



Relación entre cosecha de agua pluvial y su aprovechamiento sostenible en el campus UNDAC Oxapampa

Relationship between rainwater harvesting and its sustainable use on the UNDAC Oxapampa campus

Relação entre a captação de água da chuva e seu uso sustentável no campus da UNDAC em Oxapampa

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i28.443>

Paulo Vásquez-Garay Torres
pvasquezgarayt@undac.edu.pe

Alexandra Sheyla Gabiria Campos
agabiriac@undac.edu.pe

Ruth Mauricia Rueda Sandoval
2095403077@undac.edu.pe

Andrea Dávila Ordaya
adavilao@undac.edu.pe

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Oxapampa, Perú

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

RESUMEN

La cosecha de agua de lluvia representa una estrategia fundamental para la gestión sostenible de recursos hídricos en instituciones educativas de la Amazonía peruana. El objetivo del estudio fue determinar la relación entre la cosecha de agua de precipitación pluvial y su aprovechamiento sostenible en el campus de la Filial de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) de Oxapampa. Se utilizó enfoque cuantitativo, nivel descriptivo-correlacional, diseño no experimental, corte transversal, considerando como población las áreas de captación en techos de edificaciones del campus. El inventario identificó 6 023,82 m² de superficie efectiva, con techos de calamina metálica y un coeficiente de escurrimiento promedio ponderado de 0,94, favorable para la captación. El análisis pluviométrico, basado en una precipitación media anual de 2 134,6 mm, evidenció un volumen potencial captable de 10 273,9 m³/año, mientras que la demanda institucional de agua no potable, calculada para usos sanitarios y riego de áreas verdes, se estimó en 2 055,0 m³/año, configurando un balance hídrico con superávit estructural y una cobertura potencial del 500% de la demanda. El coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0,89$; $p < 0,01$) mostró una relación fuerte y significativa entre el volumen cosechado y la cobertura de la demanda no potable. Se concluye que la implementación de un sistema de captación pluvial en el campus UNDAC Oxapampa es técnicamente viable y ambientalmente sostenible, con capacidad para cubrir la demanda de agua no potable y consolidarse como modelo de gestión hídrica sostenible en contextos de alta pluviosidad.

Palabras clave: Cosecha de agua de lluvia; Gestión hídrica; sostenibilidad; Perú

ABSTRACT

Rainwater harvesting is a fundamental strategy for the sustainable management of water resources in educational institutions in the Peruvian Amazon. The objective of this study was to determine the relationship between rainwater harvesting and its sustainable use on the campus of the Oxapampa branch of the Daniel Alcides Carrión National University (UNDAC). A quantitative, descriptive-correlational, non-experimental, cross-sectional design was used, considering the rooftop rainwater harvesting areas on campus buildings as the population. The inventory identified 6,023.82 m² of effective surface area, with corrugated metal roofs and a weighted average runoff coefficient of 0.94, which is favorable for rainwater harvesting. Rainfall analysis, based on an average annual precipitation of 2,134.6 mm, revealed a potential catchable volume of 10,273.9 m³/year, while the institutional demand for non-potable water, calculated for sanitation and irrigation of green areas, was estimated at 2,055.0 m³/year, resulting in a water balance with a structural surplus and a potential coverage of 500% of the demand. The Pearson correlation coefficient ($r = 0.89$; $p < 0.01$) showed a strong and significant relationship between the harvested volume and the coverage of the non-potable water demand. It is concluded that the implementation of a rainwater harvesting system on the UNDAC Oxapampa campus is technically feasible and environmentally sustainable, with the capacity to cover the demand for non-potable water and establish itself as a model of sustainable water management in high-rainfall contexts.

Key words: Keywords: Rainwater harvesting; Water management; Sustainability; Peru

RESUMO

A captação de água da chuva é uma estratégia fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos em instituições de ensino na Amazônia peruana. O objetivo deste estudo foi determinar a relação entre a captação de água da chuva e seu uso sustentável no campus da unidade de Oxapampa da Universidade Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC). Foi utilizado um delineamento quantitativo, descritivo-correlacional, não experimental e transversal, considerando as áreas de captação de água da chuva nos telhados dos edifícios do campus como população. O inventário identificou 6.023,82 m² de área de superfície efetiva, com telhados de metal ondulado e um coeficiente de escoamento médio ponderado de 0,94, o que é favorável à captação de água da chuva. A análise da precipitação, baseada em uma média anual de 2.134,6 mm, revelou um volume potencial de captação de 10.273,9 m³/ano, enquanto a demanda institucional por água não potável, calculada para saneamento e irrigação de áreas verdes, foi estimada em 2.055,0 m³/ano, resultando em um balanço hídrico com excedente estrutural e uma cobertura potencial de 500% da demanda. O coeficiente de correlação de Pearson ($r = 0,89$; $p < 0,01$) demonstrou uma relação forte e significativa entre o volume captado e a cobertura da demanda por água não potável. Conclui-se que a implementação de um sistema de captação de água da chuva no campus da UNDAC em Oxapampa é tecnicamente viável e ambientalmente sustentável, com capacidade para suprir a demanda por água não potável e se consolidar como um modelo de gestão sustentável de recursos hídricos em contextos de alta pluviosidade.

Palavras-chave: Captação de água da chuva; Gestão de recursos hídricos; Sustentabilidade; Peru

INTRODUCCIÓN

La crisis hídrica global constituye uno de los desafíos más apremiantes que enfrenta la humanidad en el siglo XXI, afectando directamente la seguridad alimentaria, la salud pública y el desarrollo económico de millones de personas en todo el mundo. Según datos de las Naciones Unidas, aproximadamente 2 300 millones de personas viven en regiones que experimentan estrés hídrico, situación que se ve agravada por los efectos del cambio climático que alteran los patrones de precipitación tradicionales e incrementan la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos, incluyendo sequías prolongadas e inundaciones devastadoras (1). Por lo que, resulta especialmente relevante considerar alternativas de gestión hídrica que complementen los sistemas convencionales de abastecimiento. En este contexto, la cosecha de agua de lluvia emerge como una alternativa viable y sostenible para complementar el suministro de agua, particularmente en regiones donde la infraestructura convencional de abastecimiento resulta insuficiente o económicamente inviable para garantizar el acceso universal a este recurso esencial.

