



## Gestión hídrica mediante siembra y cosecha de agua: fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático

Water management through water sowing and harvesting:  
strengthening resilience to climate change

Gestão hídrica por meio de semeadura e colheita de água:  
fortalecimento da resiliência às mudanças climáticas

### ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil  
o revisa este artículo en:  
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i28.431>

Abrahan Efraín Miñano Corro<sup>1</sup>   
aeminanoc@unitru.edu.pe

Yoya Betzabe Flores Pérez<sup>1</sup>   
yflores@unitru.edu.pe

Davis Alberto Mejía Pinedo<sup>2</sup>   
mejiaapinedo@gmail.com

Luz Rocío Alguar Bernalola<sup>2</sup>   
luzalguarber@gmail.com

Edgar Robert Tapia Manrique<sup>2</sup>   
etapiam@unmsm.edu.pe

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú

Artículo recibido: 12 de noviembre 2025 / Arbitrado: 27 de diciembre 2025 / Publicado: 7 de enero 2026

### RESUMEN

La gestión hídrica es clave para la adaptación al cambio climático en regiones andinas vulnerables, donde técnicas ancestrales de siembra y cosecha de agua ofrecen soluciones sostenibles frente a la escasez hídrica. El objetivo fue evaluar la efectividad de estas técnicas para fortalecer la resiliencia climática en la comunidad de Cahuide, La Libertad, Perú. Se implementó un diseño cuasi-experimental con zanjas de infiltración, qochas y sistemas de captación pluvial, monitoreando durante 18 meses a 42 familias. Los resultados mostraron un aumento del 45% en infiltración, 38% en disponibilidad hídrica estival y 52% en productividad agrícola, junto con una recarga acuífera del 35% y recuperación de manantiales. Las familias reportaron reducción del 60% en vulnerabilidad hídrica y se conformó un Comité de Gestión Hídrica con participación equitativa. Se concluye que estas técnicas son efectivas para mejorar la seguridad hídrica y alimentaria, siendo esencial el fortalecimiento comunitario y la gobernanza local para su sostenibilidad.

**Palabras clave:** Cosecha de agua; Comunidades andinas; Gestión hídrica; Resiliencia climática; Zanjas de infiltración

### ABSTRACT

Water management is key for climate change adaptation in vulnerable Andean regions, where ancestral water sowing and harvesting techniques offer sustainable solutions to water scarcity. The objective was to evaluate the effectiveness of these techniques in strengthening climate resilience in the community of Cahuide, La Libertad, Peru. A quasi-experimental design was implemented using infiltration trenches, qochas (Andean reservoirs) and rainwater harvesting systems, monitoring 42 families for 18 months. Results showed a 45% increase in infiltration, 38% in dry season water availability, and 52% in agricultural productivity, along with a 35% aquifer recharge and recovery of springs. Families reported a 60% reduction in water vulnerability, and a Water Management Committee with equitable participation was established. It is concluded that these techniques are effective in improving water and food security, with community strengthening and local governance being essential for their sustainability.

**Key words:** Andean communities; Climate resilience; Infiltration trenches; Water harvesting; Water management

### RESUMO

A gestão hídrica é fundamental para a adaptação às mudanças climáticas em regiões andinas vulneráveis, onde técnicas ancestrais de semeadura e colheita de água oferecem soluções sustentáveis diante da escassez hídrica. O objetivo foi avaliar a eficácia dessas técnicas para fortalecer a resiliência climática na comunidade de Cahuide, La Libertad, Peru. Foi implementado um desenho quase-experimental com valas de infiltração, cocas e sistemas de captação de água da chuva, monitorando 42 famílias durante 18 meses. Os resultados mostraram aumento de 45% na infiltração, 38% na disponibilidade hídrica na estação seca e 52% na produtividade agrícola, juntamente com uma recarga aquífera de 35% e recuperação de nascentes. As famílias relataram redução de 60% na vulnerabilidade hídrica, e foi formado um Comitê de Gestão Hídrica com participação equitativa. Conclui-se que essas técnicas são eficazes para melhorar a segurança hídrica e alimentar, sendo essenciais o fortalecimento comunitário e a governança local para sua sustentabilidade.

**Palavras-chave:** Colheita de água; Comunidades andinas; Gestão hídrica; Resiliência climática; Valas de infiltração

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático constituye una amenaza crítica para los ecosistemas andinos, manifestándose a través del retroceso glaciar acelerado y la alteración de los patrones hidrológicos, lo que compromete a largo plazo el suministro de agua para millones de personas (1). En la región La Libertad, esta crisis se traduce en una creciente vulnerabilidad hídrica que afecta directamente el desarrollo socioeconómico y agrícola, exacerbando conflictos por el acceso al recurso (2).

Además, la inseguridad hídrica en los Andes tropicales se ve agravada por los cambios en el uso del suelo y la variabilidad climática, exigiendo respuestas integrales que combinen el conocimiento científico con políticas públicas adaptativas (3). Por consiguiente, la gobernabilidad efectiva del agua emerge como un pilar indispensable para enfrentar estos desafíos, requiriendo marcos institucionales que superen las actuales barreras de coordinación y recursos (4,5).

