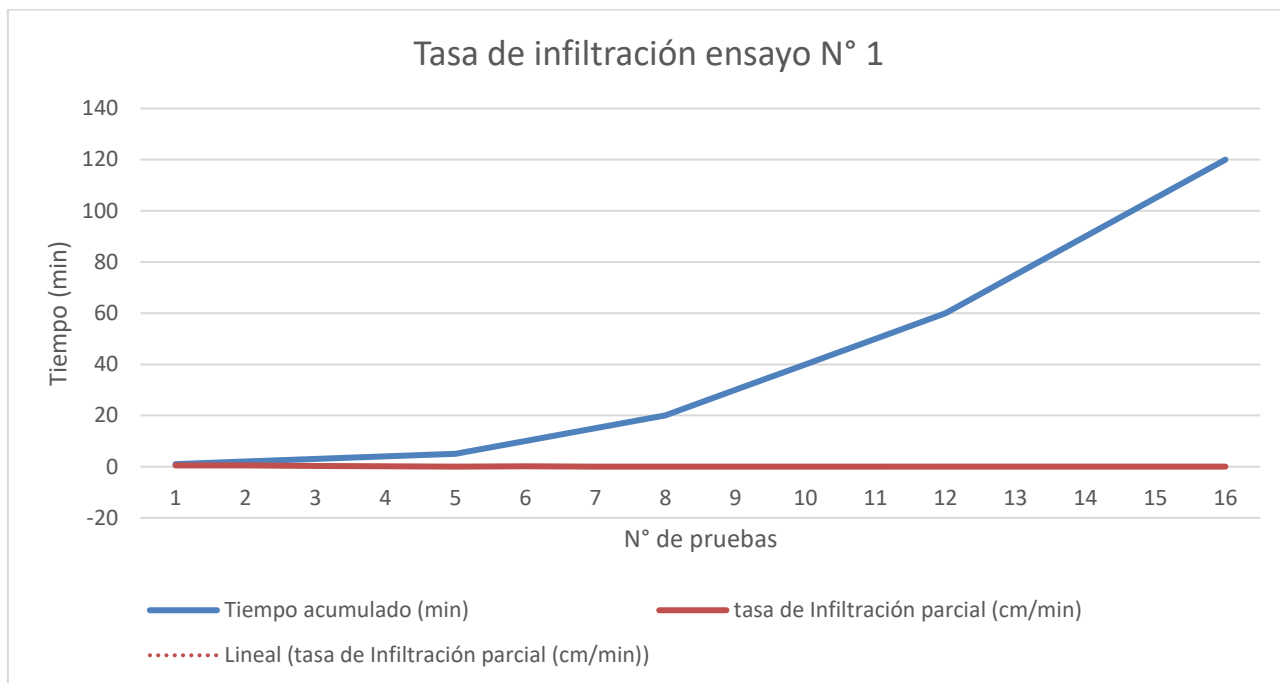
Año	Numero de fuentes de agua	Caudal
2019	4	3.23 lt/s
2025	5	3.87 lt/s
Caudal de ganancia		0.64 lt/s

Figura 38*Medición de caudales por el método volumétrico*

Del desarrollo de la tabla se obtuvo el siguiente diagrama:

Figura 39

Diagrama de Tasa de infiltración del ensayo N° 1 de anillos concéntricos



Como resultado para el primer ensayo transcurridos 120 minutos, se obtuvo una tasa de infiltración de 1.2 cm/h (0.02 cm/min), conforme a la norma ASTM D3385-18, la cual define el rango de medición válido, pero no establece clasificaciones oficiales de velocidad. Este valor se establece como “infiltración muy lenta” dentro de los rangos aceptados para esta prueba. La cantidad total de agua infiltrada fue de 2,4 cm tras 120 minutos de ensayo realizado teniendo un volumen de agua infiltrado de 1.67 m³ tras los 120 minutos de ensayo.

De la velocidad de infiltración obtenida de 0,02 cm/min, equivalente a 1,2 cm/h, clasificada como muy lenta según criterios asociados a la norma ASTM D3385-18; este resultado indica directamente que el suelo ensayado presenta **baja permeabilidad**, ya que la velocidad con que el agua atraviesa su matriz de suelo es reducida, lo que sugiere una textura fina, poros pequeños o una estructura compacta que limita el paso del fluido.