La cosecha de agua de lluvia, definida como la técnica de recolección, conducción, almacenamiento y aprovechamiento del agua de precipitación atmosférica, representa una de

las estrategias más antiguas de gestión hídrica conocida por la humanidad. Las civilizaciones antiguas de Mesopotamia, el Valle del Indo y Mesoamérica desarrollaron sofisticados sistemas de captación pluvial que evidencian el reconocimiento temprano del valor del agua de lluvia como recurso estratégico para satisfacer las necesidades de comunidades agrícolas y urbanas (2).

En la actualidad, esta práctica milenaria experimenta un resurgimiento significativo impulsado por la necesidad de adaptación al cambio climático, la búsqueda de fuentes alternativas de agua y el creciente interés por desarrollar comunidades resilientes y autosuficientes. Los estudios realizados por el Instituto Internacional de Gestión del Agua demuestran que la implementación adecuada de sistemas de captación pluvial puede satisfacer entre el 30% y el 80% de las necesidades domésticas de agua en zonas con precipitación superior a 500 milímetros anuales, constituyendo una alternativa para mejorar la seguridad hídrica de poblaciones vulnerables (3). Así, la cosecha de agua de lluvia se consolida no solo como una solución técnica, sino también como una herramienta de gestión integral del recurso hídrico.

A nivel internacional, la implementación de sistemas de captación pluvial en instituciones educativas ha experimentado un crecimiento

notable durante las últimas dos décadas, impulsada por la convergencia de múltiples factores incluyendo la creciente conciencia ambiental, las políticas de sostenibilidad institucional, los beneficios económicos demostrados y el valor pedagógico de estas instalaciones como laboratorios vivientes de aprendizaje experiencial. En este marco, las universidades se posicionan como espacios privilegiados para la adopción y evaluación de tecnologías de captación pluvial, articulando gestión ambiental y formación profesional.

En el continente europeo, países como Alemania, Reino Unido, España e Italia han desarrollado marcos normativos específicos que incentivan e incluso regulan la instalación de sistemas de captación pluvial en nuevas edificaciones públicas, incluyendo centros educativos. La Directiva Marco del Agua de la Unión Europea y las directivas específicas sobre eficiencia hídrica han proporcionado el marco regulatorio para el desarrollo de estas iniciativas, resultando en la implementación de más de 15 000 sistemas de captación pluvial en edificios educativos europeos durante el período 2010-2020 (4). La Universidad Técnica de Múnich en Alemania implementó en 2018 un sistema integrado de captación pluvial que cubre el 40% de las necesidades de agua no potable de su campus principal, generando ahorros anuales superiores a los 120 000 euros

en costos de agua y reduciendo significativamente la huella hídrica institucional (5). Estos ejemplos europeos afirman que la combinación de marcos normativos claros y decisiones institucionales estratégicas puede potenciar el aprovechamiento sostenible del agua de lluvia.

De manera similar, la Universidad de Queensland en Australia desarrolló un sistema de captación que recolecta agua de lluvia de más de 25 000 metros cuadrados de techos, satisfaciendo completamente la demanda de riego de sus extensos jardines botánicos y áreas verdes, demostrando la viabilidad técnica y económica de los sistemas de captación pluvial a gran escala en contextos climáticos diversos (6). Este tipo de experiencias en países de alta variabilidad climática fortalece la pertinencia de adaptar soluciones de captación pluvial a distintas realidades regionales.

En América Latina, el desarrollo de sistemas de captación pluvial en instituciones educativas ha respondido tanto a desafíos de escasez hídrica como a oportunidades de innovación tecnológica y formación profesional. En Brasil, el programa Universidade Verde ha impulsado la implementación de sistemas de captación pluvial en más de 50 universidades públicas, documentando reducciones promedio del 35% en el consumo de agua potable y períodos de retorno de inversión inferiores a cuatro años (7).

Estas iniciativas muestran que, incluso en países con evidentes desigualdades socioambientales, la captación pluvial puede integrarse exitosamente en la gestión universitaria del agua.

Como pionera en la región, la Universidade Federal do Ceará, desarrolló un sistema integral que combina captación pluvial, reutilización de aguas grises y sistemas de riego inteligente, sirviendo como modelo para otras instituciones de educación superior latinoamericanas que buscan implementar estrategias de gestión hídrica sostenible (8). En Colombia, la Universidad de los Andes implementó un sistema de captación que actualmente abastece el 55% de la demanda de sanitarios de su campus de Bogotá, demostrando que incluso en zonas con precipitación moderada de aproximadamente 800 mm anuales es posible obtener beneficios significativos mediante el aprovechamiento del agua de lluvia (9). En conjunto, estas experiencias latinoamericanas demuestran el potencial de la captación pluvial para reducir el consumo de agua potable y diversificar las fuentes de abastecimiento en campus universitarios.

En la región andina, las universidades han comenzado a explorar el potencial de la captación pluvial como estrategia de adaptación al cambio climático y mejora de la resiliencia institucional. La Universidad Nacional de Colombia desarrolló una investigación exhaustiva sobre sistemas de captación en climas de altura, determinando

que las condiciones de precipitación orográfica de los Andes centrales permiten optimizar el diseño de estos sistemas mediante ajustes específicos en el coeficiente de escurrimiento y la eficiencia de captación según las características topográficas y climáticas de cada zona (10). Estos hallazgos resultan especialmente relevantes para instituciones ubicadas en contextos andinos con alta pluviosidad y variabilidad espacial de la lluvia.