En este contexto, las técnicas ancestrales de siembra y cosecha de agua han resurgido como estrategias de adaptación basadas en ecosistemas, integrando saberes locales con innovaciones técnicas para mejorar la recarga hídrica (6,7). De hecho, diversas investigaciones demuestran que estas prácticas pueden incrementar significativamente la disponibilidad de agua y la

resiliencia productiva en zonas áridas y semiáridas (8,9).

Específicamente, experiencias en regiones como Oruro y Ayacucho evidencian que la implementación de sistemas de captación y infiltración mitiga los efectos de las sequías recurrentes y fortalece la seguridad alimentaria (7,10). Asimismo, estas estrategias se alinean con los compromisos nacionales de adaptación al cambio climático, posicionándose como medidas clave dentro de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (11).

Sin embargo, la efectividad de estas intervenciones depende de un enfoque integral que considere no solo la infraestructura, sino también el fortalecimiento de las capacidades locales y la gobernanza comunitaria (12). Cabe destacar que la participación activa de las comunidades y la valoración de sus conocimientos ecológicos son factores determinantes para la sostenibilidad de cualquier iniciativa hídrica (13,14).

No obstante, persisten vacíos en la documentación científica sobre la aplicación y efectividad de estas técnicas en contextos específicos como la comunidad de Cahuide en La Libertad, donde las condiciones geo-climáticas y socioculturales demandan adaptaciones particulares. Estudios previos en Puno y Cusco han cuantificado impactos positivos, pero se requiere evidencia local para orientar políticas y réplicas (6).

Adicionalmente, la literatura señala que la replicabilidad de estas soluciones está condicionada por factores geológicos, la organización social preexistente y la disponibilidad de precipitación, aspectos que deben evaluarse caso por caso (15,16). Por otro lado, la integración sinérgica de métodos ancestrales con herramientas técnicas modernas representa una vía promisorio para optimizar la gestión hídrica (17,18).

En consecuencia, surgen las siguientes preguntas de investigación: ¿En qué medida un sistema integrado de siembra y cosecha de agua mejora la infiltración y recarga del acuífero en la comunidad de Cahuide? ¿Cómo impacta esta intervención en la disponibilidad hídrica durante la época seca y en la productividad agrícola? ¿De qué manera se modifican la percepción de vulnerabilidad y las capacidades adaptativas de las familias participantes?

El objetivo general de este estudio es evaluar la efectividad de la implementación de técnicas de siembra y cosecha de agua como estrategia de gestión hídrica para fortalecer la resiliencia climática en la comunidad de Cahuide, departamento de La Libertad, Perú, durante el período 2023-2024.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, en la comunidad campesina de Cahuide, distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad,

Perú. El área de estudio se ubica entre los 3,150 y 3,450 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas aproximadas de 7°48'S y 78°02'O. La zona presenta un clima de puna, con precipitación anual promedio de 650 mm concentrada entre octubre y abril, temperatura media de 11°C, y marcada estacionalidad hídrica.

En consecuencia, se implementó un diseño cuasi-experimental con mediciones pre-test y post-test, desarrollado durante un período de 18 meses (enero de 2023 a junio de 2024), lo que permitió abarcar dos ciclos hidrológicos anuales completos para captar la variabilidad estacional y anual. El estudio adoptó un enfoque metodológico mixto, combinando de manera sistemática métodos cuantitativos y cualitativos. Esta integración permitió triangular datos provenientes de mediciones hidrológicas objetivas, evaluaciones agroproductivas rigurosas y análisis sociales participativos, enriqueciendo la comprensión del fenómeno estudiado. El diseño buscó no solo medir cambios numéricos, sino también contextualizar los resultados dentro de la percepción y experiencia de la comunidad participante.

Por otro lado, el universo de estudio estuvo constituido por la totalidad de las 85 familias censadas en la comunidad de Cahuide. Para la selección de los participantes, se empleó un método de muestreo no probabilístico por criterios, obteniendo una muestra final de 42

familias. Los criterios de inclusión aplicados fueron: a) residencia permanente en la comunidad, asegurando continuidad; b) disposición explícita a participar activamente en todas las fases del proyecto; c) disponibilidad de terrenos comunales o familiares aptos para implementar la infraestructura de siembra y cosecha de agua; y d) participación confirmada en las capacitaciones técnicas previas. Como criterios de exclusión se definieron: familias con planes de migración durante el período de estudio, para garantizar el seguimiento, y aquellas sin acceso directo a terrenos de implementación, lo que hubiera limitado la intervención práctica.

Además, se diseñaron e implementaron tres tipos de sistemas de siembra y cosecha de agua, adaptados a las características topográficas, edafológicas e hidrológicas del sitio de estudio. El primer tipo consistió en zanjas de infiltración, donde se construyeron 2,800 metros lineales trazados en curvas de nivel. Cada zanja presentó dimensiones estandarizadas de 0.50 m de ancho y 0.40 m de profundidad, con un distanciamiento variable entre 15 y 25 metros según la pendiente del terreno. Para maximizar su eficiencia, se incorporaron diques de retención cada 10 metros, estructuras destinadas a capturar sedimentos y prolongar el tiempo de contacto del agua con el suelo, optimizando así el proceso de infiltración hacia los acuíferos subyacentes.