Para el segundo y tercer ensayo se aplicaron los ismos criterios que el primer ensayo de infiltración de doble anillo concéntrico como se muestra a continuación:

Tabla 21

Ensayo N° 2 de anillos concéntricos qocha Torococha

ENSAYO DE ANILLOS CONCENTRICOS (ASTM D3385-18)									
ENSAYO N° 2	N°	Tiempo acumulado (min)	Tiempo parcial (min)	Variación de altura (cm)	Variación de altura acumulada (cm)	Tasa de infiltración parcial (cm/h)	Volumen parcial de agua (cm³)	tasa de Infiltración parcial (cm/min)	Observaciones
	1	1	1	0.4	0.4	24	282800	0.40	
	2	2	1	0.4	0.8	24	282800	0.40	
	3	3	1	0.3	1.1	18	212100	0.30	
	4	4	1	0.2	1.3	12	141400	0.20	
	5	5	5	0.3	1.6	3.6	212100	0.06	
	6	10	5	0.3	1.9	3.6	212100	0.06	
	7	15	5	0.2	2.1	2.4	141400	0.040	
	8	20	10	0.3	2.4	1.8	212100	0.030	Llenado
	9	30	10	0.27	2.67	1.62	190890	0.027	
	10	40	10	0.28	2.95	1.68	197960	0.028	
	11	50	10	0.3	3.25	1.8	212100	0.030	
	12	60	15	0.4	3.65	1.6	282800	0.027	Llenado
	13	75	15	0.4	4.05	1.6	282800	0.027	
	14	90	15	0.3	4.35	1.2	212100	0.020	
	15	105	15	0.3	4.65	1.2	212100	0.020	
	16	120	15	0.3	4.95	1.2	212100	0.020	
VELOCIDAD DE INFILTRACION						1.2		0.02	
SUELO DE BAJA PERMEABILIDAD									

