

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Influencia de la cobertura vegetal en la cosecha de  
agua en la Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica ,  
2024**

Karim Quinto Caja  
Mirian Rossmery Taipe Ramos

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Elizabeth Guisella Machuca Manrique  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 14 de Junio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

Influencia de la Cobertura Vegetal en la Cosecha de agua en la Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica – 2024

**Autores:**

1. Karim Quinto Caja – EAP. Ingeniería Ambiental
2. Mirian Rossmery Taipe Ramos – EAP. Ingeniería Ambiental

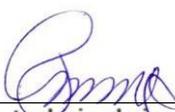
Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
Nº de palabras excluidas: 20 SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
Asesor de trabajo de investigación

## DEDICATORIA

A Dios, quien me ha brindado entendimiento, resiliencia, fuerza y sabiduría en cada paso de este camino académico. Con todo mi corazón a mis padres: Hilaria y Fredy por su amor incondicional, su sacrificio y por siempre confiar en mí, por su apoyo absoluto en todo momento, por enseñarme que todo se puede, que a pesar de las dificultades siempre habrá una luz. A mis hermanos: Lizeth y Dylan, por su constante compañía, apoyo y por ser mi fuerza en los momentos difíciles. Este logro es gracias a ustedes.

Karim Quinto

A mis amados padres: Lucas y Vicenta, cuyo esfuerzo incansable, amor incondicional y valores inquebrantables han sido la base de mi formación profesional y personal. Su ejemplo de perseverancia y dedicación ha guiado cada uno de mis pasos en este camino académico. A mis hermanos, por su apoyo incondicional, por alentarme en cada paso y por demostrarme que la familia es el refugio más seguro en cualquier circunstancia. Su presencia ha sido mi motivación y su confianza en mí, el impulso para seguir adelante. Con gratitud infinita y todo mi amor, este trabajo es para ustedes.

Mirian Taipe

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a la Universidad Continental, por proporcionarnos un entorno de aprendizaje enriquecedor y la oportunidad de crecer como personas integrales a través de las enseñanzas de sus docentes.

A los miembros de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por su valiosa orientación y guía en el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Nacional Agraria la Molina por su colaboración y aporte en el análisis de muestras, lo que ha sido crucial para nuestra investigación.

De igual manera agradecemos profundamente a nuestra asesora de tesis, la Ing. Elizabeth Guisella Machuca Manrique, por su orientación precisa y apoyo constante.

Las autoras

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	15
1.1.1. Problema general .....	17
1.1.2. Problemas específicos .....	17
1.2. Objetivos .....	17
1.2.1. Objetivo general.....	17
1.2.2. Objetivos específicos .....	17
1.3. Justificación e importancia.....	18
1.3.1. Justificación en el marco de los ODS .....	18
1.3.2. Justificación metodológica .....	18
1.3.3. Justificación teórica .....	18
1.3.4. Justificación práctica .....	19
1.3.5. Justificación tecnológica.....	19
1.3.6. Justificación ambiental .....	19
1.3.7. Justificación social.....	20
1.4. Delimitación del proyecto .....	20
1.5. Hipótesis.....	20
1.5.1. Hipótesis general.....	20
1.5.2. Hipótesis específicas.....	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. Antecedentes de la investigación .....	22
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	22
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	28
2.1.3. Antecedentes locales .....	31
2.2. Bases teóricas.....	34
2.2.1. Cobertura vegetal .....	34
2.2.2. Cosecha de agua.....	38

2.2.3. Relación entre variables .....	41
2.2.4. Qochas .....	49
2.2.5. Siembra y cosecha del agua .....	51
2.2.6. Contexto de la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica.....	52
2.3. Términos básicos .....	53
2.3.1. Cobertura vegetal.....	53
2.3.2. Infiltración .....	54
2.3.3. Escorrentía .....	54
2.3.4. Ciclo hidrológico .....	54
2.3.5. Porosidad del suelo .....	54
2.3.6. Densidad aparente.....	55
2.3.7. Capacidad retentiva.....	55
2.3.8. Humedad gravimétrica.....	55
2.3.9. Qocha .....	56
2.3.10. Siembra y cosecha de agua .....	56
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....</b>	<b>57</b>
3.1. Método y alcance de la investigación .....	57
3.1.1. Método de investigación.....	57
3.2. Alcance de la investigación.....	57
3.2.1. Tipo de investigación.....	57
3.2.2. Nivel de investigación .....	58
3.3. Diseño de la investigación .....	58
3.3.1. Distribución y muestreo.....	58
3.4. Población y muestra .....	59
3.4.1. Población .....	59
3.4.2. Muestra .....	60
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	61
3.5.1. Técnicas .....	61
3.5.2. Instrumentos para recolección de datos .....	61
3.6. Procedimiento .....	62
3.6.1. Procedimiento para la recolección de muestras.....	62
3.6.2. Procedimiento para la medición del tiempo de infiltración.....	62
3.6.3. Procedimiento para la medición de escorrentía .....	63
3.6.4. Procedimiento por objetivos .....	63
3.7. Técnicas de análisis de datos.....	73
3.7.1. Limpieza y organización de datos .....	73
3.7.2. Pruebas de normalidad.....	73

3.7.3. Análisis descriptivo .....	73
3.7.4. Contraste de hipótesis:.....	74
3.7.5. Interpretación de resultados.....	74
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	75
4.1. Resultados descriptivos.....	75
3.8. Prueba de normalidad.....	82
3.9. Resultados inferenciales.....	83
3.9.1. Prueba de hipótesis general .....	83
3.9.2. Prueba de hipótesis específica 1 .....	84
3.9.3. Prueba de hipótesis específica 2 .....	86
3.9.4. Prueba de hipótesis específica 3 .....	87
3.10. Discusión de resultados .....	89
CONCLUSIONES .....	95
RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXOS .....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño de investigación .....	58
Tabla 2. Resultados de laboratorio.....	75
Tabla 3. Porosidad del suelo .....	76
Tabla 4. Densidad aparente.....	77
Tabla 5. Porcentaje de arena en textura del suelo .....	78
Tabla 6. Infiltración del suelo .....	79
Tabla 7. Contenido de materia orgánica .....	80
Tabla 8. Capacidad retentiva del agua .....	81
Tabla 9. Prueba de normalidad para dimensiones sin medición de tiempo .....	82
Tabla 10. Prueba de normalidad para infiltración con medición de tiempo .....	82
Tabla 11. Prueba de hipótesis general.....	83
Tabla 12. Prueba para porosidad del suelo y densidad aparente.....	85
Tabla 13. Prueba para textura del suelo .....	85
Tabla 14. Prueba para el contenido de materia orgánica .....	86
Tabla 15. Prueba para tasa de infiltración.....	87
Tabla 16. Prueba para capacidad retentiva del agua .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pérdida de cobertura vegetal.....	36
Figura 2. Importancia de la conservación del suelo.....	36
Figura 3. Cosecha de agua. ....	39
Figura 4. Escorrentía de agua.....	43
Figura 5. Triángulo de clases texturales.....	49
Figura 6. Qochas de Vinchos. ....	49
Figura 7. Siembra y cosecha de agua.....	51
Figura 8. Mapa de ubicación.....	60
Figura 9. Comparación de la porosidad con y sin cobertura.....	76
Figura 10. Comparación de la densidad con y sin cobertura .....	77
Figura 11. Porcentaje de arena, limo y arcilla sin cobertura.....	78
Figura 12. Porcentaje de arena, limo y arcilla con cobertura.....	78
Figura 13. Infiltración del suelo.....	80
Figura 14. Comparación del contenido de materia orgánica con y sin cobertura .....	81
Figura 15. Comparación de la capacidad retentiva con y sin cobertura.....	81

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar de qué manera la cobertura vegetal influye en la cosecha de agua en la Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica. El estudio se desarrolló con un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, nivel explicativo y diseño preexperimental. Se utilizó una muestra de 20 metros cuadrados sobre una población de 84.54 metros cuadrados, con cinco submuestras por parcela y dos profundidades de análisis, de 0 a 30 centímetros y de 30 a 60 centímetros. El instrumento principal fue la ficha de observación, complementada con medidores de densidad, infiltrómetros de doble anillo y analizadores de materia orgánica. Los resultados indicaron que la única variable con diferencia estadísticamente significativa fue la tasa de infiltración, con un valor de  $p$  igual a 0.000, lo que evidencia un efecto positivo de la cobertura vegetal sobre el ingreso del agua al suelo. Otras variables como la porosidad, densidad aparente, textura, contenido de materia orgánica y capacidad retentiva de agua mostraron diferencias descriptivas entre suelos con y sin vegetación, pero no alcanzaron significancia estadística. Por ejemplo, la porosidad fue de hasta 57.83 % en suelos con vegetación frente a 50.47 % sin ella, y la materia orgánica alcanzó 8.31 % en suelos vegetados frente a 0.73 % en los no vegetados. Se concluye que la cobertura vegetal influye de manera parcial en la cosecha de agua, destacando su aporte en la mejora de la infiltración del suelo, aunque sin generar cambios estadísticamente significativos en otras propiedades edáficas. Estos hallazgos fortalecen la importancia de conservar y restaurar la vegetación como estrategia de captación hídrica en ecosistemas altoandinos, particularmente en zonas asociadas a qochas.

**Palabras clave:** cobertura vegetal, cosecha de agua, infiltración, porosidad, densidad aparente, materia orgánica, capacidad retentiva, Qocha, Huancavelica, zonas altoandinas.

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine how vegetation cover influences water harvesting in the Qocha of Ccochaccasa, Huancavelica. The study followed a quantitative approach, with an applied type, explanatory level, and pre-experimental design. A sample of 20 square meters was taken from a total area of 84.54 square meters, with five subsamples per plot and two soil depths analyzed (0–30 cm and 30–60 cm). The primary instrument was an observation sheet, complemented by density meters, double-ring infiltrometers, and organic matter analyzers. The results showed that the only variable with statistically significant differences was the infiltration rate, with a p-value of 0.000, indicating a positive effect of vegetation cover on water entry into the soil. Other variables, such as porosity, bulk density, texture, organic matter content, and water retention capacity, showed descriptive differences between soils with and without vegetation, but these were not statistically significant. For example, porosity reached up to 57.83% in vegetated soils compared to 50.47% in non-vegetated soils, and organic matter content was 8.31% versus 0.73%, respectively. It is concluded that vegetation cover has a partial influence on water harvesting, with a notable impact on soil infiltration. However, it did not significantly modify other edaphic properties. These findings underscore the importance of conserving and restoring vegetation as a strategy to enhance water capture in high Andean ecosystems, particularly in areas associated with qochas.

**Keywords:** vegetation cover, water harvesting, infiltration, porosity, bulk density, organic matter, water retention capacity, Qocha, Huancavelica, high Andean regions.

## INTRODUCCIÓN

El acceso al agua dulce se ha convertido en un desafío global de creciente preocupación debido a factores incluidos fenómenos como el cambio climático, la expansión demográfica y la utilización excesiva de los recursos hídricos. A nivel mundial, diversas regiones enfrentan estrés hídrico, lo que afecta tanto a los ecosistemas como a las comunidades humanas que dependen de este recurso (1). En este contexto, los sistemas naturales y tradicionales de recolección de agua como las qochas, desempeñan un papel indispensable para aliviar la escasez de agua, particularmente en las regiones andinas elevadas como Huancavelica (Perú), donde las comunidades locales dependen de la recolección de agua para fines agrícolas y domésticos. Las plantas vasculares, mediante la mejora de la infiltración y retención del agua, son clave en este proceso, proporcionando beneficios tanto ecológicos como sociales al mantener la funcionalidad de los ecosistemas locales.

La urgencia de abordar esta problemática se acentúa ante el debilitamiento progresivo de las qochas en Ccochaccasa, Huancavelica, donde la reducción de la cobertura vegetal, sumada al descenso de las precipitaciones y al retroceso de las fuentes de agua, compromete tanto la seguridad hídrica como la continuidad de las actividades agrícolas y ganaderas. Esta situación demanda soluciones integrales que integren el conocimiento ancestral con evidencia científica. Analizar cómo la cobertura vegetal influye en la cosecha de agua permite no solo comprender la dinámica edáfica e hidrológica de la región, sino también diseñar estrategias replicables de restauración ecológica, esenciales para la adaptación al cambio climático y la resiliencia de las comunidades rurales.

El presente trabajo de investigación propone un enfoque innovador y contextualizado que aporta al vacío existente en la literatura sobre la interacción entre vegetación y procesos hidrológicos en zonas altoandinas. Los hallazgos del estudio ofrecerán orientaciones prácticas para mejorar la gestión del recurso hídrico a través de la restauración de la cobertura vegetal, contribuyendo al fortalecimiento de políticas ambientales sostenibles. Además, al alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6 y 13), esta tesis se posiciona como una contribución académica pertinente y oportuna en el contexto global de crisis climática y escasez de agua.

A lo largo de este documento, se estructura una narrativa que inicia con el planteamiento del estudio, incluyendo el problema de investigación, los objetivos, la hipótesis y la justificación que motivan el trabajo. En el segundo capítulo se expone el marco teórico, en el que se analizan antecedentes internacionales, nacionales y locales, junto con las bases

conceptuales que sustentan la investigación. El capítulo tres describe la metodología empleada, detallando el diseño preexperimental, la población y muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos. El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos y su discusión, examinando el impacto de la cobertura vegetal en variables como la porosidad, infiltración y retención hídrica. Finalmente, el estudio concluye con un análisis reflexivo que integra los hallazgos más relevantes y propone recomendaciones para la gestión hídrica sostenible en contextos similares.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

El agua constituye un recurso vital para la vida en la Tierra y es absolutamente necesaria para los ecosistemas, los esfuerzos humanos y la viabilidad duradera de las comunidades. Asume un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico, la reposición de los acuíferos y la preservación de la biodiversidad, por lo que resulta esencial para la agricultura, la industria y el consumo humano (1). Sin embargo, numerosos elementos, incluidos el cambio climático, la expansión demográfica y las estrategias de gestión de recursos subóptimas, han puesto en peligro la accesibilidad del agua dulce. Según las Naciones Unidas, para el año 2050, se prevé que más del 40 % de la población mundial resida en áreas que sufren estrés hídrico, lo que subraya la importancia de gestionar este recurso de manera sostenible (2).

En cuanto a las causas de esta problemática, la degradación de la cobertura vegetal es una de las principales, ya que disminuye la infiltración de agua y la capacidad de almacenamiento dentro de los ecosistemas (3). Factores como la urbanización, la implementación de metodologías agrícolas intensivas y las alteraciones en la utilización de la tierra han provocado la disminución de las regiones boscosas y el deterioro de las cuencas hidrográficas. En la región andina, esta situación afecta directamente la funcionalidad de sistemas tradicionales como las qochas, que son estructuras diseñadas para captar y almacenar agua de lluvia (4). A nivel mundial, los fenómenos de deforestación y alteraciones en el uso del suelo han provocado una reducción de la cobertura vegetal en un 10% desde el año 2000, mientras que, en América Latina, países como Perú han registrado una reducción del 15 % en el caudal de sus ríos principales debido a la pérdida de vegetación (5).

Las ramificaciones del agotamiento de la cubierta vegetal son considerables y ejercen una influencia tanto en los sistemas ecológicos como en las poblaciones humanas. Entre las principales repercusiones se encuentran la reducción de la reposición de los acuíferos, el aumento de la erosión del suelo, la disminución de la biodiversidad y una mayor susceptibilidad a los fenómenos meteorológicos graves, como las sequías (6). En la región andina, la capacidad de las qochas para regular el ciclo hidrológico ha disminuido un 30 % desde 2018 debido a la deforestación y la degradación de suelos (7). A nivel mundial, más del 60 % de los ríos presentan caudales reducidos durante las temporadas secas, lo que afecta la seguridad hídrica y la sostenibilidad de las actividades agrícolas en zonas rurales (4).

En el caso específico del distrito de Ccochaccasa, situado dentro de la región de Huancavelica, la disminución de la cobertura vegetal ha disminuido notablemente la capacidad de las qochas para capturar y retener agua de manera efectiva. Esta situación se ve agravada por las ramificaciones del cambio climático, incluida la disminución de las precipitaciones y el derretimiento de la nieve, lo que afecta negativamente a las fuentes de agua que abastecen tanto a las comunidades como a la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (Emapa), de igual manera desde noviembre de 2022, la falta de lluvias ha reducido el caudal hídrico, afectando directamente a ríos, lagunas y otras fuentes esenciales para actividades agrícolas y ganaderas dentro de la región (8, 9). Estos problemas reflejan una gestión inadecuada de los recursos naturales, agravada por la falta de políticas públicas que prioricen la reforestación y el manejo sostenible de cuencas hidrográficas (10).

Como alternativa de solución a esta problemática, es fundamental implementar estrategias integrales que combinen la conservación de los recursos naturales con soluciones tecnológicas adaptadas a las necesidades locales. La restauración de la cobertura vegetal tiene el potencial de mejorar notablemente la capacidad de los suelos para infiltrarse en el agua, reduciendo la erosión y favoreciendo la sostenibilidad de las qochas (11). A nivel global, experiencias en países como India y Etiopía han demostrado que el restablecimiento de la cubierta vegetal mejora profundamente la infiltración del agua del suelo y la reposición de los acuíferos, incrementando la disponibilidad de agua en comunidades rurales (12), (13). En el contexto de Ccochaccasa, estas medidas deben ir acompañadas de una capacitación comunitaria, fortaleciendo las prácticas sostenibles de manejo hídrico y garantizando la seguridad hídrica y ecológica de la región para las futuras generaciones (14).

Para evaluar la infiltración del agua en suelos, se emplean diversos métodos que permiten determinar la capacidad de los suelos para captar y almacenar agua, según las condiciones

específicas y los objetivos del estudio. Entre los más utilizados se encuentran el infiltrómetro de doble anillo, que emplea dos anillos concéntricos para medir tanto la infiltración vertical como lateral del agua, y el permeámetro de Guelph, que evalúa la capacidad del suelo para transmitir agua cuando está saturado. Otro método común es el de Porchet, que consiste en llenar un pozo con agua y medir el tiempo que tarda en descender, proporcionando una estimación rápida de la infiltración. Por último, el infiltrómetro de disco de tensión se utiliza para medir la infiltración en suelos no saturados, aplicando agua bajo una tensión específica. La selección del método adecuado depende tanto de las características del suelo como de los objetivos específicos del estudio(15).

### **1.1.1. Problema general**

¿De qué manera influye la cobertura vegetal en la capacidad de cosecha de agua en la Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica – 2024?

### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Qué influencia tiene la cobertura vegetal en las propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad aparente y textura) en la Qocha de Ccochaccasa?
- ¿Qué relación existe entre la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo en la Qocha de Ccochaccasa?
- ¿Qué efecto tiene la cobertura vegetal sobre la infiltración y la capacidad retentiva de agua del suelo en la Qocha de Ccochaccasa?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la cobertura vegetal en la capacidad de cosecha de agua en la Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica – 2024.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia de la cobertura vegetal en las propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad aparente y textura) en la Qocha de Ccochaccasa.
- Determinar la relación entre la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo en la Qocha de Ccochaccasa.

- Determinar el efecto de la cobertura vegetal sobre la infiltración y la capacidad retentiva de agua del suelo en la Qocha de Ccochaccasa.

### **1.3. Justificación e importancia**

#### **1.3.1. Justificación en el marco de los ODS**

El estudio cumple con el propósito del desarrollo sostenible 13: Acción climática que promueve medidas apremiantes para enfrentar el calentamiento global y sus consecuencias, aportando soluciones concretas para fortalecer la resiliencia de las comunidades rurales. El estudio sobre la conexión entre la cobertura de plantas y la cosecha de agua en la qocha de Ccochaccasa responde a la necesidad de generar estrategias que faciliten la reducción de los impactos del cambio climático, promoviendo prácticas tradicionales que, al integrarse con enfoques científicos, optimizan el uso sostenible del agua (16).

La conservación y restauración de la cobertura vegetal es fundamental para regular el ciclo hidrológico y minimizar el impacto de fenómenos climáticos extremos, lo que permite a las comunidades rurales adaptarse de manera más efectiva a la variabilidad climática. Este enfoque no solo fortalece la seguridad hídrica, sino que también reduce la vulnerabilidad ante periodos de sequía, garantizando la disponibilidad de agua para el consumo, la agricultura y la ganadería, promoviendo así el desarrollo sostenible de la región.

#### **1.3.2. Justificación metodológica**

La justificación metodológica se basa en el empleo de un diseño preexperimental, que permite establecer relaciones de causalidad entre la cobertura vegetal y la efectividad en la cosecha de agua. La aplicación de métodos cuantitativos rigurosos asegurará la recopilación y evaluación de datos de forma exacta, asegurando la exactitud y confiabilidad de los resultados logrados. Este enfoque explicativo promoverá el discernimiento de los elementos críticos dentro de la relación examinada, aportando un marco sólido para la interpretación de los resultados y la replicabilidad de la investigación en otros contextos similares.

#### **1.3.3. Justificación teórica**

La investigación se justifica teóricamente al explorar y analizar las teorías existentes sobre el impacto de la cobertura de vegetación en la recolección de agua. Este enfoque busca intensificar el saber científico al explorar en profundidad la conexión entre la vegetación y su influencia en la disponibilidad de agua., respaldado por estudios previos que destacan la importancia de la vegetación en la regulación de los procesos hidrológicos. Las bases teóricas sustentan la importancia de esta investigación para un entendimiento más profundo de los

mecanismos involucrados en la retención. y gestión del agua en áreas con diferentes tipos de cobertura vegetal.

#### **1.3.4. Justificación práctica**

Desde una perspectiva pragmática, el propósito de la investigación es alcanzar un objetivo proporcionar recomendaciones y directrices aplicables para la gestión eficiente del agua en regiones con cobertura vegetal diversa. Los hallazgos pueden ser utilizados por autoridades locales y comunidades para mejorar la eficiencia de la organización y administración de los recursos acuáticos, especialmente en contextos de escasez. Este aporte contribuye a la sostenibilidad ambiental al fomentar estrategias efectivas de cosecha de agua en la Qocha de Ccochaccasa, promover una gobernanza más responsable y justa de los recursos naturales.

#### **1.3.5. Justificación tecnológica**

La investigación se justifica porque permite desarrollar tecnologías adaptadas al contexto local que optimicen la cosecha de agua en las qocha, un sistema ancestral de gestión hídrica esencial para las zonas altoandinas. Analizar la influencia de la cobertura vegetal en la infiltración y el almacenamiento de agua genera conocimientos aplicables al diseño de estrategias sostenibles que puedan replicarse en regiones con características similares y enfrentar la variabilidad climática. La práctica de sembrar y cosechar agua constituye una estrategia centrada en la naturaleza que combina metodologías tradicionales con técnicas científicas contemporáneas, promoviendo la resiliencia hídrica en comunidades vulnerables y contribuyendo al desarrollo de modelos innovadores de gestión del recurso hídrico en contextos de escasez (17).

#### **1.3.6. Justificación ambiental**

El objetivo de desarrollo sostenible 6 está alineado con la investigación porque se esfuerza por asegurar la accesibilidad y la gobernanza sostenible del agua y el saneamiento, subrayando la importancia del acceso a recursos hídricos de alta calidad y la conservación de los ecosistemas que lo facilitan. La investigación está justificada, ya que aclara la importancia de la cobertura de vegetación para regular los procesos hidrológicos y preservar los ecosistemas montañosos, esenciales para garantizar el equilibrio ambiental en la región. Estudiar su relación con la cosecha de agua en la qocha de Ccochaccasa permite preservar servicios ecosistémicos como la retención hídrica, la consolidación del terreno y la optimización de la biodiversidad, mitigando las consecuencias del calentamiento global. Según el Sistema Nacional de Información Ambiental, la posesión de datos actualizados mejora el proceso de decisión para

la sostenibilidad facilita la administración eficaz de los recursos naturales y promueve el uso sostenible del agua (16).

### **1.3.7. Justificación social**

La investigación se justifica porque responde a la necesidad de mejorar el acceso al agua en comunidades rurales como las de Ccochaccasa, donde este recurso es fundamental para la agricultura, el consumo humano y la ganadería. Optimizar la cosecha hídrica fortalecerá la seguridad hídrica de las familias, reduciendo su vulnerabilidad ante fenómenos climáticos extremos y permitiéndoles sostener sus actividades productivas. La ejecución de las prácticas relacionadas con el cultivo y la recolección de agua garantiza una disponibilidad ininterrumpida de este recurso esencial durante los períodos de deficiencia, garantizando la estabilidad económica y mejorando la calidad de vida. Este análisis aportará evidencia que promueva un desarrollo comunitario más sostenible, fortaleciendo la participación activa de las comunidades y generando resiliencia frente al cambio climático (18).

### **1.4. Delimitación del proyecto**

El estudio se desarrolla en el entorno específico de Qochas del distrito de Ccochaccasa, del departamento de Huancavelica.

### **1.5. Hipótesis**

#### **1.5.1. Hipótesis general**

La cobertura vegetal influye significativamente en la capacidad de cosecha de agua en la Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica – 2024.

La vegetación desempeña un rol esencial en la regulación del ciclo hidrológico, ya que facilita procesos como la interceptación, la infiltración y el almacenamiento del agua en el suelo (19). Desde el enfoque ecohidrológico, se reconoce que los ecosistemas con una cobertura vegetal adecuada presentan mejores condiciones para conservar y distribuir el recurso hídrico, lo que refuerza su importancia en la sostenibilidad de sistemas naturales como las qochas altoandinas (20).

#### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- **Hipótesis específica 1**

La cobertura vegetal influye en las propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad aparente y textura) en la Qocha de Ccochaccasa.

Estudios han demostrado que los suelos con cobertura vegetal presentan una mayor porosidad, favoreciendo la infiltración y el almacenamiento de agua, en comparación con suelos descubiertos (21). Asimismo, la cobertura vegetal reduce la densidad aparente del suelo al disminuir su compactación y mejorar su estructura interna, como se observó en bosques primarios frente a zonas deforestadas (23). En cuanto a la textura, se ha evidenciado que las áreas con vegetación tienden a conservar una proporción más equilibrada de partículas finas, lo que favorece la retención de humedad (25).

- **Hipótesis específica 2**

Existe una relación significativa entre la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo en la Qocha de Ccochaccasa.

La cobertura vegetal incrementa la acumulación de materia orgánica mediante el aporte constante de residuos vegetales y raíces en descomposición, como se ha observado en suelos de bosques primarios que presentan mayores concentraciones de carbono orgánico (23). Sin embargo, su efecto puede variar según el tipo de vegetación y las condiciones de manejo, como ocurre en suelos con pastos cultivados expuestos al pastoreo intensivo (26).

- **Hipótesis específica 3**

La cobertura vegetal afecta la infiltración y la capacidad retentiva de agua del suelo en la Qocha de Ccochaccasa.

Las raíces de las plantas generan canales que aumentan la permeabilidad del suelo, permitiendo una mayor infiltración del agua en los estratos profundos (27). Además, el mantillo vegetal protege la superficie del suelo frente al impacto de la lluvia y reduce la evaporación, actuando como una capa esponjosa que incrementa la retención hídrica (25). Se ha comprobado que en zonas con cobertura vegetal densa los niveles de humedad gravimétrica del suelo son más altos, mejorando su capacidad de retención de agua (26).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Según Bravo (29), en su artículo académico titulado: «*Gestión integral de cuencas hidrográficas con uso conjunto de aguas, aplicando el sistema de siembra y cosecha de agua. Manglaralto-Santa Elena-Ecuador*» tuvo como propósito principal analizar las condiciones hidrogeológicas de los ríos relacionados con la cuenca del Manglaralto (es decir, Cadeate, Simón Bolívar y Manglaralto) a través de un exhaustivo estudio geológico, geofísico e hidrogeológico, utilizando métodos tradicionales de siembra y recolección en agua (SyCA), con el fin de una administración completa de los recursos en la zona. La investigación utilizó un método combinado, con un diseño descriptivo y no experimental, haciendo uso de herramientas como el sistema de información geográfica (GIS) para el estudio de cuencas., la prospección geoeléctrica con sondeos eléctricos verticales (SEVs), y el software GeoModeller para la modelación hidrogeológica. La muestra incluyó los ríos y subcuencas de las comunas de Manglaralto, Cadeate y Libertador Bolívar. Los resultados mostraron que la Junta Administradora de Agua Potable Regional de Manglaralto (JAAPMAN), en colaboración con la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), desarrollaron un sistema de gestión integral que incorpora estrategias de resiliencia y técnicas ancestrales, estableciendo áreas potenciales para el abastecimiento de agua y proponiendo la construcción de nuevos pozos y tapes para atender de forma sostenible la creciente demanda. El estudio concluyó que la región tiene la capacidad de gestionar sus necesidades hídricas mediante un enfoque combinado de técnicas tradicionales y métodos modernos de análisis.

Arriaga (30) en su trabajo de investigación titulado: «*Comportamiento de la erosión y sedimentos por escorrentía superficial sobre las obras de cosecha de agua tipo reservorio, en la subcuenca río Coco-Somoto, Corredor Seco de Nicaragua – Centroamérica*» tuvo el objetivo de evaluar la dinámica de la erosión y la deposición de sedimentos resultantes de la escorrentía superficial dentro de los sistemas de captación de agua de tipo embalse, utilizando el marco de modelización hidrológica conocido como SWAT. La investigación utilizó un método cuantitativo, con un diseño descriptivo y no experimental, utilizando herramientas de modelación hidrológica (SWAT) e integrando datos hidro-edafoclimáticos y geoespaciales. La muestra comprendió un área de 602.5 km<sup>2</sup> de la subcuenca, subdividida en 17 subcuencas y 728 unidades de respuesta hidrológica (HRUs). Los resultados indicaron una erosión promedio de 6 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, distribuyéndose en niveles de “muy baja a muy alta” según la topografía y usos del suelo; el 46.9 % del área presentó erosión de nivel medio a muy alto, mientras que el 53.1 % tuvo niveles bajos. Se concluye que la gestión del uso de la tierra y las características de la topografía afectan significativamente a la producción de sedimentos, y subrayaron la necesidad de adoptar estrategias de conservación para salvaguardar las iniciativas de recolección de agua y mitigar la sedimentación, que puede disminuir su eficiencia hidráulica.