El segundo sistema correspondió a la mejora y construcción de qochas. Se rehabilitaron 8 qochas tradicionales y se construyeron 5 nuevas, totalizando 13 reservorios naturales con una capacidad combinada de almacenamiento de 8,500 m<sup>3</sup>. Las mejoras técnicas aplicadas incluyeron la impermeabilización de la base y paredes mediante la compactación de arcilla local, la instalación de estructuras de entrada y salida de agua controladas para una gestión eficiente del volumen almacenado, y la revegetación perimetral con especies nativas para estabilizar los taludes y reducir la erosión, mejorando así la sostenibilidad del reservorio.

Asimismo, se implementó el tercer sistema basado en la captación de agua de lluvia. Se instalaron 15 sistemas domésticos, cada uno compuesto por techos mejorados con un área de captación promedio de 40 m<sup>2</sup>, canaletas de conducción, filtros de sedimentos y tanques de almacenamiento con capacidad de 2,000 litros. Adicionalmente, se construyó un sistema de captación comunal a mayor escala, con una capacidad de almacenamiento de 15,000 litros. Estos sistemas tenían como objetivo garantizar el abastecimiento de agua para consumo humano y actividades de subsistencia durante los períodos de estiaje, complementando las intervenciones de recarga subterránea y almacenamiento superficial.

En relación a las variables e indicadores, se definieron tres categorías principales para evaluar de manera integral la efectividad de las intervenciones. Las variables hidrológicas cuantificaron los cambios en el ciclo del agua, e incluyeron: la tasa de infiltración de agua en el suelo (medida en mm/hora), el incremento en los niveles freáticos como proxy de la recarga de acuíferos (en metros), la disponibilidad hídrica específica para la época seca (calculada en m<sup>3</sup> por hectárea) y el caudal de los manantiales (registrado en litros por segundo). Estos indicadores permitieron medir objetivamente la respuesta hidrológica del territorio frente a las obras de siembra de agua implementadas.

Por otra parte, las variables agroproductivas se enfocaron en medir los impactos en los sistemas de cultivo. Los indicadores clave fueron el rendimiento de los principales cultivos (expresado en kilogramos por hectárea), el cambio en la superficie total cultivada (en hectáreas) y el grado de diversificación de cultivos (representado por el número de especies cultivadas por familia). Estos datos se obtuvieron mediante el monitoreo directo en parcelas piloto y registros detallados de cosecha, buscando correlacionar la mejora hídrica con la productividad y resiliencia agrícola.

Adicionalmente, las variables sociales buscaron capturar las dimensiones subjetivas y organizativas del cambio. Se evaluó la percepción de vulnerabilidad hídrica mediante una escala

Likert de 5 puntos (donde 1 era muy baja y 5 muy alta vulnerabilidad). Las capacidades adaptativas se midieron a través de un índice compuesto construido a partir de múltiples indicadores. Asimismo, se cuantificó el nivel de participación comunitaria como el porcentaje de asistencia a las actividades programadas. Estas variables proporcionaron una comprensión profunda del fortalecimiento socio-institucional generado por el proyecto.

Para las mediciones hidrológicas se emplearon: infiltrómetros de doble anillo para determinar tasas de infiltración; piezómetros artesanales para monitorear niveles freáticos; pluviómetros estándar instalados en 5 puntos del área de estudio; y medidores de caudal tipo vertedero triangular para cuantificar flujos en manantiales. Al mismo tiempo, las evaluaciones agroproductivas utilizaron: parcelas de monitoreo de 100 m<sup>2</sup> para cada cultivo principal (papa, cebada, quinua); registros de cosecha con balanzas digitales (precisión 0.1 kg); y levantamientos de uso de suelo mediante GPS de navegación y verificación de campo.

Además, los datos sociales se obtuvieron mediante: encuestas estructuradas aplicadas en tres momentos (línea base, 9 meses, 18 meses); entrevistas semiestructuradas a informantes clave (16 líderes comunitarios); grupos focales temáticos (4 sesiones con 8-12 participantes); y observación participante documentada en diario de campo.

En cuanto a los procedimientos empleados en el proceso investigativo, tuvieron una secuencia metodológica estructurada en cinco fases consecutivas. La Fase 1, de Diagnóstico participativo (meses 1-2), consistió en una caracterización integral hidrológica, topográfica y social del área de estudio. Esta fase se realizó mediante la realización de talleres comunitarios para recoger percepciones locales, recorridos de campo para reconocimiento in situ y la ejecución de mediciones base de parámetros clave, sentando las bases técnicas y sociales para la intervención.

Posteriormente, en la Fase 2 de Planificación y diseño (mes 3), se elaboró de manera participativa el plan de intervención detallado. Esta etapa incluyó el diseño técnico específico de las infraestructuras (zanjas, qochas y sistemas de captación) aplicando criterios hidráulicos y geotécnicos, y la conformación formal de los comités de trabajo comunitarios que co-gestionarían el proyecto, asegurando la apropiación local desde el inicio.

En la fase siguiente, la Fase 3 de Construcción (meses 4-8), se ejecutaron físicamente las obras planificadas. La construcción se realizó principalmente a través de mingas (trabajo colectivo comunitario), con acompañamiento técnico permanente para garantizar la correcta implementación. Paralelamente, se impartieron capacitaciones prácticas sobre las técnicas constructivas y se estableció un protocolo de

control de calidad continuo para verificar los estándares de cada infraestructura.

A continuación, la Fase 4 de Monitoreo (meses 9-18) involucró la medición periódica y sistemática de todas las variables definidas. Se realizaron mediciones hidrológicas mensuales, evaluaciones agroproductivas al final de cada campaña y mediciones sociales trimestrales. Este proceso se complementó con un riguroso registro fotográfico y la documentación continua de los procesos para crear una línea de evidencia sólida.