Figura 40

Diagrama de Tasa de infiltración del ensayo N° 2 de anillos concéntricos

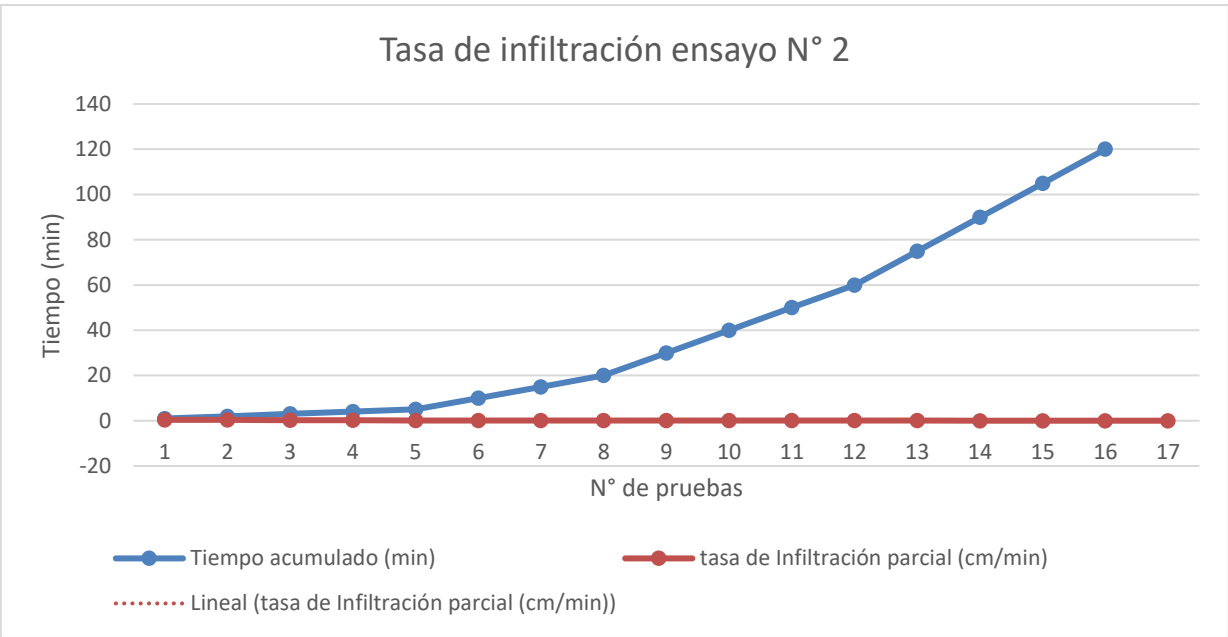
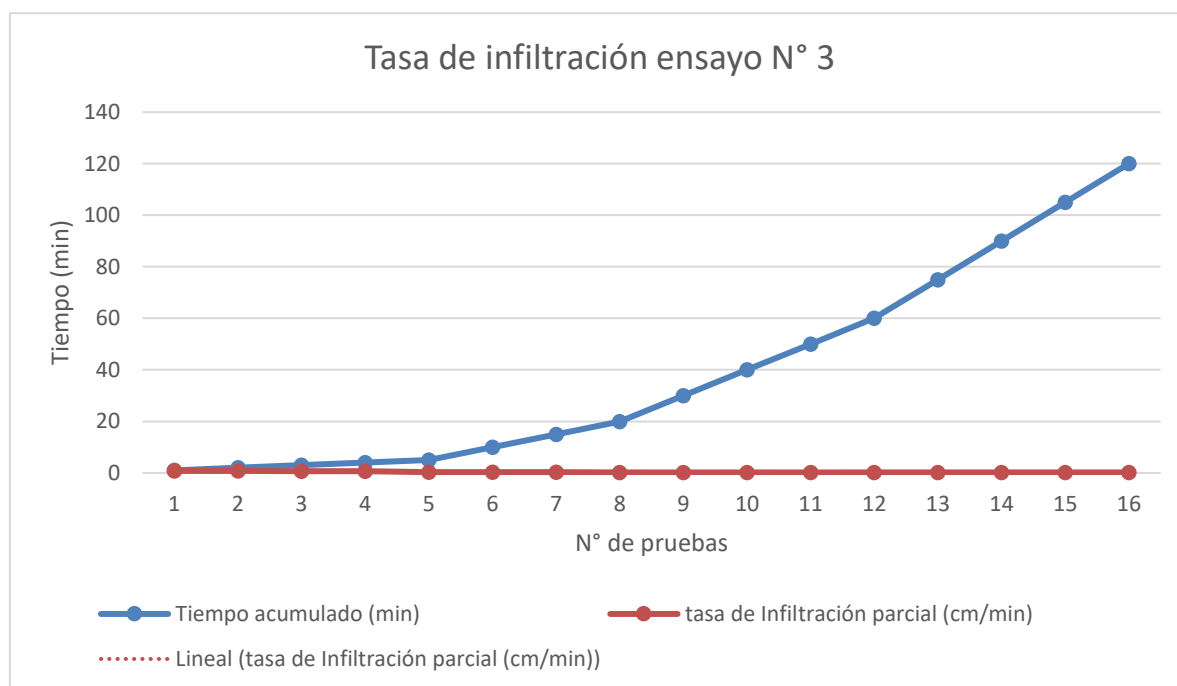


Figura 41

Diagrama de Tasa de infiltración del ensayo N° 3 de anillos concéntricos



Para el tercer ensayo realizado el ensayo arrojó una tasa de infiltración de 0,20 cm/min, o 12 cm/h. Según los criterios de la norma ASTM D3385-18, este valor se sitúa dentro del rango de medición válido del procedimiento y se clasifica como moderadamente lento. El volumen total de agua infiltrada alcanzó los 24 cm tras el mismo periodo de prueba de 120 minutos, este incremento sugiere una mayor permeabilidad en este caso, lo cual apunta a variaciones en la textura, el tamaño de los poros o la compactación del suelo.

VI. Conclusiones

La implementación del proyecto de Siembra y Cosecha de Agua (SYCA) en el Distrito de Oropesa ha consolidado una reconfiguración positiva del paisaje hídrico en la cuenca del Pachatusan durante el periodo 2017-2025. La investigación demuestra de manera fehaciente que la ejecución de infraestructuras naturales ha generado un incremento neto de 3.98 hectáreas en espejos de agua superficiales. Este fenómeno resalta el éxito técnico de la captura de las aguas de lluvia, pues representa un hito fundamental en la gestión hídrica de la región Cusco. Al revertir procesos históricos de degradación, el proyecto garantiza la sostenibilidad de los activos naturales y el ecosistema, de esta manera sentando las bases de una gestión hídrica mucho más eficiente y equilibrada frente al estrés hídrico actual.