En el Perú, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos ha implementado proyectos piloto de captación pluvial en sus facultades de Ciencias Naturales y Ambientalismo, generando información técnica valiosa para la adaptación de estas tecnologías a las condiciones específicas del territorio peruano (11). A pesar de estos avances, son pocas las universidades peruanas que han desarrollado estudios sistemáticos sobre el potencial de captación pluvial en sus propios predios, existiendo una brecha significativa entre el conocimiento técnico disponible y su aplicación práctica en instituciones de educación superior del país. Esta brecha evidencia la necesidad de investigaciones que vinculen el potencial de captación pluvial con contextos universitarios concretos.

La Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC), a través de su Filial en Oxapampa, se encuentra ubicada en una zona geográfica estratégica caracterizada por una abundancia

relativa de recursos hídricos, con una precipitación promedio anual superior a los 2 000 milímetros que la convierte en una de las regiones más lluviosas del Perú. La Filial UNDAC Oxapampa alberga actualmente una población universitaria de aproximadamente 450 personas entre estudiantes, docentes y personal administrativo, distribuidas en cinco edificaciones principales que conforman el campus: el Pabellón Administrativo, el Pabellón de Aulas Comunes, el Pabellón de Laboratorios, el Comedor Universitario y la Biblioteca. Las edificaciones presentan diferentes tipos de materiales de cobertura de techos, incluyendo calamina metálica, losa de concreto y teja colonial, lo que influye directamente en los coeficientes de escurrimiento y, por tanto, en el potencial de captación de agua de lluvia de cada superficie. Estas condiciones físicas y climáticas configuran un escenario particularmente favorable para evaluar la viabilidad de sistemas de cosecha de agua pluvial en el campus.

La institución no cuenta actualmente con un sistema organizado de cosecha y aprovechamiento del agua de lluvia, desaprovechando un recurso abundante que podría destinarse a usos no potables como el riego de áreas verdes, limpieza de instalaciones y alimentación de sanitarios. Esta situación refleja una problemática más amplia que afecta a las instituciones educativas de la Amazonía peruana, donde la paradoja de la abundancia

hídrica coexiste con deficiencias en la gestión y el aprovechamiento eficiente del agua. La ausencia de infraestructura de captación pluvial representa una oportunidad perdida no solo en términos de recursos hídricos no aprovechados, sino también en términos de formación profesional y demostración práctica de tecnologías sostenibles.

Las universidades, por su función de generación y difusión del conocimiento, tienen el potencial de convertirse en laboratorios de innovación y demostración de prácticas sostenibles, contribuyendo tanto a la solución de problemas locales como a la formación de profesionales comprometidos con el desarrollo sostenible. En este sentido, resulta pertinente analizar sistemáticamente el potencial de cosecha de agua de lluvia y su aprovechamiento sostenible en el campus de la Filial UNDAC Oxapampa, articulando la gestión del recurso hídrico con los objetivos formativos e institucionales.

En cuanto al marco teórico del estudio, se fundamenta en el paradigma del desarrollo sostenible, entendido como la satisfacción de las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias, concepto introducido por la Comisión Brundtland en 1987 y ampliamente adoptado en la literatura sobre gestión de recursos naturales (12). En este contexto, la cosecha de agua de precipitación pluvial se define como el

conjunto de procesos técnicos mediante los cuales se recolecta, conduce, almacena y aprovecha el agua proveniente de la precipitación atmosférica para su utilización en usos que no requieren calidad potable (13). A su vez, el aprovechamiento sostenible se define como el uso responsable y eficiente del agua captada, orientado a maximizar los beneficios ambientales, económicos y sociales derivados de su utilización, minimizando simultáneamente los impactos negativos sobre el medio ambiente y los ecosistemas (14).

La relevancia del estudio reside en la necesidad de generar información técnica sistemática sobre el potencial de captación pluvial en el campus universitario, como base para la planificación e implementación de infraestructura hídrica sostenible en la institución y en contextos similares de ceja de selva peruana. La información obtenida permitirá establecer líneas de base para el monitoreo de indicadores de sostenibilidad hídrica y proporcionará herramientas técnicas para la toma de decisiones de las autoridades universitarias, con posibles beneficios económicos al reducir costos de agua, ambientales al disminuir la presión sobre las fuentes de suministro y la huella de carbono asociada, y pedagógicos al ofrecer un escenario real para la formación en gestión sostenible del agua y tecnología ambiental.

En consideración a lo anterior, el objetivo del estudio consistió en determinar la relación entre

la cosecha de agua de precipitación pluvial y su aprovechamiento sostenible en el campus de la Filial de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) de Oxapampa, formulándose como metas específicas la identificación del inventario de áreas de captación disponibles, el análisis del comportamiento pluviométrico local, la estimación de la demanda de agua no potable institucional y el establecimiento del balance hídrico entre la oferta potencial de agua de lluvia y la demanda existente, con el fin de evaluar la sostenibilidad del sistema propuesto mediante indicadores de correlación estadística.

MATERIALES Y MÉTODO

La presente investigación se orientó bajo un enfoque cuantitativo de nivel descriptivo-correlacional, utilizando un diseño no experimental de tipo transversal. Esta metodología permitió caracterizar de manera objetiva las variables involucradas en la cosecha de agua de lluvia y establecer las relaciones existentes entre ellas sin manipulación de variables (15). El enfoque cuantitativo se justificó por la naturaleza técnica del problema investigado, que requiere la determinación precisa de volúmenes, áreas y otros parámetros mensurables que sustenten las conclusiones sobre la viabilidad del sistema de captación pluvial.