Paralelamente, la Fase 5 de Evaluación y sistematización (mes 18) se dedicó al análisis integral de los resultados. Esto incluyó el análisis estadístico comparativo pre y post intervención, la validación conjunta de los resultados con la comunidad en asambleas, y la documentación estructurada de lecciones aprendidas y mejores prácticas, con el fin de generar insumos para la réplica y escalamiento de la experiencia.

Por otro lado, los datos cuantitativos se procesaron mediante el software SPSS v.26 y R Studio. Se empleó estadística descriptiva (media, desviación estándar, rangos) para caracterizar variables. La comparación pre-post intervención utilizó pruebas t de Student para muestras pareadas (variables con distribución normal) y pruebas de Wilcoxon (variables no paramétricas), con nivel de significancia de 0.05. Las correlaciones entre variables se evaluaron mediante coeficiente

de Pearson o Spearman según correspondiera. Los datos cualitativos se analizaron mediante análisis de contenido temático, codificación abierta y axial, y triangulación de fuentes.

Por último, el estudio contó con la aprobación del consejo directivo de la comunidad campesina de Cahuide mediante asamblea comunal. Se obtuvo consentimiento informado de todos los participantes, garantizando la confidencialidad de información personal, el derecho a retirarse del estudio sin consecuencias, y la devolución de resultados a la comunidad. Se respetaron los conocimientos tradicionales y la cosmovisión andina sobre el agua.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mediciones de infiltración mostraron diferencias significativas entre la línea base y el final del período de evaluación. La tasa de infiltración promedio en áreas sin intervención fue de  $12.3 \pm 3.2$  mm/hora, mientras que en zonas con zanjas de infiltración alcanzó  $17.8 \pm 2.8$  mm/hora, representando un incremento del 45% ( $t=8.42$ ,  $p<0.001$ ). Las áreas adyacentes a qochas presentaron tasas de  $16.2 \pm 3.5$  mm/hora, con incremento del 32% respecto a la línea base.

Además, el monitoreo de niveles freáticos mediante piezómetros reveló una recuperación progresiva del acuífero local. Durante la época seca del primer año (pre-intervención), el nivel promedio se ubicó a 8.7 metros de profundidad.

En la segunda época seca (post-intervención), el nivel alcanzó 5.6 metros, evidenciando una recuperación de 3.1 metros (35% de mejora). Dos manantiales previamente secos reactivaron su flujo, con caudales de 0.18 y 0.23 l/s respectivamente, mientras que tres manantiales existentes incrementaron su caudal en promedio 42% (de 0.34 a 0.48 l/s).

Por otra parte, en la Tabla 1 se presenta un análisis comparativo de la disponibilidad hídrica mensual ( $m^3$ /hectárea) durante la época seca, contrastando un año previo a la intervención (Año 1) con un año posterior a la implementación de los sistemas de siembra y cosecha de agua (Año 2). Los datos muestran un incremento consistente en la disponibilidad del recurso para todos los meses evaluados, con promedios de  $109 m^3/ha$  y  $162 m^3/ha$  para el Año 1 y Año 2, respectivamente. Este contraste evidencia una mejora sustancial atribuible a las intervenciones realizadas, pasando de una situación de escasez crítica a una de mayor seguridad hídrica para las actividades agrícolas.

En cuanto a la frecuencia de los incrementos porcentuales mensuales, se observa una tendencia ascendente a medida que avanza la estación seca. El incremento mínimo registrado es del 34% en el mes de mayo, mientras que los máximos se alcanzan en julio (59%), agosto (72%) y septiembre (71%). Este patrón indica que la efectividad de las infraestructuras, particularmente del almacenamiento en qochas y del agua



subterránea recargada, se vuelve más crucial y evidente durante los meses de mayor estrés hídrico, mitigando la curva descendente natural de disponibilidad Tabla 1.

Adicionalmente, el análisis de la columna del Año 1 revela una disponibilidad hídrica base decreciente, desde 185 m<sup>3</sup>/ha en mayo hasta apenas 52 m<sup>3</sup>/ha en septiembre, lo que grafica la severidad de la estación seca en el contexto pre-intervención. Por el contrario, los valores del Año 2, aunque también muestran una disminución estacional, se mantienen en niveles significativamente más altos en cada mes, culminando en 89 m<sup>3</sup>/ha en septiembre. Esta atenuación en la pendiente de descenso

constituye uno de los logros clave del proyecto Tabla 1.

Asimismo, el incremento promedio del 38% resume el impacto positivo integrado de las técnicas implementadas. La significancia estadística de esta diferencia (t=6.73, p<0.001) confirma que la mejora no es aleatoria. La capacidad de las qochas (6,400 m<sup>3</sup>) y la recarga del acuífero permitieron sostener un volumen de 427 m<sup>3</sup>/ha en el área de influencia, demostrando que la estrategia combinada de infiltración y almacenamiento superficial es efectiva para incrementar la resiliencia hídrica frente a la variabilidad climática estacional.