El análisis multitemporal de la zona revela una transición efectiva en el uso del suelo, donde la cuenca ha evolucionado hacia un estado de mayor productividad hídrica. Se observa una sinergia directa entre la nueva infraestructura hídrica y la cobertura vegetal, destacando un incremento del 4.27% en vegetación corta y del 0.76% en bofedales, lo que suma 14.91 hectáreas de humedales recuperados. Asimismo, el aumento del 0.70% en áreas de cultivo y la reducción del 1.26% en terrenos desnudos sugieren una optimización del suelo para la seguridad alimentaria local. Aunque se registró una disminución en áreas de pajonal y arbustos, este cambio se interpreta como una conversión hacia ecosistemas hidrológicamente más activos y resilientes, impulsados por la constante disponibilidad de agua en el sistema.

Durante el segundo periodo de análisis, comprendido entre los años 2020 y 2025, se confirmó una variación positiva acumulada en las fuentes de agua gracias a la aplicación de las técnicas de siembra y cosecha de agua en la cuenca Pachatusan. El éxito del proyecto SYCA no solo se refleja en el crecimiento de los cuerpos de agua, sino también en la creación estratégica de 9.88 hectáreas de zanjas de infiltración. Estas estructuras actúan como mecanismos críticos para la recarga de acuíferos, permitiendo que el almacenamiento hídrico sea sostenible a largo plazo y no dependa

exclusivamente de las lluvias estacionales. Este enfoque integral asegura que el agua penetre en las capas profundas del suelo, alimentando gradualmente los bofedales, lo que posiciona a Oropesa como un referente regional en la recuperación de la capacidad de almacenamiento hídrico en cabeceras de cuenca.

El análisis de los registros volumétricos del embalse de la qocha Torococha refleja una tendencia de incremento sostenido en la capacidad de almacenamiento, pasando de 0 m³ en 2017 a 30,384.13 m³ en 2025. Asimismo, el balance hídrico actual revela un caudal de ingreso de 3.87 lt/s frente a una salida de 2.14 lt/s, lo que determina una tasa de infiltración neta de 1.73 lt/s. Este volumen infiltrado constituye un aporte significativo para la recarga del acuífero local, confirmando la funcionalidad de la infraestructura como un sistema efectivo de almacenamiento y gestión de recursos hídricos para la zona.

De las tres pruebas de infiltración utilizando el método del infiltrómetro de doble anillo conforme a la norma ASTM D3385-18 en diversas ubicaciones dentro del área de la presa Torococha. En las pruebas N° 1 y N° 2, situadas cerca del cuerpo de agua, se registró una tasa de infiltración de 0,02 cm/min (clasificada como "muy lenta"), lo que indica una baja permeabilidad que favorece la retención de agua. En la prueba N° 3, ubicada agua arriba en la sección transversal embalse, la tasa fue de 0,20 cm/min (clasificada como "moderadamente lenta"), revelando una mayor permeabilidad en dicha zona. La distribución de los resultados refleja la heterogeneidad de las propiedades físicas del suelo en el emplazamiento de la presa; la baja permeabilidad predominante ayuda a mantener el volumen almacenado además el área de la prueba N° 3 requiere atención especial, ya que su mayor permeabilidad genera mayor infiltración que resulta beneficiosa para la recarga hídrica, pero por otro lado podría ocasionar pérdidas en periodos de secano por filtración, afectando el almacenamiento.

VII. Recomendaciones

Es necesario recomendar establecer un programa de mantenimiento preventivo y monitoreo continuo de las infraestructuras hidráulicas, tales como las zanjias de infiltración y las qochas, para asegurar su funcionamiento optimo a largo plazo. Dado que se ha evidenciado una ganancia de 3.98 hectáreas en espejos de agua, se recomienda también realizar limpiezas periódicas de sedimentos y reforzar los diques para prevenir erosiones o colapsos ante eventos climáticos extremos. Asimismo, es fundamental continuar con el uso de herramientas de teledetección y análisis multitemporal para evaluar la evolución de la recarga hídrica y la salud de los bofedales. Este seguimiento científico permitirá realizar intervenciones técnicas en tiempo real y garantizar que el incremento de los activos naturales sea una mejora permanente y no un fenómeno transitorio en la cuenca.