En cuanto al nivel de estudio, el carácter descriptivo permitió detallar las características de las áreas de captación, el comportamiento de la precipitación y los componentes de la demanda hídrica institucional, en tanto, el componente correlacional permitió estimar el grado de asociación entre el volumen de agua captada y los indicadores de aprovechamiento sostenible, específicamente la reducción del consumo de agua potable y la cobertura de la demanda de usos no potables. Por su parte, el diseño no experimental y de corte transversal respondió a que las condiciones analizadas correspondían a una realidad institucional ya existente y a que la recolección de datos se realizó en un periodo definido.

La selección de la población de estudio comprendió la totalidad de las áreas de captación de techos de las edificaciones del campus de la Filial UNDAC Oxapampa, entendiendo como área de captación toda superficie horizontal o inclinada capaz de recibir y conducir agua de precipitación hacia sistemas de recolección y almacenamiento. Dado que se censaron todas las superficies de techos disponibles, la muestra coincidió con la población, lo que permitió evitar errores de muestreo y contar con una base completa para el cálculo de la oferta hídrica potencial. Las edificaciones incluidas fueron el Pabellón Administrativo, el Pabellón de Aulas Comunes, el

Pabellón de Laboratorios, el Comedor Universitario y la Biblioteca.

Para la recolección de datos primarios se utilizaron técnicas de observación directa y medición física de las características de las edificaciones, registrando tipo de material de cobertura, estado de conservación, presencia de elementos que pudieran afectar la calidad del agua y configuración geométrica de las superficies de captación. Las dimensiones de los techos se determinaron con cinta métrica de 30 metros, complementada con verificación visual. Se utilizaron fichas de observación diseñadas para el estudio, que incluyeron la identificación de cada edificación, las características técnicas de los techos y los parámetros principales para el cálculo de captación; su contenido fue revisado por especialistas en gestión hídrica y tecnología ambiental para garantizar la pertinencia de los parámetros y la coherencia de las escalas de medición.

Para los datos secundarios, se recurrió a fuentes documentales oficiales. Los datos pluviométricos fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), considerando una serie histórica de 10 años de la estación meteorológica más cercana al área de estudio (16). La información sobre consumo de agua institucional fue proporcionada por la administración de la Filial, complementada con

estimaciones basadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE IS.010) para los usos donde no se contaba con mediciones directas (17).

El procedimiento de recolección de datos se estructuró en cuatro etapas secuenciales. La primera etapa correspondió al reconocimiento del terreno, durante la cual se realizó una visita exhaustiva al campus universitario para identificar todas las edificaciones con potencial de captación y establecer un inventario preliminar de las superficies disponibles. La segunda etapa consistió en la medición y caracterización de cada edificación, donde se determinaron las dimensiones de los techos y se documentaron las características de los materiales de cobertura. La tercera etapa involucró la recopilación y sistematización de datos secundarios, incluyendo información pluviométrica y datos de consumo institucional. La cuarta etapa correspondió al procesamiento y análisis de la información recopilada.

El procesamiento de datos involucró la aplicación de fórmulas técnicas establecidas para sistemas de captación pluvial. El volumen de agua captable se determinó mediante la ecuación fundamental de la captación pluvial: $V = P \times A \times C \times \eta$, donde V representa el volumen en metros cúbicos, P la precipitación en milímetros, A el área de captación en metros cuadrados, C el coeficiente de escurrimiento dependiente del material del

techo y η la eficiencia del sistema de conducción y almacenamiento (18). Los coeficientes de escurrimiento adoptados fueron 0,90 para techos de calamina metálica, 0,80 para losas de concreto y 0,75 para techos de teja, valores reportados en la literatura técnica como representativos de las pérdidas por absorción, evaporación y otros factores que reducen el volumen efectivamente captable (18).

Para el análisis de correlación entre variables, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r), considerando un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Este coeficiente permite cuantificar la intensidad y dirección de la relación lineal entre el volumen de agua captada y los indicadores de aprovechamiento sostenible, específicamente la reducción del consumo de agua potable institucional. La interpretación de los valores del coeficiente siguió los criterios establecidos en la literatura estadística: valores absolutos entre 0,7 y 1,0 se consideran indicativos de correlación fuerte, entre 0,4 y 0,7 de correlación moderada y menores a 0,4 de correlación débil (19).

El estudio se desarrolló en cumplimiento de los principios éticos de la investigación científica, no requiriendo aprobación de comité de ética dado que no involucró participantes humanos ni datos personales sensibles. La información institucional fue tratada con confidencialidad, utilizándose únicamente para los fines académicos

del estudio. Las fuentes de datos secundarios fueron correctamente referenciadas, respetando los derechos de propiedad intelectual y el principio de honestidad científica.

Las limitaciones del estudio incluyen la estimación de la demanda hídrica basada en proyecciones teóricas derivadas del Reglamento Nacional de Edificaciones, sin medición directa de consumos reales mediante sistemas de monitoreo continuo. Asimismo, los datos de precipitación corresponden a una estación meteorológica cercana pero no ubicada exactamente en el campus universitario, lo que puede introducir variaciones locales no capturadas por el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados organizados, en primer lugar, con las condiciones físicas y climáticas que determinan el potencial de cosecha de agua de lluvia en el campus UNDAC Oxapampa, y, en segundo lugar, el grado en

que dicho potencial permite cubrir la demanda institucional de agua no potable. Esta sección integra el inventario de áreas de captación, el análisis pluviométrico, la estimación de la demanda, el balance hídrico y la correlación estadística entre oferta y aprovechamiento sostenible, con el fin de valorar la viabilidad técnica y el impacto potencial de un sistema de captación pluvial en el contexto estudiado.

Inventario de áreas de captación

El análisis del inventario de áreas de captación del campus UNDAC Oxapampa identificó seis edificaciones con potencial para la implementación de sistemas de recolección de agua de lluvia, totalizando 6 023,82 m² de superficies efectivas. La Tabla 1 presenta la distribución detallada de estas superficies, sus materiales de cobertura y coeficientes de escurrimiento correspondientes.

Tabla 1. Inventario de áreas de captación del campus UNDAC Oxapampa.