Duran et al. (31), en su artículo titulado: «*Siembra y cosecha de agua (syca), técnicas ancestrales que solucionan problemas del siglo XXI*» analizaron los sistemas de siembra y cosecha de agua (SyCA) a través del estudio de casos en Iberoamérica, enfocándose en la transferencia y cooperación para rescatar estas técnicas ancestrales. El estudio siguió un enfoque cualitativo con un análisis comparativo de técnicas, un análisis DAFO realizado con la participación de cinco estimados expertos internacionales, y la identificación de estrategias de sostenibilidad. Los hallazgos revelaron que las comunidades rurales de la región han implementado estas prácticas con un enfoque de sostenibilidad, destacando la capacidad de las técnicas SyCA para hacer frente a desafíos como el cambio climático y la reducción en la disponibilidad de agua potable. La investigación concluye que es importante la colaboración global y la promoción de estas metodologías para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos en el siglo XXI.

Liu et al. (32), realizaron un artículo científico titulado: «*Efectos de la gestión de la cobertura vegetal en la mejora de la conservación del agua y el suelo en sistemas de cultivo arbóreo: un metanálisis*». El objetivo general del estudio fue realizar un metaanálisis global sobre la efectividad de la gestión de la cobertura del suelo en la reducción de la escorrentía, la pérdida de suelo y los nutrientes en sistemas de cultivo arbóreo, basándose en 85 publicaciones revisadas por pares. La investigación utilizó una metodología cuantitativa caracterizada por un

diseño no experimental de tipo correlacional, utilizando un metaanálisis de datos recopilados de bases como Web of Science y CNKI. La muestra consistió en 85 estudios previamente revisados por pares. Los resultados indicaron que la gestión de la cobertura del suelo logró reducciones significativas en la escorrentía (48,5%), la pérdida de suelo (70,5%), las pérdidas de nitrógeno (53,4%) y las de fósforo (56,9%). Los cultivos de cobertura no leguminosos demostraron ser más efectivos que los leguminosos y los mantillos en la conservación del agua y el suelo, con una disminución en su eficiencia en pendientes superiores a 15°. Asimismo, las mejores reducciones de escorrentía, pérdida de suelo y nutrientes se observaron en climas con precipitaciones medias anuales superiores a 800 mm y temperaturas superiores a 20 °C. El estudio concluyó que estas estrategias constituyen una base científica relevante para la implementación de políticas y prácticas destinadas a controlar la erosión del suelo y mitigar la degradación de tierras agrícolas en diversos contextos agroecológicos.

Yadav et al. (33) desarrollaron un artículo científico titulado: «*Evaluación del sistema tradicional de captación de agua de lluvia en tierras áridas de una región semiárida*». El objetivo de la investigación era examinar los efectos de los estanques de infiltración poco profundos, denominados *chaukas*, en la recarga de aguas subterráneas y el desarrollo de pastizales en una región semiárida de la India, empleando datos empíricos y el modelo Hydrus-1D. La investigación siguió un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental de tipo explicativo, utilizando datos recolectados durante 2019 para calibrar el modelo y datos del período monzónico de 2020 para su validación. Los resultados indicaron que los *chaukas* incrementaron la recarga potencial de aguas subterráneas en un 5 % adicional de las precipitaciones, mientras que la humedad cercana a la superficie favoreció el desarrollo de vegetación natural y pastizales. En un análisis de 10 años, estas estructuras demostraron convertir tierras áridas en pastizales ecohidrológicamente productivos, promoviendo la gestión sostenible del agua y apoyando los medios de vida mediante la cría de animales. Este sistema presenta un potencial de aplicación en toda la India y en otras regiones semiáridas, siempre que existan tierras estériles ligeramente inclinadas sobre acuíferos no confinados.

Yang et al. (34) publicaron el artículo de revista titulado: «*Estudio sobre la influencia de la vegetación ecológica de revestimiento en el caudal de los ríos y el ambiente sedimentario*». El objetivo de esta investigación fue examinar en qué medida la cobertura vegetal afecta la dinámica del flujo de agua y el transporte de sedimentos en suspensión, haciendo hincapié en las iniciativas ecológicas como los terraplenes y los humedales, mediante el empleo de cubiertas vegetales a lo largo de las orillas de los ríos. La investigación fue de enfoque experimental, llevada a cabo mediante un experimento en un canal de vidrio. Se utilizó vegetación simulada (acebo recto en crecimiento temprano) para evaluar combinaciones de condiciones de flujo

sumergidas y no sumergidas, en lechos fijos y móviles. Se realizaron 14 grupos experimentales para medir variables como cantidad y velocidad de flujo, y concentración de carga suspendida. Los hallazgos indicaron que la densidad de la copa vegetal ejerce una influencia directa en la turbulencia del flujo: las densidades elevadas aumentan la perturbación y disminuyen la velocidad en las proximidades de la copa. En condiciones de inmersión, la intensidad máxima de la turbulencia se observa cerca de  $z/h = 0,6$ , mientras que en condiciones no sumergidas, alcanza su máximo en la superficie del agua o en el vértice de la planta. Además, la concentración de sedimentos suspendidos disminuye con la elevación de la vegetación, y el efecto de retención de sedimentos es más efectivo en condiciones no sumergidas. Se concluye que el uso de vegetación ecológica mejora la gestión de agua y sedimentos en ambientes fluviales.

Quezada et al. (35) publicaron el artículo de revista titulado: «*Influencia de cubiertas vegetales en la disponibilidad de agua y rendimiento en viñedos de Secano*». La finalidad primordial de la pesquisa residió en ponderar la incidencia de diversas asociaciones entre gramíneas y leguminosas implantadas en línea sobre la tenencia hídrica edáfica, la productividad y el vigor de los viñedos de secano de la variedad *Vitis vinifera* l. 'Cabernet sauvignon' ubicados en la región centro-sur de Chile. El estudio utilizó un diseño de bloques totalmente aleatorio con cinco grupos de tratamiento y cuatro réplicas. En parcelas de 25 metros de largo, se empleó una mezcla de pastos y leguminosas junto a una parcela de control desprovista de vegetación. Los estudios acometidos abarcaron la mensura del volumen acuoso en el substrato, la suficiencia hídrica radicular, la feracidad del emparrado y el brío vegetativo de la cepa. Tales verificaciones fueron llevadas a cabo en el bienio de los años dos mil siete y dos mil ocho, sirviéndose de sondas neutrónicas y del examen minucioso de las condiciones físico-terrestres. Las conclusiones de dicha pesquisa pusieron de manifiesto que las coberturas herbáceas no menoscabaron la dote hídrica disponible para los vegetales, ni mermaron el rendimiento frutífero de las vides. El tratamiento más eficaz se identificó como la combinación de festuca con trébol subterráneo y trébol balansa, que incrementó la cobertura del suelo y mejoró las condiciones hídricas sin reducir significativamente el rendimiento. Se concluyó que estas cubiertas son una alternativa sostenible, aunque se requieren estudios de mayor duración para evaluar su impacto a largo plazo.

Matali et al. (36) publicaron el artículo de revista titulado: «*Efectos del desarrollo de las raíces y de la cobertura vegetal sobre la infiltración de agua en el suelo*». La finalidad primordial del presente escrutinio consistió en dilucidar la incidencia del desarrollo radicular y del manto herbáceo sobre la dinámica de infiltración hídrica en el estrato edáfico, mejorando las

condiciones del suelo y reduciendo la escorrentía de agua de lluvia. El estudio fue experimental, ejecutado en recinto experimental bajo circunstancias reguladas de temperatura y pluviometría. Se utilizó un aparato simulador de lluvia con intensidades de lluvia entre 0,2 l/m y 1,0 l/m, y un suelo experimental compactado en una configuración de infiltración con pendiente gradual. Se efectuaron ensayos hidrológicos de escurrimiento superficial, de suelo desnudo y con suelos vegetados en tres niveles de madurez de vegetación. Los datos obtenidos se calibraron y analizaron al final de cada experimento. Los resultados mostraron que la cubierta vegetal y el desarrollo de las raíces tienen una correlación positiva con la penetración del agua en el sustrato terrestre. Cuanta mayor es la intensidad de la lluvia, mayor es la escorrentía y menor la infiltración. Además, se encontró que los suelos desnudos generan significativamente más escorrentía y menor infiltración en comparación con los suelos cubiertos de vegetación. Los hallazgos antes mencionados subrayan la importancia de la cubierta vegetal para mejorar la infiltración y regular la escorrentía.

He et al. (37) publicaron el artículo de revista titulado: «*Impactos de la revegetación en la dinámica del agua del suelo en una región semiárida del noroeste de China*». La pesquisa tuvo por finalidad ponderar el modo en que la cobertura arbustiva en suelos xerófilos incide sobre la cinética hídrica edáfica y los equilibrios hidrológicos conexos, con proyecciones relevantes para la administración del almacenamiento hídrico subterráneo (SWS) en zonas de carácter semiárido. La indagación, cuya duración abarcó un bienio, fue ejecutada en el desierto de Mu Us, emplazado en el noroeste del territorio chino, donde se tomaron mediciones de agua del suelo en los primeros 180 cm de profundidad en tres sitios de dunas de arena con diferentes niveles de cobertura arbustiva: suelo desnudo (BF), cobertura media (40%; MF) y cobertura alta (80%; HF). Los datos incluyeron la biomasa arbustiva, la densidad de hojarasca y la infiltración de precipitaciones efectivas. Los resultados mostraron que una alta cobertura de arbustos (HF) redujo el contenido de agua del suelo hasta en un 32.7% en el subsuelo superficial (0-100 cm) y en un 39.8% en el subsuelo profundo (100-180 cm) en comparación con el suelo desnudo. Además, por cada 10% de aumento en la cobertura arbustiva, 32.2 mm de lluvia efectiva no alcanzaron el suelo debido a la intercepción de la hojarasca. Durante años secos, las capas de suelo seco formadas no se recuperaron completamente en años húmedos, generando un contenido promedio de agua del suelo entre 4.6% y 7.8%. Tales constataciones enfatizan la imperiosa necesidad de delinear estrategias de restauración armónicas que optimicen tanto la administración fitocenótica como la retención hídrica edáfica.

Bettoni et al. (38) en su artículo científico titulado: «*Efectos del uso del suelo sobre la escorrentía superficial y la erosión del suelo en un valle alpino del sur*» tuvieron como objetivo

evaluar cuantitativamente los efectos de los cambios en el uso del suelo sobre la escorrentía superficial y la erosión del suelo en un valle alpino suizo, específicamente en el contexto del abandono progresivo del uso intensivo del suelo en las últimas décadas. Con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, los investigadores recolectaron datos mediante un simulador de lluvia portátil que abarcaba una superficie de 1 m<sup>2</sup>. La muestra incluyó diversas áreas del valle de Onsernone, Suiza, con énfasis en terrazas agrícolas abandonadas y reforestadas. Los hallazgos indicaron una elevación estadísticamente significativa en la escorrentía superficial originada en suelos repelentes al agua, causado por una capacidad de infiltración reducida que generó flujos preferenciales e impidió la humectación uniforme del suelo. No obstante, aunque la sensibilidad de la escorrentía superficial debido a las alteraciones en la utilización de la tierra, los fenómenos de erosión del suelo mostraron una sensibilidad general disminuida, con la excepción de las terrazas agrícolas abandonadas. En estas regiones, la falta de mantenimiento, sumada a la desintegración de los muros de piedra, aumentó los ángulos de inclinación y dejó el suelo al descubierto a las fuerzas erosivas, lo que resultó en tasas de erosión considerablemente superiores a las habituales.

Wu et al. (39) en su escrito científico intitulado: «*Relación entre el tipo de vegetación, el control de la erosión del suelo y las aguas superficiales en las regiones semiáridas del mundo: un metanálisis*», tuvieron como objetivo evaluar cómo diferentes tipos de vegetación (bosques, pastizales y matorrales) coadyuvan a atenuar la denudación edáfica y a preservar los acervos hídricos en territorios de índole semiárida. Este análisis se basó en la revisión de 78 artículos provenientes de 22 países, considerando factores como cobertura vegetal, niveles de precipitación, ángulo de pendiente y textura del suelo. Mediante un metaanálisis, se constató que tanto el escurrimiento superficial como la génesis de detritos edáficos menguan conforme se incrementa la densidad de la cobertura vegetal, alcanzando estabilidad al superar el 60 % de cobertura. Los pastizales fueron más eficaces para reducir los sedimentos, mientras que la efectividad de los bosques, pastizales y matorrales en el control de la erosión dependió del ángulo de pendiente y de las características del suelo. En general, los pastizales y matorrales funcionaron mejor en suelos moderadamente gruesos, y los bosques en suelos de textura media o fina. Los autores concluyeron que la selección del tipo de vegetación es clave para una restauración efectiva y sostenible en ecosistemas semiáridos, recomendando mantener una cobertura vegetal adecuada considerando las condiciones locales a fin de armonizar la contención de la denudación edáfica con la salvaguarda de los recursos hídricos.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Cuadros y Mercado (40) desarrollaron una tesis titulada: «*Práctica ancestral de cosecha de agua, para el aprovechamiento y almacenamiento*». El objetivo principal del estudio era realizar un análisis exhaustivo la ejecución de las qochas como una práctica tradicional relacionada con el cultivo y la retención de agua, valorando sus prerrogativas hidrológicas en la demarcación puneña, con especial atención al distrito de Asillo, perteneciente a la provincia de Azángaro, mediante un análisis ambiental e hidrológico exhaustivo. El estudio empleó una metodología cuantitativa con un marco explicativo no experimental, donde se evaluaron las condiciones ambientales como precipitación, temperatura, tipo y cobertura del suelo, mediante un análisis hidrológico exhaustivo y una evaluación meticulosa del balance hídrico ejecutada mediante el instrumento CUBHIC (Cuantificación de las prebendas hidrológicas derivadas de intervenciones en demarcaciones hidrográficas), los hallazgos revelaron un aumento notable en el volumen de filtración de agua, registrando 328.515 m<sup>3</sup>/año para la «qocha» de Warihumaña y 132.003 m<sup>3</sup>/año para la «qocha» de Chullumpirini. Se dedujo que el establecimiento de estas infraestructuras naturales representa una perspectiva operativa y perdurable orientada a la gobernanza hídrica en zonas caracterizadas por carencia acuífera, y que la herramienta CUBHIC representa una alternativa eficaz para la evaluación de las intervenciones hidrológicas.

Veneros et al. (41) presentaron un artículo científico titulado: «*Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua*». Este esfuerzo de investigación buscó evaluar la eficacia de las tecnologías de teledetección, comprendiendo el empleo de capturas satelitales y aeromóviles autónomos (UAV) en la auscultación de la fitocobertura y de los cuerpos hídricos, en el marco de indagaciones orientadas a la tutela ecológica. La pesquisa asumió una orientación cualitativa bajo un esquema metodológico no experimental, basado en una revisión sistemática de literatura científica que incluyó artículos, tesis y libros. Se identificaron 20 aplicaciones específicas del uso de estas herramientas, destacando su utilidad en la evaluación de la cobertura vegetal, dinámica de cuerpos de agua, índices de vegetación, calidad del agua, deforestación y monitoreo ecológico. Los resultados señalaron que las imágenes satelitales son más adecuadas para estudios de grandes áreas, ofreciendo resoluciones menores a 10 metros, mientras que los VANT permiten análisis más detallados en áreas pequeñas, con resoluciones mayores a 10 cm. Se concluyó que el conocimiento de las limitaciones, ventajas y diferencias entre imágenes satelitales y VANT es fundamental para planificar investigaciones dirigidas a la conservación de ecosistemas y el manejo de áreas impactadas por factores naturales y antrópicos.

Huaccho (42) publicó el artículo científico titulado: «*Siembra y cosecha de agua: crianza del paisaje andino a través de infraestructura natural para la seguridad hídrica*». El objetivo del artículo fue analizar la interacción entre los saberes ancestrales andinos y la infraestructura natural como alternativa para la seguridad hídrica, proponiendo una mirada decolonial que incorpore la crianza del agua como un enfoque integral para la gestión de recursos hídricos en los Andes. La investigación siguió un enfoque cualitativo, de carácter explicativo, basado en una revisión teórica y documental, abordando aspectos históricos y técnicos de la infraestructura hídrica ancestral, como las amunas, qochas y andenes, en consonancia con paradigmas contemporáneos relativos a infraestructura natural para la salvaguarda hídrica (INSH). Las evidencias recabadas permitieron inferir que la adopción de enfoques basados en la crianza del paisaje y el uso de infraestructuras naturales puede contribuir significativamente a la seguridad hídrica, promoviendo la sostenibilidad y el respeto por los conocimientos ancestrales. Además, destacó la necesidad de superar paradigmas coloniales en la planificación hídrica y de integrar el diseño de las intervenciones al contexto cultural y material local. Finalmente, el artículo sugirió que las prácticas de crianza del agua no solo ofrecen beneficios ecosistémicos, sino que, además, robustecen el sentido identitario y la autodeterminación de las colectividades andinas.

Coronel (43), en su pesquisa titulada: «*Cosecha y siembra de agua para enfrentar las sequías, caso: caserío Marcopampa, distrito de Querocoto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca*» El objetivo era evaluar y aplicar técnicas de plantación y recolección de agua como estrategias correctivas para la gestión de los recursos hídricos en respuesta a las circunstancias de sequía, concomitantemente con la articulación de directrices orientadas a la resiliencia frente a la mutabilidad climática en la localidad de Marcopampa. La investigación empleó una metodología combinada con un marco no experimental y un alcance descriptivo. Los registros ombroclimáticos emanados de la estación meteorológica de Querocotillo, correspondientes a un lapso de veinte años, fueron objeto de un examen meticuloso, al tiempo que se escrutaron con detenimiento las condiciones climáticas, edáficas, orográficas, socioeconómicas y comunitarias de la aldea. Las conclusiones pusieron de manifiesto que, a causa de las singularidades inherentes al ámbito territorial objeto de estudio, solo se consideran viables tres técnicas para sembrar y recolectar agua: las zanjas de infiltración, microreservorios de almacenamiento y reforestación. Estas técnicas representan una solución factible para gestionar el agua y adecuarse a la variabilidad climática en esta demarcación territorial.

Velasquez (44), en su tesis titulada: «*Siembra y cosecha de agua como propuesta de solución frente a la escasez de agua para consumo doméstico en la localidad de Sapuc del distrito de*

*Asunción, Cajamarca, Cajamarca*» se tuvo el objetivo principal de difundir una metodología que facilitara el establecimiento de prácticas vinculadas al agro y a la captación hídrica destinada al uso doméstico en ámbitos rurales, tomando como referente la urbe de Sapuc, emplazada en la jurisdicción distrital de Asunción, departamento de Cajamarca. La investigación adoptó una perspectiva cualitativa bajo una configuración metodológica no experimental y alcance descriptivo, utilizando el análisis documental como técnica principal. Se utilizaron guías, fichas informativas y experiencias previas pertinentes al cultivo y la recolección de recursos hídricos en el Perú. De igual manera, se realizó una encuesta en la que participaron 50 residentes locales para evaluar sus características socioeconómicas y sus patrones de uso del agua. Los hallazgos evidenciaron que la ingesta hídrica durante las épocas de estiaje experimenta una merma significativa, lo que genera malestar entre la población local y pone de relieve la necesidad imperiosa de adoptar medidas que garanticen un suministro de agua confiable. La investigación propone soluciones orientadas a organizaciones comunales y funcionarios gubernamentales para una gestión hídrica eficiente en contextos sociales y productivos.

Huertas y Sullon (45) presentaron la tesis titulada: «*La gestión integrada de recursos hídricos para la conservación de la cosecha de agua en el sector Espíndola, Ayabaca 2022*». El objetivo general del estudio fue presentar un modelo integral para la gestión de los recursos hídricos, concebido con el propósito de salvaguardar las praxis de acopio hídrico en la demarcación de Espíndola, perteneciente a Ayabaca, orientado a la tutela de los derechos fundamentales y al perfeccionamiento de las condiciones existenciales. La indagación se sustentó en una metodología cuantitativa combinada con un marco experimental. La cohorte demográfica abarcó a 175 residentes del sector de Espíndola cuyas condiciones de subsistencia se hallan supeditadas a la captación hídrica. Para la obtención de los datos empíricos, se recurrió a la aplicación de dos instrumentos cuestionarios diferenciados y los hallazgos se aclararon mediante el uso de tablas y gráficos estadísticos. Las conclusiones sugirieron que la aplicación de la gestión integrada podría abordar los problemas relacionados frente a la gestión deficiente de los caudales hídricos, coadyuvando de este modo a la conservación de los sistemas de acopio acuífero y promoviendo una dinámica de desarrollo perdurable. Se arribó a la conclusión de que dicha estrategia reviste un carácter imprescindible para asegurar la accesibilidad al recurso hídrico, minimizar riesgos de desabastecimiento y beneficiar a futuras generaciones.

Minaya (46) en su pesquisa titulada: «*Evaluación de la capacidad de infiltración en diferentes tipos de cobertura vegetal del Parque Nacional Huascarán*», el objetivo fue evaluar la capacidad del agua para penetrar el suelo a través de varios tipos de vegetación que se

encuentran en el Parque Nacional Huascarán, resaltando de qué modo las propiedades edáficas y la fisonomía vegetal inciden en dicha aptitud. La investigación fue ejecutada en sectores que comprenden un bosque autóctono de queñual, repoblaciones homogéneas de queñual, una masa forestal mixta de queñual y eucalipto, así como pastizales espontáneos. La valoración se orientó hacia los atributos físicos del suelo, tales como la granulometría, la densidad aparente y el tenor de materia orgánica, junto con las evaluaciones de la riqueza y la biodiversidad de las plantas, que se cuantificaron utilizando la escala de Braun Blanquet y los índices de Shannon-Wiener y Simpson. Además, se evaluaron meticulosamente parámetros forestales como el área basal, la densidad de árboles y la cobertura de la copa. Los hallazgos demostraron que los suelos caracterizados por una textura arenosa, baja densidad y horizontes orgánicos sustanciales muestran la mayor capacidad de infiltración, y el enfoque de plantación mixta ha demostrado ser el más eficaz, incluso superando al bosque nativo. Se llegó a la conclusión de que los parámetros forestales no guardan una correlación directa con la capacidad de infiltración; sin embargo, la gestión del drenaje y la biomasa radicular puede desempeñar un papel fundamental en su mejora.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Quispe (47) presentó su pesquisa titulada: «*La siembra y cosecha de agua: conocimiento local y tecnología estatal frente al cambio climático en la comunidad campesina Ccochatay/Huaraccopata, distrito de Seclla, Huancavelica*». La finalidad cardinal de la pesquisa residió en esclarecer el saber ancestral y establecer nexos con las praxis tecnológicas vinculadas al laboreo agrícola y a la captación hídrica en la colectividad de Ccochatay/Huaraccopata, con el fin de abordar los impactos del cambio climático mediante la fusión de prácticas tradicionales y contemporáneas. El estudio empleó una metodología cualitativa con un marco descriptivo, empleando técnicas como la observación participante y la revisión documental de investigaciones previas para recopilar información sobre las experiencias y procedimientos locales, así como la implementación de tecnología estatal. Los hallazgos indicaron que el cultivo y la recolección de agua dentro de esta comunidad no es un método contemporáneo, sino un hábito consuetudinario heredado intergeneracionalmente. Entre las técnicas preeminentes sobresalió la denominada “qocha de infiltración”, una infraestructura que emplea materiales locales como piedra, arcilla y champa para crear lagunas. Estas prácticas tradicionales han aportado beneficios significativos, como la intensificación de los flujos hídricos tanto superficiales como freáticos, sumado a una aportación sustantiva a la custodia del entorno natural bajo criterios de sostenibilidad perdurable, es imperativo ilustrar la importancia de integrar la sabiduría tradicional con las tecnologías contemporáneas.

Cuadros (48), en su investigación titulada: «*Aplicación de programa qochas de siembra y cosecha de agua y su influencia en la disponibilidad hídrica en su fuente natural en la provincia de Angaraes, Huancavelica 2019*», La finalidad primordial de la investigación consistió en valorar la repercusión de la implementación del programa Qochas sobre la disponibilidad hídrica proveniente de su fuente natural en la jurisdicción de Angaraes. La indagación fue desarrollada mediante una metodología de carácter aplicado y con un nivel explicativo, utilizando un diseño cuasi experimental. La muestra incluyó 19 qochas distribuidas en distintas comunidades de la provincia. Se emplearon instrumentos como informes y fichas de intervención, además de técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales, mediante procedimientos estadísticos tales como el escrutinio del coeficiente de correlación de Pearson y la aplicación de la prueba T de Student. Los hallazgos evidenciaron una asociación robusta, con un valor de  $r = 0,846$  y una significancia bilateral de  $p = 0,000$ , lo que corrobora la incidencia positiva y causal de las intervenciones del programa en la optimización de la disponibilidad hídrica, reportando un incremento del 69% del agua disponible, utilizada en agricultura, ganadería y consumo humano.

Nicodemos (49), en su monografía titulada: «*Simulación de niveles de operación en qocha para la siembra y cosecha de agua en la cuenca del río Vilca*», el objetivo era ejecutar una simulación de los niveles operativos dentro de una Qocha para mejorar las prácticas de acopio y recolección hídrica en la subcuenca del río Vilca favorecen a un conjunto de 43 núcleos familiares vinculados a la actividad agropastoril, desplegada sobre una extensión territorial de 35 hectáreas. La investigación adoptó una metodología cuantitativa con un marco no experimental, recopilando datos hidrometeorológicos e hidrológicos para evaluar el suministro de agua y el flujo máximo previsto. Se aplicaron herramientas como el análisis gráfico, métodos estadísticos y el modelo GR2M para generar el caudal medio mensual. El flujo máximo de diseño se determinó empleando la metodología del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), mediante el empleo de curvas numéricas ajustadas a las distribuciones de probabilidad correspondientes a un horizonte de retorno centenario. Asimismo, el volumen operativo del reservorio fue determinado a través de la implementación del «algoritmo de crestas secuenciales», y se procedió a la simulación de la onda de caudal con el propósito de caracterizar el comportamiento del embalse. Los hallazgos pusieron de manifiesto que la instauración de la Qocha optimiza la gestión hídrica al posibilitar la captación, retención y disponibilidad efectiva del agua pluvial durante los periodos de estiaje, proporcionando beneficios sustanciales a las comunidades agroproductivas de la región.

Reátegui (50), en su pesquisa denominada: «*Propuesta de manejo ambiental del proyecto creación de qochas con fines agrarios en el paraje Paccarccochoa – Huancavelica*», el objetivo principal era proponer estrategias de gestión ambiental apropiadas y eficientes destinadas a evitar, reducir y/o corregir las consecuencias ambientales negativas durante las diversas etapas del proyecto destinado a crear qochas para uso agrícola en la zona de Paccarccochoa, ubicada en la urbe de Santa Cruz de Millpo, perteneciente a la jurisdicción distrital de Chinchhuasi, en el departamento de Huancavelica. El estudio empleó la metodología Conesa (1993) para identificar y evaluar sistemáticamente los impactos ambientales emergentes de la interrelación entre las acciones proyectuales y los componentes del entorno abiótico (atmósfera, recurso hídrico, configuración paisajística, sustrato edáfico) y biótico (fitobiota y zoocenosis), así como de los factores socioculturales y demográficos (estructura poblacional, estado sanitario, hábitat residencial). Mediante la utilización de matrices jerárquicas y de identificación de impactos, el índice de incidencia se determinó de manera cualitativa. Los datos recopilados se asimilaron a las líneas de base (físicas, biológicas y sociales) junto con la descripción del proyecto para formular las medidas de gestión ambiental adecuadas. Se determinó que las medidas recomendadas derivadas de este análisis tienen el potencial de aliviar sustancialmente los impactos adversos, y que el proyecto está preparado con el propósito de potenciar la infiltración hídrica hacia los estratos acuíferos subterráneos, promoviendo de este modo la salvaguarda de los caudales hídricos como un aspecto integral de las soluciones basadas en la naturaleza.

Arroyo et al. (51), en su pesquisa titulada: «*Influencia del cambio climático y uso del suelo en la capacidad de regulación hídrica en la microcuenca medio bajo Mantaro del departamento de Huancavelica, periodo 2015 – 2020*» La finalidad del estudio consistió en examinar de qué manera la variabilidad climática y las transformaciones en el uso del suelo incidieron en la capacidad de regulación hídrica de la microcuenca del Bajo Mantaro, emplazada en la región de Huancavelica, durante el quinquenio comprendido entre 2015 y 2020. La investigación, de tipo básico, utilizó el método hipotético-deductivo para evaluar las relaciones entre las variables mediante la aplicación del modelo estadístico de correlación de Pearson. Los resultados evidenciaron la existencia de una asociación directa entre la precipitación y el flujo ( $r = 0.90$ ,  $R^2 = 81\%$ ), mientras que la temperatura muestra una correlación inversa con el flujo ( $r = -0.392$ ,  $R^2 = 15\%$ ). Además, se determinó que la cobertura vegetal muestra una correlación directa con el flujo ( $r = 0.83$ ,  $R^2 = 69\%$ ), mientras que las alteraciones en el uso del suelo manifiestan una correlación inversa con el flujo ( $r = -0.65$ ,  $R^2 = 43\%$ ). En última instancia, se arribó a la conclusión de que las precipitaciones atmosféricas, la fitocobertura y las modificaciones en el aprovechamiento del territorio inciden de manera significativa sobre la aptitud reguladora del recurso hídrico en la microcuenca.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Cobertura vegetal**

#### **2.2.1.1. Definición**

La cobertura vegetal se define como una práctica estratégica de manejo de suelos que emplea vegetación, viva o muerta, para cubrir el suelo y minimizar los efectos adversos de la erosión hídrica y eólica. Este enfoque no solo reduce la escorrentía superficial, sino que también limita significativamente la pérdida de nutrientes, como los nitratos, que pueden contaminar cuerpos de agua cercanos. Asimismo, coopera en la conservación de la trabazón edáfica al fungir como baluarte tangible que resguarda frente al embate pluvial inmediato y las vicisitudes térmicas del ambiente, reduciendo así la compactación y la variabilidad en la distribución de nutrientes en la superficie del terreno (52).

En el ámbito de la conservación ambiental, la implementación de la cobertura vegetal sirve como un instrumento fundamental dentro de las iniciativas de gestión sostenible, incluyendo técnicas para plantar y conservar el agua. Estos enfoques están diseñados para mejorar la recolección y la preservación hídrica en la trabazón edáfica, acrecentando de este modo su aptitud para la captación pluvial y el fomento de la reintegración de los mantos freáticos. Mediante la integración de la cubierta vegetal, se fomenta la sostenibilidad de los recursos hídricos regulando los flujos hidrológicos y mitigando la sedimentación en los ecosistemas acuáticos. Este enfoque es ventajoso no solo para la preservación del medio ambiente natural, sino también para los conglomerados humanos que se hallan en dependencia inmediata de tales caudales naturales para su manutención vital y desenvolvimiento civilizatorio (48).

La fronda edáfica comporta una pluralidad de prerrogativas, entre las cuales descuellan la salvaguarda frente a los procesos erosivos, la optimización de la conformación pedológica y el incremento de su aptitud para la retención hídrica. Al atenuar la disipación acuosa desde la superficie edafológica, dicha cobertura favorece un aprovechamiento más diligente de los acervos hídricos disponibles, especialmente en regiones con climas áridos o semiáridos. Además, fomenta un aumento en la biodiversidad al proporcionar hábitats para organismos beneficiosos, lo que contribuye a la estabilidad del ecosistema agrícola (53).

#### **2.2.1.2. Funciones ecológicas de la cobertura vegetal**

La capa fitológica desempeña una función cardinal en la operatividad de los ecosistemas, obrando como modulador espontáneo de una pluralidad de dinámicas ecológicas. Preserva la integridad edáfica frente a los embates erosivos mediante la mitigación de la celeridad eólica y

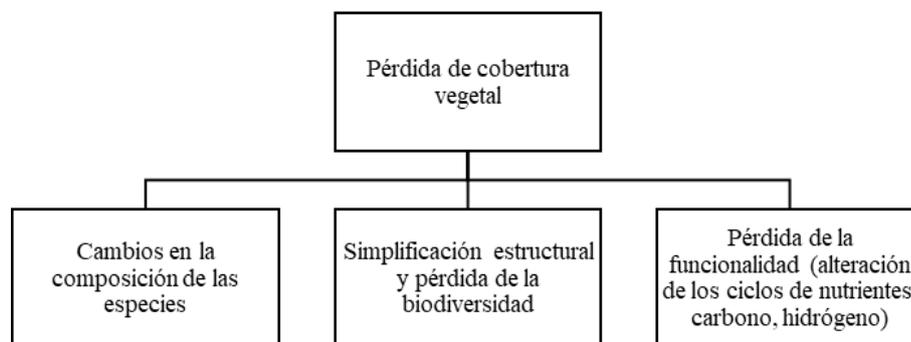
mitigar el impacto del agua sobre la superficie, además de mejorar su estructura a través del aporte continuo de materia orgánica. También interviene activamente en el ciclo de los nutrientes, favoreciendo su disponibilidad y evitando su pérdida. En cuanto al balance hídrico, su función es particularmente relevante, ya que facilita la infiltración del agua en el perfil del suelo, controla la escorrentía superficial y disminuye la evaporación, lo que en conjunto optimiza la retención y el uso eficiente del agua dentro del ecosistema (54).

La cobertura vegetal ejerce una influencia decisiva en la conservación y el mejoramiento del suelo, ya que actúa como una barrera protectora ante los fenómenos de detrimento edáfico, la cobertura vegetal atenúa la celeridad de las corrientes aéreas y amortigua la percusión pluvial, coadyuvando así a impedir el desarraigo de partículas y la merma del horizonte superficial de mayor fecundidad. Igualmente, propicia la consolidación de la trabazón pedológica mediante el acrecentamiento del tenor de compuestos orgánicos, lo cual estimula la formación de agregados estables y mejora la porosidad. Esta mejora estructural facilita el intercambio gaseoso, promueve el desarrollo radicular y potencia la actividad de microorganismos beneficiosos. Las raíces, por su parte, cumplen una función clave en la estabilización del suelo, ya que limitan la compactación y ayudan a retener nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos (55).

El impacto de la cubierta vegetal en la recolección de agua es fundamental para el equilibrio hidrológico de los ecosistemas. La fronda edáfica optimiza la infiltración hídrica en el sustrato terrestre al menguar la tasa de escorrentía superficial, lo cual propicia una incorporación más profusa del recurso líquido en los horizontes pedológicos. Tal dinámica fomenta la recarga de los mantos freáticos y atenúa los procesos de evaporación, lo que culmina en una mayor disponibilidad de agua para la flora y otras aplicaciones. Además, al regular el flujo subterráneo de agua, se reducen significativamente los posibles riesgos de inundación y erosión en las regiones más bajas de las cuencas hidrográficas, lo que contribuye a la estabilidad hidrológica y asegura la perdurabilidad de los acervos hídricos en una perspectiva temporal de largo aliento (56).

La cobertura vegetal aporta beneficios adicionales al ecosistema. La cubierta vegetal funciona como un sumidero natural de carbono, cooperando en la atenuación del forzamiento climático a través del apesamiento del anhídrido carbónico presente en la atmósfera. Además, fomenta la biodiversidad al establecer hábitats para una amplia gama de organismos, incluidos los polinizadores y los depredadores naturales que regulan las poblaciones de plagas. Por el contrario, atenúa las oscilaciones térmicas en la interfase edáfica, la cobertura vegetal

contribuye a la creación de un microclima más estable, que es fundamental para el desarrollo de cultivos y otros procesos biológicos (57).



*Figura 1. Pérdida de cobertura vegetal  
Tomada de Arriaga (58)*

### 2.2.1.3. Importancia en la conservación del suelo

La custodia del sustrato edáfico constituye una de las atribuciones primordiales de la fronda vegetal, en tanto resguarda la interfase superficial del suelo frente a los procesos de compactación, la vegetación facilita una mayor infiltración del agua, lo que a su vez fomenta el desarrollo de estructuras estables. Además, las raíces de las plantas actúan como agentes cohesivos que impiden el desplazamiento de las partículas del suelo, lo cual incrementa la resiliencia del sustrato edáfico frente a los agentes erosivos de índole pluvial y eólica. Asimismo, la fronda vegetal coadyuva a la disminución de la temperatura en la interfase superficial del suelo, creando así las condiciones óptimas para la actividad microbiana y diversos procesos biológicos que mejoran la fertilidad y la resiliencia del suelo (59).



*Figura 2. Importancia de la conservación del suelo.  
Tomada de Eosda Crop Monitoring (60)*

### 2.2.1.4. Efectos de la cobertura vegetal

La presencia de cubierta vegetal es de suma importancia en la regulación del ciclo hidrológico, ya que tiene un impacto directo en la infiltración del agua en el suelo, lo que

permite su conservación en los acuíferos subterráneos para su posterior utilización durante los períodos áridos. En este sentido, la vegetación actúa como una barrera que modula el flujo de agua, fomentando un equilibrio hídrico beneficioso para los ecosistemas; además, las estructuras radicales de las especies vegetales optimizan la captación hídrica por parte del sustrato edáfico y atenúan la escorrentía superficial, fenómeno que, de no ser controlado, coadyuva a procesos de detrimento edáfico y a la extenuación de los nutrientes esenciales. En tal sentido, un suelo provisto de una cobertura vegetal densa exhibe una mayor capacidad de retención hídrica y fortalece la funcionalidad ecosistémica en cuanto a la regulación del recurso hídrico disponible, ejerciendo así un efecto inmediato sobre la perdurabilidad de los acervos acuíferos. Paralelamente, la fronda vegetal contribuye a frenar los procesos de desertificación edáfica al disminuir la pérdida de humedad y conservar la trabazón estructural del suelo, favoreciendo con ello la conservación de los bienes naturales y la tutela de la diversidad biológica (61).

Sin embargo, la pérdida de cobertura vegetal tiene efectos negativos significativos, ya que reduce la capacidad del suelo para infiltrarse, lo que aumenta la escorrentía y reduce la disponibilidad de agua en las fuentes superficiales, además, la ausencia de vegetación también facilita la erosión, que degrada los suelos y reduce la aptitud del sistema ecológico para la captación y el almacenamiento del recurso hídrico, este ciclo de degradación se ve exacerbado por fenómenos meteorológicos graves y alteraciones en las tendencias de las precipitaciones, lo que hace que las regiones con una cubierta vegetal escasa sean cada vez más susceptibles a las repercusiones del cambio climático, incluidos los períodos prolongados de sequía o lluvias intensas, dicho fenómeno compromete la disponibilidad del recurso hídrico tanto para los usos antrópicos como para la subsistencia de la biota silvestre, lo que subraya la importancia de mantener y restaurar la cobertura vegetal para garantizar el suministro sostenible de agua (62).

#### **2.2.1.5. Medición de la cobertura vegetal**

La medición de la cobertura vegetal es crucial para evaluar su estado y entender su impacto sobre el ciclo hidrológico, para ello, existen diversos métodos que van desde técnicas directas de campo hasta el uso de tecnologías avanzadas de teledetección, una de las herramientas más comunes es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que utiliza imágenes satelitales para calcular la densidad de la vegetación, este índice permite obtener información sobre la cantidad y la salud de la cobertura vegetal en grandes áreas, lo que facilita el monitoreo de cambios a lo largo del tiempo y la identificación de áreas que requieren intervención, dicho índice es particularmente útil en estudios a escala regional o global, pues proporciona una visión general del estado de la vegetación, lo que permite detectar patrones de deforestación, degradación y regeneración de los ecosistemas (63).

Aunado a ello, la medición directa en campo es otra estrategia relevante, en la que se emplean parcelas permanentes para observar la cantidad, la distribución y la composición de las especies vegetales, de este modo, se alcanza una caracterización pormenorizada del manto vegetal, incluyendo aspectos como la densidad de las plantas, su tamaño y la proporción de suelo cubierto, en este tipo de medición, se utilizan transectos o cuadrantes de muestreo para determinar el porcentaje de cobertura en una determinada área, esta metodología demuestra ser ventajosa para las investigaciones ecológicas localizadas y para evaluar los impactos particulares de las actividades antropogénicas, como las prácticas agrícolas o el desarrollo urbano, en la configuración de la flora. En consecuencia, ambas metodologías, la teledetección y la observación directa, proporcionan mejoras significativas para adquirir una comprensión más lúcida de la vegetación y su función en la regulación del ciclo hidrológico (64).

## **2.2.2. Cosecha de agua**

### **2.2.2.1. Definición**

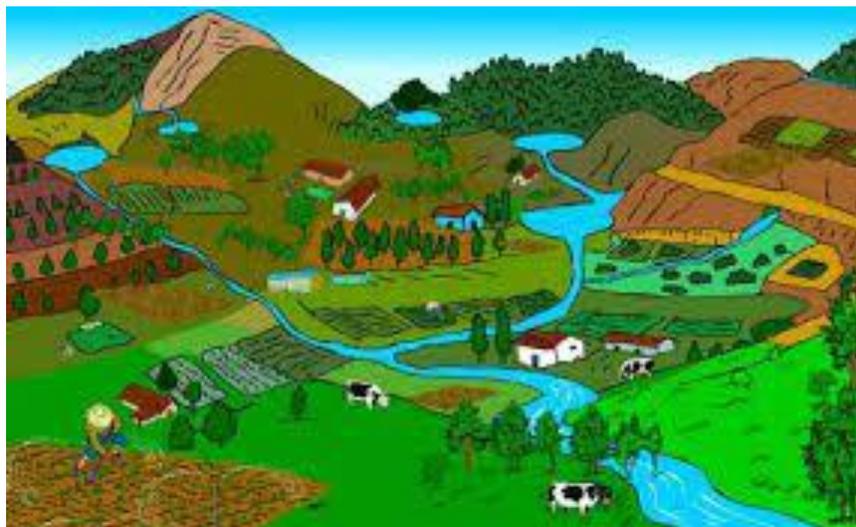
La captación pluvial se erige como un procedimiento cardinal en la gestión sustentable de los acervos hídricos, especialmente en territorios caracterizados por una alta oscilación climática y la precariedad de fuentes hídricas permanentes, factores que inciden de manera significativa en las condiciones de habitabilidad de las colectividades humanas. Esta práctica comprende la recolección y el resguardo del recurso pluvial con fines de aprovechamiento durante los ciclos de aridez, disminuyendo así la dependencia de afluentes exógenos —como cauces fluviales o reservorios subterráneos— y asegurando el suministro continuo para el consumo doméstico, las labores agropecuarias y otras esferas de actividad productiva. En consecuencia, la recolección de agua no solo mejora la seguridad hídrica de las comunidades, sino que también fomenta la resiliencia de los ecosistemas al facilitar la conservación del agua en áreas caracterizadas por un acceso limitado o una infraestructura hídrica inadecuada. En numerosos lugares rurales, la captación pluvial reviste un carácter fundamental para alcanzar la autosuficiencia hídrica, en tanto faculta a las comunidades para administrar sus acervos hídricos de forma más eficiente y conforme a principios de sustentabilidad. Por lo tanto, la eficacia de esta práctica depende de varios factores, incluidos el diseño apropiado de los sistemas de captación, la naturaleza del suelo y el volumen de precipitación, todos los cuales deben evaluarse para optimizar la cantidad de agua almacenada y minimizar las pérdidas atribuidas a la evaporación o la infiltración (65).

La eficiencia de los dispositivos de captación hídrica se halla intrínsecamente vinculada al manto vegetal circundante, en tanto dicha vegetación ejerce una función axial en la retención

hídrica del sustrato edáfico y favorece los procesos de infiltración, lo que mejora la capacidad de estos sistemas para capturar y almacenar las precipitaciones. Cuando la cubierta vegetal está en un estado robusto, las raíces de la flora funcionan como conductos que fomentan la percolación del recurso hídrico en el sustrato edáfico, reduciendo de este modo la escorrentía superficial y acrecentando el caudal susceptible de ser captado, sin embargo, cuando la vegetación se encuentra degradada, la eficiencia de la cosecha de agua disminuye, ya que el agua se pierde rápidamente por evaporación o escurrimiento, lo que resalta la interdependencia entre la cobertura vegetal y la gestión hídrica, de este modo, la restauración de los ecosistemas vegetales a través de la reforestación o prácticas sostenibles de manejo del suelo puede mejorar considerablemente la eficacia de los sistemas de captación de agua, garantizando así una mayor accesibilidad de este recurso vital en las zonas más susceptibles al cambio climático y a las fluctuaciones de las precipitaciones (66).

#### **2.2.2.2. Procesos de captación de agua en ecosistemas naturales**

En los ecosistemas naturales, los procesos de recolección de agua están intrínsecamente relacionados con el crecimiento vegetativo. La flora ayuda a capturar las precipitaciones, lo que permite que una fracción del agua se infiltre en el suelo a través del sistema radicular. Este mecanismo no solo repone los acuíferos subterráneos, sino que también mitiga la escorrentía superficial, lo que reduce la pérdida de agua. Además, el mantillo vegetal formado por hojas y restos orgánicos actúa como una esponja, almacenando agua y liberándola de forma gradual al ecosistema. Estos mecanismos garantizan la disponibilidad del recurso hídrico durante periodos de sequía y contribuyen a la regulación del ciclo hidrológico (67).



*Figura 3. Cosecha de agua.  
Tomada de la ONU (68)*

### **2.2.2.3. Efectos de la cosecha de agua**

La captación pluvial representa una práctica crucial en zonas caracterizadas por una disponibilidad hídrica restringida o por precipitaciones de naturaleza discontinua. Mediante esta técnica, es posible conservar el recurso pluvial para su aprovechamiento en intervalos de aridez, lo que mejora la seguridad hídrica y facilita una gestión más eficaz de los recursos hídricos. La recolección de agua de lluvia sirve para mitigar la presión sobre las fuentes de agua permanentes, como los ríos y los embalses, lo que posteriormente refuerza la resiliencia de las comunidades rurales frente a las fluctuaciones climáticas y los eventos extremos; en este sentido, la aptitud de almacenamiento hídrico se ve condicionada por una multiplicidad de factores determinantes, incluidas las dimensiones de los sistemas de captación, las características topográficas del paisaje y las propiedades del suelo adyacente, por lo que el diseño adecuado de estos sistemas es esencial para maximizar la eficiencia de la cosecha de agua y garantizar su disponibilidad durante los períodos de escasez (69).

Sin embargo, la eficacia de la recolección de agua puede verse limitada por varios factores, entre los factores que inciden en la capacidad de almacenamiento hídrico se encuentra la degradación del manto vegetal, la cual merma la aptitud del sustrato edáfico para facilitar la infiltración del recurso pluvial. Asimismo, procesos como la deforestación o las transformaciones en el uso del suelo pueden perturbar el equilibrio hidrológico local, provocando un incremento de la escorrentía superficial y una disminución del volumen de agua retenible en los cuerpos de embalse. Por ende, la sostenibilidad de los sistemas de captación hídrica se halla estrechamente supeditada a la conservación de la vegetación circundante, que cumple una función axial en la modulación del flujo hídrico y en el perfeccionamiento de la eficiencia de infiltración. De esta manera, el acto de recolectar agua no solo satisface las necesidades de las comunidades humanas, sino que también depende de la vitalidad de los ecosistemas que rodean los sistemas de almacenamiento. Esto enfatiza el imperativo de adoptar estrategias integradas que abarquen tanto la conservación de la vegetación como las prácticas de gestión sostenible del agua (70).

### **2.2.2.4. Medición de la cosecha de agua**

La valoración de la captación pluvial se realiza, primordialmente, a través del análisis de la capacidad de almacenamiento de los sistemas recolectores, expresada en metros cúbicos (m<sup>3</sup>), lo cual denota el volumen íntegro de agua susceptible de ser retenido durante un intervalo temporal determinado. Este volumen depende de varios factores, incluido el diseño de los embalses, el volumen de precipitación y las características del terreno; en este contexto, la tasa

de infiltración sirve como otro indicador crítico, puesto que permite cuantificar el volumen hídrico que se infiltra en el sustrato edáfico, incidiendo de manera directa en la disponibilidad efectiva del recurso para su captación. Cuando la tasa de infiltración es elevada, los sistemas de captación son capaces de retener mayores volúmenes de agua, lo que mejora la eficiencia de la recolección. En consecuencia, la medición rigurosa de dichos parámetros resulta indispensable para evaluar el rendimiento de los sistemas de captación hídrica y determinar su idoneidad en relación con las exigencias hídricas de la colectividad (71).

Otro indicador importante es la eficiencia de cosecha, que cuantifica la proporción de agua capturada en relación con el volumen total de precipitación que se produce en un área específica, esta métrica nos permite evaluar la eficacia de los sistemas de recolección existentes y determinar si se justifica modificar su diseño o capacidad de almacenamiento. De igual manera, la precipitación media anual representa una variable clave empleada en la estimación del volumen total de agua potencialmente captable a lo largo del ciclo anual; dicha métrica proporciona una base cuantitativa para la planificación y administración de los acervos hídricos, al permitir proyectar la disponibilidad del recurso conforme a las condiciones climáticas propias de la región. La integración de estas metodologías de medición permite conformar un panorama holístico de la capacidad operativa de los sistemas de captación, lo que a su vez posibilita una toma de decisiones fundamentada en relación con su gestión y perfeccionamiento (72).

### **2.2.3. Relación entre variables**

#### **2.2.3.1. Factores del suelo con cobertura en la cosecha de agua**

La relación entre cosecha de agua y cobertura vegetal resulta imperativa para asegurar la perdurabilidad de los acervos hídricos, en tanto la existencia de un manto vegetal incide de manera directa en la aptitud del sustrato edáfico para la retención del recurso hídrico; un suelo adecuadamente cubierto de vegetación permite que el agua de lluvia penetre con mayor facilidad, lo que mejora la reposición de los acuíferos subterráneos y aumenta el volumen de agua accesible para los sistemas de recolección. De este modo, los sistemas radicales de las especies vegetales facilitan la absorción hídrica por parte del sustrato edáfico y atenúan los procesos de escorrentía superficial, que podría desperdiciar una gran cantidad de agua que de otro modo podría haberse almacenado, cuando la cobertura vegetal es deficiente o está degradada, la infiltración disminuye y el agua se pierde rápidamente, lo que reduce la eficiencia de los sistemas de captación pluvial y compromete la disponibilidad del recurso hídrico en los intervalos de estiaje (73).

La interacción entre estas dos variables subraya con mayor énfasis la necesidad de adoptar un enfoque holístico en la gestión de los acervos hídricos y los ecosistemas, dado que un manto vegetal robusto no solo optimiza los procesos de infiltración del recurso, sino que también incrementa la eficiencia de los sistemas de almacenamiento, fortaleciendo así la resiliencia hídrica de las comunidades rurales. En contraposición, la degradación del estrato vegetal incide negativamente en la capacidad del suelo para retener humedad y compromete la funcionalidad integral de los sistemas de captación al exacerbar la escorrentía y disminuir el volumen de agua disponible para el almacenamiento; en consecuencia, es imperativo implementar políticas que aboguen por la conservación de la vegetación cerca de los sistemas de recolección de agua, dado que la restauración de la cubierta vegetal puede potenciar de manera significativa la aptitud de dichos sistemas para la captación eficiente del recurso hídrico, almacenar y distribuir el agua de manera eficiente, lo cual es de suma importancia ante el cambio climático y creciente escasez de recursos hídricos (74).

#### **a) Infiltración del agua**

Lo articula en el marco de las metodologías de conservación del agua, incluidas las qochas y las zanjas de infiltración. Se establece que tales metodologías favorecen la percolación del recurso hídrico hacia los estratos subterráneos y coadyuvan en la recarga de los acuíferos (48).

Es imperativo destacar la incorporación de metodologías como las zanjas de infiltración en el marco de las iniciativas de recarga artificial de acuíferos en el distrito de Chaclla, Lima. Estas zanjas están diseñadas para permitir la infiltración de agua al subsuelo, ayudando a reforzar la recarga de los acuíferos y mejorar la disponibilidad hídrica en la zona (75).

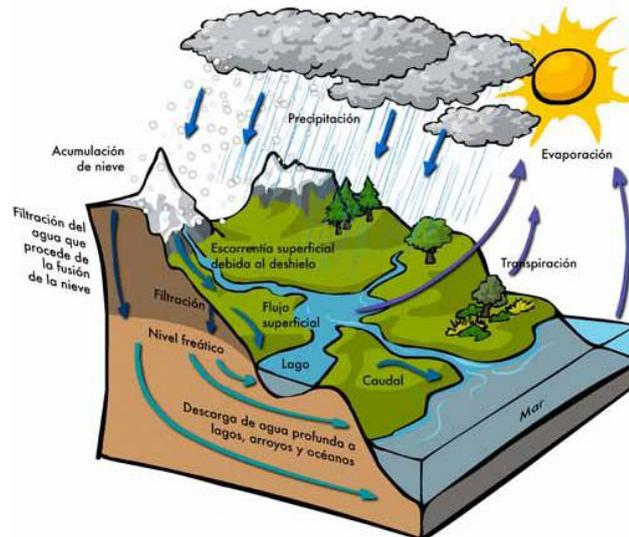
Se describe que, en los bordos de almacenamiento de agua de lluvia, la infiltración puede verse afectada por la concentración de sodio, lo que podría influir en la estructura y permeabilidad del suelo. Este aspecto resalta la necesidad de evaluar periódicamente la velocidad de infiltración en áreas de almacenamiento (76).

Evaluación: la apreciación de la percolación hídrica en el sustrato edáfico se sustenta en procedimientos orientados a la tutela del acervo acuífero, entre los cuales se inscriben las zanjas de infiltración y las qochas —artefactos hidráulicos de raigambre ancestral— que coadyuvan al proceso de restitución de los reservorios subterráneos. Tales dispositivos incentivan la migración del recurso hacia los estratos inferiores del terreno, contribuyendo a la conservación del nivel freático y garantizando la provisión ininterrumpida del líquido elemento en las áreas intervenidas. Conviene advertir que la presencia de sodio en el medio edáfico puede incidir de forma perniciosa sobre su trabazón estructural, menguando su aptitud para la captación y

retención del recurso hídrico, lo que resalta la necesidad de monitorear periódicamente la velocidad de infiltración en los espacios de almacenamiento hídrico.

## b) Escorrentía del agua

La escorrentía hídrica se conceptualiza como la lámina líquida que fluye superficialmente sobre el terreno no logra penetrar el suelo y, en cambio, atraviesa la superficie. La evaluación de este fenómeno se lleva a cabo mediante metodologías como el número de curvas (CN), que considera factores como la permeabilidad del suelo y la utilización del suelo (75).



**Figura 4. Escorrentía de agua.**  
*Tomada de Barrera et al. (57)*

La escorrentía se describe en el contexto de las obras de manejo de cuencas, donde se analiza cómo la escorrentía contribuye al almacenamiento de agua y se gestiona junto con otras técnicas para asegurar la disponibilidad hídrica (29).

La escorrentía superficial se erige como un mecanismo cardinal en el acopio del recurso pluvial en territorios caracterizados por condiciones áridas y semiáridas. Elucide los métodos mediante los cuales la escorrentía puede capturarse de manera efectiva utilizando estructuras de captación, como bordos de almacenamiento, para su uso en la agricultura y otros fines (76).

Evaluación: la evaluación de la escorrentía del agua se realiza utilizando el método del número de curvas (CN), el cual determina el volumen de agua que no logra infiltrarse y circula sobre la superficie del terreno. Esta técnica toma en cuenta la capacidad de absorción del suelo y las características del uso de la tierra. En proyectos de manejo de cuencas, la escorrentía se analiza como un componente fundamental en la conservación de agua, especialmente en regiones secas. A través de la implementación de bordos y otras infraestructuras de captación,

se puede recolectar y almacenar la escorrentía para su aprovechamiento en actividades agrícolas y de abastecimiento hídrico.

### **c) Materia orgánica**

La sustancia orgánica edáfica se compone de detritos vegetales, restos animales y microorganismos en distintas fases de disgregación biológica. Este constituyente reviste una importancia capital para la fertilidad y operatividad del sustrato edáfico, al incidir de forma directa sobre su trabazón estructural, su aptitud para la retención hídrica y la dinámica del ciclo nutrimental. La materia orgánica acrecienta la capacidad del suelo para acumular y liberar elementos esenciales como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, al tiempo que actúa como reservorio de carbono, ejerciendo así una función primordial en la atenuación del forzamiento climático. Asimismo, estimula la actividad biota del suelo, promoviendo la heterogeneidad y el equilibrio de los microorganismos benéficos que catalizan los procesos de mineralización y reciclaje nutrimental (77).

Evaluación: la valoración de la fracción orgánica del sustrato edáfico se efectúa mediante el análisis de detritos vegetales, comunidades microbianas y fauna edáfica que se hallan en estado de descomposición progresiva. Este componente reviste carácter esencial para la preservación de la fertilidad y la funcionalidad integral del suelo, en tanto incide sobre su arquitectura interna, su capacidad para la retención hídrica y la regulación del ciclo biogeoquímico de nutrientes. A su vez, la materia orgánica cumple una función significativa como reservorio de carbono, coadyuvando a la mitigación de los impactos asociados al cambio climático. Igualmente, facilita la liberación de elementos nutritivos indispensables y estimula la actividad microbiológica del medio edáfico, promoviendo la mineralización de compuestos orgánicos y el equilibrio ecosistémico subterráneo.

### **d) Densidad aparente del suelo**

La densidad aparente del sustrato edáfico representa una estimación de la masa de suelo anhidro contenida en una unidad de volumen, incorporando en su cómputo la fracción porosa. Este indicador constituye una referencia significativa del grado de compactación del medio edáfico, condición que incide de forma determinante en su permeabilidad al recurso hídrico, en la aireación interna del perfil y en la propiciación del crecimiento radicular. Los suelos que se caracterizan por una densidad aparente elevada se compactan con frecuencia, lo que restringe la actividad biológica y disminuye la accesibilidad de la vegetación a los nutrientes y al agua. Por el contrario, una densidad aparente reducida se correlaciona con suelos que presentan una mayor porosidad y son abundantes en materia orgánica, lo que mejora el intercambio de gases y la retención de agua (78).

Evaluación: la estimación de la densidad aparente del sustrato edáfico conlleva la determinación de la masa de suelo anhidro en función de su volumen íntegro, comprendiendo tanto la fracción sólida como los intersticios porosos. Dicha métrica constituye un referente crucial del grado de compactación, condición que repercute de manera significativa en la capacidad del suelo para absorber el recurso hídrico, permitir la circulación gaseosa y sustentar el desarrollo del sistema radical. Los suelos que exhiben valores elevados de densidad aparente tienden a presentar una estructura más compactada, lo que restringe la actividad microbiana y limita la asimilación de agua y nutrientes por parte de las especies vegetales. En contraposición, aquellos con densidad aparente reducida suelen manifestar una porosidad superior y un incremento en el contenido de materia orgánica, factores que optimizan la retención de humedad y favorecen la ventilación del perfil edáfico.

#### **e) Porosidad**

La porosidad del sustrato edáfico alude a la fracción de vacíos o intersticios presentes en su estructura en relación con su volumen absoluto. Tales cavidades desempeñan un papel esencial en la retención y movilidad tanto del recurso hídrico como de los gases atmosféricos, elementos imprescindibles para la operatividad de los procesos biológicos y fisicoquímicos que se desarrollan en el medio edáfico. Los huecos más grandes (macroporos) favorecen el drenaje del agua y la entrada de aire, mientras que los poros pequeños (microporos) retienen agua disponible para las plantas. Una adecuada porosidad es crítica para el desarrollo radicular y para mantener un equilibrio entre agua y oxígeno en el suelo, elementos determinantes para la ontogenia y el vigor vegetativo de las especies cultivadas (79).

Evaluación: la evaluación de la porosidad del suelo consiste en determinar el porcentaje de vacíos que existen en relación con el volumen total del suelo. Estos espacios son vitales para que el agua y el aire circulen adecuadamente, propiciando las dinámicas biológicas y fisicoquímicas que tienen lugar en los estratos subsuperficiales del sustrato edáfico. Los macroporos facilitan el paso del aire y el drenaje, mientras que los microporos almacenan agua disponible para las plantas. Una porosidad adecuada permite que las raíces crezcan sin restricciones y asegura el equilibrio hídrico y gaseoso necesario para el desarrollo óptimo de los cultivos.

#### **f) Color del suelo**

La cromaticidad del sustrato edáfico opera como un referente visual significativo de sus propiedades físicas y químicas, estando condicionada, en gran medida, por la concentración de materia orgánica presente en su matriz, los minerales presentes y el contenido de humedad. Los

suelos más oscuros suelen presentar una concentración sustancial de materia orgánica, lo que se correlaciona con una mayor fertilidad. Los tonos rojizos o amarillentos indican la presencia de óxidos de hierro, mientras que los suelos blanquecinos o grisáceos pueden indicar una baja fertilidad acompañada de una mayor presencia de sales o carbonatos. El color también puede ser un indicador indirecto del drenaje del suelo, ya que los suelos bien drenados tienden a tener colores más brillantes, mientras que los suelos saturados presentan colores apagados o moteados (80).