Se recomienda al Gobierno Regional del Cusco y a las municipalidades colindantes integrar el modelo de gestión implementado en Oropesa dentro de sus políticas públicas de inversión, utilizándolo como un referente de éxito técnico comprobado. La evidencia del incremento en la vegetación y la recuperación de fuentes hídricas justifica la asignación de presupuestos específicos para la replicabilidad de esta tipología de proyectos en otras microcuencas que enfrentan estrés hídrico. Es necesario formalizar mecanismos de inversión bajo el enfoque de "Siembra y Cosecha de Agua", priorizando siempre la intervención en las cabeceras de cuenca. Esta inversión permitirá escalar el impacto positivo de proyectos similares a un nivel regional, fortaleciendo la seguridad hídrica de manera sistémica y reduciendo la vulnerabilidad de las poblaciones rurales frente a las sequías.

Ante el incremento registrado en las áreas agrícolas y la mejora en la disponibilidad de agua superficial, se sugiere implementar programas de capacitación técnica dirigidos a los productores locales sobre el uso eficiente del recurso. Se debe priorizar la transición de sistemas de riego tradicionales por inundación hacia tecnologías más eficientes, como el riego presurizado o goteo, para maximizar el

aprovechamiento de la nueva oferta hídrica. Esta recomendación busca convertir el éxito ingenieril en un motor de desarrollo económico sostenible, asegurando que la mayor humedad del suelo se traduzca en una mejora real de los rendimientos productivos y en la seguridad alimentaria. La capacitación debe incluir también la gestión comunitaria del agua para asegurar una distribución equitativa entre todos los usuarios del sistema.

Finalmente, se recomienda fomentar alianzas estratégicas con universidades y centros de investigación para profundizar en el estudio de la biodiversidad recuperada en las 14.91 hectáreas de bofedal. Esta investigación proporciona una base científica sólida que respalda la efectividad de las técnicas de siembra y cosecha de agua como herramientas de restauración ecológica integral. El conocimiento generado servirá para documentar el impacto real de esta tipología de proyectos de ingeniería en la región.

Para medir el efecto real de esta infiltración en los niveles de agua subterránea, se recomienda establecer un programa de monitoreo piezométrico periódico en las inmediaciones de la *qocha*. Asimismo, para garantizar que la tasa de infiltración se mantenga dentro de los rangos normativos y prevenir la erosión o la saturación excesiva que podrían comprometer la integridad estructural de la infraestructura a largo plazo, se requieren evaluaciones científicas de la estabilidad de los taludes y de la impermeabilización de la cuenca.

Dada la heterogeneidad del suelo identificada, se recomienda aprovechar la baja permeabilidad natural de las zonas cercanas al embalse de la presa Torococha (ensayos 1 y 2; tasa: 0,02 cm/min; clasificación: muy lenta) como factor favorable para la retención de agua, al tiempo que se implementan medidas específicas en el área aguas arriba de la sección transversal del embalse (ensayo 3; tasa: 0,20 cm/min; clasificación: moderadamente lenta).

VIII. Referencias

- Cárdenas Rodríguez, J. (2021). Impacto de la cosecha de agua de lluvias, en la comunidad campesina de Cuyuni, Distrito de Ccatcca, Provincia de Quispicanchi [Universidad San Antonio Abad del Cusco]. https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/5956/253T20211028_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carranza Gallardo, J., & Tasilla Montalvan, F. E. (2020). Pérdida de cobertura vegetal en el Distrito de Morales, San Martín, Perú (periodo 1987 - 2017). *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6, 1–11.
- Castro Barrera, H. E., & Niño Romero, D. F. (2020). INTEGRACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES SENTINEL-2 EN CDCOL. Universidad de los andes.
- Durán, A., Castro, M., Vélez, J., Briones, J., Carrión, P., Herrera, G., Morante, F., Gutiérrez, C., Bardales, J., Peña, F., Martos, S., & Mateos, L. (2020). Siembra y Cosecha de Agua (SyCA), técnicas ancestrales que solucionan problemas del siglo XXI. *Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development*. <https://doi.org/10.18687/laccei2020.1.1.299>
- Echevarría Suárez, W. (2021). Gestión de la Disponibilidad de los recursos hídricos en el Perú Foro “Agua y Minería.”
- Endara Gonzales, N. D. (2020). Efectos del proyecto Cosechas de Agua en el corredor seco en medio de vida sostenible de pequeños productores en Crucita de oriente, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamora Honduras.
- Fernandez Quispe, B. F. (2021). Evaluación de la Ejecución de una inversión de Siembra y Cosecha de Agua en el año 2020.
- Granja Hidalgo, N. (2024). “Análisis multitemporal de los cambios de cobertura vegetal en el Cantón Latacunga durante el periodo 2015 - 2023” [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0dab0541-92dd-4c07-bbb3-bf34ecd65130/content>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). Lineamientos para la formulación y evaluación de proyectos de inversión de la tipología de siembra y cosecha de agua (www.digitalworldperu.com, Ed.). [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3143796/Lineamientos para la formulación y evaluación de proyectos de inversión de la tipología de Siembra y Cosecha de Agua.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3143796/Lineamientos%20para%20la%20formulaci%C3%B3n%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20proyectos%20de%20inversi%C3%B3n%20de%20la%20tipolog%C3%ADa%20de%20Siembra%20y%20Cosecha%20de%20Agua.pdf)
- Moreno Rivera, marco A. (n.d.). "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS DE