Edificación	Material del techo	Área (m ²)	Coefficiente de escurrimiento (C)	Porcentaje del total
Pabellón Agronomía	Calamina metálica	1014,48	0,95	16,84%
Pabellón Coordinación	Calamina metálica	1006,13	0,95	16,70%
Pabellón Ambiental y Educación	Calamina metálica	1645,42	0,95	27,32%
Pabellón losa deportiva techada	Calamina metálica	1446,45	0,95	24,01%
Pabellón centro de investigación	Losa de concreto	602,38	0,88	10,00%
Invernadero nuevo	Calamina metálica	308,96	0,95	5,13%
Total	—	6023.82	0,94 (promedio ponderado)	100%

*Coeficiente de escurrimiento promedio ponderado.

El área total de 6 023,82 m² se distribuye predominantemente en techos de calamina metálica (90,00% del total), que concentran el 90% de la superficie disponible gracias a su elevado coeficiente de escurrimiento de 0,95. El Pabellón centro de investigación con losa de concreto (10,00%) presenta un coeficiente favorable de 0,88, complementando eficientemente el sistema. Este enfoque metodológico se alinea con las recomendaciones del Instituto Internacional de Gestión del Agua para contextos de alta pluviosidad, donde la maximización de superficies de captación resulta determinante para la viabilidad de los sistemas de cosecha pluvial (3).

Los materiales identificados presentan coeficientes de escurrimiento excepcionalmente favorables, con un promedio ponderado de 0,94 que supera significativamente el valor genérico de 0,75 utilizado en diseños preliminares. Esta

alta eficiencia, consistente con la literatura técnica especializada, minimiza las pérdidas por absorción superficial y optimiza el rendimiento del sistema propuesto (20,21). La predominancia de calamina metálica posiciona al campus como escenario ideal para implementar tecnologías de captación pluvial de alto desempeño.

Análisis pluviométrico

El comportamiento pluviométrico de la zona de Oxapampa se caracterizó por una marcada estacionalidad, con precipitaciones abundantes durante la temporada de lluvias y períodos de menor precipitación en los meses de invierno. La Tabla 2 muestra el análisis mensual de precipitación histórica y volúmenes captables, considerando 1.850 m² de área efectiva y coeficiente de escurrimiento promedio de 0,89.

Tabla 2. Análisis pluviométrico y potencial de captación mensual.

Mes	Precipitación promedio (mm)	Volumen captable (m³/mes)	Volumen captable (m³/día)	Días de precipitación efectiva
Enero	245,3	1.180,6	53,7	22
Febrero	238,7	1.148,9	57,4	20
Marzo	276,4	1.330,3	57,8	23
Abril	198,2	953,9	45,4	21
Mayo	142,5	685,9	38,1	18
Junio	98,3	473,1	31,5	15
Julio	76,5	368,2	30,7	12
Agosto	82,4	396,6	30,5	13
Septiembre	156,8	754,7	47,2	16
Octubre	198,5	955,4	50,3	19
Noviembre	221,4	1.065,6	50,7	21
Diciembre	199,6	960,7	48,0	20
Total anual	2.134,6	10.273,9	—	220

La precipitación total anual promedio alcanza 2.134,6 mm, distribuyéndose irregularmente con un coeficiente de variación mensual del 42%. Los meses de mayor precipitación corresponden al verano (enero-abril), con pico máximo en marzo (276,4 mm), mientras que junio-agosto presentan los valores más bajos (julio: 76,5 mm). Esta distribución estacional implica dimensionamiento crítico de reservorios para almacenar excedentes húmedos y garantizar disponibilidad en meses secos.

Considerando 6.023,82 m² de área de captación, coeficiente de escurrimiento promedio ponderado de 0,94 y eficiencia del sistema del 85%, el volumen total captable anual asciende a 10.273,9 m³. Este volumen representa el máximo aprovechable bajo operación óptima y supera ampliamente la demanda institucional de agua no potable. El análisis mensual revela que los

meses de verano concentran el 47,2% del volumen captable (enero-abril: 4.853,7 m³), mientras junio-agosto genera solo el 10,9% (1.238,0 m³), subrayando la necesidad de almacenamiento estratégico de 1.500-2.000 m³ para equilibrar la oferta estacional y garantizar autosuficiencia hídrica institucional.

Población universitaria

La caracterización demográfica del campus constituye un elemento fundamental para la comprensión del contexto institucional y la validación de los cálculos de demanda hídrica. La tabla 3 presenta la distribución de la población universitaria por categoría para el año 2024, constituyendo la base para las estimaciones de consumo y el análisis de cobertura del sistema de captación pluvial.

Tabla 3. Población universitaria de la Filial UNDAC Oxapampa (año 2024).

Categoría	Número de personas	Porcentaje del total
Docentes	47	7,8 %
Estudiantes	536	88,9 %
Personal administrativo	20	3,3 %
Total	603	100 %

La prevalencia de la población estudiantil (88,9 % del total) tiene implicaciones directas en los patrones de consumo de agua, particularmente en lo referente a la estacionalidad de la demanda,

dado que los períodos vacacionales reducen significativamente la población efectiva del campus durante varios meses del año. Esta característica demográfica fue considerada en

el cálculo de la demanda hídrica institucional, ajustando los parámetros de dotación según el calendario académico y los días efectivos de ocupación del campus.

Demanda de agua no potable

La estimación de la demanda de agua no potable se fundamenta en los parámetros establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (Norma IS.010), las

recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud para instituciones educativas, y las características operativas específicas del campus universitario considerando el calendario académico institucional. La tabla 4 presenta el desglose detallado de los requerimientos hídricos, diferenciando los componentes de consumo según la normativa aplicable y las condiciones de operación del campus

Tabla 4. Estimación de la demanda de agua no potable.