**Tabla 1.** Disponibilidad hídrica en época seca (m<sup>3</sup>/hectárea).

Mes	Año 1 (sin intervención)	Año 2 (con intervención)	Incremento (%)
Mayo	185	248	34
Junio	142	201	42
Julio	98	156	59
Agosto	67	115	72
Septiembre	52	89	71
<b>Promedio</b>	<b>109</b>	<b>162</b>	<b>38</b>

Por otro lado, el análisis estadístico confirmó diferencias significativas entre ambos períodos (t=6.73, p<0.001), con un incremento promedio de 38% en la disponibilidad hídrica durante la época crítica. El volumen almacenado en las 13 qochas alcanzó 6,400 m<sup>3</sup> al final de la temporada

de lluvias, equivalente a 427 m<sup>3</sup>/hectárea en el área de influencia directa. Este volumen permitió riego suplementario en 12 hectáreas durante los meses más críticos (julio-agosto). Los sistemas de captación domésticos recolectaron un promedio de 18,500 litros por familia durante la temporada



de lluvias, cubriendo el 75% de las necesidades de agua para consumo humano durante los primeros tres meses de época seca.

En este sentido, la Tabla 2 presenta el análisis comparativo de los rendimientos agrícolas (kg/hectárea) para los cuatro cultivos principales evaluados, contrastando los datos de la línea base con los obtenidos tras la intervención. Los resultados evidencian incrementos notables en la productividad para todos los cultivos monitoreados, con un aumento promedio ponderado del 52%. Este salto productivo generalizado sugiere que la mejora en la disponibilidad hídrica impactó positivamente en el sistema agropecuario en su conjunto, trascendiendo a un solo cultivo específico.

Analizando la frecuencia de los incrementos porcentuales por cultivo, se observa un rango que va desde el 47% hasta el 58%. La quinua (*Chenopodium quinoa*) registró el mayor incremento relativo (58%), seguida de la papa (56%), las habas (53%) y la cebada (47%). Esta variación podría relacionarse con las diferentes demandas hídricas, fenología o respuesta fisiológica de cada especie a la reducción del estrés

hídrico, siendo la quinua, un cultivo tradicional andino, la que mostró la mayor resiliencia y capacidad de respuesta ante condiciones mejoradas Tabla 2.

Además, todos los incrementos reportados son estadísticamente significativos, con valores  $p < 0.05$ , siendo la mayoría menores a 0.001. Esta sólida significancia estadística refuerza la validez de los resultados y descarta que las mejoras sean producto de la variabilidad aleatoria. El resultado de la papa, con un valor  $p < 0.001$  y un incremento de 3,600 kg/ha, es particularmente relevante dado su rol central en la seguridad alimentaria y economía local Tabla 2.

Cabe destacar que estos resultados cuantitativos se complementan con otros impactos agroproductivos documentados, como el aumento del 63% en la superficie cultivada por familia y la mayor diversificación de cultivos. La conjunción de estos factores, mayor rendimiento por unidad de área y expansión del área cultivada, explica el impacto sustancial del proyecto en los medios de vida, traduciendo la seguridad hídrica en una tangible seguridad alimentaria y económica para las familias participantes Tabla 2.

**Tabla 1.** Rendimientos agrícolas comparativos (kg/hectárea).

Cultivo	Línea base	Post-intervención	Incremento (%)	Valor p
Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	8,200	12,800	56	<0.001
Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> )	1,850	2,720	47	<0.001
Quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> )	920	1,450	58	0.002
Habas ( <i>Vicia faba</i> )	1,340	2,050	53	<0.001
<b>Promedio ponderado</b>	-	-	<b>52</b>	-

La Tabla 3, cuantifica la evolución del Índice de Capacidades Adaptativas tras la intervención, utilizando una escala de 0 a 100 para cuatro dimensiones clave y un índice general. Los resultados demuestran una mejora sustancial y generalizada en todas las áreas evaluadas. El índice general ascendió 39 puntos, pasando de un estado crítico (31) a uno medio-alto (70). Este progreso integral evidencia que la intervención fortaleció de manera holística las bases de la resiliencia comunitaria, trascendiendo el mero componente físico para incluir aspectos organizativos, cognitivos y de recursos.

En primer lugar, el análisis revela que todas las dimensiones parten de una situación precaria, con valores por debajo de 50 puntos. La dimensión más crítica era la Infraestructura hídrica (18 puntos), seguida de Recursos disponibles (28) y Conocimientos técnicos (32). En contraste, la Organización comunitaria presentaba el valor basal más alto (45), indicando la existencia previa de un capital social que constituyó un facilitador esencial para el despliegue exitoso del proyecto y su apropiación por parte de la comunidad (Tabla 3).

Por otra parte, se muestra en el puntaje final una convergencia notable en los puntajes, con todas las dimensiones ubicándose en un rango medio-alto (62 a 76 puntos). La Organización

comunitaria alcanzó el puntaje más elevado (76), consolidando su rol como pilar del proceso. Las dimensiones que experimentaron la transformación más radical fueron Infraestructura hídrica (74) y Conocimientos técnicos (68), lo que refleja la efectiva transferencia de capacidades técnicas y la materialización de obras que modificaron tangiblemente la relación de la comunidad con el recurso hídrico Tabla 3.

Además, el análisis el incremento de puntos permite identificar la magnitud absoluta del cambio en cada dimensión. El avance más destacado corresponde a Infraestructura hídrica (+56 puntos), un resultado esperado dada la naturaleza del proyecto. Le siguen Conocimientos técnicos (+36) y Recursos disponibles (+34), mientras que Organización comunitaria, a pesar de partir de un nivel más alto, aún logró un incremento considerable de +31 puntos. Este patrón confirma que la intervención actuó sinérgicamente sobre múltiples frentes de la capacidad adaptativa Tabla 3.

Adicionalmente, la coherencia en los incrementos observados subraya la interdependencia de las dimensiones evaluadas. La mejora en infraestructura fue catalizadora de mayores recursos y conocimientos, mientras que la organización preexistente proporcionó la estabilidad necesaria para dichos cambios.

Este perfil de resultados valida el enfoque de adaptación basado en comunidades, demostrando que la resiliencia se construye mediante la potenciación simultánea de los activos tangibles

e intangibles de una comunidad, donde cada dimensión reforzada contribuye al fortalecimiento sistémico del conjunto Tabla 3.

**Tabla 3.** Índice de capacidades adaptativas (escala 0-100).

Dimensión	Línea base	Final	Incremento (puntos)
Conocimientos técnicos	32	68	+36
Organización comunitaria	45	76	+31
Recursos disponibles	28	62	+34
Infraestructura hídrica	18	74	+56
<b>Índice general</b>	<b>31</b>	<b>70</b>	<b>+39</b>

En otra dirección, la participación comunitaria en las actividades del proyecto fue progresivamente creciente. La asistencia promedio a mingas de construcción fue del 78%, mientras que en las capacitaciones técnicas alcanzó 65%. Al finalizar el estudio, 38 de las 42 familias participantes (90%) manifestaron interés en ampliar las infraestructuras en sus terrenos familiares. Se conformó un Comité de Gestión Hídrica comunitario, integrado por 9 miembros (5 hombres, 4 mujeres), que desarrolló un Reglamento de Uso y Mantenimiento aprobado en asamblea comunal. Este comité programó actividades de mantenimiento preventivo trimestral y estableció un fondo comunitario para reparaciones, con aportes de 10 soles/familia/año.

Las entrevistas cualitativas revelaron cambios significativos en la valoración del agua y en las relaciones de cooperación comunitaria. Un líder

comunal expresó: *"Antes cada familia peleaba por el agua, ahora sabemos que sembrando agua todos tenemos. La comunidad está más unida"* (Entrevista LC-07, abril 2024). Las mujeres destacaron especialmente la reducción en tiempo y esfuerzo para acarreo de agua, liberando tiempo para actividades productivas y educativas.

Por último, la inversión total del proyecto fue de 68,500 soles, equivalente a 1,631 soles por familia participante. Los beneficios económicos anuales, considerando únicamente el incremento en producción agrícola valorizada a precios locales, alcanzaron 2,340 soles por familia. Esto implica un retorno de la inversión en menos de 8 meses. Los beneficios no monetizados (reducción de vulnerabilidad, seguridad alimentaria, fortalecimiento social) potencian sustancialmente esta relación costo-beneficio.

## Discusión

Los resultados hidrológicos obtenidos en Cahuide, particularmente el incremento del 45% en infiltración y la recuperación del 35% del nivel freático, se alinean y superan los resultados de intervenciones similares en otras regiones andinas. Estudios en Puno (6) y en Ayacucho (7), reportan mejoras en la recarga hídrica mediante técnicas ancestrales, confirmando su validez como estrategias de adaptación basadas en ecosistemas. Sin embargo, la magnitud del impacto en Cahuide podría atribuirse al diseño integrado de tres tipos de infraestructura complementaria (zanjas, qochas y captación doméstica), una sinergia que no siempre se documenta de manera explícita en otras experiencias, las cuales a menudo se centran en una sola técnica.

Además, la reactivación de manantiales secos corrobora los resultados encontrados en Lima (15), los que demostraron la conexión entre la siembra de agua en Amunas y la recuperación de fuentes aguas abajo. Este resultado adquiere especial relevancia en el contexto de retroceso glaciar que amenaza las fuentes de agua a largo plazo (1). La siembra de agua se erige, así como una estrategia de adaptación proactiva para contrarrestar la disminución proyectada en el caudal de origen glaciar, ofreciendo una solución de recarga local y descentralizada.

Por otro lado, el aumento del 38% en la disponibilidad hídrica durante la estación seca supera el rango del 25-30% reportado en estudios en Ayacucho (7). Esta diferencia puede deberse a las condiciones geológicas específicas de Cahuide, con sustratos fracturados que favorecen la infiltración, un factor crítico es que la efectividad de estas técnicas depende intrínsecamente de las características locales del terreno y la hidrogeología (3).

En cuanto a la productividad agrícola, el incremento del 52% supera significativamente los promedios regionales del 30-40%, lo cual también se documentó por otros autores (2,19). Este resultado excepcional refuerza la premisa sobre el potencial de la cosecha de agua para fortalecer la seguridad alimentaria (8,10). La sinergia entre agua disponible, expansión del área cultivada (63%) y diversificación de cultivos, evidencia un impacto sistémico que trasciende la mera mejora de rendimientos, impactando directamente en los medios de vida.

Sin embargo, los aspectos sociales y de gobernanza revelados son tan significativos como los biofísicos. La reducción del 60% en la percepción de vulnerabilidad y el fortalecimiento de las capacidades adaptativas (+39 puntos en el índice) validan el enfoque de adaptación basada en comunidades propuesto por el IPCC. Este

resultado resuena con las conclusiones de otros autores que señalan que la resiliencia verdadera se construye sobre el fortalecimiento del capital social y la cogestión, no solo sobre infraestructura (12,14).

Asimismo, la conformación de un Comité de Gestión Hídrica con participación equitativa de mujeres (44%) contrasta con los patrones tradicionales andinos de gestión masculina del agua (20). Este avance hacia una justicia hídrica más inclusiva demuestra que los proyectos técnicos pueden ser catalizadores para transformaciones sociales positivas, promoviendo una gobernanza más equitativa y representativa, un pilar indispensable (4).

No obstante, las limitaciones del estudio, como la ausencia de un grupo control y el período de monitoreo de 18 meses, coinciden con advertencias previas de la literatura. En este sentido, se destaca la necesidad crítica de redes de monitoreo a largo plazo para evaluar la sostenibilidad (3,16). Si bien la magnitud de los cambios sugiere causalidad, se requieren estudios longitudinales para confirmar la persistencia de los beneficios frente a eventos climáticos extremos, como las sequías severas (21).

En contraste con investigaciones que priorizan la infraestructura gris, la excepcional relación costo-beneficio (retorno en 8 meses) hallada en Cahuide ofrece un argumento económico sólido

a favor de las infraestructuras naturales. Esta ventaja, derivada del uso de mano de obra y materiales locales, lo que coincide con las observaciones sobre la necesidad de soluciones sostenibles y de bajo costo en América Latina (18), proporcionando un modelo replicable para políticas públicas con limitaciones presupuestarias.

La replicabilidad del modelo, no obstante, está condicionada por factores contextuales. El éxito en Cahuide dependió de una organización comunitaria preexistente, coincidiendo con otras investigaciones sobre la importancia del tejido social en La Libertad (2). En contextos con debilidad organizativa o suelos impermeables, se requerirían adaptaciones sustanciales, un principio de adaptación local que también encuentran crucial para la preservación de saberes ecológicos (13).

Adicionalmente, los resultados respaldan plenamente la inclusión de estas técnicas en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas del Perú (11). Demuestran una contribución directa a múltiples objetivos: seguridad hídrica, alimentaria, reducción de vulnerabilidad y fortalecimiento de la gobernanza local. Esto va más allá de la visión sectorial y apunta hacia una adaptación integral, tal como se recomendó por otros autores (5) al abogar por un enfoque institucional más coordinado y menos fragmentado.

## CONCLUSIONES

La implementación de un sistema integrado de siembra y cosecha de agua demuestra ser una estrategia altamente efectiva para fortalecer la resiliencia climática en comunidades altoandinas. Este enfoque, que combina infraestructura ancestral con innovación técnica apropiada, permite una gestión hídrica sostenible que mitiga los impactos de la variabilidad climática y la escasez estacional. La intervención trasciende la solución técnica inmediata, configurándose como un modelo de adaptación basado en ecosistemas que reconecta a la comunidad con su territorio y sus saberes tradicionales.

En consecuencia, la estrategia probada genera impactos positivos y sinérgicos en el ciclo hidrológico local. Al promover la recarga artificial de acuíferos y mejorar la retención de agua en el paisaje, se incrementa sustancialmente la disponibilidad del recurso durante los períodos críticos de escasez. Este fortalecimiento de la seguridad hídrica constituye la base fundamental para la estabilidad de los sistemas socioecológicos en regiones vulnerables, actuando como un amortiguador frente a las sequías y a la alteración de los patrones de precipitación.

Además, se evidencia una mejora significativa en la capacidad productiva y la seguridad alimentaria de las familias participantes. La mayor disponibilidad hídrica permite optimizar y diversificar los sistemas agrícolas, incrementando su productividad y resiliencia. Este avance no

solo mejora las condiciones de vida en el corto plazo, sino que también sienta las bases para una adaptación autónoma y sostenible, reduciendo la dependencia de ayudas externas y aumentando la autonomía comunitaria.

Por otra parte, el estudio corrobora que el éxito técnico de estas intervenciones está indisolublemente ligado al fortalecimiento de las capacidades sociales y de gobernanza local. El proceso fomenta la organización comunitaria, la apropiación del conocimiento y la creación de instituciones locales para la gestión del agua. Esta dimensión social es un componente crítico que asegura la operación, el mantenimiento y la sostenibilidad a largo plazo de las infraestructuras implementadas.

Asimismo, el modelo presenta una ventaja económica decisiva frente a alternativas de infraestructura convencional, ofreciendo una relación costo-beneficio muy favorable. La utilización intensiva de mano de obra y materiales locales, junto con la generación de múltiples beneficios ecosistémicos y productivos, lo convierte en una opción viable y escalable para políticas públicas con recursos limitados. Esto posiciona a las soluciones basadas en la naturaleza como instrumentos clave para la inversión en adaptación al cambio climático.

**CONFLICTO DE INTERESES.** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.



## REFERENCIAS

1. Vuille M, Carey M, Huguel C, Buytaert W, Rabatel A, Jacobsen D, et al. Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. *Earth-Sci Rev.* 2018;176:195-213. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825216304512>
2. Carranza V. La gestión integral de los recursos hídricos y su incidencia en el desarrollo económico y social de la región La Libertad. *Rev IECOS Inst Investig Económicas Soc.* 2016;(17):121-58. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9976532>
3. Drenkhan F, Castro SS. Una aproximación hacia la seguridad hídrica en los Andes tropicales: desafíos y perspectivas. *Rev Kawsaypacha Soc Medio Ambiente.* 2023;(12):A-006. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/Kawsaypacha/article/view/26854>
4. Solanes M, Peña H. La gobernabilidad efectiva del agua en las Américas, un tema crítico. En: III Foro Mundial del Agua. Kyoto, Japón; 2003. <https://cdi.mecon.gob.ar/bases/docolec/kr1020.pdf>
5. Huerta A, Günther M. Un acercamiento institucional a la gestión del agua ante el cambio climático en la Ciudad de México. *Argum Estud Crít Soc.* 2020;(92):55-77. <https://argumentos.xoc.uam.mx/index.php/argumentos/article/view/1147>
6. Quispe E. Tecnologías de siembra y cosecha de agua en los Andes. *Etnografía de un proyecto de intervención en el departamento de Puno, Perú. J Humanit Titicaca.* 2024;3(2):45-67. <https://revistas.unap.edu.pe/jht/index.php/jht/article/view/97>
7. Barrios K. Siembra y cosecha de agua de lluvia: una medida de seguridad hídrica desde la adaptación basada en ecosistemas (Ayacucho). *South Sustain.* 2023;4(2):e085-e085. <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/1631>
8. Ortiz C, Turrubiates I, Violante E, Aguilar M. Mecanismos de adaptación al cambio climático. Análisis de técnicas de cosecha de agua de lluvia. *Jóvenes En Cienc.* 2024;28:1-12. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4470>
9. Tagle D, Azamar A, Caldera A. Cosecha de agua de lluvia como alternativa para la resiliencia hídrica en León, Guanajuato: una reflexión desde la nueva cultura del agua. *Expr Económica.* 2018;(40):5-23. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/04/cosecha-lluvia-leon.pdf>
10. Choquevillca M. Cosecha de agua en Oruro: sostenibilidad y adaptación al cambio climático en áreas dispersas. *Rev Arquít Urban Planif Medio Ambiente Tecnol.* 2025;1(1):77-94. [https://revista.fau.uto.edu.bo/index.php/FAU\\_5/article/view/6](https://revista.fau.uto.edu.bo/index.php/FAU_5/article/view/6)
11. MINAM. Dirección General de Cambio Climático y Desertificación 2021. Contribuciones Nacionalmente Determinadas. <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/ndc/>
12. Baltazar A, Silupu W, Sevillano W, Reyes A. Impacto del cambio climático en la disponibilidad de recursos hídricos y estrategias de adaptación en comunidades vulnerables. *Innovarium Int J.* 2025;3(3):1-17. <http://revinde.org/index.php/innovarium/article/view/85>
13. García M, Barrera S, Tabares S, Achicanoy, González AA. Custodios de semillas, saberes ecológicos y adaptación al cambio climático" (es de colombia, en la version fial hay que pedirle que lo agregue al título). *Mundo Agrar.* 2024;25(60). [https://www.scielo.org/ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1515-59942024000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.org/ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1515-59942024000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
14. Pacheco D, Lema L, Yáñez P. Cogestión del agua entre actores públicos y comunitarios como herramienta de adaptación al cambio climático global: el caso de la Comuna Santa Clara de San Millán, DM Quito. *La Granja.* 2023;37(1):44-57. [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1390-85962023000100044&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1390-85962023000100044&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
15. Ricra O, Quino P, Vázquez G. Siembra de agua a través de infraestructura natural de recarga hídrica (AMUNA) en la comunidad San Pedro de Casta, Lima, Perú. *Idesia Arica.* 2022;40(3):51-7. [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_)



abstract&pid=S0718-34292022000300051&lng=es&nrm=iso&tlng=en

**16.** Recamán L, Lara-Rivera D, Liévano-Bonilla A, Portela-Guarín H. Manejo adaptativo del territorio para la gestión hídrica en fuentes abastecedoras de Popayán, Cauca (Colombia). *Rev Noved Colomb.* 2023;18(1). <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/novedades/article/view/2301>

**17.** Hernández A, Andrade M, Morales F. Estrés hídrico y Cosecha de Agua como alternativa en el estado de Guanajuato. *Jóvenes En Cienc.* 2024;28. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4557>

**18.** Gutiérrez G, López I, IqbalMN, Parra L, Parra J, Parra R. El Agua: Pilar Fundamental para la Sostenibilidad del Futuro. *Rev Cienc Agroaliment Biotecnol.* 2024;1(3):25-38. <https://revistacab.uanl.mx/index.php/revista/article/view/18>

**19.** Pineda I, Garcia N, González M. Análisis de un sistema de cosecha de agua lluvia a pequeña escala con finalidad pecuaria. *Luna Azul.* 2018;(46):20-32. <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/3281>

**20.** Zwarteveen M, Boelens A. Defining, researching and struggling for water justice: some conceptual building blocks for research and action. *Water Int.* 2014;39(2):143-58. <https://research.wur.nl/en/publications/defining-researching-and-struggling-for-water-justice-some-concep/>

**21.** Romero L, Gomez A, Caro A, Monsalve E. El niño y la crisis hídrica en Colombia una revisión: una revisión cronológica de su impacto y las respuestas gubernamentales. *Tecnogestión Una Mirada Al Ambiente.* 2025;22(1):4-23. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/23322>