Evaluación: el procedimiento más recurrente para la determinación cromática del sustrato edáfico es el empleo de la carta de colores de Munsell, instrumento que posibilita una clasificación visual mediante la confrontación del suelo con patrones cromáticos normalizados. Esta metodología permite inferir propiedades físico-químicas relevantes, tales como la proporción de materia orgánica, la presencia de determinados minerales y el grado de humedad contenido en el perfil edáfico. Los suelos con mayor contenido orgánico suelen presentar colores oscuros, mientras que los rojizos o amarillos indican óxidos de hierro. Las tonalidades pálidas o grisáceas, por su parte, pueden revelar acumulación de sales o problemas de fertilidad. La evaluación del color también es útil para determinar el estado de drenaje del suelo, reflejando condiciones bien drenadas en tonos vivos y drenaje deficiente en colores apagados o manchados.

#### **g) Capacidad retentiva de humedad**

La aptitud del sustrato edáfico para la retención hídrica alude al volumen de agua que permanece en su matriz tras el drenaje inducido por la gravedad. Esta propiedad reviste una relevancia fundamental para el abastecimiento hídrico de la vegetación en los lapsos comprendidos entre eventos pluviales o aplicaciones de riego. Dicha capacidad está condicionada por la textura, la configuración estructural y el tenor de materia orgánica contenido en el suelo. Los suelos compuestos predominantemente de arcilla muestran una importante capacidad de retención de humedad debido a su elevada proporción de microporos; sin embargo, el agua retenida puede resultar difícil para las plantas acceder al agua retenida. Por el contrario, los suelos arenosos poseen una capacidad de retención de humedad comparativamente baja, pero el agua que retienen es más accesible para las plantas. Los suelos con elevado contenido de materia orgánica tienden a conservar un volumen superior de agua utilizable por las especies vegetales, incrementando así su capacidad de resistencia ante episodios de aridez prolongada (81).

Evaluación: la estimación de la aptitud del sustrato edáfico para la retención de humedad se efectúa mediante la curva de retención hídrica, técnica que examina la cantidad de agua que

puede ser conservada por el suelo bajo distintos regímenes de presión matricial. Este procedimiento permite determinar el volumen de agua efectivamente disponible para la absorción vegetal una vez completado el drenaje gravitacional. La capacidad de retención está sujeta a la textura del suelo, su configuración estructural y el tenor de materia orgánica presente en su matriz. Los suelos arcillosos, debido a su alta proporción de microporos, retienen mayor cantidad de agua, aunque no toda es accesible para las raíces. Por otro lado, los suelos arenosos retienen menos agua, pero las plantas pueden aprovecharla con mayor facilidad. La presencia de materia orgánica acrecienta la capacidad de retención hídrica del sustrato edáfico, favoreciendo la absorción del recurso por parte del sistema radical y fortaleciendo la tolerancia fisiológica de la vegetación frente a condiciones de sequía.

#### **h) Erosión**

La erosión se configura como un proceso dinámico de disgregación, desplazamiento y deposición de partículas edáficas, inducido por la acción del recurso hídrico, los flujos eólicos o las intervenciones antrópicas. Este fenómeno conlleva la pérdida de la capa superficial del suelo —estrato particularmente rico en nutrientes y materia orgánica— lo que incide de manera adversa sobre su fertilidad y capacidad productiva. Paralelamente, la erosión contribuye de forma significativa a la sedimentación de los cuerpos de agua, reduciendo tanto su volumen útil como su calidad fisicoquímica. La susceptibilidad del suelo a este proceso está modulada por diversos factores, entre los que destacan el gradiente topográfico, la densidad del manto vegetal y la magnitud de los eventos pluviométricos. Las prácticas de conservación, como el uso de cobertura vegetal, terrazas y rotación de cultivos, son esenciales para mitigar este proceso y proteger la integridad del suelo a largo plazo (82).

Evaluación: la erosión edáfica se cuantifica mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), instrumento analítico que permite estimar el volumen de suelo susceptible de ser removido por efecto de la acción hídrica y otros agentes erosivos. Esta metodología integra variables como la intensidad y distribución de las precipitaciones, las características físico-químicas del suelo, el grado de inclinación del terreno, la cobertura vegetal y las prácticas agronómicas adoptadas. A través de la aplicación de la USLE, es factible proyectar los niveles de pérdida edáfica y diseñar estrategias de conservación —tales como la implementación de terrazas o el empleo de cultivos de cobertura— orientadas a mitigar la degradación del recurso y salvaguardar su funcionalidad agroproductiva en el largo plazo.

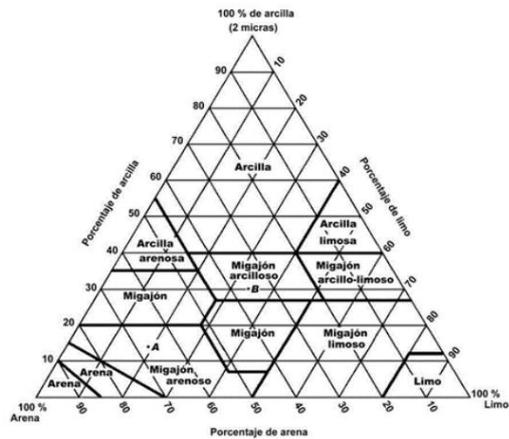
#### **i) Textura del suelo**

La composición edáfica alude a la proporción relativa de las fracciones granulométricas de arena, limo y arcilla contenidas en una muestra, lo cual determina su textura intrínseca. Esta

característica condiciona de manera directa múltiples propiedades físicas del suelo, tales como la densidad aparente, la porosidad, la movilidad del recurso hídrico a lo largo del perfil y la capacidad de retención de humedad. La interacción entre dichos componentes texturales incide significativamente en la configuración estructural del sustrato, afectando su idoneidad tanto para el desarrollo vegetal como para la gestión racional de los acervos hídricos en contextos agroproductivos y ecosistémicos (83).

Los suelos ricos en arcilla pueden retener agua a una capacidad que es casi el doble que la de los suelos arenosos, lo que permite reducir la frecuencia de riego. Además, presentan menor pérdida de nutrientes por lixiviación, aunque su manejo es más complicado debido a su tendencia a compactarse y a la dificultad para labrarlos. Para mejorar sus condiciones físicas, se sugiere la incorporación de enmiendas orgánicas tales como compostas, deyecciones estabilizadas, abonos verdes y vermicompost, con el propósito de enriquecer el contenido humífero del sustrato edáfico y optimizar sus propiedades fisicoquímicas. Por otro lado, el suelo franco es considerado ideal para la agricultura, ya que su composición equilibrada de arena, limo y arcilla permite una adecuada permeabilidad, retención de agua y disponibilidad de nutrientes (83).

La determinación de la textura edáfica fue realizada mediante el método de sedimentación, técnica que posibilita la identificación de la proporción relativa de las fracciones granulométricas de arena, limo y arcilla contenidas en una muestra del sustrato. El procedimiento consistió en mezclar 100 gramos de suelo con 500 mililitros de agua, aplicar calor hasta alcanzar una temperatura de 350 °C y añadir 25 mililitros de peróxido de hidrógeno para eliminar la materia orgánica residual. Una vez completada esta fase, la mezcla se transfirió con cuidado a un tubo de ensayo de 500 mililitros, procurando no adherir residuos a las paredes del recipiente. La muestra se dejó en reposo durante 24 horas para permitir la sedimentación por tamaños de partícula. Finalmente, se calcularon los porcentajes correspondientes a cada fracción textural y se clasificó el tipo de suelo mediante el uso del triángulo de texturas elaborado por el USDA en 1977, el cual define 12 clases texturales con base en la proporción de cada fracción granulométrica obtenida mediante el análisis mecánico (83). Dicha clasificación reviste carácter fundamental para la comprensión de las propiedades físicas del sustrato edáfico, en tanto incide en su aptitud para la retención hídrica, su permeabilidad, la aireación interna y la maniobrabilidad en contextos agroproductivos (84).



**Figura 5. Triángulo de clases texturales.**  
*Tomada de Echeverría et. Al. (83)*

### 2.2.4. Qochas

Las qochas son sistemas tradicionales de almacenamiento y regulación de agua, utilizados principalmente en las regiones altoandinas. Estas estructuras consisten en depresiones naturales o artificiales, diseñadas para captar y acumular agua de lluvia, escorrentías o deshielos. Su principal función es garantizar la disponibilidad de agua durante las épocas de escasez, mejorando la seguridad hídrica de las comunidades y los ecosistemas locales.

Además, las qochas cumplen una función ecológica crucial al facilitar la reposición de los acuíferos, mitigar la erosión del suelo y ofrecer hábitats para una variedad de especies. Asimismo, dichas prácticas ejercen una incidencia favorable sobre las actividades agropecuarias en las zonas altoandinas, al viabilizar el riego de los cultivos y el aprovisionamiento hídrico para el ganado, fortaleciendo con ello la resiliencia de las comunidades locales frente a la variabilidad climática y los efectos derivados del cambio climático. Este sistema ancestral refleja un manejo sostenible del agua basado en el conocimiento tradicional y adaptado a las características geográficas y climáticas de los Andes.



**Figura 6. Qochas de Vinchos.**  
*Tomada del Gobierno del Perú (85)*

#### **2.2.4.1. Funciones ecológicas de las qochas**

Las qochas constituyen reservorios artificiales o concavidades hidráulicas diseñadas por intervención humana, orientadas al aprovechamiento estratégico de las depresiones topográficas naturales del terreno, denominadas huecos o lagunas naturales. Se construye una presa de tierra compactada para capturar y retener eficazmente el agua de lluvia que se genera durante la estación de lluvias (de diciembre a marzo), con el fin de utilizarla durante los meses de mayor escasez. Estas qochas propician la percolación paulatina del recurso hídrico, favoreciendo así una recarga sostenida de los acuíferos y la preservación de los bofedales en las áreas de menor altitud. Además, las qochas se utilizan para riego superficial, consumo humano, y en la industria (48).

- Recarga de acuíferos: captan el recurso pluvial, el cual se infiltra de manera progresiva en los estratos subsuperficiales, facilitando la recarga de las aguas freáticas y sustentando la permanencia de manantiales y humedales en las zonas inferiores de la cuenca (86).
- Mantenimiento de la humedad del suelo: al incrementar la infiltración de agua, las qochas ayudan a conservar la humedad en el suelo, favoreciendo el crecimiento de pastizales y vegetación nativa, aspecto que resulta imprescindible para el sustento alimenticio del ganado y la salvaguardia de la biodiversidad local (87).
- Prevención de la erosión: a través de la modulación del flujo hídrico y la atenuación de la escorrentía superficial, las qochas contribuyen de manera eficaz a la reducción de los procesos erosivos del sustrato edáfico, salvaguardando así las tierras agrícolas y preservando el equilibrio de los ecosistemas locales (88) .
- Conservación de la biodiversidad: mediante el establecimiento de hábitats húmedos, las qochas promueven la existencia de especies de flora y fauna que se adaptan a dichos ambientes, contribuyendo así a la preservación de la biodiversidad en las regiones altoandinas (86).
- Mitigación del cambio climático: a través de la mejora de la accesibilidad del agua y el fortalecimiento de la resiliencia de los ecosistemas, las qochas sirven como estrategias para la adaptación al cambio climático, ayudando así a las comunidades altoandinas a hacer frente a las fluctuaciones en los patrones de precipitación y las variaciones de temperatura (89).

### 2.2.5. Siembra y cosecha del agua

El cultivo y la recolección de agua es una práctica tradicional que se emplea en las regiones áridas y semiáridas para preservar, conservar y gestionar el agua de lluvia de acuerdo con los requisitos de las comunidades locales. La recolección de agua abarca la acumulación de escorrentía superficial para su posterior utilización en actividades como la gestión agrícola y ganadera. La siembra de agua pone énfasis en la recarga de los acuíferos, los estratos edáficos y subedáficos a través de la infiltración controlada de las aguas de escorrentía (75).



*Figura 7. Siembra y cosecha de agua  
Tomada de Minam (86)*

El cultivo y la recolección de agua pueden estar históricamente vinculados a las prácticas comunales instituidas como reacción a la escasez de agua, particularmente durante las estaciones áridas. Dicha metodología se implementa con el propósito de fortalecer la seguridad hídrica y adecuar los medios de subsistencia de las comunidades agrarias y rurales a los regímenes climáticos variables y a las perturbaciones asociadas a la inestabilidad atmosférica (48).

La práctica de sembrar y recolectar agua se destaca como un enfoque sostenible y viable para abordar el cambio climático, así como la creciente necesidad de recursos hídricos. Su implementación en varias comunidades rurales de Iberoamérica se acentúa, lo cual evidencia el modo en que estas metodologías optimizan la administración eficiente de los acervos hídricos (31).

El cultivo y la recolección de agua implican una amplia gama de técnicas adaptadas a las condiciones locales, como reservorios, zanjas de infiltración, terrazas, represas y sistemas innovadores como los atrapanieblas, estas prácticas no solo permiten captar y almacenar agua de lluvia, sino también promover la infiltración hacia acuíferos, lo que asegura la disponibilidad

hídrica en épocas secas, además, contribuyen a la regulación del ciclo hidrológico, elevar la calidad edáfica y atenuar los procesos erosivos, promover prácticas agropecuarias sustentables y asegurar la soberanía alimentaria de las poblaciones rurales, particularmente en territorios caracterizados por aridez o semi-aridez (90).

Los beneficios derivados de la aplicación de estas metodologías exceden el ámbito estrictamente ambiental, al producir repercusiones socioeconómicas de gran envergadura mediante la reducción de la vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos y el robustecimiento de la resiliencia comunitaria en contextos afectados. Casuísticas empíricas en naciones como Perú, México, Brasil e India evidencian la eficacia de las técnicas de siembra y recolección de agua, las cuales han posibilitado la transformación de zonas áridas en territorios de alta productividad, incidiendo de manera directa en la mejora de las condiciones de vida de múltiples núcleos familiares. Estas intervenciones aportan de forma sustantiva al cumplimiento de diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible, destacándose entre ellos el acceso equitativo y universal al recurso hídrico (ODS 6), la adopción de medidas adaptativas y mitigadoras frente al cambio climático (ODS 13), así como la protección y uso sostenible de los ecosistemas terrestres (ODS 15) (91).

Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos como la necesidad de financiamiento, la formación de comunidades y la incorporación de tecnología moderna, la clave para el futuro radica en combinar conocimientos ancestrales con innovaciones científicas para garantizar la sostenibilidad y eficiencia de estas prácticas, asimismo, el monitoreo constante y la evaluación de sus impactos a largo plazo son esenciales para optimizar su aplicación y adaptabilidad en diferentes contextos, las prácticas de siembra y recolección de agua configuran un enfoque integral y perdurable orientado a enfrentar la creciente presión sobre los acervos hídricos en un escenario global marcado por las alteraciones climáticas. Este paradigma combina saberes ancestrales y tecnologías adaptativas para garantizar la disponibilidad sostenible del recurso, armonizando la gestión hídrica con los principios de resiliencia ecosistémica y justicia socioambiental (92).

#### **2.2.6. Contexto de la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica**

La qocha de Ccochaccasa, localizada en la región andina de Huancavelica, representa un sistema natural de gran importancia para la captación y conservación del agua. Su contexto geográfico, edáfico y cultural, la torna en una esfera nodal para el escrutinio de las interrelaciones entre el manto vegetal y las dinámicas hidrológicas, enfrentando desafíos asociados con el fenómeno del cambio climático, junto con las actividades antropogénicas, enfatiza el imperativo de apreciar y preservar este ecosistema vital (93).

### **2.2.6.1. Aspectos geográficos y climáticos**

La qocha de Ccochaccasa se encuentra en la región altoandina, caracterizada por su topografía accidentada y una altitud que supera una altura de 4150 metros sobre el nivel del mar, un contexto que impacta significativamente en los patrones meteorológicos distinguidos por precipitaciones estacionales, bajas temperaturas y una alta radiación solar. Estas condiciones hacen que el suelo sea altamente vulnerable a la erosión, especialmente en áreas desprovistas de cobertura vegetal, donde la flora actual cumple una función esencial para mitigar estos impactos a través de la modulación del balance hídrico y la consolidación de la estabilidad edáfica (94).

### **2.2.6.2. Uso del agua y problemáticas actuales**

El caudal retenido en la qocha de Ccochaccasa reviste una relevancia capital para la subsistencia de las colectividades locales, cuya pervivencia se halla estrechamente supeditada a dicho recurso vital en lo concerniente a las labores agroproductivas, el manejo del hato ganadero y el abastecimiento hídrico para uso humano. No obstante, la región se ve confrontada a desafíos de notoria envergadura emanados tanto de las alteraciones climáticas como de las intervenciones antrópicas, entre las que destacan el sobrepastoreo y la deforestación, elementos que inciden de forma adversa sobre el manto vegetal y, por ende, sobre la disponibilidad y calidad del recurso hídrico. Esta problemática resalta la urgencia de implementar estrategias integrales orientadas a la salvaguardia de los acervos hídricos y fitológicos en el ámbito territorial referido (94).

### **2.2.6.3. Importancia cultural y socioeconómica de la qocha**

La qocha de Ccochaccasa no solo es un recurso hídrico vital, sino también un elemento cultural profundamente arraigado en las comunidades locales, gestionado mediante prácticas ancestrales que integran el manejo del agua mediante la conservación del estrato fitológico. Desde una perspectiva socioeconómica, la qocha sostiene actividades esenciales como la agricultura y la ganadería, principales fuentes de sustento para las poblaciones de la región, lo que hace de su conservación una prioridad para garantizar el equilibrio ecológico, la garantía de los recursos hídricos y la prosperidad financiera de las comunidades situadas en la región andina (94).

## **2.3. Términos básicos**

### **2.3.1. Cobertura vegetal**

La cobertura vegetal denota el estrato de especímenes botánicos, pastos, arbustos o árboles que cubre la superficie del suelo en un área determinada, esta cobertura es esencial para prevenir

la erosión del suelo, regular la temperatura del terreno, aumentar la infiltración de agua y promover la biodiversidad, además, actúa como una barrera natural que disminuye la escorrentía, mejora la calidad del aire y contribuye al equilibrio del ciclo hidrológico (95).

### **2.3.2. Infiltración**

La infiltración constituye el mecanismo a través del cual la precipitación o la escorrentía superficial penetran en el suelo a través de sus espacios intersticiales; este hecho es de suma importancia para la reposición de los acuíferos subterráneos y la preservación de la humedad del suelo. La celeridad de la infiltración se encuentra condicionada por diversos factores determinantes, entre los cuales destacan la porosidad, la granulometría y la configuración estructural del sustrato edáfico, además, una adecuada infiltración ayuda a reducir la acumulación de agua superficial, mitigando inundaciones y favoreciendo el crecimiento vegetal (96).

### **2.3.3. Escorrentía**

La escorrentía se define como el desplazamiento del recurso hídrico sobre la interfase edáfica cuando la precipitación excede la aptitud del terreno para su infiltración o almacenamiento. Esta ocurrencia puede ser provocada por lluvias abundantes o eventos de deshielo, lo que facilita el transporte de sedimentos, nutrientes y contaminantes a los sistemas acuáticos. Además, ejerce una influencia considerable en la erosión del suelo y en la asignación de los recursos hídricos, por lo que su gestión eficaz es imprescindible para la conservación del medio ambiente (97).

### **2.3.4. Ciclo hidrológico**

El ciclo hidrológico, comúnmente denominado ciclo del agua, constituye el proceso perpetuo de circulación del agua en el globo terrestre, que abarca los fenómenos de evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía. Este ciclo es fundamental para la preservación del equilibrio ecológico, ya que facilita la distribución del agua entre los océanos, el aire, la tierra y las entidades biológicas; además, contribuye significativamente al control climático y es indispensable para la sostenibilidad de los ecosistemas, los recursos hídricos y los esfuerzos humanos (98).

### **2.3.5. Porosidad del suelo**

La porosidad del sustrato edáfico alude al coeficiente volumétrico de vacuidades existentes en una porción determinada del mismo, los cuales pueden estar ocupados por aire o agua según las condiciones ambientales. Estos poros cumplen funciones esenciales en procesos como la infiltración, la retención hídrica y el desplazamiento del agua, asimismo, permite el intercambio

gaseoso indispensable para el desenvolvimiento de la actividad biológica edáfica. El grado de porosidad se ve condicionado por factores tales como la granulometría, la arquitectura interna del sustrato y su nivel de compactación, elementos que repercuten de forma directa en la productividad agropecuaria y en la aptitud del suelo para sustentar un desarrollo vegetal vigoroso y equilibrado (99).

### **2.3.6. Densidad aparente**

La densidad aparente del sustrato edáfico se define como la razón entre la masa del suelo anhidro y el volumen total que este ocupa, comprendiendo tanto la matriz sólida como los intersticios porosos. Esta magnitud constituye un indicador axial del nivel de compactación, dado que incide de manera directa en la porosidad, en la capacidad de captación hídrica y en la expansión del aparato radical. Su cuantificación es esencial para valorar la calidad edáfica en función de su idoneidad para sustentar cultivos y administrar de manera racional los acervos hídricos. Cuando los valores de densidad resultan excesivos, pueden restringir el crecimiento vegetal y menoscabar la diversidad biológica del ecosistema pedológico (100).

### **2.3.7. Capacidad retentiva**

La capacidad de retención hídrica del sustrato edáfico alude al volumen máximo de agua que puede permanecer alojado en el perfil una vez evacuado el excedente por efecto del drenaje gravitacional. Dicha propiedad está condicionada por diversos elementos, entre los cuales destaca la granulometría del suelo, su estructura y el contenido de materia orgánica presente de manera natural. Conocer esta capacidad resulta esencial para evaluar la disponibilidad hídrica para las plantas y la viabilidad de distintas prácticas agrícolas. Su perfeccionamiento puede alcanzarse a través de estrategias tales como la incorporación de acondicionadores orgánicos y la conservación del manto vegetal, prácticas que coadyuvan al mejoramiento de las propiedades físicas del sustrato edáfico y a la potenciación de su funcionalidad en lo que respecta a la retención hídrica (101).

### **2.3.8. Humedad gravimétrica**

La humedad gravimétrica denota la proporción de contenido acuoso existente en una muestra edáfica respecto de su masa anhidra, erigiéndose como un parámetro esencial para estimar la disponibilidad hídrica destinada al desarrollo vegetal. Este valor se determina mediante procedimientos de desecación y pesada, los cuales posibilitan una cuantificación precisa del contenido hídrico del sustrato. Su relevancia radica en que proporciona una medida directa de la aptitud del suelo para conservar la humedad y transferirla al sistema radical de las especies vegetales, lo cual resulta fundamental en la planificación del riego y en el seguimiento

de las condiciones edáficas durante las labores agrícolas. Por tanto, su medición es indispensable para garantizar un manejo eficiente del recurso hídrico (102).

### **2.3.9. Qocha**

La qocha es una técnica ancestral desarrollada en los Andes para la gestión eficiente del recurso hídrico, basada en la construcción de depresiones o reservorios naturales en el terreno con el fin de captar y almacenar el agua de lluvia. Su principal finalidad es garantizar el abastecimiento de agua en épocas secas, facilitar la recarga de los acuíferos subterráneos y apoyar las actividades de riego agrícola en comunidades rurales. Esta práctica no solo representa una solución adaptada a las condiciones ecológicas de la región, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental y fortalece las estrategias locales de adaptación frente al cambio climático, al integrar conocimientos tradicionales con enfoques de conservación (103).

### **2.3.10. Siembra y cosecha de agua**

Las prácticas de siembra y recolección de agua representan metodologías tradicionales destinadas a conservar, capturar y utilizar el agua de lluvia y la esorrentía. El proceso de plantación se refiere principalmente a la recarga de los acuíferos mediante la implementación de técnicas de infiltración, mientras que la recolección se refiere al almacenamiento de agua en embalses para su uso futuro. Estos enfoques estratégicos son fundamentales para abordar la escasez de agua, mejorar la seguridad alimentaria y reforzar la resiliencia contra el cambio climático en las comunidades que son particularmente vulnerables (104).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método y alcance de la investigación**

#### **3.1.1. Método de investigación**

La presente investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, caracterizado por la recopilación y el análisis de datos numéricos con el propósito de identificar relaciones causales y patrones de comportamiento. Este tipo de metodología se distingue por su rigurosidad en la obtención de resultados medibles y verificables, lo que permite una evaluación objetiva de los fenómenos estudiados. En este caso particular, el enfoque cuantitativo resulta fundamental para determinar con precisión el grado de influencia que ejerce la cobertura vegetal sobre la capacidad del suelo para retener agua, ofreciendo así evidencias empíricas que respaldan las conclusiones del estudio. Hernández et al. describen este método como un proceso empírico que utiliza técnicas estructuradas para comprobar hipótesis y generar conocimiento replicable (105).

### **3.2. Alcance de la investigación**

#### **3.2.1. Tipo de investigación**

La presente indagación se enmarca dentro de la tipología aplicada, en la medida en que procura aportar soluciones efectivas a una problemática de índole práctica: la captación eficiente del recurso hídrico en la qocha de Ccochaccasa. Su finalidad cardinal radica en la optimización del uso del sustrato edáfico mediante la implementación de cobertura vegetal, con miras a potenciar la capacidad de retención hídrica en un entorno ambiental determinado. Conforme a la categorización propuesta por Hernández et al., este tipo de estudio se orienta

hacia objetivos inmediatos y con vocación transformadora, ya que están diseñados para incidir directamente en la realidad, aportando conocimientos que permitan resolver necesidades puntuales y mejorar las condiciones existentes a través de intervenciones fundamentadas (105).

### 3.2.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación es de carácter explicativo, en tanto se orienta a la dilucidación de las causas subyacentes a los fenómenos observados, así como al establecimiento de nexos causales entre la cobertura fitológica y la aptitud del sustrato edáfico para la retención hídrica. Hernández et al. explican que los estudios explicativos profundizan en los motivos que generan los fenómenos, explorando las conexiones entre las variables (105).

### 3.3. Diseño de la investigación

El diseño es preexperimental, puesto que manipula la cobertura vegetal como variable independiente para medir su efecto en variables dependientes, como la infiltración y la retención de agua, sin garantizar una asignación aleatoria de los grupos. Hernández et al. describen este diseño como apropiado cuando no es posible controlar completamente las condiciones experimentales, pero se requiere observar los efectos de las variables manipuladas (105).

#### 3.3.1. Distribución y muestreo

Para garantizar la robustez del diseño experimental y atender a las recomendaciones realizadas, se trabaja con un esquema que incluye tres parcelas como mínimo en suelo con cobertura vegetal y dos en suelo sin cobertura vegetal. En cada parcela, se tomarán al menos cinco submuestras distribuidas de manera sistemática, permitiendo obtener una representación adecuada de las condiciones del suelo en cada tratamiento.

Adicionalmente, las submuestras se obtendrán a dos profundidades específicas:

- De 0 a 30 cm (superficie)
- De 30 a 60 cm (subsuperficie)

Esto permite evaluar las variaciones de las propiedades físico-químicas del suelo en función de la profundidad y el tratamiento.

El diagrama del diseño de investigación es el siguiente:

**Tabla 1.** *Diseño de investigación*

Grupo	Tratamiento	Cosecha de agua	Parcelas	Submuestras por parcela	Profundidades
-------	-------------	-----------------	----------	-------------------------	---------------

G1	Con cobertura vegetal	01	3	5	0-30 cm, 30 – 60 cm
G2	Sin cobertura vegetal	02	2	5	0-30 cm, 30 – 60 cm

En este diseño se incluyen dos grupos: uno con presencia de cobertura vegetal y otro sin cobertura vegetal. La variable independiente es la cobertura vegetal, y la variable dependiente es la cosecha de agua en la qocha. Los sujetos (parcelas de suelo) se asignan a los grupos de manera aleatoria. Al finalizar el periodo de tratamiento, se realiza la medición de propiedades físico-químicas del suelo en cada grupo.

Las determinaciones físico-químicas del suelo, tanto en zonas con cobertura vegetal como en zonas sin ella, de la qocha de Ccochaccasa, se modelan de la siguiente manera:

$$\gamma_i = X_i + \varepsilon_i$$

Donde:

$X_i$  = cobertura vegetal en el suelo

$y_i$  = propiedades físico-químicas del suelo (porosidad, densidad aparente, materia orgánica, infiltración, capacidad de retención de agua)

$\varepsilon_i$  = error de observación

### 3.4. Población y muestra

#### 3.4.1. Población

La población de este estudio está conformada por los 84.54 m<sup>2</sup> de suelo de la qocha de Ccochaccasa, un área delimitada y seleccionada por sus características específicas relacionadas con el problema de investigación (93). Esta extensión representa el total del espacio disponible para analizar la influencia de la cobertura vegetal en la cosecha de agua, proporcionando un marco integral para la evaluación de los procesos hidrológicos en la región.

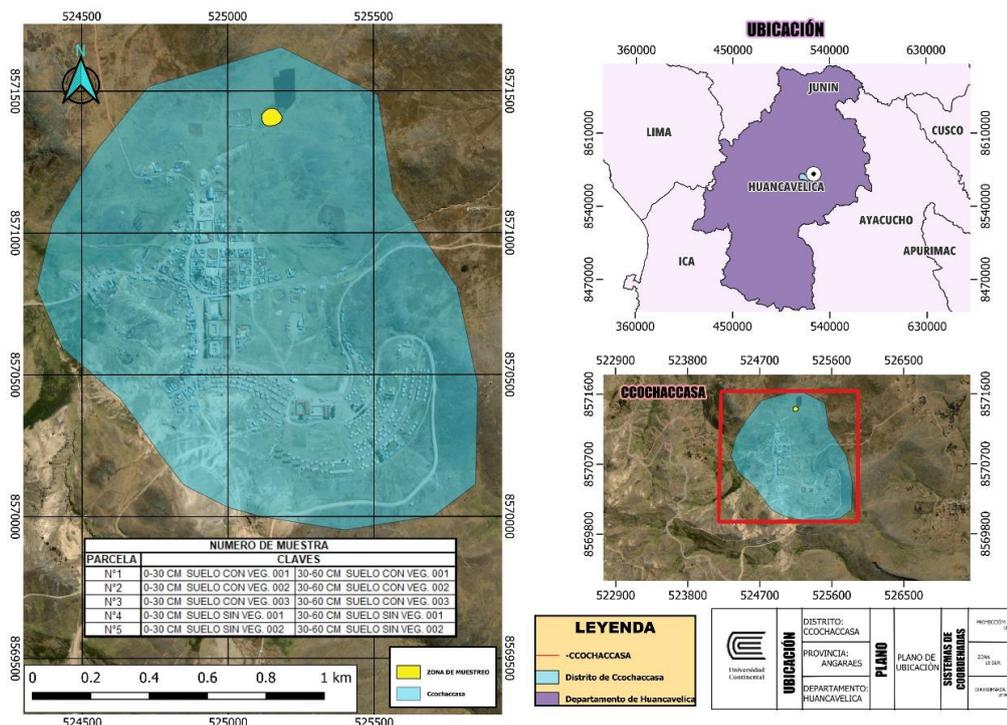


Figura 8. Mapa de ubicación

### 3.4.2. Muestra

Se ha determinado una muestra representativa de 20 m<sup>2</sup>, seleccionada mediante un muestreo por conveniencia, considerando factores como la accesibilidad, el estado del terreno y la viabilidad operativa del estudio. Esta estrategia facilita la selección de áreas que permiten un análisis detallado sin comprometer la representatividad del total de la población, asegurando que las secciones escogidas reflejen adecuadamente las características generales del terreno.

La delimitación de la muestra busca optimizar los recursos disponibles y garantizar la precisión de los datos recolectados, concentrando el análisis en un área manejable y significativa. La selección de esta muestra permitirá obtener resultados extrapolables a la totalidad de la qocha, proporcionando datos clave para contrastar las hipótesis planteadas y cumplir con los objetivos del estudio.

- **Características edáficas y vegetales**

Los suelos de la qocha de Ccochaccasa son típicos de las zonas altoandinas, presentan una textura generalmente franco-arenosa con un contenido moderado de materia orgánica, son frágiles y propensos a la erosión y compactación si no cuentan con una adecuada cobertura vegetal. La vegetación predominante incluye especies nativas adaptadas a las condiciones climáticas extremas, como gramíneas y arbustos de alta montaña, que juegan un papel fundamental en la estabilización del suelo y en la captación de agua (94).

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.5.1. Técnicas**

El procedimiento primordial empleado para la recolección de información en la presente investigación fue la observación sistemática, la cual se articuló con mediciones directas de los atributos fisicoquímicos del sustrato edáfico. Dicha observación posibilitó el registro ordenado y coherente de las características pertinentes a los fenómenos analizados, garantizando una documentación meticulosa del entorno de estudio. Paralelamente, las evaluaciones cuantitativas suministraron datos métricos precisos que robustecen la validez empírica de los hallazgos. La confluencia de ambos enfoques metodológicos consolidó una base sólida para el análisis subsiguiente y permitió una interpretación rigurosamente fundamentada de las dinámicas observadas (106).

#### **3.5.2. Instrumentos para recolección de datos**

Los instrumentos empleados para la recolección de datos son variados y se seleccionaron en función de su capacidad para capturar tanto información cualitativa como cuantitativa, asegurando un análisis integral del suelo. Estos instrumentos incluyen:

- ✓ Fichas de observación: diseñadas específicamente para documentar variables como porosidad, densidad aparente, materia orgánica, infiltración y capacidad de retención de agua. Este recurso es ideal para sistematizar y registrar información cualitativa y cuantitativa.
- ✓ Medidores de densidad: instrumentos que permiten calcular la densidad aparente del suelo, un indicador clave para evaluar la compactación y porosidad del terreno.
- ✓ Infiltrómetros: equipos especializados para medir la tasa de infiltración del agua en el suelo, lo cual es fundamental para analizar la capacidad del terreno de absorber agua tras la intervención.
- ✓ Analizadores de materia orgánica: herramientas que cuantifican el contenido de materia orgánica, un factor esencial en la mejora de la retención de agua del suelo.

El uso de estos instrumentos asegura la recolección de datos precisos, válidos y confiables, lo que facilita un análisis integral del fenómeno investigado. La combinación de técnicas de observación con mediciones directas permite una aproximación detallada a las interacciones entre las variables involucradas, potenciando la calidad de los resultados.

### **3.6. Procedimiento**

El procedimiento se organiza en función de los objetivos específicos de la investigación, asegurando que cada actividad esté alineada con las metas propuestas. A continuación, se describen los procedimientos detallados.

#### **3.6.1. Procedimiento para la recolección de muestras**

La obtención de muestras edáficas se efectuó en cada unidad parcelaria experimental conforme a las siguientes fases operativas:

- ✓ Selección de parcelas: se establecen tres parcelas en suelo con cobertura vegetal y dos en suelo sin cobertura vegetal.
  
- ✓ Submuestras: en cada parcela se tomaron cinco submuestras representativas distribuidas sistemáticamente.
  
- ✓ Profundidades: las muestras se recolectaron a dos profundidades específicas:
  - 0 a 30 cm
  - 30 a 60 cm
  
- ✓ Herramientas y conservación: se utilizó un barreno o cilindro de extracción para obtener las muestras. Estas se almacenarán en bolsas herméticas, etiquetadas con la información de la parcela, profundidad y tratamiento. Las muestras se conservarán en condiciones adecuadas para evitar alteraciones hasta su análisis en laboratorio.

#### **3.6.2. Procedimiento para la medición del tiempo de infiltración**

El tiempo de infiltración del agua se medirá utilizando el método de doble anillo, conforme a las siguientes etapas:

- ✓ Preparación:
  - Se instalaron los anillos concéntricos (uno externo y otro interno) en cada parcela, tanto con cobertura como sin cobertura vegetal.
  - Los anillos se enterraron parcialmente (5-10 cm) en el suelo para evitar fugas laterales.
  
- ✓ Llenado de agua:
  - Se llenaron ambos anillos con agua hasta una altura inicial estándar (por ejemplo, 5 cm).
  
- ✓ Medición del tiempo:
  - Se registró el tiempo que tarda el agua en infiltrarse completamente en el anillo interno.

Este procedimiento se repitió en las cinco submuestras de cada parcela, promediando los resultados.

### **3.6.3. Procedimiento para la medición de escorrentía**

La escorrentía se evaluó mediante el uso de parcelas delimitadas en pendiente siguiendo estos pasos:

✓ Preparación de parcelas:

Se instalaron bordes de contención para evitar pérdidas laterales de agua.

Cada parcela se conectará a un colector de escorrentía que acumula el agua superficial generada durante eventos de lluvia simulada o natural.

✓ Lluvia simulada:

Considerando la posible falta de lluvias naturales durante el periodo de medición, se contó con un simulador de lluvia para generar un evento controlado.

✓ Recolección de agua:

El agua acumulada en el colector fue recolectada y medida en volumen (litros) para cada parcela.

✓ Análisis del volumen:

Se analizó el volumen recolectado como indicador de la escorrentía, diferenciando entre las parcelas con y sin cobertura vegetal.

### **3.6.4. Procedimiento por objetivos**

- **Objetivo específico 1**

Determinar la influencia de la cobertura vegetal en las propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad aparente y textura) en la qocha de Ccochaccasa.

La porosidad del suelo se determina mediante el análisis de las propiedades físicas del suelo recolectado en las parcelas experimentales. Este procedimiento permite evaluar cómo la cobertura vegetal afecta la estructura y capacidad del suelo para retener agua y permitir el flujo de aire.

- **Procedimiento para determinar la porosidad del suelo**

✓ Recolección de muestras de suelo:

Las muestras se recolectaron en las parcelas experimentales, siguiendo el procedimiento establecido (cinco submuestras por parcela a profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm).

Las muestras se transportaron al laboratorio en condiciones controladas para evitar alteraciones.

✓ Determinación de la densidad aparente ( $\rho_b$ ):

Se extrajeron cilindros de suelo intacto de un volumen conocido ( $V$ ) usando cilindros de acero inoxidable o PVC con un volumen fijo (por ejemplo, 100 cm<sup>3</sup>).

El peso del suelo seco ( $W_s$ ) se obtuvo tras secar las muestras en una estufa a 105 °C durante 24 horas.

La densidad aparente se calculará con la fórmula:

$$\rho_b = \frac{W_s}{V}$$

Donde:

$\rho_b$ : Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

$W_s$ : Peso del suelo seco (g)

$V$ : Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)

✓ Determinación de la densidad real ( $\rho_s$ ):

La densidad real del suelo se determina mediante el uso de un picnómetro, empleando una muestra previamente secada y finamente molida para garantizar su homogeneidad. El procedimiento consiste en medir el volumen del componente sólido del suelo a partir del desplazamiento de agua, principio que permite calcular con precisión el volumen ocupado exclusivamente por la fracción mineral. Esta medición es clave para estimar propiedades físicas del suelo, como la porosidad total, y para comprender la relación entre la masa de los sólidos y su volumen real, excluyendo los espacios vacíos presentes en la muestra.

La densidad real se calcula con la fórmula:

$$\rho_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Donde:

$\rho_s$ : Densidad real (g/cm<sup>3</sup>)

$W_s$ : Peso del suelo seco (g)

$V_s$ : Volumen de las partículas sólidas del suelo (cm<sup>3</sup>)

✓ Cálculo de la porosidad (P):

La porosidad total del suelo se calcula a partir de la relación entre la densidad aparente y la densidad real, lo que permite estimar el porcentaje de volumen ocupado por espacios vacíos en el suelo. Este parámetro se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$P = \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \right) \times 100$$

Donde:

$P$ : Porosidad del suelo (%)

$\rho_b$ : Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_s$ : Densidad real (g/cm<sup>3</sup>)

✓ Análisis estadístico:

Los datos de porosidad obtenidos en las parcelas con y sin cobertura vegetal se sometieron a análisis estadístico para determinar la influencia significativa de la cobertura vegetal.

• **Procedimiento para determinar la densidad aparente:**

✓ Recolección de muestras de suelo:

Se seleccionaron cilindros metálicos o de PVC con un volumen conocido (V), generalmente de 100 cm<sup>3</sup> o 250 cm<sup>3</sup>, para extraer muestras de suelo intacto.

Las muestras se recolectaron en las parcelas con y sin cobertura vegetal, siguiendo el procedimiento de submuestreo (cinco submuestras por parcela a profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm).

Las muestras se etiquetaron y transportaron cuidadosamente al laboratorio.

✓ Secado de las muestras:

Las muestras recolectadas fueron introducidas en un horno de secado a una temperatura constante de 105 °C durante un período de 24 horas, con el objetivo de eliminar completamente la humedad residual. Este procedimiento permite obtener un peso seco estable, lo cual es fundamental para garantizar la precisión en las mediciones posteriores. Al eliminar el contenido de agua, se evita que la variabilidad en la humedad interfiera en la determinación de otras propiedades físicas o químicas del suelo analizado.

✓ **Peso del suelo seco:**

Una vez que las muestras estuvieron completamente secas, fueron sometidas a pesaje mediante una balanza de alta precisión con el propósito de determinar la masa del suelo desecado ( $W_s$ ), expresada en gramos.

✓ **Cálculo del volumen del suelo:**

El volumen del suelo corresponde al volumen del cilindro utilizado para recolectar la muestra ( $V$ ), que debe conocerse con precisión (por ejemplo, 100 cm<sup>3</sup> o 250 cm<sup>3</sup>).

✓ **Fórmula para calcular la densidad aparente ( $\rho_b$ ):**

La densidad aparente del suelo se calcula con la siguiente fórmula

$$\rho_b = \frac{W_s}{V}$$

Donde:

$\rho_b$ : Densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>)

$W_s$ : Peso del suelo seco (g)

$V$ : Volumen del cilindro utilizado (cm<sup>3</sup>)

✓ **Análisis comparativo:**

Los valores de densidad aparente obtenidos se analizarán estadísticamente para comparar las parcelas con cobertura vegetal y las parcelas sin cobertura vegetal.

• **Procedimiento para determinar la textura del suelo:**

✓ **Recolección de muestras de suelo:**

Las muestras se recolectaron en las parcelas experimentales siguiendo un protocolo estandarizado (cinco submuestras por parcela a profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm).

Las muestras fueron almacenadas y transportadas en condiciones controladas para evitar alteraciones en la distribución de partículas.

✓ **Preparación de muestras**

Las muestras se secaron al aire y se tamizarán para eliminar residuos orgánicos y fragmentos gruesos.

Se desagregaron mediante un tratamiento químico o mecánico para dispersar las partículas individuales de suelo.

✓ Determinación de la textura del suelo

▪ Método del hidrómetro (Bouyoucos):

- Se dispersaron las partículas del suelo en una solución con un agente dispersante (por ejemplo, hexametáfosfato de sodio).
- Se agitaron las muestras y se medirán las concentraciones de partículas en suspensión en diferentes tiempos mediante un hidrómetro.
- La proporción relativa de las fracciones de arena, limo y arcilla fue determinada a partir de la velocidad de sedimentación correspondiente a cada componente, conforme a los principios establecidos por la Ley de Stokes.

Para el cálculo del contenido de arcilla, limo y arena, se empleó la metodología establecida en protocolos oficiales de análisis textural de suelos, como los descritos en los manuales de la USDA y FAO. La clasificación del suelo se realizará con base en el triángulo textural del USDA (United States Department of Agriculture).

▪ Método de tamizado (opcional para fracción gruesa):

- Se utilizarán tamices de diferentes diámetros de malla para separar la fracción arenosa del suelo.
- Se pesarán las fracciones obtenidas para determinar la distribución granulométrica.

✓ Clasificación de la textura del suelo

Los valores resultantes de las fracciones granulométricas de arena, limo y arcilla fueron empleados para la clasificación textural del sustrato edáfico, conforme al triángulo textural establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

✓ Determinación de tasa de infiltración

La tasa de infiltración del recurso hídrico en el sustrato edáfico fue determinada mediante la utilización de un infiltrómetro de doble anillo; paralelamente, se documentó el tiempo requerido para la infiltración del agua en distintos intervalos temporales, a fin de caracterizar con mayor precisión la dinámica hidrológica del perfil.

La tasa de infiltración se calculará con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{V}{A \times t}$$

Donde:

- $I$  = Tasa de infiltración (mm/h)
- $V$  = Volumen de agua infiltrado (mL o  $\text{cm}^3$ )
- $A$  = Área de infiltración del anillo ( $\text{cm}^2$ )
- $t$  = Tiempo transcurrido (horas)

✓ Análisis estadístico

Los datos de textura obtenidos en parcelas con y sin cobertura vegetal se someterán a análisis estadístico para determinar si existen diferencias significativas en la distribución de partículas del suelo debido a la presencia de vegetación.

• **Objetivo específico 2**

Determinar la relación entre la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo en la Qocha de Ccochaccasa.

✓ Recolección de muestras:

Se utilizaron las mismas muestras recolectadas para los análisis de densidad aparente y porosidad. Las muestras se tomaron a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) en parcelas con y sin cobertura vegetal.

✓ Preparación de las muestras:

Las muestras recolectadas fueron sometidas a un proceso de secado al aire con el fin de estabilizar su contenido de humedad antes del análisis. Una vez secas, se tamizaron utilizando un cedazo con apertura de 2 mm, lo que permitió separar fragmentos grandes, como partículas gruesas y restos de raíces. Este procedimiento asegura la homogeneidad del material analizado y garantiza que las mediciones posteriores se realicen sobre una fracción representativa y comparable entre muestras.

✓ Método de análisis:

El análisis del contenido de materia orgánica se realizó empleando el método de oxidación húmeda propuesto por Walkley-Black, el cual permite estimar de manera indirecta la cantidad de materia orgánica presente en el suelo. Esta técnica se basa en la cuantificación del carbono orgánico mediante una reacción de oxidación controlada, cuyos resultados se convierten

posteriormente en contenido de materia orgánica aplicando un factor de corrección establecido. Este procedimiento es ampliamente utilizado por su eficacia y simplicidad, y proporciona una estimación confiable del componente orgánico en diferentes tipos de suelos.

✓ Etapas del análisis:

▪ Oxidación del carbono orgánico:

A una muestra de suelo (aproximadamente 1 g) se le añadió una mezcla de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) y ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado.

Se agitó y se dejó reaccionar durante 30 minutos.

▪ Titulación:

Se agregó sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) y se tituló para determinar el carbono no oxidado.

✓ Cálculo del carbono orgánico (C):

$$C = \frac{(V_b - V_s) \cdot M \cdot 0.003}{P} \cdot 100$$

Donde:

$V_b$ : Volumen del blanco (ml)

$V_s$ : Volumen de la muestra (ml)

$M$ : Molaridad del dicromato ( $K_2Cr_2O_7$ )

$P$ : Peso de la muestra de suelo (g)

✓ Análisis estadístico:

Los datos de porosidad obtenidos en las parcelas con y sin cobertura vegetal se someterán a análisis estadístico para determinar la influencia significativa de la cobertura vegetal.

### • **Objetivo específico 3**

Influencia de la cobertura vegetal en la infiltración y la capacidad retentiva de agua del suelo en la Qocha de Ccochaccasa.

### • **Procedimiento para hallar la infiltración:**

✓ Selección del método:

La infiltración se midió utilizando el método de infiltración de doble anillo, ampliamente utilizado por su precisión y representatividad.

✓ Preparación de los anillos:

Se utilizaron dos anillos metálicos concéntricos de diferentes diámetros:

Diámetro del anillo interno: 30 cm.

Diámetro del anillo externo: 60 cm.

Ambos anillos se insertaron en el suelo hasta una profundidad de 5-10 cm, asegurando que estén nivelados.

• **Procedimiento para la medición:**

✓ Llenado inicial:

Se llenaron ambos anillos con agua hasta una altura inicial de 5 cm. El anillo externo asegura que el flujo de agua hacia el anillo interno sea únicamente vertical.

✓ Medición del tiempo:

Se registraron el tiempo que tarda el nivel del agua en el anillo interno en reducirse una cantidad fija (por ejemplo, 1 cm).

Este proceso se repitió varias veces hasta que se alcance una tasa de infiltración constante.

✓ Tasa de infiltración:

La tasa de infiltración inicial ( $I_i$ ) y la tasa de infiltración constante ( $I_c$ ) se registró en mm/h.

✓ Cálculo de la tasa de infiltración ( $I$ ):

La tasa de infiltración promedio se calcula con la fórmula

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

Donde:

$I$ : Tasa de infiltración (mm/h)

$\Delta H$ : Cambio en la altura del agua en el anillo interno (mm)

$\Delta t$ : Tiempo transcurrido (horas)

✓ Repetición en parcelas:

Este procedimiento se realizó en cinco submuestras por parcela, tanto en parcelas con cobertura vegetal como en parcelas sin cobertura vegetal, para cada profundidad de análisis (0-30 cm y 30-60 cm).

✓ Análisis comparativo:

Los valores de infiltración inicial y constante se analizaron estadísticamente para determinar las diferencias significativas entre las parcelas con y sin cobertura vegetal.

Se realizó una medición de la velocidad de infiltración del agua en el suelo sin cobertura vegetal, registrando los datos cada 5 minutos durante un periodo total de 120 minutos. Los valores obtenidos inicialmente estaban expresados en cm/h, por lo que fue necesario convertirlos a mm/min para facilitar su análisis y comparación. Esta conversión se hizo multiplicando cada valor en cm/h por 10 (para pasar a mm/h) y dividiéndolo entre 60 (para pasarlo a mm/min). Posteriormente, con estas tasas de infiltración ya convertidas, se calculó la profundidad acumulada sumando progresivamente los valores de infiltración en cada intervalo de tiempo. Finalmente, se organizó la información en una tabla que muestra tanto la tasa de infiltración como la profundidad acumulada, y se comparó con otro conjunto de datos correspondientes a un escenario con cobertura vegetal, lo que permitió visualizar claramente la diferencia en el comportamiento del suelo frente a la infiltración en ambas condiciones.

• **Procedimiento para hallar la capacidad retentiva:**

La aptitud del sustrato edáfico para conservar la humedad representa un componente fundamental en la disponibilidad hídrica para las especies vegetales, en tanto determina el volumen de agua que puede ser retenido en el perfil y permanecer en estado accesible para su captación radicular. Esta propiedad depende en gran medida de ciertos atributos físicos del suelo, entre los que se destacan la porosidad, la cantidad de materia orgánica presente y la densidad aparente. Cada uno de estos factores incide en la forma en que el agua se almacena y circula, influyendo tanto en la retención como en la movilidad del recurso hídrico dentro del sistema suelo-planta.

✓ Recolección de muestras de suelo:

Se tomaron muestras de suelo intacto (no alterado) utilizando cilindros metálicos o de PVC de volumen conocido (100 cm<sup>3</sup> o 250 cm<sup>3</sup>).

Las muestras se recolectarán en parcelas con y sin cobertura vegetal, a dos profundidades: 0-30 cm y 30-60 cm.

✓ Preparación de las muestras:

Las muestras fueron saturadas completamente en laboratorio colocándolas en una bandeja con agua durante 24 horas, permitiendo que el agua suba por capilaridad sin perturbar la estructura del suelo.

✓ Determinación del agua retenida:

Una vez saturadas, las muestras se sometieron a un proceso controlado para medir el contenido de agua retenida en diferentes condiciones:

Capacidad de campo: Las muestras saturadas se dejaron drenar bajo gravedad hasta que dejen de perder agua (aproximadamente 48 horas). Esto representa el agua que el suelo puede retener sin sufrir percolación excesiva.

Punto de marchitez permanente: Las muestras se sometieron a una presión controlada en un extractor de membrana de presión (por ejemplo, a -1,500 kPa). Esto determina el contenido de agua que el suelo retiene, pero que ya no está disponible para las plantas.

✓ Cálculo del contenido de agua retenida ( $\theta$ ):

El contenido de agua en el suelo, en base gravimétrica ( $\theta_g$ ), se calcula con la fórmula:

$$\theta_g = \frac{W_h - W_s}{W_s}$$

Donde:

$\theta_g$ : Contenido de agua gravimétrico (g de agua / g de suelo seco).

$W_h$ : Peso del suelo húmedo (g).

$W_s$ : Peso del suelo seco (g).

En base volumétrica ( $\theta_v$ ):

$$\theta_v = \theta_g \cdot \rho_b$$

Donde:

$\theta_v$ : Contenido de agua volumétrico (cm<sup>3</sup> de agua / cm<sup>3</sup> de suelo).

$\rho_b$ : Densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>).

✓ Cálculo de la capacidad retentiva de agua:

La capacidad de retención de agua útil (CRAU) se determina como la diferencia entre el contenido volumétrico de agua a capacidad de campo ( $\theta_{CC}$ ) y el contenido de agua correspondiente al punto de marchitez permanente ( $\theta_{PMP}$ ), expresado matemáticamente como:

$$CRAU = \theta_{CC} - \theta_{PMP}$$

Donde:

$CRAU$ : Capacidad de retención de agua útil ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  o  $\text{mm}/\text{m}$ ).

$\theta_{CC}$ : Contenido de agua a capacidad de campo.

$\theta_{PMP}$ : Contenido de agua al punto de marchitez permanente.

✓ Análisis comparativo:

Los valores de capacidad retentiva de agua fueron comparados estadísticamente entre parcelas con y sin cobertura vegetal para identificar diferencias significativas.

### **3.7. Técnicas de análisis de datos**

El análisis de datos se realizó en varias etapas utilizando herramientas estadísticas y software especializado, como Excel y SPSS, para garantizar la rigurosidad y la sistematización del proceso.

#### **3.7.1. Limpieza y organización de datos**

Inicialmente, se depuraron los datos para eliminar valores atípicos o inconsistencias, asegurando que la base de datos sea adecuada para el análisis estadístico.

#### **3.7.2. Pruebas de normalidad**

Con el propósito de verificar la adecuación de los datos analizados a una distribución normal, se emplearon pruebas de normalidad seleccionadas en función del tamaño muestral. Para series reducidas, con menos de 50 observaciones, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk; en tanto que para conjuntos de datos de mayor envergadura se recurrió a la prueba de Kolmogórov-Smirnov, a fin de garantizar la validez estadística de los procedimientos inferenciales subsiguientes. Esta etapa resulta fundamental dentro del análisis estadístico, ya que permite establecer con precisión si corresponde utilizar procedimientos paramétricos o, en su defecto, pruebas no paramétricas. La selección idónea del tipo de prueba estadística salvaguarda la validez de los resultados obtenidos y garantiza que las inferencias derivadas del estudio se asienten sobre supuestos estadísticos debidamente constatados, fortaleciendo así la robustez metodológica del análisis efectuado.

#### **3.7.3. Análisis descriptivo**

Se estimaron parámetros de tendencia central, tales como la media aritmética y la mediana, así como indicadores de dispersión, entre los que se incluyen la desviación típica y el rango, con el objetivo de efectuar una caracterización estadística integral de los datos. Estas herramientas analíticas posibilitaron una descripción del comportamiento general de las variables examinadas y ofrecieron un acercamiento preliminar a su distribución. Adicionalmente, se emplearon recursos gráficos —como histogramas y diagramas de barras— que facilitaron la interpretación visual de los resultados y contribuyeron a la identificación de patrones significativos en la información recolectada.

#### **3.7.4. Contraste de hipótesis:**

Según la naturaleza de los datos y las variables, se utilizaron pruebas específicas:

- Pruebas paramétricas: si los datos son normales, se aplicó la prueba t de Student para comparar medias entre dos grupos.
- Pruebas no paramétricas: en caso de datos no normales, se empleó la prueba Mann-Whitney, dependiendo del número de grupos comparados.

#### **3.7.5. Interpretación de resultados**

Los resultados obtenidos fueron interpretados en correspondencia con los objetivos formulados y las hipótesis de investigación, lo que permitió la elaboración de conclusiones sustentadas en evidencia estadística sólida y metodológicamente verificada.

Estas técnicas aseguran un análisis robusto, alineado con las mejores prácticas en investigaciones cuantitativas. Hernández et al. destacan que el uso de herramientas estadísticas adecuadas incrementa la confiabilidad de los hallazgos y facilita la generación de conocimiento aplicable (93).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados descriptivos

**Tabla 2. Resultados de laboratorio**

Dimensiones	Sin cobertura				Con cobertura					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
Porosidad del suelo	55.50	53.64	57.02	53.44	57.83	50.47	55.15	46.53	56.60	46.00
Densidad aparente del suelo (DA)	0.99	1.09	0.96	1.11	0.94	1.18	0.98	1.33	0.97	1.33
Textura del suelo (Arena/Limo/Arcilla)	58	52	48	52	46	58	66	58	48	56
	30	34	40	32	36	24	28	26	38	28
	12	14	12	16	18	18	6	16	14	16
Contenido de materia orgánica (MO)	7.12	0.73	7.18	0.80	6.52	0.80	6.78	0.93	8.31	1.46
Capacidad retentiva de agua (CC)	35.18	32.72	36.03	28.44	38.66	23.48	33.67	21.30	37.79	25.41

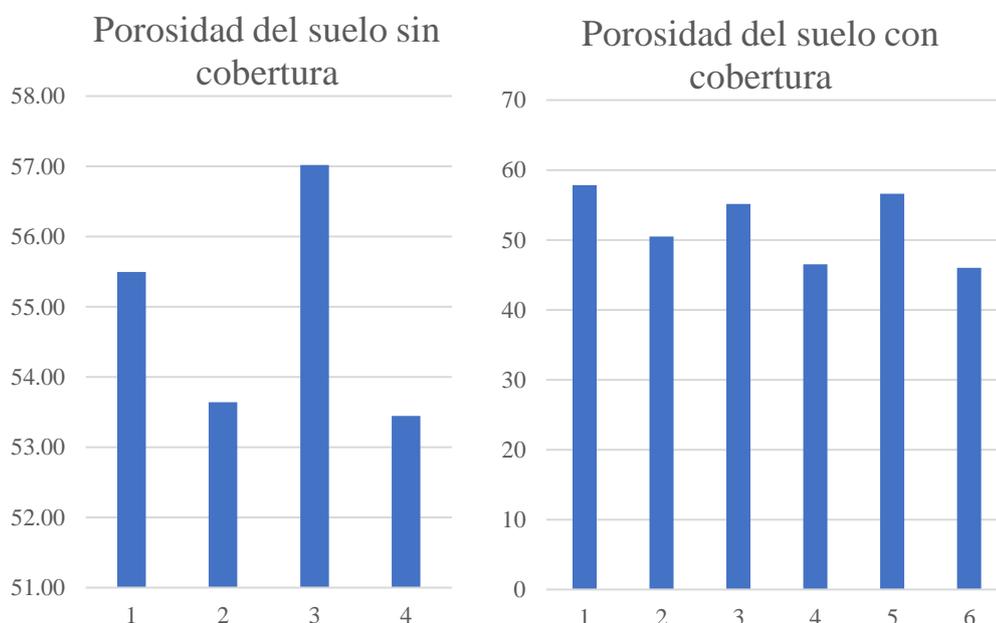
#### Interpretación

La tabla muestra los valores obtenidos en diferentes profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) para las dimensiones fisicoquímicas del suelo en cinco parcelas evaluadas en Ccochaccasa, Huancavelica: dos sin cobertura vegetal y tres con cobertura vegetal. Se observa que la

porosidad del suelo en parcelas con vegetación varía entre 46,00 % y 57,83 %, mientras que en las parcelas sin vegetación fluctúa entre 50,47 % y 57,02 %. Las densidades aparentes son mayores en los suelos sin vegetación, alcanzando hasta 1.18 g/cm<sup>3</sup>, lo que indica suelos más compactos y con menor capacidad de retención de agua. La textura del suelo en ambas condiciones se mantiene en su mayoría como franco arenoso, aunque se presentan ligeras variaciones en los porcentajes de arena, limo y arcilla. En cuanto al contenido de materia orgánica, los suelos con vegetación presentan valores más altos tanto en superficie como en profundidad, destacando un valor máximo de 8.31 %, mientras que en suelos sin vegetación los valores en profundidad descienden drásticamente hasta 0.73 %. Finalmente, la capacidad retentiva de agua (CC) fue consistentemente mayor en suelos con vegetación, especialmente en los primeros 30 cm de profundidad, con un máximo de 38.66 %, frente a valores más bajos en suelos sin vegetación en la misma capa.

**Tabla 3. Porosidad del suelo**

Dimensión	Sin cobertura				Con cobertura					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
Porosidad del suelo	55.50	53.64	57.02	53.44	57.83	50.47	55.15	46.53	56.60	46.00



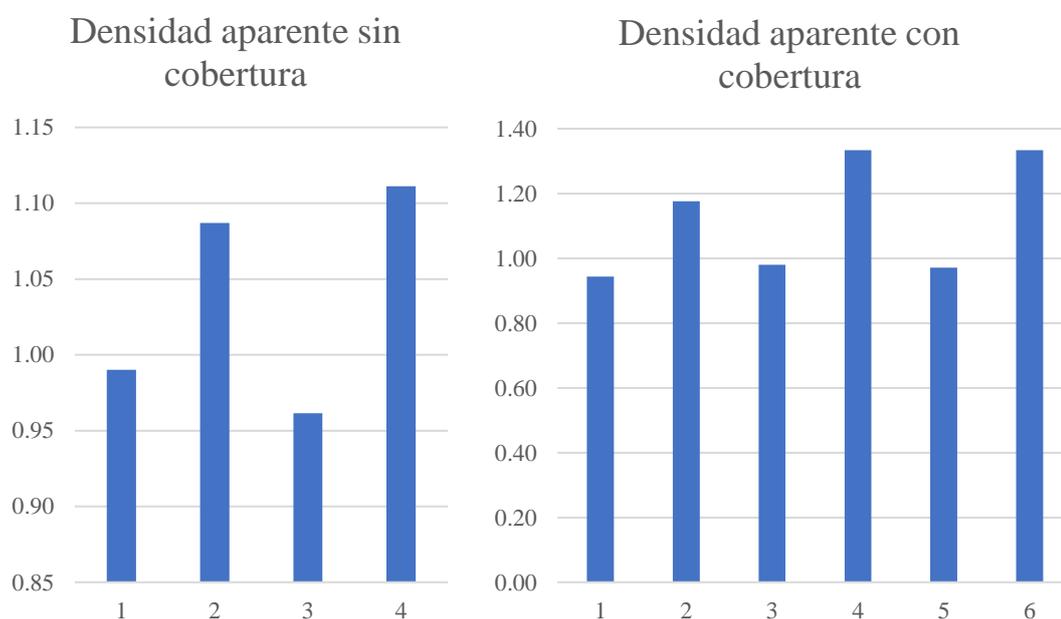
**Figura 9. Comparación de la porosidad con y sin cobertura**

### Interpretación

La tabla y figura muestran la distribución de frecuencia y porcentaje de los valores de porosidad del suelo en las parcelas evaluadas en la zona de estudio en Ccochaccasa, Huancavelica. De acuerdo con los datos obtenidos en una muestra representativa de 20 m<sup>2</sup>, se registraron 10 mediciones de porosidad con valores que oscilan entre 46,00 % y 57,83 %. La porosidad más baja fue de 46,00 % y la más alta de 57,83 %, observándose una tendencia creciente en los valores. Este rango sugiere una variabilidad moderada en la porosidad del suelo, la cual puede estar influenciada por la presencia o ausencia de cobertura vegetal en las parcelas analizadas, siendo un factor relevante al momento de evaluar la capacidad del suelo para infiltrar y retener agua en la cosecha de agua de la qocha.

**Tabla 4. Densidad aparente**

	Sin cobertura				Con cobertura					
Dimensión	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
Densidad aparente del suelo (DA)	0.99	1.09	0.96	1.11	0.94	1.18	0.98	1.33	0.97	1.33



**Figura 10. Comparación de la densidad con y sin cobertura**

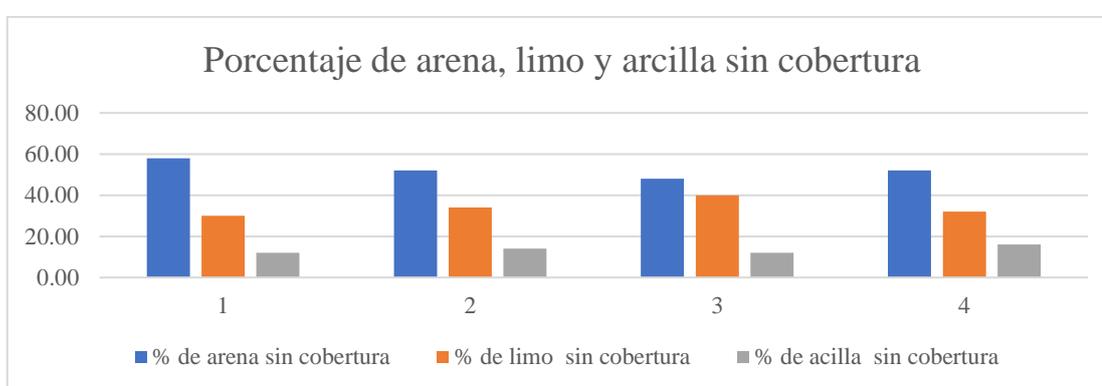
### Interpretación

La tabla y figura presentan la distribución de frecuencia y porcentaje de los valores de densidad aparente del suelo en las parcelas analizadas en la zona de estudio de Ccochaccasa, Huancavelica. Los valores varían entre 0,94 g/cm<sup>3</sup> y 1,33 g/cm<sup>3</sup>. El valor más bajo indica un suelo más suelto y poroso, mientras que los valores más altos reflejan una mayor compactación.

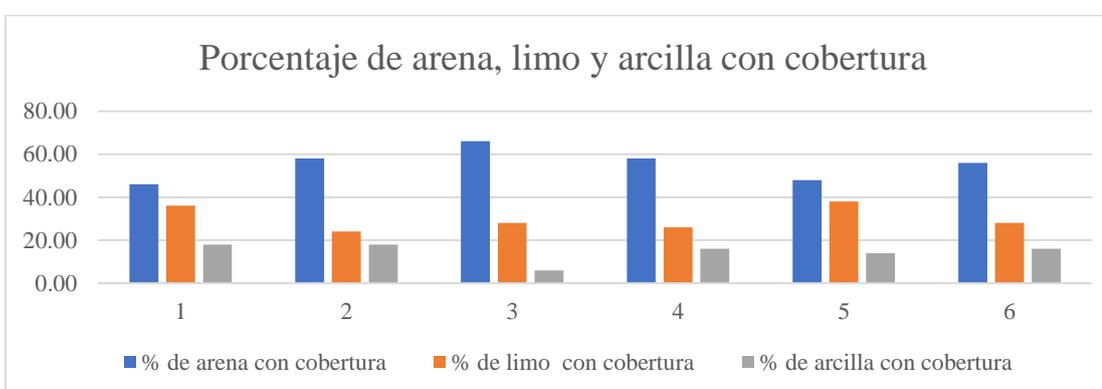
Esta variabilidad sugiere que la densidad aparente está influenciada por la presencia o ausencia de cobertura vegetal, así como por la profundidad del muestreo. En general, los suelos con menor densidad aparente podrían ofrecer mejores condiciones para la infiltración y retención de agua, elementos clave para la eficiencia en la cosecha de agua de la qocha.

**Tabla 5. Porcentaje de arena en textura del suelo**

		Sin cobertura				Con cobertura					
Dimensiones		1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
Textura del suelo	Arena	58	52	48	52	46	58	66	58	48	56
	Limo	30	34	40	32	36	24	28	26	38	28
	Arcilla	12	14	12	16	18	18	6	16	14	16



**Figura 11. Porcentaje de arena, limo y arcilla sin cobertura**



**Figura 12. Porcentaje de arena, limo y arcilla con cobertura**

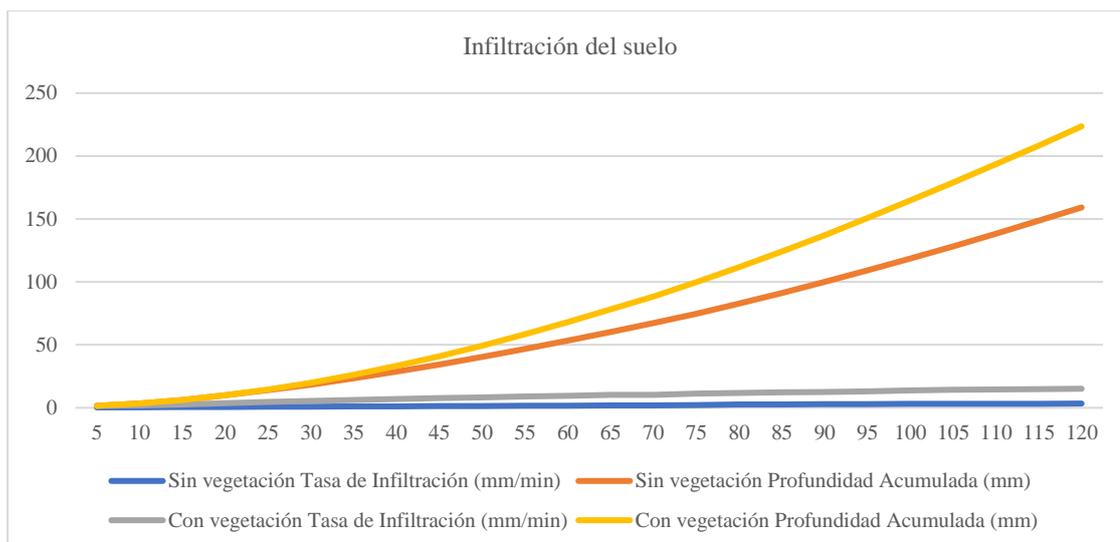
### Interpretación

La tabla y figuras presentan la distribución de frecuencia y porcentaje de los componentes texturales del suelo (arena, limo y arcilla) en las parcelas evaluadas en Ccochaccasa, Huancavelica. En cuanto al porcentaje de arena, los valores oscilan entre 46,00 % y 66,00 %, siendo el valor más frecuente 58,00 % (30,0%), lo que indica una marcada tendencia hacia texturas arenosas. Para el limo, los porcentajes varían de 24,00 % a 40,00 %, con mayor concentración entre 28,00 % y 38,00 %, lo que representa el 60,0 % del total. Por su parte, el contenido de arcilla fluctúa entre 6,00 % y 18,00 %, concentrándose principalmente entre 12,00

% y 16,00 %, que suman el 70,0 % de las muestras. Esta distribución sugiere que la textura dominante en los suelos evaluados es franco arenoso, característica que influye directamente en su capacidad de infiltración y retención de agua. La alta proporción de arena y los bajos niveles de arcilla podrían limitar la capacidad del suelo para retener humedad, aunque esta condición puede verse mejorada por la presencia de cobertura vegetal y contenido de materia orgánica, factores relevantes en el contexto de la cosecha de agua de la qocha.

**Tabla 6. Infiltración del suelo**

Tiempo (min)	Sin cobertura		Con cobertura	
	Tasa de Infiltración (mm/min)	Profundidad Acumulada (mm)	Tasa de Infiltración (mm/min)	Profundidad Acumulada (mm)
5	0.317	1.583	1.583	1.583
10	0.383	3.5	1.917	3.5
15	0.55	6.25	2.75	6.25
20	0.75	10	3.75	10
25	0.8	14	4.583	14.583
30	0.9	18.5	5.417	20
35	1.033	23.417	6.25	26.25
40	1.133	28.75	7	33.25
45	1.3	34.417	7.75	41
50	1.433	40.417	8.333	49.333
55	1.567	46.75	9.083	58.417
60	1.767	53.417	9.583	68
65	1.833	60.25	10.167	78.167
70	1.9	67.25	10.333	88.5
75	2.1	74.75	11.333	99.833
80	2.567	82.833	11.833	111.667
85	2.7	91.25	12.333	124.083
90	2.833	100	12.667	137.083
95	2.967	109.083	13.083	150.667
100	3.1	118.5	13.75	164.75
105	3.167	128.25	14.25	179
110	3.267	138.333	14.583	193.583
115	3.3	148.667	14.833	208.417
120	3.4	159.167	15.167	223.583



**Figura 13. Infiltración del suelo**

### Interpretación

La tabla muestra los resultados del ensayo de infiltración del suelo en parcelas con y sin cobertura vegetal en la zona de estudio de Ccochaccasa, Huancavelica, evaluado durante 120 minutos. Se observa que la tasa de infiltración es significativamente mayor en los suelos con vegetación a lo largo de todo el ensayo. Por ejemplo, al inicio (minuto 5), ambas condiciones presentan la misma profundidad acumulada (1.583 mm), pero desde los 10 minutos en adelante la infiltración en suelos con vegetación supera constantemente a los suelos sin vegetación. Al finalizar los 120 minutos, la tasa de infiltración alcanza los 15.167 mm/min con vegetación, mientras que sin vegetación se mantiene en 3.4 mm/min. De igual modo, la profundidad acumulada al minuto 120 fue de 223.583 mm en suelos con vegetación, frente a 159.167 mm en suelos sin vegetación. Estos resultados evidencian que la cobertura vegetal mejora considerablemente la capacidad de infiltración del suelo, posiblemente debido a una mayor porosidad, menor compactación y mayor contenido de materia orgánica. Esta condición favorece la recarga hídrica del subsuelo, aspecto esencial para optimizar el funcionamiento de la qocha como sistema de cosecha de agua.

**Tabla 7. Contenido de materia orgánica**

Dimensiones	Sin Cobertura				Con cobertura					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
Contenido de materia orgánica (MO)	7.12	0.73	7.18	0.80	6.52	0.80	6.78	0.93	8.31	1.46

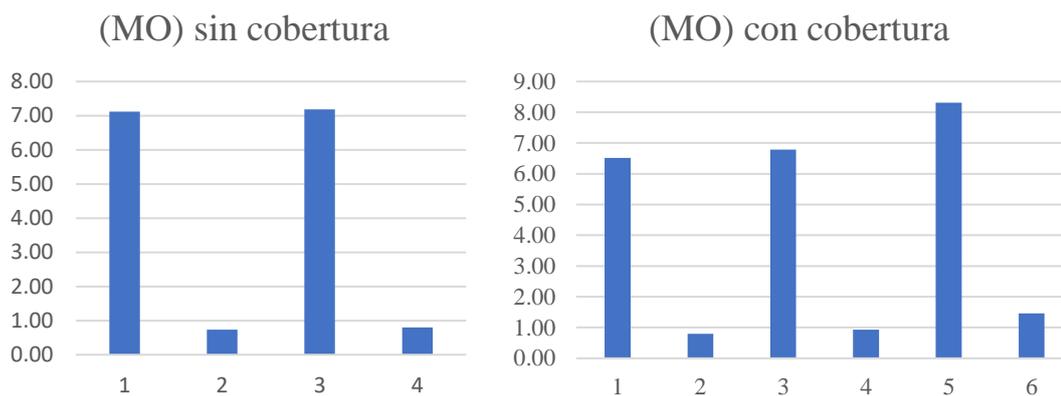


Figura 14. Comparación del contenido de materia orgánica con y sin cobertura

Tabla 8. Capacidad retentiva del agua

Dimensiones	Sin vegetación				Con vegetación					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
Capacidad retentiva de agua (CC)	35.18	32.72	36.03	28.44	38.66	23.48	33.67	21.30	37.79	25.41

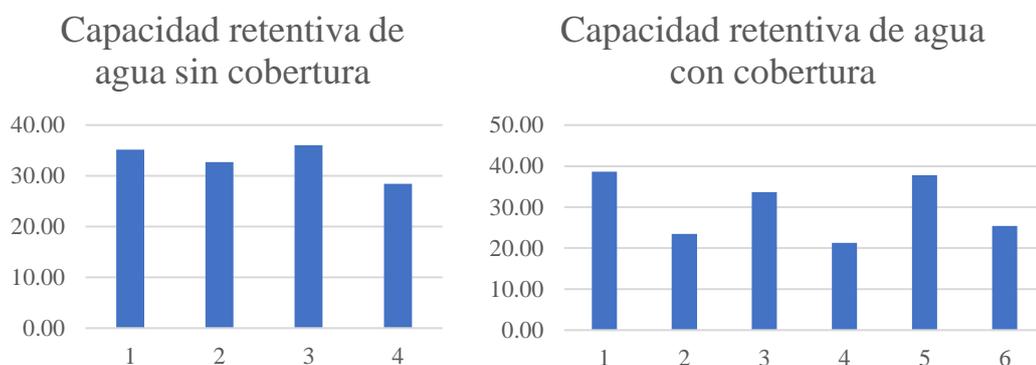


Figura 15. Comparación de la capacidad retentiva con y sin cobertura

### Interpretación

La tabla y figura ilustran la distribución de la frecuencia y el porcentaje de la capacidad retentiva de agua en las parcelas evaluadas en Ccochaccasa, Huancavelica. Los valores registrados varían entre 21,30 % y 38,66 %, con una distribución uniforme (10,0% cada uno), lo que indica una diversidad de condiciones físicas del suelo según la cobertura vegetal y profundidad. Se observa que las menores capacidades de retención se asocian a suelos sin vegetación, especialmente en capas más profundas, mientras que los valores más altos corresponden a suelos con cobertura vegetal, reflejando una mayor capacidad del suelo para almacenar agua. Esta diferencia sugiere que la presencia de vegetación mejora la estructura del suelo y favorece la retención hídrica, lo cual es fundamental para el funcionamiento eficiente de la qocha como sistema de cosecha de agua, especialmente en zonas altoandinas con alta variabilidad climática.

### 3.8. Prueba de normalidad

Antes de realizar las pruebas estadísticas pertinentes, era esencial realizar una evaluación de la normalidad de los datos recopilados para determinar si las pruebas paramétricas o no paramétricas eran apropiadas. Aunque en la estructura actual de la investigación se agrupan los procedimientos en torno a tres objetivos específicos, cada uno de estos objetivos abarca múltiples variables (como porosidad, densidad aparente, textura, materia orgánica, infiltración y capacidad retentiva), que requieren un análisis individual para su cálculo y validación estadística. Por ello, las pruebas de normalidad se mantuvieron de forma disgregada para cada variable, respetando su tratamiento estadístico independiente. Las pruebas fueron realizadas con el software estadístico SPSS versión 26, aplicando el test de Shapiro-Wilk para cada grupo de datos según presencia o ausencia de cobertura vegetal, tal como se detalla en las tablas 9 y 10.

**Tabla 9. Prueba de normalidad para dimensiones sin medición de tiempo**

Grupo		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Porosidad del suelo	Sin vegetación	0,895	4	0,406
	Con vegetación	0,883	6	0,282
Densidad aparente	Sin vegetación	0,881	4	0,342
	Con vegetación	0,821	6	0,090
Arena%	Sin vegetación	0,926	4	0,572
	Con vegetación	0,932	6	0,595
Limo%	Sin vegetación	0,927	4	0,577
	Con vegetación	0,872	6	0,232
Arcilla%	Sin vegetación	0,863	4	0,272
	Con vegetación	0,771	6	0,032
Contenido de MO	Sin vegetación	0,738	4	0,029
	Con vegetación	0,816	6	0,081
Capacidad retentiva del agua	Sin vegetación	0,910	4	0,483
	Con vegetación	0,877	6	0,258

**Tabla 10. Prueba de normalidad para infiltración con medición de tiempo**

Grupo	Shapiro-Wilk
-------	--------------

		Estadístico	gl	Sig.
Tasa de infiltración	Sin vegetación	0,800	24	0,000
	Con vegetación	0,875	24	0,007
Profundidad acumulada	Sin vegetación	0,704	24	0,000
	Con vegetación	0,797	24	0,000

**Regla de decisión:**

Si:  $p < 0.05$ , entonces los datos son no normales

Si:  $p > 0.05$ , entonces los datos son normales

**Interpretación**

A partir de los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, se observa que las variables porosidad del suelo, densidad aparente, arena%, limo%, arcilla%, contenido de materia orgánica y capacidad retentiva del agua, tanto en parcelas con vegetación como sin vegetación, presentan valores de significancia mayores a 0,05 en su mayoría, lo que indica una distribución normal en esos casos, excepto en algunas dimensiones específicas como contenido de materia orgánica sin vegetación ( $p=0,029$ ) y arcilla% con vegetación ( $p=0,032$ ), que no presentan una distribución normal. En cuanto a las variables relacionadas con la infiltración con medición de tiempo, tanto la tasa de infiltración como la profundidad acumulada, en parcelas con y sin vegetación, presentan valores de  $p$  menores a 0,05, por lo tanto, se determina que estas variables no presentan una distribución normal. Esto indica que para la evaluación estadística comparativa de estas variables, se deben emplear pruebas no paramétricas.

**3.9. Resultados inferenciales**

**3.9.1. Prueba de hipótesis general**

Se plantean las siguientes hipótesis:

$H_0$  = La cobertura vegetal no influye significativamente en la cosecha de agua en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica - 2024.

$H_1$  = La cobertura vegetal influye significativamente en la cosecha de agua en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica - 2024.

A un nivel de error de 0,05 (5%), si  $p < 0,05$  se rechaza  $H_0$

**Tabla 11. Prueba de hipótesis general**

Hipótesis específica	Variable analizada	Valor p	Decisión	Conclusión
1	Porosidad del suelo	0.333	No significativa	Se acepta $H_0$
2	Densidad aparente	0.413	No significativa	Se acepta $H_0$
3	Arena	0.610	No significativa	Se acepta $H_0$
	Limo	0.257	No significativa	Se acepta $H_0$
	Arcilla	0.257	No significativa	Se acepta $H_0$
4	Contenido de materia orgánica	0.762	No significativa	Se acepta $H_0$
5	Tasa de infiltración	0.000	Significativa	Se rechaza $H_0$
	Profundidad acumulada	0.578	No significativa	Se acepta $H_0$
6	Capacidad retentiva del agua	0.480	No significativa	Se acepta $H_0$

### Interpretación

Aunque se identificó un impacto positivo y significativo de la cobertura vegetal sobre la tasa de infiltración del suelo, el resto de las dimensiones evaluadas no mostraron efectos estadísticamente significativos. Por ello, no se puede afirmar con suficiente evidencia estadística que la cobertura vegetal influya de manera integral y positiva en la cosecha de agua en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica, 2024. En consecuencia, se acepta la hipótesis nula.

Cabe precisar que, si bien la hipótesis general plantea una influencia integral de la cobertura vegetal en la cosecha de agua, el análisis estadístico se ha realizado de forma desagregada por variables. Esto se debe a que la capacidad de cosecha de agua está compuesta por múltiples factores edáficos (como porosidad, textura, infiltración, entre otros), cuya respuesta frente a la cobertura vegetal puede variar significativamente. Por ello, el contraste de la hipótesis general se sustenta en el comportamiento conjunto de estas variables, evaluadas individualmente para garantizar la validez del análisis estadístico.

### 3.9.2. Prueba de hipótesis específica 1

Se plantean las siguientes hipótesis:

$H_0$  = La cobertura vegetal no influye en las propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad aparente y textura) en la qocha de Ccochaccasa.

$H_1$  = La cobertura vegetal influye en las propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad aparente y textura) en la qocha de Ccochaccasa.

A un nivel de error de 0,05 (5%), si  $p < 0,05$  se rechaza  $H_0$

**Tabla 12. Prueba para porosidad del suelo y densidad aparente**

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
Porosidad del suelo	Se asumen varianzas iguales	10,834	,011	1,031	8	0,333	2,80333	2,71810	-	3,46461	9,07128
	No se asumen varianzas iguales			1,234	6,459	,260	2,80333	2,27091	-	2,65903	8,26570
Densidad aparente	Se asumen varianzas iguales	10,676	,011	-,863	8	0,413	-,08417	,09751	-	,30903	,14069
	No se asumen varianzas iguales			-	1,013	7,043	,344	-,08417	-	,28033	,08306

**Tabla 13. Prueba para textura del suelo**

	Arena%	Limo%	Arcilla%
U de Mann-Whitney	9,500	6,000	6,500
W de Wilcoxon	19,500	27,000	16,500
Z	-,543	-1,283	-1,198
Sig. asintótica(bilateral)	0,587	0,199	0,231
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,610 <sup>b</sup>	,257 <sup>b</sup>	,257 <sup>b</sup>

### Interpretación

En la prueba de hipótesis correspondiente a la influencia de la cobertura vegetal en las propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad aparente y textura), se aplicaron pruebas estadísticas individuales para cada variable.

Para la porosidad del suelo, el valor de significancia obtenido fue  $p = 0,333$ , y para la densidad aparente,  $p = 0,413$ , ambos superiores al nivel de significancia de 0,05, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre parcelas con y sin cobertura vegetal en cuanto a estas dos propiedades. Asimismo, en el caso de la textura del suelo, evaluada mediante la prueba de U de Mann-Whitney para las fracciones de limo y arcilla, se obtuvieron valores de significancia de  $p = 0,257$  para ambas, también por encima del umbral establecido.

En conjunto, estos resultados permiten concluir que la cobertura vegetal no ejerce una influencia estadísticamente significativa sobre las propiedades físicas del suelo analizadas. Por

lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna correspondiente a la primera hipótesis específica.

### 3.9.3. Prueba de hipótesis específica 2

Se plantean las siguientes hipótesis:

$H_0$  = No existe una relación significativa entre la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo en la qocha de Ccochaccasa.

$H_1$  = Existe una relación significativa entre la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo en la qocha de Ccochaccasa.

A un nivel de error de 0,05 (5%), si  $p < 0,05$  se rechaza  $H_0$

**Tabla 14. Prueba para el contenido de materia orgánica**

	Contenido de MO
U de Mann-Whitney	10,500
W de Wilcoxon	20,500
Z	-,321
Sig. asintótica(bilateral)	<b>0,748</b>
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,762b

#### **Interpretación**

En la evaluación de la hipótesis específica del efecto de la cobertura vegetal sobre el contenido de materia orgánica del suelo, se aplicó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Esta arrojó un valor exacto de significancia de  $p = 0,762$ , el cual se encuentra por encima del umbral convencional de 0,05. En consecuencia, se procedió a aceptar la hipótesis nula y descartar la hipótesis alternativa. Este resultado indica que no se identificaron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de materia orgánica entre los suelos cubiertos por vegetación y aquellos desprovistos de ella. Por tanto, puede inferirse que, en las condiciones analizadas, la presencia de cobertura vegetal no ejerce un impacto considerable sobre el enriquecimiento de este componente edáfico, lo cual sugiere que otros factores podrían desempeñar un papel más determinante en su variabilidad.

En consecuencia, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna correspondiente a la segunda hipótesis específica.

### 3.9.4. Prueba de hipótesis específica 3

Se plantean las siguientes hipótesis:

$H_0$  = La cobertura vegetal no afecta la infiltración y la capacidad retentiva de agua del suelo en la qocha de Ccochaccasa.

$H_1$  = La cobertura vegetal afecta la infiltración y la capacidad retentiva de agua del suelo en la qocha de Ccochaccasa.

A un nivel de error de 0,05 (5%), si  $p < 0,05$  se rechaza  $H_0$

**Tabla 15. Prueba para tasa de infiltración**

	Tasa de infiltración	Profundidad acumulada
U de Mann-Whitney	101,000	261,000
W de Wilcoxon	401,000	561,000
Z	-3,856	-,557
Sig. asintótica(bilateral)	0,000	0,578

**Tabla 16. Prueba para capacidad retentiva del agua**

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior		Superior
Capacidad retentiva del agua	Se asumen varianzas iguales	10,236	,013	,741	8	0,480	3,04083	4,10267	-6,41994	12,50160
	No se asumen varianzas iguales			,860	7,355	0,417	3,04083	3,53708	-5,24195	11,32362

### Interpretación

En el análisis de hipótesis orientado a evaluar el efecto de la cobertura vegetal sobre la infiltración del agua en el suelo y su capacidad de retención, se aplicaron pruebas estadísticas independientes para cada una de las variables consideradas. En el caso específico de la tasa de infiltración, el valor de significancia obtenido fue  $p = 0,000$ , cifra que se sitúa por debajo del umbral convencional de 0,05. Este resultado permitió rechazar la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa, lo cual indica que la presencia de vegetación incide de manera significativa en la mejora de la infiltración del agua. En consecuencia, puede afirmarse que la cobertura vegetal contribuye de forma sustancial a facilitar el ingreso del agua al perfil del suelo, favoreciendo así los procesos hidrológicos iniciales vinculados a la dinámica del recurso hídrico en el ecosistema analizado.

Sin embargo, los resultados para la profundidad acumulada de infiltración ( $p = 0.578$ ) y para la capacidad retentiva de agua ( $p = 0.480$ ) fueron superiores a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula en ambos casos. Esto implica que la cobertura vegetal no genera diferencias estadísticamente significativas en esas dos variables.

En consecuencia, no se puede afirmar con suficiente evidencia estadística que la cobertura vegetal influya de manera integral sobre las propiedades hidrológicas del suelo. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna correspondiente a la tercera hipótesis específica.

### 3.10. Discusión de resultados

- **Objetivo general**

El objetivo principal de esta investigación fue determinar de qué manera la cobertura vegetal influye en la cosecha de agua en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica – 2024. Para ello, se realizaron análisis estadísticos inferenciales para cada una de las variables pertinentes a la dinámica del agua del suelo: porosidad, densidad aparente, textura, contenido de materia orgánica, infiltración y capacidad de retención de agua. Los hallazgos indicaron que solo la tasa de infiltración mostró diferencias significativas entre los suelos con y sin cobertura vegetal ( $p = 0.000$ ), mientras que las variables restantes no alcanzaron niveles de significación estadística ( $p > 0.05$ ). Estos hallazgos nos permitieron aceptar la hipótesis nula y rechazar la hipótesis alternativa, lo que significa que la cobertura vegetal no ejerce una influencia integral y significativa en la captación de agua en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica, durante el año 2024.

Este hallazgo sugiere que, si bien la cobertura vegetal puede favorecer ciertos procesos hídricos del suelo como la velocidad de infiltración, su efecto no se extiende de manera estadísticamente significativa a otras propiedades fisicoquímicas fundamentales para la retención y almacenamiento del agua. En comparación con investigaciones previas, se observan diferencias con el estudio de Liu et al. (32), quien, mediante un metanálisis exhaustivo, determinó que la presencia de una cubierta vegetal afecta notablemente a la mitigación de la escorrentía y a la mejora de la conservación del suelo y el agua. No obstante, dichos estudios se realizaron en sistemas de cultivo arbóreo y en contextos agroecológicos distintos, lo que podría explicar la discrepancia de resultados.

De forma similar, Matali et al. (36) destacaron la influencia positiva de la cobertura vegetal y el desarrollo radicular sobre la infiltración del agua en condiciones de laboratorio. Este descubrimiento se alinea con la investigación actual, en la que la tasa de infiltración surgió como la única variable sustancialmente influenciada por la cobertura vegetal. Sin embargo, a diferencia de sus resultados controlados, en Ccochaccasa las condiciones naturales del terreno, las variaciones climáticas y la composición del suelo podrían haber atenuado el impacto de la vegetación sobre otras propiedades del suelo.

Asimismo, el estudio local de Cuadros (40) en Angaraes, Huancavelica, encontró una correlación fuerte entre la implementación de qochas y el aumento de disponibilidad hídrica, pero en ese caso se evaluó el efecto de una infraestructura natural más que de la cobertura vegetal como tal. En contraste, la presente investigación se centró exclusivamente en el

componente vegetal, lo cual limita la comparación directa de ambos enfoques, aunque destaca la necesidad de considerar intervenciones complementarias para potenciar la cosecha de agua.

Estos resultados reflejan que, aunque la cobertura vegetal es un factor importante en la dinámica hídrica del suelo, su influencia puede no ser suficiente por sí sola para mejorar de forma integral todos los parámetros que intervienen en la cosecha de agua. La eficacia de estas estrategias dependerá de la interacción con otros factores como la topografía, las características edáficas, el tipo de vegetación y las prácticas de manejo del suelo.

En conclusión, si bien se evidenció un efecto positivo de la cobertura vegetal sobre la tasa de infiltración, no se hallaron diferencias significativas en otras variables clave para la cosecha de agua. Por ello, no se puede afirmar que la cobertura vegetal influya de manera integral y positiva en dicho proceso en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica. Esto sugiere que, para fortalecer la cosecha de agua en zonas altoandinas, es necesario complementar la cobertura vegetal con otras estrategias estructurales o de manejo del paisaje que maximicen la captación, almacenamiento y retención hídrica en el tiempo.

- **Objetivo específico 1**

El primer objetivo específico consistió en determinar la influencia de la cobertura vegetal en las propiedades físicas del suelo, específicamente en la porosidad, densidad aparente y textura, en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica. Los análisis estadísticos realizados, que incluyeron la prueba t de Student para determinar la porosidad y la densidad aparente, así como la prueba U de Mann-Whitney para la textura del suelo, arrojaron valores significativos que superaron el umbral de 0,05 en todas las variables evaluadas. Como resultado, se aceptó la hipótesis nula y se descartó la hipótesis alternativa en cada caso, lo que indica que la cobertura vegetal no ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre estas propiedades del suelo en la región evaluada.

Estos resultados sugieren que la presencia de cobertura vegetal en Ccochaccasa no ha generado cambios medibles en la estructura porosa del suelo, ni ha reducido su densidad aparente de forma significativa. Aunque teóricamente se espera que las raíces y la biomasa vegetal modifiquen favorablemente estas propiedades, factores como la heterogeneidad edáfica, la escasa densidad o profundidad radicular de la vegetación natural, y la posible compactación histórica del terreno pueden haber limitado dichos efectos. En el caso de la textura, es importante destacar que esta propiedad es de origen geológico y presenta una alta estabilidad estructural, por lo que no es esperable que varíe notablemente en el corto plazo bajo la influencia de la cobertura vegetal.

Los hallazgos obtenidos contrastan con estudios como el de Matali et al. (36), que reportaron una mejora significativa en la estructura del suelo asociada a coberturas vegetales en condiciones de laboratorio, y con el metaanálisis de Wu et al. (39), donde se encontró que coberturas superiores al 60% promovían una mejor estructura edáfica y menor escorrentía. En este estudio, sin embargo, las coberturas evaluadas fueron principalmente herbáceas y de menor densidad, lo que puede explicar la ausencia de diferencias estadísticamente significativas.

A nivel nacional, Minaya (46) también identificó efectos positivos de la cobertura vegetal sobre la porosidad y densidad del suelo, pero en contextos con ecosistemas más desarrollados y vegetación de tipo boscoso. En contraste, la vegetación de Ccochaccasa es predominantemente nativa, de baja intervención humana y con menor cobertura continua, lo cual podría justificar la reducida incidencia sobre las propiedades fisicoestructurales del sustrato edáfico.

En conjunto, los resultados obtenidos reflejan que la cobertura vegetal por sí sola no ha generado efectos significativos en la porosidad, densidad aparente ni textura del suelo en el área de estudio. Esto sugiere que para observar mejoras en estas propiedades físicas podrían requerirse procesos de revegetación más estructurados, un mayor tiempo de desarrollo radicular, o la aplicación de prácticas de manejo del suelo complementarias que potencien la acción de la vegetación sobre la estructura edáfica.

- **Objetivo específico 2**

El segundo objetivo específico fue determinar la influencia de la cobertura vegetal en el contenido de materia orgánica del suelo en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica. Para dicho análisis se recurrió a la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, obteniéndose un valor de significancia exacta de  $*p* = 0.762$ , ampliamente superior al umbral crítico de 0.05. Tal resultado condujo a la aceptación de la hipótesis nula y, en consecuencia, al rechazo de la hipótesis alternativa, lo que sugiere que la cobertura vegetal no manifiesta una influencia estadísticamente significativa sobre el contenido de materia orgánica en el sustrato edáfico del sector examinado.

Este hallazgo contrasta con la expectativa teórica de que una mayor cobertura vegetal promueva la acumulación progresiva de materia orgánica a través de la descomposición de residuos vegetales. Si bien los valores descriptivos mostraron una concentración más alta de materia orgánica en los suelos con vegetación, la diferencia no fue suficiente para alcanzar significancia estadística. Esta falta de significancia puede estar relacionada con diversos factores, como la estacionalidad, el tipo de vegetación predominante (mayoritariamente

herbácea), la tasa de descomposición, la escasa profundidad de la capa orgánica y las características edafoclimáticas propias de los ecosistemas altoandinos.

Investigaciones como la de Liu et al. (32) han destacado que la cobertura vegetal reduce la pérdida de nutrientes, incluido el carbono orgánico del suelo, especialmente en sistemas de cultivo arbóreo y con manejo intensivo. Sin embargo, el presente estudio se realizó en condiciones naturales y con vegetación espontánea, sin intervención técnica, lo cual limita el efecto acumulativo esperado. De igual modo, Matali et al. (36) reportaron incrementos significativos de materia orgánica en suelos bajo coberturas vegetales en condiciones experimentales, atribuidos a la actividad radicular y al aporte de residuos orgánicos. No obstante, los suelos de Ccochaccasa presentan una dinámica de mineralización más lenta y una menor densidad vegetal, lo que podría requerir un mayor tiempo o condiciones más favorables para observar un aumento significativo.

A nivel nacional, Minaya (46) encontró que los suelos bajo coberturas mixtas y bosques nativos en el Parque Nacional Huascarán presentaban mayores contenidos de materia orgánica. En contraste, en el presente estudio predominan los pastizales de vegetación natural, los cuales generan un menor aporte de residuos orgánicos al suelo en comparación con ecosistemas forestales o manejados.

Estos resultados sugieren que, aunque la cobertura vegetal puede contribuir al enriquecimiento del suelo, su impacto no siempre es inmediato ni estadísticamente detectable, especialmente en zonas altoandinas donde la biomasa aérea y subterránea es limitada y los procesos edáficos son más lentos. Factores como el tipo de vegetación, el tiempo de establecimiento, la productividad del sistema y las condiciones climáticas locales pueden condicionar significativamente los resultados.

En conclusión, no se evidenció una diferencia estadísticamente significativa en el contenido de materia orgánica del suelo atribuible a la cobertura vegetal en la Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica. Por lo tanto, no se puede afirmar que esta variable favorezca de manera directa la mejora del contenido orgánico del suelo ni su contribución a la retención de agua en este ecosistema.

- **Objetivo específico 3**

El tercer objetivo específico fue determinar la influencia de la cobertura vegetal en los procesos hidrológicos del suelo, específicamente en la tasa de infiltración, la profundidad acumulada y la capacidad retentiva de agua en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica. Para ello, se aplicaron pruebas estadísticas individuales a cada variable. La prueba U de Mann-

Whitney mostró un valor de significancia de  $p = 0.000$  para la tasa de infiltración, lo cual permitió rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna. Esto indica que la cobertura vegetal incrementa significativamente la velocidad con la que el agua penetra en el suelo. En cambio, para la profundidad acumulada, el valor obtenido fue de  $p = 0.578$ , lo cual no evidenció diferencias significativas. Finalmente, en lo que respecta a la capacidad retentiva de agua, la aplicación de la prueba  $t$  de Student produjo un valor de  $p = 0.480$ , igualmente superior al umbral crítico de 0.05; en consecuencia, se procedió a la aceptación de la hipótesis nula.

Estos resultados reflejan que, aunque la cobertura vegetal mejora las condiciones superficiales del suelo, facilitando una infiltración más rápida, este efecto no se extiende necesariamente hacia niveles más profundos ni se traduce en una mayor capacidad de almacenamiento de agua. Es probable que este comportamiento se relacione con la estructura edáfica de los suelos evaluados, donde factores como la compactación subsuperficial, la textura y el contenido de materia orgánica, previamente analizados, no mostraron diferencias significativas.

Estudios como el de Matali et al. (36) han demostrado, en condiciones experimentales, que la cobertura vegetal reduce la escorrentía superficial y favorece la infiltración en suelos vegetados. Este hallazgo se alinea con los resultados obtenidos para la tasa de infiltración en Ccochaccasa. Asimismo, Liu et al. (32) destacan que la cobertura vegetal puede mejorar la infiltración en contextos con climas húmedos y vegetación continua, condiciones que en parte coinciden con la situación de Ccochaccasa, a pesar de su altitud. Sin embargo, la falta de efecto significativo en la capacidad retentiva de agua puede explicarse por la ausencia de otros elementos estructurales, como un mayor contenido de materia orgánica, menor densidad aparente o una vegetación con sistemas radiculares más profundos.

Desde una perspectiva regional, Minaya (46) también encontró una mayor capacidad de infiltración en suelos cubiertos por vegetación, particularmente en ecosistemas forestales y mixtos del Parque Nacional Huascarán. En el presente estudio, aunque la vegetación evaluada fue principalmente herbácea, los resultados positivos sobre la infiltración permiten afirmar su efecto en las fases iniciales del ciclo hidrológico. Por el contrario, la capacidad retentiva de agua parece depender de una interacción más compleja de factores, como lo sugieren también Yang et al. (2023), quienes señalan que la influencia vegetal en el almacenamiento de agua está fuertemente condicionada por la densidad de la vegetación y la configuración geomorfológica del terreno.

En conjunto, los resultados obtenidos indican que la cobertura vegetal desempeña un rol relevante en los procesos de entrada del agua al suelo, especialmente al mejorar la tasa de infiltración. No obstante, su efecto no se manifiesta con la misma fuerza en la retención del agua dentro del perfil edáfico. Esto sugiere que, para lograr mejoras en la retención hídrica, podrían requerirse otras estrategias de manejo del suelo, vegetación con raíces más profundas, o un mayor tiempo de desarrollo ecológico.

En síntesis, los resultados obtenidos evidencian de manera concluyente un efecto positivo y estadísticamente significativo de la cobertura vegetal sobre la tasa de infiltración del suelo. Este hallazgo sugiere que la vegetación desempeña un rol relevante en las etapas iniciales del proceso de captación hídrica en la Qocha de Ccochaccasa, ubicada en la región de Huancavelica. No obstante, al evaluar otras variables hidrológicas, como la profundidad acumulada o la capacidad de retención de agua, no se observaron influencias marcadas atribuibles directamente a la cobertura vegetal. Esto permite concluir que, si bien la vegetación incide en ciertos aspectos del comportamiento hidrológico del suelo, su impacto es limitado y está condicionado por la interacción con otros factores físicos y edáficos que caracterizan el ecosistema local.

## CONCLUSIONES

1. En relación con el objetivo general de determinar la influencia de la cobertura vegetal en la capacidad de cosecha de agua en la qocha de Ccochaccasa, se concluye que dicha influencia es parcial. De las seis variables físico-químicas analizadas, únicamente la tasa de infiltración presentó una diferencia estadísticamente significativa, con un valor de  $p$  igual a 0.000 entre suelos con y sin cobertura vegetal. Las demás variables, que incluyen porosidad, densidad aparente, textura, contenido de materia orgánica y capacidad retentiva de agua, no mostraron significancia estadística, aunque sí se observaron algunas diferencias descriptivas entre las condiciones evaluadas. Estos resultados indican que la cobertura vegetal contribuye a mejorar ciertos aspectos edáficos, pero su efecto directo sobre la eficiencia general de la cosecha de agua se limita principalmente a la mejora en la velocidad de infiltración, sin generar modificaciones significativas en otras propiedades del suelo, tanto en la capa superficial como en la subsuperficial.
2. Respecto al objetivo de determinar la influencia de la cobertura vegetal en las propiedades físicas del suelo como son la porosidad, densidad aparente y textura; no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. La porosidad presentó un valor de  $p = 0.333$ , y la densidad aparente,  $p = 0.413$ , sin mostrar efectos atribuibles a la cobertura vegetal. Si bien se observaron valores ligeramente más favorables en los suelos con vegetación, especialmente en la capa superficial, no se logró evidencia estadística que confirme una mejora estructural. La textura, evaluada a través de arena, limo y arcilla, tampoco fue significativamente influenciada por la cobertura vegetal, con  $p = 0.610$  para arena y  $p = 0.257$  para limo y arcilla. En todos los casos predominó una textura franco arenosa, lo que reafirma la estabilidad estructural de esta propiedad. En conjunto, se concluye que la cobertura vegetal no ejerció una influencia significativa sobre las propiedades físicas del suelo, como establecía el primer objetivo específico.
3. Con relación al objetivo de determinar la relación entre la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo, se concluye que no se evidenció una diferencia estadísticamente significativa, con un valor de  $p = 0.762$ . Sin embargo, los suelos con cobertura vegetal registraron mayores concentraciones de materia orgánica, especialmente en la capa de 0 a 30 centímetros, alcanzando hasta 8.31 por ciento frente a 0.73 por ciento en suelos sin vegetación. Esta diferencia, aunque no significativa a nivel estadístico, muestra una tendencia favorable en los suelos con vegetación que podría consolidarse a largo plazo. Por tanto, aunque no se confirma una relación significativa en el corto plazo, sí se evidencia un potencial efecto positivo que respalda parcialmente el segundo objetivo específico.

4. De acuerdo con el objetivo de determinar el efecto de la cobertura vegetal sobre la infiltración y la capacidad retentiva del agua en el suelo, se concluye que la cobertura vegetal tuvo un efecto positivo y estadísticamente significativo únicamente en la tasa de infiltración, con un valor de  $p = 0.000$ . Los suelos con vegetación alcanzaron una tasa de 15.167 milímetros por minuto frente a 3.4 milímetros por minuto en suelos sin vegetación. No obstante, ni la profundidad acumulada ( $p = 0.578$ ) ni la capacidad retentiva ( $p = 0.480$ ) mostraron diferencias significativas, aunque los valores descriptivos fueron más altos en suelos vegetados. Esto indica que la cobertura vegetal mejora los procesos iniciales de infiltración, cumpliendo parcialmente con el objetivo específico, aunque su impacto en el almacenamiento de agua en el perfil del suelo no fue estadísticamente comprobado en este estudio.

## RECOMENDACIONES

1. Primero, para mejorar la eficiencia de la cosecha de agua en la qocha de Ccochaccasa, se recomienda implementar un sistema integral de gestión hídrica basado en microcuencas vegetadas. Esta estrategia debe incorporar zanjas de infiltración combinadas con tecnología de sensores de humedad, lo que permitirá monitorear en tiempo real el comportamiento del agua en el perfil del suelo. Esta medida no solo optimiza el almacenamiento del recurso hídrico, sino que también articula saberes tradicionales con herramientas modernas, adaptándose a la variabilidad climática de las zonas altoandinas sin alterar su equilibrio ecológico.
2. Segundo, con relación a la mejora de las propiedades físicas del suelo, se propone fomentar la revegetación mediante especies nativas con raíces profundas, como gramíneas altoandinas o arbustos autóctonos, que favorezcan la formación de bioporos y mejoren la estructura del suelo, especialmente en las capas subsuperficiales. Asimismo, para reducir la densidad aparente de manera progresiva y sin mecanización intensiva, se sugiere incorporar prácticas de agricultura regenerativa como el uso continuo de cobertura vegetal viva o muerta y el manejo rotacional del pastoreo. Estas prácticas fortalecen la actividad biológica del suelo, disminuyen su compactación y promueven una mayor capacidad de infiltración y almacenamiento hídrico.
3. Tercero, dado que la textura del suelo no se vio modificada por la cobertura vegetal, pero sí condiciona procesos hídricos clave, se recomienda complementar la revegetación con la aplicación de bioenmiendas locales como compost o biocarbón. Estas enmiendas, al favorecer la agregación de partículas finas y la estabilidad de los agregados desempeñan un papel crucial en la salud del ecosistema, ya que promueven indirectamente la retención de humedad. Si se tiene en cuenta la presencia y la concentración de materia orgánica, resulta evidente lo vital que es para mantener estos agregados y, en consecuencia, para mejorar la capacidad del suelo para retener la humedad de manera eficaz, se propone establecer bancos de biomasa mediante cultivos de especies herbáceas de rápido crecimiento, que generen cobertura permanente y residuos vegetales reincorporables al suelo. Este manejo favorece el enriquecimiento orgánico del perfil edáfico y puede consolidar efectos positivos a largo plazo en la fertilidad y la retención hídrica.
4. Finalmente, en vista de que la infiltración fue la única variable con diferencias estadísticamente significativas, se recomienda priorizar la conservación de las áreas con cobertura vegetal y ampliar su extensión mediante el diseño de corredores vegetales

conectados estratégicamente. Estos corredores funcionarían como zonas de recarga hídrica, facilitando la entrada y distribución del agua en el subsuelo. Adicionalmente, se sugiere implementar terrazas de infiltración con vegetación diversificada y manejo diferenciado por profundidad, con el objetivo de mejorar la capacidad del suelo para retener la humedad en las capas superiores y prolongar el suministro de agua para las operaciones agrícolas y ganaderas regionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS [ONU]. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. Paris: Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2018. ISBN 978-92-3-300083-4. 978-92-3-300083-4
2. ONU. *Progress on the level of water stress*. FAO and UN Water, 2021. ISBN 978-92-5-134826-0. 978-92-5-134826-0
3. TRAUTMANN, Tina, KOIRALA, Sujana, CARVALHAIS, Nuno, GÜNTNER, Andreas and JUNG, Martin. The importance of vegetation in understanding terrestrial water storage variations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2022. Vol. 26, no. 4, p. 1089–1109. DOI 10.5194/hess-26-1089-2022.
4. CEPAL. *La pérdida de los bosques de América Latina y el Caribe 1990–2020: evidencia estadística*. Online. 2021. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Available from: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47151-la-perdida-bosques-america-latina-caribe-1990-2020-evidencia-estadistica>
5. UNESCO. *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: El agua y la biodiversidad*. Online. 2020. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Available from: <https://unesdoc.unesco.org/ark%3A/48223/pf0000373611>
6. MINAM. *MINAM presenta informe nacional sobre el estado del ambiente*. Online. 2021. Gobierno del Perú. Available from: <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/508193-minam-presenta-informe-nacional-sobre-el-estado-del-ambiente>
7. MINAM. *Mapa nacional de cobertura vegetal*. Online. 2015. Sistema Nacional de Información Ambiental. Available from: <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-cobertura-vegetal>
8. TUPIA CURI, Walter. Sequía amenaza el servicio de agua en Huancavelica. *Diario Correo*. Online. 2022. [Accessed 16 October 2024]. Available from: <https://diariocorreo.pe/edicion/huancavelica/huancavelica-sequia-amenaza-el-servicio-de-agua-en-huancavelica-noticia/?ref=dcr>
9. NATTERI, Oskar. EMAPA Huancavelica anuncia que por sequía elaboran plan para restringir distribución de agua. *Diario Correo*. Online. 2023. [Accessed 16 October 2024]. Available from: <https://diariocorreo.pe/edicion/huancavelica/huancavelica-emapa-huancavelica-anuncia-que-por-sequia-elaboran-plan-para-restringir-distribucion-de-agua-noticia/?ref=dcr>

10. GOBIERNO REGIONAL DE HUANCAMELICA. *Estrategia y Plan Regional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos del Departamento de Huancavelica* Online. Huancavelica, 2018. [Accessed 16 October 2024]. Available from: [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-huancavelica/archivos/public/docs/eprgirh\\_hvca\\_2018\\_-\\_small.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-huancavelica/archivos/public/docs/eprgirh_hvca_2018_-_small.pdf)
11. MINISTERIO DEL AMBIENTE [MINAM]. Las Qochas: sistemas de recargas de agua en microcuencas altoandinas. Online. 2019. [Accessed 15 October 2024]. Available from: <https://www.minam.gob.pe/glaciares/historia-inspiradoras/las-qochas-sistemas-de-recargas-de-agua-en-microcuencas-altoandinas/>
12. SIVAKUMAR, M.V.K., VITTAL, K.P.R. and ESLAMIAN, Saeid. Indian Experiences in Water Harvesting Systems. In : *Handbook of Water Harvesting and Conservation*. Wiley, 2021. p. 325–339.
13. MEAZA, Hailemariam, ABERA, Wuletawu and NYSSSEN, Jan. Impacts of catchment restoration on water availability and drought resilience in Ethiopia: A meta-analysis. *Land Degradation & Development*. 28 February 2022. Vol. 33, no. 4, p. 547–564. DOI 10.1002/ldr.4125.
14. SHEMER, Hilla, WALD, Shlomo and SEMIAT, Raphael. Challenges and Solutions for Global Water Scarcity. *Membranes*. 20 June 2023. Vol. 13, no. 6, p. 612. DOI 10.3390/membranes13060612.
15. DASH, Sonam, SAHOO, Bhabagrahi and RAGHUWANSHI, Narendra. How reliable are the evapotranspiration estimates by Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and Variable Infiltration Capacity (VIC) models for catchment-scale drought assessment and irrigation planning? *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 592, p. 125838. DOI 10.1016/j.jhydrol.2020.125838.
16. SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL - SINIA - Orientación - Ministerio del Ambiente - Plataforma del Estado Peruano. Online. [Accessed 5 October 2024]. Available from: <https://www.gob.pe/766-sistema-nacional-de-informacion-ambiental-sinia>
17. LA SIEMBRA Y COSECHA DEL AGUA EN IBEROAMÉRICA. Online. [Accessed 5 October 2024]. Available from: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2020/02/la-siembra-y-cosecha-del-agua-en-iberoamerica-un-sistema-ancestral-de-gestion-del-agua-que-utiliza-soluciones-basadas-en-la-naturaleza/>
18. AYUDA EN ACCIÓN. Siembra y cosecha de agua favorece a ganaderos | Ayuda en Acción Perú. Online. [Accessed 5 October 2024]. Available from: <https://ayudaenaccion.org.pe/actualidad/siembra-y-cosecha-de-agua-favorece-el-trabajo-de-ganaderos-en-yauyos/>

19. TRAUTMANN, Tina, KOIRALA, Sujan, CARVALHAIS, Nuno, GÜNTNER, Andreas and JUNG, Martin. The importance of vegetation in understanding terrestrial water storage variations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2022. Vol. 26, no. 4, p. 1089–1109. DOI 10.5194/hess-26-1089-2022.
20. ZALEWSKI, Maciej, KIEDRZYŃSKA, Edyta, WAGNER, Iwona, IZYDORCZYK, Katarzyna, BOCZEK, Joanna, JURCZAK, Tomasz, KRAUZE, Kinga, FRANKIEWICZ, Piotr, GODLEWSKA, Małgorzata, WOJTAL, Adrianna, ŁAPIŃSKA, Małgorzata, URBANIAK, Magdalena, BEDNAREK, Agnieszka, KACZKOWSKI, Zbigniew, GAĞAŁA, Ilona, SERWECIŃSKA, Liliana, SZKLAREK, Sebastian, WŁODARCZYK, Renata, FONT, Arnoldo, MIERZEJEWSKA, Elżbieta, POŁATYŃSKA, Małgorzata, BELKA, Kamila and JAROSIEWICZ, Paweł. Ecohydrology and adaptation to global change. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 2021. Vol. 21, no. 3, p. 393–410. DOI 10.1016/j.ecohyd.2021.08.001.
21. YAGUACHE, Luis. Humedad y almacenamiento de agua en el suelo en cuatro tipos de cobertura vegetal. *Cienc Tecn UTEQ*. 2022. Vol. 15, no. 1, p. 19–24.
22. LUCAS, Maik, NGUYEN, Linh, GUBER, Andrey and KRAVCHENKO, Alexandra. Cover crop influence on pore size distribution and biopore dynamics: Enumerating root and soil faunal effects. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. DOI 10.3389/fpls.2022.928569.
23. BURGA, Nilser. Influencia de la cobertura vegetal en las propiedades físicas, químicas y contenido de materia orgánica del suelo del bosque montano La Palma, Chota, 2022. Tesis (Título de Ingeniero Forestal y Ambiental). Chota - Perú: Universidad Nacional Autónoma de Chota, 2023. -
24. MÉNDEZ, Karina and MOLINA, Syayna. Análisis comparativo de las propiedades químicas e hidrofísicas del suelo con diferente cobertura vegetal en las microcuencas Yutujapina y Lluchucarrumi, ubicadas en la parroquia Cumbe del cantón Cuenca. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Cuenca: Ecuador: Universidad de Cuenca, 2023. [Accessed 23 February 2025]. Available from: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/fd908037-7dd9-40f7-93e2-7ea37aa7951b>
25. CONTRERAS, Mery and MORALES, Katherine. Balance hídrico del suelo de páramo en función de la cobertura vegetal en una cuenca altoandina al sur del Ecuador. Online. Trabajo de titulación. Cuenca, Ecuado: Universidad de Cuenca, 2024. [Accessed 23 February 2025]. Available from: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/f419a8bb-7876-413f-b0f0-518a6cc21f6b>
26. FLORES, Segundo. Efecto de la altitud y vegetación en el contenido de materia orgánica en la microcuenca del río Pinche – Asunción –Cajamarca. Tesis (Título de Ingeniero Agrónomo)). Cajamarca, Perú: Universidad Nacional De Cajamarca, 2024.

27. DENG, Haijun, CHEN, Yaning, CHEN, Xingwei, LI, Yang, REN, Zhiguo, ZHANG, Zhiwei, ZHENG, Zhouyao and HONG, Sheng. The interactive feedback mechanisms between terrestrial water storage and vegetation in the Tibetan Plateau. *Frontiers in Earth Science*. 2022. Vol. 10. DOI 10.3389/feart.2022.1004846.
28. TRAUTMANN, Tina, KOIRALA, Sujana, CARVALHAIS, Nuno, GÜNTNER, Andreas and JUNG, Martin. The importance of vegetation in understanding terrestrial water storage variations. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2022. Vol. 26, no. 4, p. 1089–1109. DOI 10.5194/hess-26-1089-2022.
29. BRAVO, Lady. Gestión integral de cuencas hidrográficas con uso conjunto de aguas, aplicando el sistema de siembra y cosecha de agua. Manglaralto-Santa Elena-Ecuador. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2020. Available from: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/50429>
30. ARRIAGA, Nelson. *Comportamiento de la erosión y sedimentos por escorrentía superficial sobre las obras de cosecha de agua tipo reservorio, en la subcuenca río Coco-Somoto, Corredor Seco de Nicaragua – Centroamérica*. Online. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2021. Available from: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11591>
31. DURÁN, Alfresco, CASTRO, Milka, VÉLEZ, Jorge, BRIONES, Josué, CARRIÓN, Paúl, HERRERA, Gricelda, MORANTE, Fernando, GUTTIÉRREZ, Carlos, BARDALES, Juan, PEÑA, Fluquer, MARTOS, Sergio and MATEOS, Luciano. Siembra y Cosecha de Agua (SyCA), técnicas ancestrales que solucionan problemas del siglo XXI. In : *Proceedings of the 18th LACCEI* . Online. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2020. ISBN 9789585207141. DOI 10.18687/LACCEI2020.1.1.299. 9789585207141
32. LIU, Rui, THOMAS, Ben, SHI, Xiaojun, ZHANG, Xueliang, WANG, Zhichao and ZHANG, Yuting. Effects of ground cover management on improving water and soil conservation in tree crop systems: A meta-analysis. *CATENA*. 2021. Vol. 199, p. 105085. DOI 10.1016/j.catena.2020.105085.
33. YADAV, Basant, PATIDAR, Nitesh, SHARMA, Anupma, PANIGRAHI, Niranjana, SHARMA, Rakesh, LOGANATHAN, Vijay, KRISHAN, G, SINGH, Jaswant, KUMAR, Suraj and PARKER, Alison. *Assessment of Traditional Rainwater Harvesting System in Barren Lands of a Semi-Arid Region*. 2021.
34. YANG, Yanhua, YANG, Shuqing, WANG, Xin, WANG, Chenyang and WANG, Jianjun. Study on the influence of ecological vegetation revetment on river flow and sediment environment. *Water Supply*. 2020. Vol. 20, no. 8, p. 3141–3155. DOI 10.2166/ws.2020.204.

35. QUEZADA, Celerino, SANDOVAL, Marco, OVALLE, Carlos and PEREZ, Victor. Influencia de cubiertas vegetales en la disponibilidad de agua y rendimiento en viñedos de secano. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. 2020. Vol. 36, no. 2, p. 140–150. DOI 10.29393/CHJAAS36-12ICCCQ40012.
36. MATALI, Nur, RAHMAN, Ena and RATNAYAKE, Uditha. Effects of root developments and vegetation cover on soil water infiltration. In : . 2023. p. 30017. DOI 10.1063/5.0110517.
37. HE, Shuai, ZHANG, Chengfu, MENG, Fan, BOURQUE, Charles, HUANG, Zhenying and LI, Xiang. Impacts of re-vegetation on soil water dynamics in a semiarid region of Northwest China. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 911, p. 168496. DOI 10.1016/j.scitotenv.2023.168496.
38. BETTONI, Manuele, MAERKER, Michael, BOSINO, Alberto, CONEDERA, Marco, SIMONCELLI, Laura and VOGEL, Sebastian. Land use effects on surface runoff and soil erosion in a southern Alpine valley. *Geoderma*. 2023. Vol. 435, p. 116505. DOI 10.1016/j.geoderma.2023.116505.
39. WU, Gao, LIU, Yi, CUI, Zeng, LIU, Yu, SHI, Zhi, YIN, Rui and KARDOL, Paul. Trade-off between vegetation type, soil erosion control and surface water in global semi-arid regions: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*. 2020. Vol. 57, no. 5, p. 875–885. DOI 10.1111/1365-2664.13597.
40. CUADROS, Blanca and MERCADO, Medalit. *Práctica ancestral de cosecha de agua, para el aprovechamiento y almacenamiento*. Online. tesis de titulación. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2021. Available from: [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21119/CUADROS\\_BLANCA\\_MERCADO\\_MEDALIT\\_PRACTICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21119/CUADROS_BLANCA_MERCADO_MEDALIT_PRACTICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
41. VENEROS, Jaris, GARCÍA, Ligia, MORALES, Eli, GÓMEZ, Víctor, TORRES, Mariana and LÓPEZ, Fernando. Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *Idesia (Arica)*. December 2020. Vol. 38, no. 4, p. 99–107. DOI 10.4067/S0718-34292020000400099.
42. HUACCHO, Diego. Siembra y cosecha de agua. Crianza del paisaje andino a través de infraestructura natural para la seguridad hídrica. *ARQ (Santiago)*. 2022. No. 110, p. 72–83. DOI 10.4067/S0717-69962022000100072.
43. CORONEL, Kleiber. *Cosecha y siembra de agua para enfrentar las sequias, caso: caserío Marcopampa, distrito de Querocoto, provincia de Chota, departamento de Cajamarca*. Online. tesis de titulación. Cajamarca : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019. Available from: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3819>
44. VELASQUEZ, Walter. *Siembra y cosecha de agua como propuesta de solución frente a la escasez de agua para consumo domestico en la localidad de Sapuc del distrito de*

- Asunción, Cajamarca, Cajamarca*. Online. tesis de titulación. Cajamarca : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019. Available from: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4930>
45. HUERTAS, Erika and SULLON, Flavio. *La gestión integrada de recursos hídricos para la conservación de la cosecha de agua en el sector Espíndola, Ayabaca 2022*. Online. tesis de titulación. Ayabaca : Universidad César Vallejo , 2022. Available from: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98761>
  46. MINAYA, Benjamín. *Evaluación de la capacidad de infiltración en diferentes tipos de cobertura vegetal del Parque Nacional Huascarán*. Online. Tesis de titulación. Lima : Universidad Nacional Agraria la Molina , 2024. Available from: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b302488b-728a-412c-bd87-2b701f49a36d/content>
  47. QUISPE, Victor. *La siembra y cosecha de agua: conocimiento local y tecnología estatal frente al cambio climático en la comunidad campesina Ccochatay/Huaraccopata, distrito de Secclla, Huancavelica*. Online. tesis de maestría. Huancavelica : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021. Available from: [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7240/T010\\_41459561\\_M.pdf?sequence=1&utm\\_source=chatgpt.com](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7240/T010_41459561_M.pdf?sequence=1&utm_source=chatgpt.com)
  48. CUADROS, Yuye. *Aplicación de programa qochas de siembra y cosecha de agua y su influencia en la disponibilidad hídrica en su fuente natural en la provincia de Angaraes Huancavelica 2019*. Online. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2022. Available from: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9345>
  49. NICODEMOS, Rocio. *Simulación de niveles de operación en Qocha para la siembra y cosecha de agua en la cuenca del Río Vilca*. Online. tesis de titulación. Huancavelica : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2021. Available from: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/eda15b3c-8620-4ded-9712-ff8912ed76a8>
  50. REÁTEGUI, Renzo. *Propuesta de manejo ambiental del proyecto creación de Qochas con fines agrarios en el paraje Paccarccocha - Huancavelica*. Online. tesis de titulación. Huancavelica : Universidad Nacional Agraria La Molina, 2022. Available from: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/04b15b37-2901-4bfc-8882-0672f998d26e>
  51. ARROYO, Eleyda, BAZÁN, Liz and CATAY, Janeth. *Influencia del cambio climático y uso del suelo en la capacidad de regulación hídrica en la microcuenca medio bajo Mantaro del departamento de Huancavelica, periodo 2015 - 2020*. Online. tesis de titulación. Huancavelica : Universidad Continental, 2021. Available from: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10340>
  52. RODRIGUEZ, Lizana, ORDOÑEZ, R, ESPEJO, A, GONZALES, P and GIRALDEZ, J. *Estudio de la influencia de la cobertura vegetal viva en olivar en la contaminación de las*

- aguas de escorrentía por nitratos. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. Online. 2005. Vol. VII. Available from: [https://abe.ufl.edu/faculty/carpena/files/pdf/zona\\_no\\_saturada/estudios\\_de\\_la\\_zona\\_v7/c081-086.pdf](https://abe.ufl.edu/faculty/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v7/c081-086.pdf)
53. QUEZADA, Celerino, SANDOVAL, Marco, OVALLE, Carlos and PEREZ, Victor. Influencia de cubiertas vegetales en la disponibilidad de agua y rendimiento en viñedos de secano. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. Online. March 2020. Vol. 36, no. 2, p. 140–150. DOI 10.29393/CHJAAS36-12ICCQ40012.
  54. ZHANG, Manyun, O'CONNOR, Patrick, ZHANG, Jinyu and YE, Xiaoxin. Linking soil nutrient cycling and microbial community with vegetation cover in riparian zone. *Geoderma*. 2021. Vol. 384, p. 114801. DOI 10.1016/j.geoderma.2020.114801.
  55. HAN, Taotao, LU, Hongfang, LÜ, Yihe and FU, Bojie. Assessing the effects of vegetation cover changes on resource utilization and conservation from a systematic analysis aspect. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 293, p. 126102. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.126102.
  56. JOFFRE, Richard and RAMBAL, Serge. How Tree Cover Influences the Water Balance of Mediterranean Rangelands. *Ecology*. 1993. Vol. 74, no. 2, p. 570–582. DOI 10.2307/1939317.
  57. BARRERA, Francisco, RUBIO, Patricio and BANZHAF, Ellen. The value of vegetation cover for ecosystem services in the suburban context. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2016. Vol. 16, p. 110–122. DOI 10.1016/j.ufug.2016.02.003.
  58. ARRIAGA, Nelson. Comportamiento de la erosión y sedimentos por escorrentía superficial sobre las obras de cosecha de agua tipo reservorio, en la subcuenca río Coco-Somoto, Corredor Seco de Nicaragua – Centroamérica. Tesis (Título de Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas). Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza, 2021. Available from: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/11591/BCO22058295.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
  59. AHUCHAOGU, Israel, EHIOMOGUE, Precious and UDOUMOH, Unwana. Effects of soil and water conservation measures on the environment: A review. *Poljoprivredna tehnika*. 2022. Vol. 47, no. 3, p. 42–55. DOI 10.5937/PoljTeh2203042A.
  60. CASTRO, Ana, SHI, Yeyin, MAJA, Joe and PEÑA, Jose. UAVs for Vegetation Monitoring: Overview and Recent Scientific Contributions. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13, no. 11, p. 2139. DOI 10.3390/rs13112139.
  61. FENG, Dingrao, FU, Meichen, SUN, Yiyu, BAO, Wenkai, ZHANG, Min, ZHANG, Yafu and WU, Jinjin. How Large-Scale Anthropogenic Activities Influence Vegetation Cover

- Change in China? A Review. *Forests*. 2021. Vol. 12, no. 3, p. 320. DOI 10.3390/f12030320.
62. MEILI, Naika, ACERO, Juan, PELEG, Nadav, MANOLI, Gabriele, BURLANDO, Paolo and FATICHI, Simone. Vegetation cover and plant-trait effects on outdoor thermal comfort in a tropical city. *Building and Environment*. 2021. Vol. 195, p. 107733. DOI 10.1016/j.buildenv.2021.107733.
  63. CASTRO, Ana, SHI, Yeyin, MAJA, Joe and PEÑA, Jose. UAVs for Vegetation Monitoring: Overview and Recent Scientific Contributions. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13, no. 11, p. 2139. DOI 10.3390/rs13112139.
  64. GAO, Lin, WANG, Xiaofei, JOHNSON, Brian, TIAN, Qingjiu, WANG, Yu, VERRELST, Jochem, MU, Xihan and GU, Xingfa. Remote sensing algorithms for estimation of fractional vegetation cover using pure vegetation index values: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2020. Vol. 159, p. 364–377. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2019.11.018.
  65. TZANAKAKIS, Vasileios, PARANYCHIANAKIS, Nikolaos and ANGELAKIS, Andreas. Water Supply and Water Scarcity. *Water*. 2020. Vol. 12, no. 9, p. 2347. DOI 10.3390/w12092347.
  66. BHAGA, Trisha, DUBE, Timothy, SHEKEDE, Munyaradzi and SHOKO, Cletah. Impacts of Climate Variability and Drought on Surface Water Resources in Sub-Saharan Africa Using Remote Sensing: A Review. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, no. 24, p. 4184. DOI 10.3390/rs12244184.
  67. EVARISTO, Jaivime, KIM, Minseok, VAN HAREN, Joost, PANGLE, Luke, HARMAN, Ciaran, TROCH, Peter and MCDONNELL, Jeffrey. Characterizing the Fluxes and Age Distribution of Soil Water, Plant Water, and Deep Percolation in a Model Tropical Ecosystem. *Water Resources Research*. 2019. Vol. 55, no. 4, p. 3307–3327. DOI 10.1029/2018WR023265.
  68. ONU. *Progress on the level of water stress*. 2021. FAO and UN Water.
  69. JIA, Linhui, HU, Yang, LIU, Zhongxin, HAO, Hongxun, XU, Hong, HUANG, Wei and HE, Xiangming. Porous materials MOFs and COFs: Energy-saving adsorbents for atmospheric water harvesting. *Materials Today*. 2024. Vol. 78, p. 92–111. DOI 10.1016/j.mattod.2024.06.012.
  70. ALEID, Sara, WU, Mengchun, LI, Renyuan, WANG, Wenbin, ZHANG, Chenlin, ZHANG, Lianbin and WANG, Peng. Salting-in Effect of Zwitterionic Polymer Hydrogel Facilitates Atmospheric Water Harvesting. *ACS Materials Letters*. 2022. Vol. 4, no. 3, p. 511–520. DOI 10.1021/acsmaterialslett.1c00723.
  71. HANIKEL, Nikita, PEI, Xiaokun, CHHEDA, Saamil, LYU, Hao, JEONG, WooSeok, SAUER, Joachim, GAGLIARDI, Laura and YAGHI, Omar. Evolution of water structures

- in metal-organic frameworks for improved atmospheric water harvesting. *Science*. 2021. Vol. 374, no. 6566, p. 454–459. DOI 10.1126/science.abj0890.
72. ZHENG, Zhiling, NGUYEN, Ha, HANIKEL, Nikita, LI, Kelvin, ZHOU, Zihui, MA, Tianqiong and YAGHI, Omar. High-yield, green and scalable methods for producing MOF-303 for water harvesting from desert air. *Nature Protocols*. 2023. Vol. 18, no. 1, p. 136–156. DOI 10.1038/s41596-022-00756-w.
  73. WU, Gao-Lin, LIU, Yi-Fan, CUI, Zeng, LIU, Yu, SHI, Zhi-Hua, YIN, Rui and KARDOL, Paul. Trade-off between vegetation type, soil erosion control and surface water in global semi-arid regions: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*. 2020. Vol. 57, no. 5, p. 875–885. DOI 10.1111/1365-2664.13597.
  74. GAVRILESCU, Maria. Water, Soil, and Plants Interactions in a Threatened Environment. *Water*. 2021. Vol. 13, no. 19, p. 2746. DOI 10.3390/w13192746.
  75. CUADROS, Blanca and MERCADO, Medalit. *Practica ancestral de cosecha de agua, para el aprovechamiento y almacenamiento*. Online. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2021. Available from: <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/182932>
  76. LOERA, Luz, TORRES, Margarita, MARTÍNEZ, Juan, CISNEROS, Rodolfo and MARTÍNEZ, José. Calidad del agua de escorrentía para uso agrícola captada en bordos de almacenamiento. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. Online. 3 May 2019. Vol. 6, no. 17, p. 283–295. DOI 10.19136/era.a6n17.1867.
  77. PRESCOTT, Cindy and VESTERDAL, Lars. Decomposition and transformations along the continuum from litter to soil organic matter in forest soils. *Forest Ecology and Management*. 2021. Vol. 498, p. 119522. DOI 10.1016/j.foreco.2021.119522.
  78. ROBINSON, D., THOMAS, A., REINSCH, S., LEBRON, I., FEENEY, C., MASKELL, L., WOOD, C., SEATON, F., EMMETT, B. and COSBY, B. Analytical modelling of soil porosity and bulk density across the soil organic matter and land-use continuum. *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12, no. 1, p. 7085. DOI 10.1038/s41598-022-11099-7.
  79. SEKUCIA, F., DLAPA, P., KOLLÁR, J., CERDÁ, A., HRABOVSKÝ, A. and SVOBODOVÁ, L. Land-use impact on porosity and water retention of soils rich in rock fragments. *CATENA*. December 2020. Vol. 195, p. 104807. DOI 10.1016/j.catena.2020.104807.
  80. SRIVASTAVA, Pallavi, SHUKLA, Aasheesh and BANSAL, Atul. A comprehensive review on soil classification using deep learning and computer vision techniques. *Multimedia Tools and Applications*. 2021. Vol. 80, no. 10, p. 14887–14914. DOI 10.1007/s11042-021-10544-5.

81. KUMAR, Satendra, HARI, K. and BUNDELA, Devendra. Effect of Sodcity on Soil– Water Retention and Hydraulic Properties. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2020. Vol. 146, no. 5. DOI 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001461.
82. RASHMI, I., KARTHIKA, K., ROY, Trisha, SHINOJI, K., KUMAWAT, Anita, KALA, S. and PAL, Rama. Soil Erosion and Sediments: A Source of Contamination and Impact on Agriculture Productivity. In : *Agrochemicals in Soil and Environment*. Singapore : Springer Nature Singapore, 2022. p. 313–345.
83. ECHEVERRÍA, Eric, CASTAÑEDA, Ernesto, ROBLES, Celerino, MARTÍNEZ, Verónica, SANTIAGO, Gisela and RODRÍGUEZ, Gerardo. Indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad del suelo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 2023. Vol. 10, no. 1. DOI 10.60158/rma.v10i1.376.
84. GEMA, Laura, VERA, Verónica, GILER, José and SIMBAÑA, Katherine. Características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo, Chone – Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*. 2022. Vol. 16, no. 1. DOI 10.53591/cna.v16i1.1599.
85. MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO. *Gobierno inicia construcción de 92 qochas en beneficio de más de 2 mil familias de comunidades altoandinas*. Online. 2024. Gobierno del Perú. Available from: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/945367-gobierno-inicia-construccion-de-92-qochas-en-beneficio-de-mas-de-2-mil-familias-de-comunidades-altoandinas>
86. MINAM. Las Qochas: sistemas de recargas de agua en microcuencas altoandinas. Online. Available from: <https://www.minam.gob.pe/glaciares/historia-inspiradoras/las-qochas-sistemas-de-recargas-de-agua-en-microcuencas-altoandinas/>
87. FONCODES. Siembra y cosecha de agua. *Proyecto Haku Wiñay/Noa Jayatai*. Online. 2015. Vol. 1. Available from: [https://www.iproga.org.pe/descarga/guia\\_s\\_cosecha.pdf](https://www.iproga.org.pe/descarga/guia_s_cosecha.pdf)
88. VALER, Flavio and PÉREZ, Jaime. Las Qochas Rústicas: una alternativa en los Andes para la siembra y cosecha de agua en un contexto de cambio climático. Online. 2014. Available from: [https://library.co/document/y932wnwy-qochas-rusticas-alternativa-andes-siembra-cosecha-contexto-climatico.html#google\\_vignette](https://library.co/document/y932wnwy-qochas-rusticas-alternativa-andes-siembra-cosecha-contexto-climatico.html#google_vignette)
89. MERCADO, Juleyska. *Efectos de la implementación de qochas frente al cambio climático en la población altoandina: Revisión sistemática*. Online. Lima : Universidad Cesar Vallejo, 2022. Available from: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/102872/Mercado\\_AJY%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/102872/Mercado_AJY%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
90. ALBARRACÍN, Marco, RAMÓN, Galo, GONZÁLEZ, Jorge, IÑIGUEZ, Carlos, ZAKALUK, Thomas and MARTOS, Sergio. The Ecohydrological Approach in Water Sowing and Harvesting Systems: The Case of the Paltas Catacocha Ecohydrology

- Demonstration Site, Ecuador. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 2021. Vol. 21, no. 3, p. 454–466. DOI 10.1016/j.ecohyd.2021.07.007.
91. HERRERA, Gricelda, MORANTE, Fernando, BRAVO, Lady, VALENCIA, Juan, AGUILAR, Maribel, MARTOS, Sergio and CARRIÓN, Paúl. Water Sowing and Harvesting (WS&H) for Sustainable Management in Ecuador: A Review. *Heritage*. 2024. Vol. 7, no. 7, p. 3696–3718. DOI 10.3390/heritage7070175.
  92. SHAMMARI, Muthanna, SHAMMA'A, Ayser, MALIKI, Ali, HUSSAIN, Hussain, YASEEN, Zaher and ARMANUOS, Asaad. Integrated Water Harvesting and Aquifer Recharge Evaluation Methodology Based on Remote Sensing and Geographical Information System: Case Study in Iraq. *Natural Resources Research*. 2021. Vol. 30, no. 3, p. 2119–2143. DOI 10.1007/s11053-021-09835-3.
  93. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Declaración de Impacto Ambiental: Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica*. Online. 2021. Sistema Nacional de Información Ambiental. Available from: [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-huancavelica/archivos/public/docs/dia\\_ccochccasa.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-huancavelica/archivos/public/docs/dia_ccochccasa.pdf)
  94. GOBIERNO REGIONAL DE HUANCAMELICA. *Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Huancavelica*. Online. 2013. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente y Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial. Available from: [https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/estudio\\_de\\_la\\_propuesta\\_de\\_zee\\_3.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/estudio_de_la_propuesta_de_zee_3.pdf)
  95. RICHARDS, Daniel and BELCHER, Richard. Global Changes in Urban Vegetation Cover. *Remote Sensing*. 2019. Vol. 12, no. 1, p. 23. DOI 10.3390/rs12010023.
  96. SASIDHARAN, Salini, BRADFORD, Scott, ŠIMŮNEK, Jiří and KRAEMER, Stephen. Comparison of recharge from drywells and infiltration basins: A modeling study. *Journal of Hydrology*. 2021. Vol. 594, p. 125720. DOI 10.1016/j.jhydrol.2020.125720.
  97. BERIHUN, Mulatu, TSUNEKAWA, Atsushi, HAREGEWEYN, Nigussie, DILE, Yihun, TSUBO, Mitsuru, FENTA, Ayele, MESHESHA, Derege, EBABU, Kindiye, SULTAN, Dagnenet and SRINIVASAN, Raghavan. Evaluating runoff and sediment responses to soil and water conservation practices by employing alternative modeling approaches. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 747, p. 141118. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.141118.
  98. SCHLESINGER, William and BERNHARDT, Emily. The Global Water Cycle. In : *Biogeochemistry*. Elsevier, 2013. p. 399–417.
  99. LU, Shenggao, YU, Xiuling and ZONG, Yutong. Nano-microscale porosity and pore size distribution in aggregates of paddy soil as affected by long-term mineral and organic

- fertilization under rice-wheat cropping system. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 186, p. 191–199. DOI 10.1016/j.still.2018.10.008.
100. HARAHAP, Fitra, OESMAN, Roswita, FADHILLAH, Wizni and NASUTION, Ade. Penentuan Bulk Density Ultisol Di Lahan Praktek Terbuka Universitas Labuhanbatu. *AGROVITAL: Jurnal Ilmu Pertanian*. 2021. Vol. 6, no. 2, p. 56. DOI 10.35329/agrovital.v6i2.1913.
  101. YASUDA, Hyuga, KATSURA, Makoto and KATSURAGI, Hiroaki. Grain-size dependence of water retention in a model aggregated soil. *Advanced Powder Technology*. 2023. Vol. 34, no. 1, p. 103896. DOI 10.1016/j.appt.2022.103896.
  102. ZEYLIGER, Anatoly, CHINILIN, Andrey and ERMOLAEVA, Olga. Spatial Interpolation of Gravimetric Soil Moisture Using EM38-mk Induction and Ensemble Machine Learning (Case Study from Dry Steppe Zone in Volgograd Region). *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 16, p. 6153. DOI 10.3390/s22166153.
  103. MOSQUERA, Giovanni, MARÍN, Franklin, STERN, Margaret, BONNESOEUR, Vivien, OCHOA, Boris, ROMÁN, Francisco and CRESPO, Patricio. Progress in understanding the hydrology of high-elevation Andean grasslands under changing land use. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 804, p. 150112. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.150112.
  104. ALBARRACÍN, Marco, RAMÓN, Galo, GONZÁLEZ, Jorge, IÑIGUEZ, Carlos, ZAKALUK, Thomas and MARTOS-ROSILLO, Sergio. The Ecohydrological Approach in Water Sowing and Harvesting Systems: The Case of the Paltas Catacocha Ecohydrology Demonstration Site, Ecuador. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 2021. Vol. 21, no. 3, p. 454–466. DOI 10.1016/j.ecohyd.2021.07.007.
  105. HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ, Carlos and BAPTISTA, María del Pilar. *Metodología de la investigación*. . sexta. Books medicos, 2014.
  106. CARRASCO, S. *Metodología de la investigación científica*. . San Marcos. 2006.
  107. MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO. Lineamientos para la formulación y evaluación de proyectos de inversión de la tipología de siembra y cosecha de agua. *Invierte.pe*. Online. 2022. Available from: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/3022937-lineamientos-de-siembra-y-cosecha-de-agua>

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Instrumentos de recolección de datos

#### Ficha de recolección de datos de suelo

##### 1. Información general

- Código de muestra: \_\_\_\_\_
- Fecha de recolección: \_\_\_\_\_
- Hora: \_\_\_\_\_
- Nombre del responsable: \_\_\_\_\_
- Condición del terreno:  Con cobertura vegetal  Sin cobertura vegetal
- Coordenadas GPS: Lat. \_\_\_\_\_ Long. \_\_\_\_\_
- Profundidad:  0–30 cm  30–60 cm

##### 2. Observación de campo

- Tipo de vegetación presente: \_\_\_\_\_
- Pendiente del terreno:  Suave  Moderada  Fuerte
- Humedad visible:  Alta  Media  Baja
- Color del suelo (según Munsell): \_\_\_\_\_

##### 3. Variables y mediciones

Variable	Instrumento utilizado	Valor registrado	Observaciones
Porosidad (%)	Cálculo laboratorio		
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Cilindro + balanza		
Textura del suelo	Método del hidrómetro	Arena: ___% Limo: ___% Arcilla: ___%	

Materia orgánica (%)	Método Walkley-Black		
Infiltración (mm/h)	Infiltrómetro de doble anillo		Tiempo: _____ min
Capacidad retentiva (%)	Método gravimétrico/lab		

**Anexo 2**  
**Matriz de consistencia**

Título	Problema de Investigación	Objetivos	Hipótesis	Tipo y diseño de estudio	Población de estudio	Instrumentos de recolección
La cobertura vegetal y la cosecha de agua en la qocha de Ccochaccasa, Huancavelica – 2024	<u>Problema general</u>	<u>Objetivo general</u>	<u>Hipótesis general</u>	Tipo: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Nivel: Explicativo Diseño: Pre experimental	Población: 84.54m2 del Suelo de la Qocha de Ccochaccasa  Muestra: 20m2 del Suelo de la Qocha de Ccochaccasa	Técnica: Observación Medición de propiedades del suelo Instrumentos: ✓ Ficha de observación ✓ Equipos de medición de suelo
	¿De qué manera influye la cobertura vegetal en la capacidad de cosecha de agua en la Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica – 2024?	Determinar la influencia de la cobertura vegetal en la capacidad de cosecha de agua en la Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica – 2024.	La cobertura vegetal influye significativamente en la capacidad de cosecha de agua en la Qocha de Ccochaccasa, Huancavelica – 2024.			
	<u>Problemas específicos</u>	<u>Objetivos específicos</u>	<u>Hipótesis específicas</u>			
	1. ¿Cómo influye la cobertura vegetal en las propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad aparente y textura) en la Qocha de Ccochaccasa?	1. Determinar la influencia de la cobertura vegetal en las propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad aparente y textura) en la Qocha de Ccochaccasa.	1. La cobertura vegetal influye en las propiedades físicas del suelo (porosidad, densidad aparente y textura) en la Qocha de Ccochaccasa.			
	2. ¿Qué relación existe entre la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo en la Qocha de Ccochaccasa?	2. Determinar la relación entre la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo en la Qocha de Ccochaccasa.	2. Existe una relación significativa entre la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo en la Qocha de Ccochaccasa.			

---

3. ¿Qué efecto tiene la cobertura vegetal sobre la infiltración y la capacidad retentiva de agua del suelo en la Qocha de Ccochaccasa?

3. Determinar el efecto de la cobertura vegetal sobre la infiltración y la capacidad retentiva de agua del suelo en la Qocha de Ccochaccasa.

3. La cobertura vegetal afecta la infiltración y la capacidad retentiva de agua del suelo en la Qocha de Ccochaccasa.

---

### Anexo 3

#### Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala de medición	
Variable 01 (independiente)	Cobertura vegetal	La cobertura vegetal como parte de la infraestructura natural que contribuye a la retención y regulación del agua en los ecosistemas, apoyando los procesos de infiltración y almacenamiento de agua en el suelo (107).	Cobertura vegetal se medirá mediante la observación directa en campo utilizando fichas de observación para registrar la presencia o ausencia de vegetación.	Tipo de suelo	- Suelo con cobertura vegetal	Presencia/Ausencia (1=Con, 0=Sin)	Nominal
					- Suelo sin cobertura vegetal	Presencia/Ausencia (1=Con, 0=Sin)	
Variable 02 (dependiente)	Cosecha de agua	La cosecha de agua como un conjunto de medidas y proyectos orientados a la captura, infiltración, almacenamiento y regulación de agua proveniente de la lluvia (107).	La cosecha de agua se medirá mediante equipos especializados como infiltrómetros, densímetros y análisis de porosidad del suelo, densidad	Porosidad del suelo	- Porcentaje de porosidad total del suelo. - Capacidad de absorción de agua en función de la porosidad.	Porcentaje (%) Milímetros (mm)	Razón
				Densidad aparente del suelo	- Valor de densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ). - Relación entre densidad aparente y facilidad de infiltración de agua.	Gramos por centímetro cúbico (g/cm <sup>3</sup> ) -	

aparente del suelo, contenido de materia organica, infiltración y capacidad retentiva del agua.	Textura del suelo	- Porcentaje de arena, limo y arcilla en el suelo	Porcentaje (%)
		- Relación entre la textura del suelo y la tasa de infiltración	Milímetros por hora (mm/h)
	Contenido de materia orgánica	- Porcentaje de materia orgánica en el suelo.	Porcentaje (%)
		- Relación entre la cantidad de materia orgánica y retención de agua.	-
	Infiltración	- Tasa de infiltración (mm/h).	Milímetros por hora (mm/h)
		- Profundidad de infiltración en un periodo de tiempo determinado.	Milímetros (mm)
		- Tiempo requerido para que el agua se infiltre en el suelo hasta una profundidad específica.	Minutos (min)
		- Capacidad de campo (cantidad de agua retenida después de que el exceso se haya drenado).	Milímetros (mm)
		- Porcentaje de agua disponible para las plantas.	Porcentaje (%)
	Capacidad retentiva de agua	- Tiempo de retención de agua en el suelo tras una precipitación.	Horas (h)

## Anexo 4

### Resultados de laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : KARIM QUINTO CAJA  
 PROCEDENCIA : HUANCVELICA/ ANGARAES/ CCOCHACCASA  
 REFERENCIA : H.R. 85080  
 BOLETA : 7191  
 FECHA : 17/03/2025

Número Muestra		M.O.	C.C.	D.A.	Porosidad
Lab	Claves	%	%	g/cc	%
829	0-30 CM SUELO CON VEG. 001	6.52	38.66	0.94	57.83
830	30-60 CM SUELO CON VEG. 001	0.80	23.48	1.18	50.47
831	0-30 CM SUELO CON VEG. 002	6.78	33.67	0.98	55.15
832	30-60 CM SUELO CON VEG. 002	0.93	21.30	1.33	46.53
833	0-30 CM SUELO CON VEG. 003	8.31	37.79	0.97	56.60
834	30-60 CM SUELO CON VEG. 003	1.46	25.41	1.33	46.00
835	0-30 CM SUELO SIN VEG. 001	7.12	35.18	0.99	55.50
836	30-60 CM SUELO SIN VEG. 001	0.73	32.72	1.09	53.64
837	0-30 CM SUELO SIN VEG. 002	7.18	36.03	0.96	57.02
838	30-60 CM SUELO SIN VEG. 002	0.80	28.44	1.11	53.44

Número Muestra		Arena	Limo	Arcilla	Clase
Lab	Claves	%	%	%	Textural
829	0-30 CM SUELO CON VEG. 001	46	36	18	Fr.
830	30-60 CM SUELO CON VEG. 001	58	24	18	Fr.A.
831	0-30 CM SUELO CON VEG. 002	66	28	6	Fr.A.
832	30-60 CM SUELO CON VEG. 002	58	26	16	Fr.A.
833	0-30 CM SUELO CON VEG. 003	48	38	14	Fr.
834	30-60 CM SUELO CON VEG. 003	56	28	16	Fr.A.
835	0-30 CM SUELO SIN VEG. 001	58	30	12	Fr.A.
836	30-60 CM SUELO SIN VEG. 001	52	34	14	Fr.
837	0-30 CM SUELO SIN VEG. 002	48	40	12	Fr.
838	30-60 CM SUELO SIN VEG. 002	52	32	16	Fr.

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcillo



*Lily Tello Peramás*  
 Dra. Lily Tello Peramás  
 Jefa del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
 Celular: 946-505-254  
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

**Anexo 5**  
**Fotografías**

- **Suelo con vegetación**



Fotografía 1: Muestra 1 de suelo con vegetación  
CODP1-C2.



Fotografía 2: Muestra con cobertura vegetal de profundidad de 60 cm.



Fotografía 3: Muestra de suelo con vegetación CODP1-C3.



Fotografía 4: Muestra de suelo con vegetación CODP1-C2.

- **Suelo sin vegetación**



Fotografía 5: Muestra de suelo sin vegetación a profundidad de 30 cm.



Fotografía 6: Muestra de suelo vegetación a profundidad de 60 cm..



Fotografía 7: Comparativas de muestras de suelo sin vegetación.



Fotografía 8: Medición del peso de la muestra de suelo.

- **Imágenes de infiltración**



Fotografía 9: Preparación de la muestra de suelo para análisis de infiltración.



Fotografía 10: Medición del nivel de agua en ensayo de infiltración.



Fotografía 11: Vertido de agua en el ensayo de infiltración de suelos.



Fotografía 12: Acondicionamiento de la muestra de suelo para ensayo de infiltración



Fotografía 13: Extracción de muestra de suelo para análisis.



Fotografía 14: Herramientas para la toma de muestras de suelo.



Fotografía 15: Extracción de muestra de suelo en campo.



Fotografía 16: Excavación para toma de las muestras.



Fotografía 17: Anillo concéntrico de 0.38 cm de altura.



Fotografía 1: Anillo concéntrico de 0.31 cm de diámetro.