Componente	Parámetros de cálculo	Consumo mensual (m³/mes)	Consumo anual (m³/año)
Descarga sanitaria	10 L/persona/día × 603 personas × 20 días/mes (días laborables)	120,6	1 447,2
Riego de áreas verdes	12 L/m²/día × 4 212 m² × 12 días/mes (abril-septiembre)	101,3	607,8
Demanda total de agua no potable	—	221,9	2 055,0

Es importante destacar que la estimación de demanda considera exclusivamente los usos no potables del agua, excluyendo deliberadamente el consumo humano directo y la preparación de alimentos que requieren calidad potable, siguiendo los criterios de la normativa nacional e internacional para sistemas de captación pluvial en instituciones educativas. Esta delimitación del alcance resulta coherente con las prácticas recomendadas para el dimensionamiento de sistemas de captación pluvial, donde los usos no potables como sanitarios, riego y limpieza

representan destinos apropiados para el agua de lluvia captada.

En cuanto a los parámetros de cálculo para el componente sanitario, se aplicó una dotación de 10 litros por persona por día, significativamente inferior a los valores típicos de consumo doméstico, justificada por el carácter no potable del uso y las características específicas del consumo institucional. Adicionalmente, se consideró únicamente 20 días al mes de ocupación efectiva, descontando sábados y domingos, y se ajustó la dotación según el calendario

académico que contempla períodos de vacaciones en los que la población del campus se reduce considerablemente. Estos ajustes metodológicos resultan coherentes con las prácticas recomendadas para el dimensionamiento de sistemas de captación pluvial en instituciones educativas, donde la demanda efectiva difiere sustancialmente de los valores normativos para uso domiciliario.

El componente de riego de áreas verdes, con una superficie total de 4 212 metros cuadrados, se calculó considerando una dotación de 12 litros por metro cuadrado por día únicamente durante los 12 días mensuales de mantenimiento activo y exclusivamente durante el período de abril a septiembre, correspondiente a la estación de menor precipitación en la región. Este enfoque

responde al principio de eficiencia en el uso del agua de riego, evitando la irrigación durante los meses de alta pluviosidad cuando la precipitación natural resulta suficiente para mantener las áreas verdes del campus.

Balance hídrico y correlación

Al integrar la oferta hídrica con la demanda institucional, el análisis del balance hídrico permitió establecer la relación entre el volumen cosechable de agua de lluvia y la demanda de agua no potable. La tabla 5 presenta la comparación mensual entre ambas variables, identificando los períodos de excedente y déficit, así como la cobertura porcentual de la demanda y la propuesta de capacidad de almacenamiento requerida para optimizar el aprovechamiento del recurso.

Tabla 5. Balance hídrico mensual entre oferta y demanda.

Mes	Volumen cosechado (m ³ /mes)	Demanda (m ³ /mes)	Cobertura (%)	Balance mensual (m ³)	Balance acumulado (m ³)	Estado
Enero	1.180,6	120,6	979,0	+1.060,0	1.060,0	Superávit
Febrero	1.148,9	120,6	952,7	+1.028,3	2.088,3	Superávit
Marzo	1.330,3	120,6	1.103,0	+1.209,7	3.298,0	Superávit
Abril	953,9	221,9	429,8	+732,0	4.030,0	Superávit
Mayo	685,9	221,9	309,2	+464,0	4.494,0	Superávit
Junio	473,1	221,9	213,2	+251,2	4.745,2	Superávit
Julio	368,2	221,9	166,0	+146,3	4.891,5	Superávit
Agosto	396,6	101,3	391,7	+295,3	5.186,8	Superávit
Septiembre	754,7	221,9	340,2	+532,8	5.719,6	Superávit
Octubre	955,4	120,6	792,0	+834,8	6.554,4	Superávit
Noviembre	1.065,6	120,6	883,4	+945,0	7.499,4	Superávit
Diciembre	960,7	120,6	796,5	+840,1	8.339,5	Superávit
Total	10.273,9	2.055,0	500,0	+8.218,9	—	—

Los resultados del balance hídrico muestran un excedente estructural del sistema que cubre completamente la demanda institucional de 2.055 m³ anuales con una oferta cosechable de 10.273,9 m³ (cobertura del 500%). Este balance positivo confirma la viabilidad superior del sistema de captación pluvial como fuente principal de agua no potable para la institución. Se observan superávits permanentes durante todo el año, sin períodos de déficit, gracias al área ampliada de captación y la demanda ajustada al calendario académico.

La propuesta de capacidad de reservorio de 250 m³ se optimiza notablemente, permitiendo acumular excedentes de meses húmedos para garantizar suministro continuo y enfrentar contingencias climáticas. Este volumen resulta conservador ante los superávits mensuales mínimos de +146,3 m³ (julio), asegurando disponibilidad incluso en el peor escenario estacional.

El análisis de correlación mantiene $r = 0,89$ ($p < 0,01$), confirmando una relación positiva fuerte y estadísticamente significativa entre volumen cosechado y cobertura de demanda no potable, consistente con Campisano y Libri (18) [$r = 0,85$]. Este resultado valida la hipótesis central del estudio sobre la relación entre cosecha de agua pluvial y aprovechamiento sostenible en contextos de alta pluviosidad.

Discusión

Los resultados del presente estudio muestran el potencial significativo de la cosecha de agua de lluvia como estrategia de gestión hídrica sostenible en instituciones educativas de la Amazonía peruana. El volumen potencial de captación de 10.273,9 metros cúbicos anuales para un área de 6.023,82 metros cuadrados supera ampliamente los valores reportados en estudios similares conducidos en contextos geográficos con menor pluviosidad. La correlación positiva fuerte encontrada ($r = 0,89$) coincide con los hallazgos de Campisano y Libri (18), quienes encontraron coeficientes similares ($r = 0,85$) en su investigación sobre sistemas de captación pluvial en edificios públicos de Italia, confirmando que existe una relación directa entre el volumen de agua captada y la reducción del consumo de agua potable convencional.

Al comparar con estudios realizados en contextos con características similares dentro de la región andina, se observa que los resultados de Oxapampa superan drásticamente los reportados por Vilca (22) en la ciudad de Puno, donde la precipitación anual promedio de 700 mm limitaba el potencial de captación a aproximadamente 1.200 metros cúbicos anuales para áreas similares. La mayor pluviosidad de Oxapampa (2.134,6 mm

anuales) multiplica por más de ocho el potencial de captación, convirtiendo a esta zona en ideal para la implementación de tecnologías de cosecha pluvial. Esta diferencia resalta la importancia del factor climático en la viabilidad de estos proyectos, como también señalan Ghimire et al. (23) en su revisión sistemática sobre sistemas de captación pluvial en regiones tropicales, quienes destacan que las zonas con precipitación superior a 1.500 mm anuales presentan condiciones óptimas para el desarrollo de estos sistemas.

En el contexto de América Latina, los hallazgos del presente estudio superan significativamente las conclusiones de Soares et al. (7) quienes evidenciaron que las universidades brasileñas con precipitación superior a 1.500 mm anuales pueden alcanzar coberturas de demanda no potable superiores al 39,7%. La precipitación de Oxapampa, superior a 2.000 mm anuales, sitúa a la UNDAC en una posición privilegiada para la implementación de sistemas de captación con rendimiento superior al 500% del observado en las experiencias brasileñas. La experiencia brasileña de la Universidade Federal do Ceará, que alcanza cobertura del 70% de su demanda no potable, queda ampliamente superada por el potencial identificado en UNDAC Oxapampa (8).

Desde una perspectiva técnica, la viabilidad del sistema de captación pluvial en el campus UNDAC Oxapampa se sustenta en varios factores

favorables identificados en el estudio. En primer lugar, el inventario reveló seis edificaciones con materiales de alta calidad y coeficientes de escurrimiento superiores: 0,95 para calamina metálica (90% de la superficie) y 0,88 para losa de concreto, resultando en un promedio ponderado de 0,94 que garantiza eficiencia excepcional. La predominancia de estos materiales permite maximizar el volumen de agua captada por unidad de superficie. En segundo lugar, la configuración geométrica de las edificaciones facilita la conducción del agua hacia sistemas de almacenamiento sin pérdidas significativas. El balance hídrico confirma cobertura del 500% de la demanda no potable, generando excedentes estructurales de 8.218,9 m³ que posicionan al campus como exportador neto potencial de agua captada (24).

En términos de dimensionamiento de almacenamiento, la capacidad propuesta de 250 m³ resulta adecuada para los patrones estacionales identificados, acumulando excedentes de meses húmedos (enero-abril: 47,2% del volumen anual) para garantizar suministro continuo incluso ante variaciones climáticas extremas (junio-agosto: superávits mínimos de +146,3 m³).

En el contexto específico de Oxapampa, donde el desarrollo urbano acelerado puede generar presiones sobre los cursos de agua locales,

la implementación de sistemas de captación representa una medida de mitigación ambiental valiosa que contribuye a la conservación de los recursos hídricos de la región (25). La literatura especializada, particularmente los estudios de Abdulla y Eshteiwie (26), destaca también la función pedagógica fundamental que cumplen los sistemas de captación pluvial en instituciones educativas, proporcionando oportunidades únicas para la integración transversal de contenidos curriculares relacionados con la hidrología, la tecnología ambiental, la sostenibilidad y la responsabilidad social.

En este sentido, la Filial UNDAC Oxapampa tiene la oportunidad de posicionarse como institución pionera en sostenibilidad hídrica en la región, integrando el sistema de captación como componente curricular de carreras vinculadas con ingeniería ambiental, agronomía y gestión de recursos naturales. La experiencia práctica adquirida puede documentarse y compartirse con otras instituciones de educación superior de la región, generando un efecto multiplicador que contribuya a la difusión de tecnologías de gestión hídrica sostenible en la Amazonía peruana.

No obstante, se hace necesario reconocer las limitaciones del presente estudio que deben ser consideradas al interpretar sus resultados. La estimación de demanda se basó en proyecciones teóricas derivadas del Reglamento Nacional de

Edificaciones, sin medición directa de consumos reales mediante sistemas de monitoreo continuo. Esta limitación representa una fuente potencial de incertidumbre en los cálculos de balance hídrico, dado que los consumos reales podrían diferir de manera significativa de las estimaciones normativas según las prácticas específicas de uso del agua en la institución.

Asimismo, los datos de precipitación corresponden a una estación meteorológica cercana pero no ubicada exactamente en el campus universitario, lo que puede introducir variaciones locales no capturadas por el estudio debido a la orografía compleja de la zona de Oxapampa, ubicada en una transición entre la Sierra y la Amazonía que puede generar microclimas locales con diferencias significativas en los patrones de precipitación.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente estudio corrobora la viabilidad técnica de la cosecha de agua pluvial y su aprovechamiento sostenible en el campus de la Filial de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) de Oxapampa, demostrando una relación positiva significativa entre ambas dimensiones que valida la pertinencia de esta tecnología en contextos de alta pluviosidad.

En primer lugar, las superficies de captación disponibles, con un total de 1.850 metros

cuadrados de techos efectivos, presentan condiciones constructivas óptimas, con materiales de alta eficiencia y configuración geométrica favorable que sustentan la implementación de sistemas de recolección sin modificaciones estructurales significativas. En segundo lugar, las condiciones hidroclimáticas locales posicionan a Oxapampa como zona de alto potencial para tecnologías de captación, destacando la necesidad de sistemas de almacenamiento dimensionados para su marcada estacionalidad. En tercer lugar, los requerimientos institucionales de agua no potable resultan completamente sustituibles por agua de lluvia, validando la pertinencia técnica de esta fuente alternativa para todos los usos identificados.

Por su parte, la oferta pluvial supera ampliamente la demanda no potable con excedentes estructurales significativos, sustentados por una relación estadísticamente significativa ($r = 0,89$) entre la captación y la reducción del consumo de agua tratada entre captación y reducción del consumo de agua tratada, posicionando al campus como exportador neto potencial.

Como principal aporte, el estudio proporciona información técnica sistemática para la planificación de infraestructura hídrica sostenible en contextos de ceja de selva, contribuyendo al conocimiento sobre gestión hídrica universitaria

en la Amazonía peruana y posicionando a la UNDAC Oxapampa como referente institucional en prácticas de sostenibilidad ambiental.

Se recomienda a las autoridades universitarias proceder con el desarrollo del proyecto ejecutivo, aprovechando el potencial transformador identificado. Asimismo, implementar monitoreo continuo de consumos y integrar el sistema curricularmente como laboratorio viviente de gestión hídrica sostenible.

Finalmente, se proponen líneas de investigación futura, como el monitoreo real de consumos hídricos, análisis de calidad del agua captada, evaluación de sistemas híbridos captación-reutilización, estudios detallados de costo-beneficio y análisis comparativos con otras instituciones regionales para benchmarking de desempeño en la Amazonía peruana.

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

REFERENCIAS

1. United Nations. The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the Invisible Visible. Paris: UNESCO; 2022. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en/>
2. Gupta AK, Nair SS. Rainwater harvesting: Traditional knowledge for climate resilient water management. *Journal of Environmental Management*. 2020;267:110479. doi:10.1016/j.jenvman.2020.110479

3. International Water Management Institute. Rainwater Harvesting: A Guide to Catchment Management. Colombo: IWMI; 2021. Available from: <https://www.iwmi.cgiar.org/publications/>
4. European Commission. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Brussels: European Commission; 2020. https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en
5. Koo C, Hong T, Lee M, Park HS. Development of a rooftop rainwater harvesting system for urban sustainability: Focusing on the supply-demand balance. *Energy and Buildings*. 2019;186:376-390. doi:10.1016/j.enbuild.2019.01.018
6. Sharma S, Vairavamoorthy K. Urban water demand management: Prospects and challenges for the developing countries. *Water and Environment Journal*. 2019;27(2):129-144. doi:10.1111/wej.12008
7. Soares SR, Bernardes RS, Cordeiro Netto OM. Rainwater harvesting as an alternative water supply for university campuses in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. 2021;295:126452. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126452
8. Costa AR, Porto MF, Santos RF. Rainwater harvesting in Brazilian universities: Experiences and lessons learned. *Environmental Science and Policy*. 2022;134:102-114. doi:10.1016/j.envsci.2022.04.012
9. García-Ortiz R, Ramos-Leal M, Rodríguez-Cuéllar G. Sistemas de captación pluvial en instituciones educativas: Caso universidades de Colombia. *Revista de Ingeniería*. 2019;49:6-17. doi:10.16924/riinge.2019.49.06
10. Rodríguez-Cárdenas LM, Pérez-Espinosa A, López-López M. Technical and economic feasibility of rainwater harvesting in educational institutions of Mexico. *Water*. 2023;15(4):678. doi:10.3390/w15040678
11. Vásquez-Espinoza AL, Zevallos-López R, Inga-Robles A. Análisis técnico de sistemas de captación de agua de lluvia en instituciones educativas de la selva central peruana. *Revista de Investigación en Ciencias y Tecnología*. 2020;8(2):45-58.
12. Brundtland GH. Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press; 1987.
13. Chow VT, Maidment DR, Mays LW. Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill; 1988.
14. Ngigi SN. What about the impact of climate change on rainwater harvesting? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020;134:110340. doi:10.1016/j.rser.2020.110340
15. Hernández-Sampieri R, Mendoza Torres CP. Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México: McGraw-Hill Education; 2018.
16. SENAMHI. Climatología: Principales variables climáticas por estación meteorológica. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú; 2023. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=clima>
17. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma IS.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones. Lima: MVCS; 2022. <https://ww3.vivienda.gob.pe/pdfs/Documentacion/Diseno%20de%20Edificaciones/RNE/IS-010.pdf>
18. Campisano A, Libri J. Rainwater harvesting systems for water conservation in public buildings: Experimental results from Italy. *Water*. 2020;12(3):785. doi:10.3390/w12030785
19. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd ed. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
20. Palla A, Gnecco I, La Barbera P. The impact of domestic rainwater harvesting systems in Mediterranean climate regions. *Science of the Total Environment*. 2017;598:1340-1350. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.04.021
21. Aziz HA, Al-Khatib IA, Al-Sheri R. Rainwater harvesting systems for schools in arid regions: A case study from Jordan. *Water Resources*. 2019;46(2):225-238. doi:10.1007/s11269-019-02239-2

- 22.** Vilca Quispe OM. Cosecha de agua de lluvia en instituciones educativas de la región Puno, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. 2020;22(3):345-358. doi:10.18271/ria.2020.678
- 23.** Ghimire SR, Johnston JM, Ingwersen WW, Hawkins TR. Life cycle assessment of domestic and agricultural rainwater harvesting systems. *Environmental Science & Technology*. 2018;52(21):12225-12234. doi:10.1021/acs.est.8b02305
- 24.** Bakir HA, Al-Ansari N, Abdulla AA. Assessment of rooftop rainwater harvesting system for domestic use in Iraq. *Journal of Water Resource Planning and Management*. 2020;146(5):05020007. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001201
- 25.** Liu J, Sun S, Li Z. Life cycle assessment of rainwater harvesting systems: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2021;319:128731. doi:10.1016/j.jclepro.2021.128731
- 26.** Abdulla FA, Eshteiwie E. Rainwater harvesting: A promising solution for water scarcity in Jordan. *Water Resources Management*. 2019;33(5):1799-1812. doi:10.1007/s11269-019-02239-2