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES CARRERA DE INGENIERÍA
AMBIENTAL.

- Organización Meteorológica Mundial. (2025, January 10). La Organización Meteorológica Mundial confirma que 2024 fue el año más cálido jamás registrado al superar en cerca de 1,55 °C los niveles preindustriales.
- Pech May, F., Sánchez Hernández, J. V., & Sánchez Jacinto, H. (2021). Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2. *Lámpsakos*, 24, 48. <https://doi.org/10.21501/21454086.3601>
- Picone, N. (2021). COMPARACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES SENTINEL 2 Y LANDSAT 8 EN EL ESTUDIO DE ÁREAS URBANAS. www.earthexplorer.usgs.gov
- Quinto Caja, K., & Taípe Ramos, M. R. (2025). Influencia de la cobertura vegetal en la cosecha de agua en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica, 2024. Universidad Continental.
- Quispe Barrios, M. K. (2023). Siembra y cosecha de agua de lluvia: una medida de seguridad hídrica desde la adaptación basada en ecosistemas (Ayacucho). *South Sustainability*, 4(2), e085–e085. <https://doi.org/10.21142/ss-0402-2023-e085>
- Quispe Martínez, D. (2024). Siembra y cosecha de agua: hacia una aproximación conceptual. *Revista Revoluciones. Estudios En Ciencia Política*, 6, 18. <https://doi.org/10.35622/j.rr.2024.018.001>
- Ramos Rodríguez, J. S. (2022). Saberes ancestrales para la siembra y cosecha de agua de uso agrícola en el Ecuador [Universidad Técnica de Babahoyo]. <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/13243/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000463.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ricra, O., Quino, P., & Vázquez, G. (2022). Siembra de agua a través de infraestructura natural de recarga hídrica (AMUNA) en la comunidad San Pedro de Casta, Lima, Perú. *Revista de Agricultura En Zonas Áridas*.
- Rodríguez Lugo, D. M., & Pérez Álvarez, P. (2014). DETERMINATION OF POTENTIAL GROUNDWATER RECHARGE IN GUARA BASIN OF CUBA. In *Aqua-LAC* (Vol. 6, Issue2). <https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/127/103>
- Ruano Flores, A. E. (2024). Gestión comunitaria del agua, en base a los métodos de siembra y cosecha de agua, en comunidades de la parroquia La Merced, Guagopolo y Tumbaco, asentadas en el volcán Ilaló [Universidad Andina Simón Bolívar,]. <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/10118>

- Saenz Carrillo, M. A. (2022). Efectos de la siembra y cosecha de agua en el Distrito de Chiara, región Ayacucho, periodo 2018-2021 [Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/80635/Saenz_CMA-SD.pdf?sequence=8&isAllowed=y
- Suyo Florez, S. (2021). Evaluación de impacto socio -económico y ambiental del proyecto de regulación hídrica (cosecha de agua) en la cuenca de la laguna de Quescay - Región Cusco [Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/5985/253T20211031_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CONAGUA (2025). Monitor de Sequia de México [Comisión Nacional del Agua]. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Sequ%C3%ADa/Monitor%20de%20sequ%C3%ADa%20en%20M%C3%A9xico/Seguimiento%20de%20Sequ%C3%ADa/MSM20240331>
- Das, B. M. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. México: CENGAGE Learning.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes