



Revista Micaela

ISSN: 2955-8646 (en línea) / 2709-8990 (Impresa)
Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
Vice Rectorado de Investigación – Perú

Vol. 6 Num. 1 (2025) - Publicado: 01/10/25

<https://doi.org/10.57166/micaela.v6.n1.2025>

Páginas: 36 - 42 Recibido 23/12/2025 ; Aceptado
30/12/2024

<https://doi.org/10.57166/micaela.v6.n1.2025.174>

Edición Especial: FERCYT UNAMA - 2024

Autores:

1. ORCID  <https://orcid.org/0009-0000-2980-9856> Edison Caillhua Alvis, estudiante de la escuela académica profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac – PE, 181605@unamba.edu.pe
2. ORCID  <https://orcid.org/0009-0009-6229-532X> Melani Isabel Mendoza Pumacayo, estudiante de la escuela académica profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac – PE, 201124@unamba.edu.pe
3. ORCID  <https://orcid.org/0009-0005-7307-6748> Fanny Silva Noriega, docente de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac – PE, fsilva@unamba.edu.pe

Sistema de Tratamiento para la Optimización de Aguas Residuales en Sistemas Sanitarios y Áreas Verdes de la UNAMBA

Treatment System for the Optimization of Wastewater in Sanitary Systems and Green Areas of the UNAMBA

Edison Caillhua-Alvis¹, Melani Isabel-Mendoza Pumacayo² y Fanny Silva-Noriega³

Resumen. La escasez de agua constituye un desafío global crítico que afecta a millones de personas, muchas de las cuales solo tienen acceso limitado al agua potable durante determinadas horas del día, mientras que otras carecen completamente de este recurso esencial. Este problema se agudiza en entidades públicas con alta afluencia de personas, donde el consumo de agua potable en servicios higiénicos alcanza niveles considerablemente elevados. En las instalaciones de Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, el consumo total de agua se estima en **763,469.66 litros por mes**. En particular, el pabellón de aulas generales, que alberga a **540 estudiantes** de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, registra un consumo de **117,792.46 litros por mes**, representando un área clave para la optimización del recurso hídrico. En respuesta a esta problemática, se propone un sistema de tratamiento de aguas residuales para su reutilización y optimización del consumo de agua potable en los sistemas sanitarios y las áreas verdes del campus universitario.

Palabras Clave: Aguas residuales, reutilización del agua, tratamiento de aguas residuales, optimización del consumo hídrico.

Abstract. Water scarcity is a critical global challenge affecting millions of people, many of whom have only limited access to drinking water during certain times of the day, while others lack this essential resource altogether. This problem is exacerbated in public entities with a high influx of people, where the consumption of drinking water in toilets reaches considerably high levels. In the facilities of Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, total water consumption is estimated at 763,469.66 liters per month. In particular, the general classrooms pavilion, which houses 540 students of the Professional Academic School of Civil Engineering, has a consumption of 117,792.46 liters per month, representing a key area for the optimization of water resources. In response to this problem, a wastewater treatment system is proposed for reuse and optimization of potable water consumption in the sanitary systems and green areas of the university campus.

Keywords: Wastewater, water reuse, wastewater treatment, optimization of water consumption.

1 Introducción

Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas, el estrés hídrico es definido como el desequilibrio entre el consumo y la disponibilidad de agua que afecta actualmente a más de 2.000 millones de personas a nivel global, aproximadamente 4.000 millones de personas que enfrentan escasez severa de agua al menos un mes al año, mientras que 1.600 millones carecen de acceso al recurso debido a limitaciones de infraestructura, a pesar de su disponibilidad física. Además, el 30% de los principales acuíferos subterráneos se encuentra sobreexplotado [1]

La presente investigación tiene como objetivo, determinar la propuesta del sistema de tratamiento para la optimización de aguas residuales de los sistemas sanitarios de las aulas generales en las áreas verdes del campus universitario de la UNAMBA, cuantificar la optimización de aguas residuales en el sistema de tratamiento para la gestión del agua de los sistemas sanitarios de las aulas generales en las áreas verdes del campus universitario de la UNAMBA y determinar cómo influye la propuesta de optimización de aguas residuales del sistema de tratamiento en el impacto de la sostenibilidad hídrica de los sistemas sanitarios de las aulas generales en las áreas verdes del campus universitario de la UNAMBA. El enfoque principal está en la reutilización de aguas provenientes de los sistemas sanitarios para el riego de áreas verdes e inodoros.

La utilización de agua en las viviendas produce aguas residuales de dos clases de efluentes; el primero relacionado con la materia fecal y el segundo con las aguas grises [2]. los diferentes tipos de equipos y tratamientos disponibles para la realización de la tarea de disminución en el consumo [3]. Estas aguas deben cumplir con estándares de calidad para ser reutilizadas o dispersas en el medio ambiente, con el fin de convertirse en un recurso ecológico. [4] Debe adoptar modelos de sistemas permanentes de la reutilización y tratamiento de aguas grises.

Frente a este desafío, surge la necesidad de soluciones sostenibles [5], como el tratamiento y la reutilización de aguas residuales. Según la revista *Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review* (2023) [6], el tratamiento de aguas residuales representa una estrategia clave para reducir el desperdicio de agua, aliviar la presión sobre las fuentes naturales y promover el acceso a energías limpias. Esta práctica contribuye a incrementar la disponibilidad de agua para diversos usos [7], al tiempo que protege los recursos hídricos naturales de su posible agotamiento, asegurando así el equilibrio entre las necesidades humanas y la sostenibilidad ambiental [8].

En el contexto local, la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad y gestión del agua [9], especialmente en sus sistemas sanitarios y áreas verdes. La implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en su campus no solo podría reducir la presión sobre los recursos hídricos, sino también proporcionar agua reciclada para actividades de jardinería, cerrando el ciclo del agua dentro de la institución.

1.1 Experiencias Previas y Viabilidad del tratamiento de Aguas Residuales

Estudios previos refuerzan la viabilidad de estas iniciativas. Veliz (2015) [10] analizó el tratamiento y reutilización de aguas residuales grises a nivel domiciliario, demostrando que un sistema de filtración eficiente reduce la contaminación gradualmente y, además, las aguas tratadas enriquecen el suelo [11], favoreciendo el mantenimiento de áreas verdes. Estas conclusiones subrayan los beneficios ecológicos y económicos del reciclaje de agua, destacando su aplicabilidad en contextos urbanos e institucionales.

Por otro lado, investigaciones recientes han señalado que los sistemas de tratamiento descentralizados no solo optimizan el uso del agua, sino que también pueden adaptarse a contextos específicos, como el de la UNAMBA. La reutilización de aguas tratadas en áreas verdes universitarias representa una oportunidad para reducir costos operativos, contribuir a la sostenibilidad ambiental y servir como modelo replicable en otras regiones con desafíos similares.

1.2 Hipótesis

La propuesta optimizará las aguas residuales de los sistemas sanitarios de aulas generales y áreas verdes del campus universitario de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. En este contexto, la disponibilidad de agua impacta de manera significativa en los servicios sanitarios, donde el consumo y desecho de agua alcanzan escalas increíbles a diario.

La implementación de un sistema eficiente de tratamiento de aguas residuales constituye una solución sostenible frente a la problemática de la escasez hídrica [12]. Este sistema no solo asegura un suministro adicional de agua para actividades institucionales, sino que también tiene el potencial de ser replicado en otras regiones con desafíos similares. Además, esta investigación está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 (Agua Limpia y Saneamiento) y 12 (Producción y Consumo Responsables), impulsando el uso eficiente y sostenible del agua.

La propuesta tiene un impacto ecológico significativo, al reducir la presión sobre los recursos hídricos naturales, y un alto valor práctico y económico, especialmente cuando se aplica a mayor escala. Transformar las aguas residuales en un recurso útil en lugar de desecharlas contribuye al fortalecimiento de la economía local e institucional, así como al desarrollo de políticas de reciclaje efectivas. Esto responde a las demandas globales de sostenibilidad, promoviendo un modelo de gestión hídrica que combina el diseño tecnológico y responsabilidad ambiental, y ofreciendo una solución práctica para mitigar la crisis hídrica a nivel institucional y regional.

2 Metodología

La investigación tuvo un enfoque cualitativo, con nivel de investigación descriptivo, de tipo de investigación aplicada; de diseño de investigación no experimental debido a que no se manipulan las variables, sino que se estudian las condiciones actuales y se plantea una propuesta. Se centra en los sistemas sanitarios del pabellón de aulas generales de la (UNAMBA), utilizados tanto por los estudiantes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil como por el personal administrativo. Para el diseño, se emplearon planos de instalaciones sanitarias de las aulas generales y se consideraron las normativas vigentes relacionadas con este tipo de infraestructuras, permitiendo estimar el caudal necesario para los inodoros destinados a los usuarios mencionados.

La población de esta investigación corresponde los 6 pabellones de la UNAMBA, mientras que la muestra se limitó al pabellón de aulas generales que cuenta con 537 estudiantes del 2024; debido a que esta investigación se ha considerado como un prototipo para su posible aplicación en toda la universidad en el futuro. Este pabellón se eligió debido a que concentra la mayor cantidad de estudiantes y personal administrativo, lo que implica un uso más intensivo de los servicios sanitarios y un consumo significativo de agua potable. Se excluyeron otros pabellones, dado que la demanda de agua en estos es considerablemente menor.

2.1. Técnicas instrumentos

Se utilizó el padrón actualizado de estudiantes del 2024 de la UNAMBA y el diseño del sistema se basó en los planos de las instalaciones sanitarias de las aulas generales, así como en el cumplimiento de las normativas vigentes. Este enfoque permitió estimar con precisión el caudal necesario para los inodoros y otros puntos de consumo.

En la investigación, se definieron dos variables principales. La variable independiente corresponde a los sistemas de tratamiento, entendidos como las operaciones destinadas a modificar las propiedades físicas, químicas o biológicas de las aguas residuales. Estas operaciones buscan reducir sustancias peligrosas, recuperar materiales valorizables o adecuar los residuos para un tratamiento final. Por otro lado, la variable dependiente es la optimización del agua, conceptualizada como el uso eficiente y responsable del recurso, garantizando su retorno al medio ambiente en condiciones adecuadas.

Para el análisis de datos, se emplearon herramientas digitales como AutoCAD y SketchUp, para el diseño y modelado, y Excel, para la sistematización y procesamiento de la información recolectada. La investigación se desarrolló respetando estrictos principios éticos, asegurando la validez de los resultados obtenidos, la protección de la propiedad intelectual, la confidencialidad de los datos y la objetividad en todos los procedimientos aplicados [13].

2.2. Procedimiento

Proceso 1: Buzón para separar aguas residuales y materia orgánica por gravedad. El proceso comienza con la captación de aguas residuales generadas en los inodoros y lavamanos ubicados en las aulas generales de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil de la UNAMBA. Estas aguas son conducidas hacia un buzón de concreto armado con base cónica, diseñado con un diámetro exterior de 1.20 m, una altura de 1 m y un espesor de 0.15 m. Este buzón permite la sedimentación de la materia orgánica por gravedad.

Desde la base del buzón, una tubería de 2" de diámetro conecta al sistema de desagüe principal, permitiendo la evacuación de los residuos fecales. Adicionalmente, a una altura de 0.30 m desde el borde superior del buzón, se ha dispuesto otra tubería de 2" de diámetro, encargada de conducir el agua residual hacia un tanque contiguo para su posterior tratamiento.

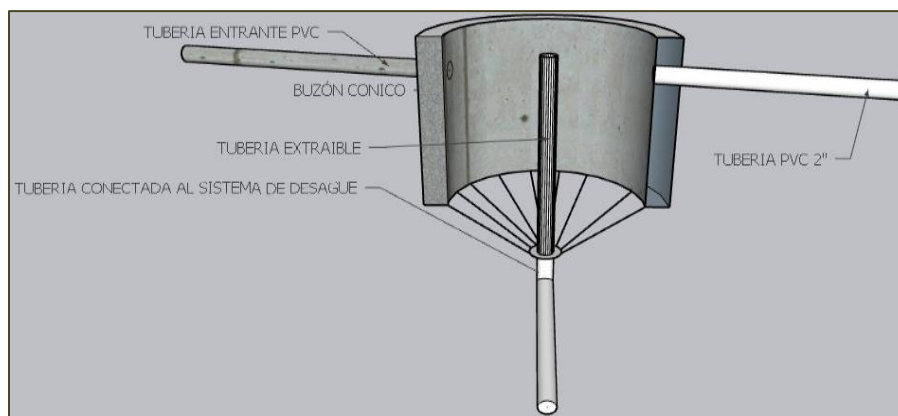


Fig.1. Diseño de Buzón sedimentador

Proceso 2: Tanque cisterna de filtración. El tanque de sedimentación y filtración está construido con concreto armado y presenta dimensiones de 1.6 m × 1.20 m × 2 m. Este tanque está dividido internamente por una placa de concreto de 10 cm de espesor y 1.10 m de altura, lo que permite separar el agua residual del agua parcialmente filtrada. En la primera etapa del proceso, se instala una malla de abertura N.º200 a una profundidad de 50 cm. Esta malla tiene como finalidad retener residuos sólidos y materia orgánica presentes en las aguas residuales. La malla es extraíble para facilitar la limpieza y remoción de excretas acumuladas. Por debajo de esta malla, se dispone 4 mallas de abertura N.º100 que soportan 4 capas filtrantes: una capa de confitillo de 10 cm, una capa de carbón vegetal de 10 cm, arena gruesa de 10 cm y otra capa de arena fina de 10 cm. Estas capas funcionan como un sistema de filtración adicional.

El agua, una vez filtrada, se dirige hacia la base de la cisterna. En la segunda división del tanque, se incorpora una canastilla metálica inoxidable que contiene pencas de *Opuntia ficus-indica* (tuna). Estas pencas actúan como un coagulante-floculante natural, promoviendo la cristalización del agua y la sedimentación de sólidos suspendidos. Una vez completado este proceso, el agua se conduce hacia el tanque de tratamiento.

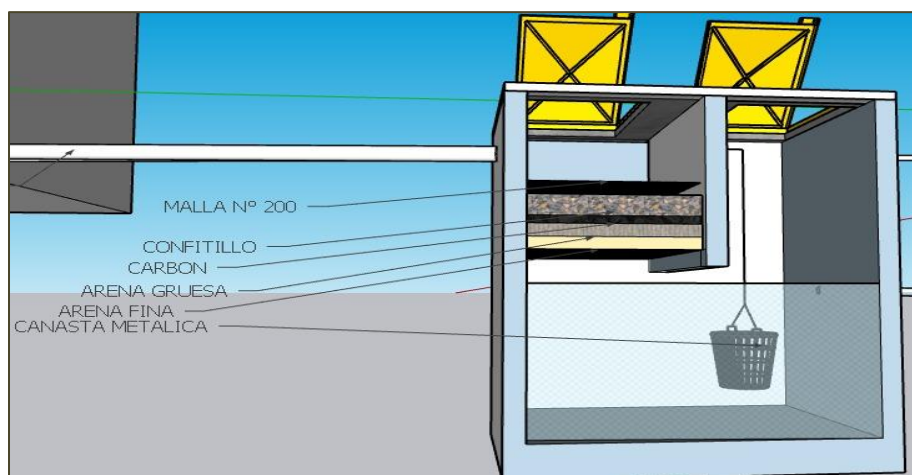


Fig.2. Diseño de Tanque de filtración

Proceso 3: Tanque cisterna de tratamiento. El agua parcialmente tratada se acumula en un tanque de tratamiento donde se realiza un proceso de desinfección mediante pastillas de hipoclorito de calcio. La metodología para su aplicación es la siguiente:

1. Se utiliza una botella plástica grande, a la que se le perforan múltiples orificios pequeños con un desarmador.
2. Se introducen trozos de una pastilla de hipoclorito de calcio (no en polvo) en la botella, calculando una pastilla por cada 1000 litros de capacidad del tanque.

3. La botella se cierra con su tapa y se asegura con una cuerda que permita sumergirla completamente en el tanque, asegurándola al borde para evitar que se convierta en un estorbo.
4. La botella se sumerge hasta el fondo del tanque, donde permanece en posición vertical.
5. Dependiendo de la capacidad del tanque, se remueve la botella cada dos días (1000 litros), cada seis días (3000 litros) o cada diez días (5000 litros).

El agua tratada en este tanque es finalmente bombeada hacia un tanque elevado de almacenamiento final.

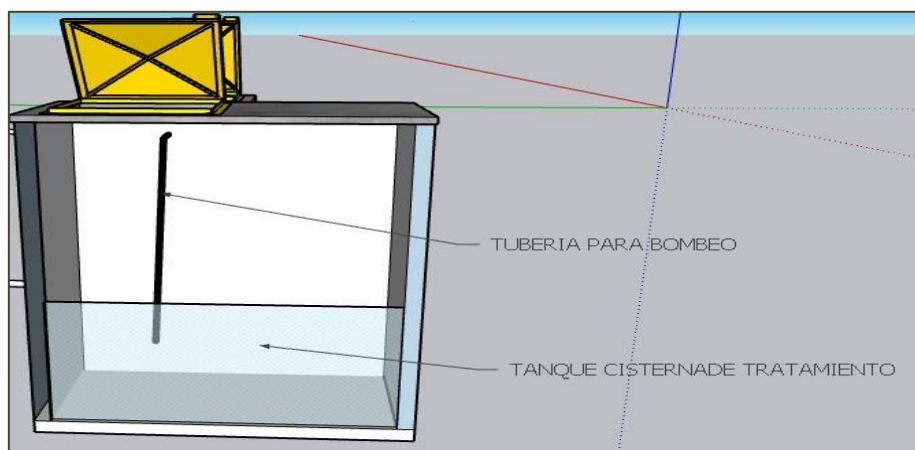


Fig.3. Diseño de Cisterna de Tratamiento

Proceso 4: Tanque Rotoplas (recepción de agua tratada). El tanque Rotoplas funciona como el punto de recepción final del agua tratada. Este tanque se encarga de almacenar el agua ya desinfectada, que se destinará exclusivamente al suministro de los inodoros y al riego de las áreas verdes del campus universitario. De este modo, el sistema garantiza una reutilización eficiente del agua residual, contribuyendo tanto a la sostenibilidad ambiental como al cumplimiento de las necesidades operativas de la universidad.

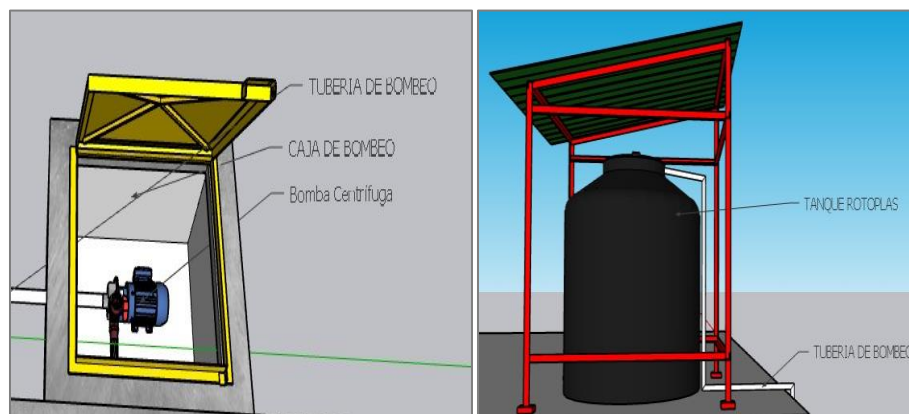


Fig. 4. Diseño de Caja de bombeo y Tanque elevado

3 Resultados

La implementación de la propuesta del sistema de tratamiento para la optimización de aguas residuales en el pabellón de aulas generales de la UNAMBA ha demostrado ser una solución eficiente y sostenible, cumpliendo con los objetivos. Los resultados obtenidos destacan lo siguiente:

3.1. Optimización del uso de agua

El sistema diseñado permite recuperar y tratar un total estimado de 3930 litros de agua residual por día. Esta agua tratada se destina al abastecimiento de inodoros y al riego de las áreas verdes del campus, reduciendo significativamente la dependencia de agua potable en estas actividades.

Tabla1. Gasto de agua potable en m3/día

Cuadro de resumen de gasto de agua potable		
N.º de estudiantes en aulas generales	537.00	
Consumo de agua potable por año	1433.14	M3
Consumo de agua potable por día	3.93	M3

3.2. Impacto en la sostenibilidad hídrica.

La reutilización del agua tratada no solo contribuye a la conservación del recurso hídrico, sino que también reduce los costos operativos asociados al consumo de agua potable, promoviendo prácticas sostenibles en la gestión hídrica de la universidad.

3.3. Impacto en la sostenibilidad hídrica

El costo total estimado para la construcción del sistema asciende a S/ **8,829.20**, considerando exclusivamente el pabellón de aulas generales. Este monto incluye los materiales y mano de obra requeridos para su implementación, consolidándose como una solución económica y sostenible para optimizar la gestión hídrica en la institución.

Tabla2. Presupuesto de Costo Directo

Presupuesto de la infraestructura de la investigación					8829.20
Ítem	Descripción	Unid	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
OE.1.1.3	Trazos niveles y replanteo	M2			
1.1.3.1	Trazos, niveles y replanteo preliminar	M2	4.26	16.88	71.91
OE.1.1.4	Movimiento de tierras	M3			
1.1.4.1	Excavaciones simples	M3	9.18	41.55	381.55
1.1.4.2	Relleno con material propio	M3	0.36	7.18	2.59
1.1.4.3	Eliminación de tierras	M3	10.92	23.30	254.31
OE.1.1.5	Obras de concreto simple	M2			
1.1.5.1	Solado	M2	0.72	40.58	29.06
OE.1.1.6	Obras de concreto armado	M3			
1.1.6.1	Cisterna -1	M3	1.82	498.37	906.54
1.1.6.2	Cisterna -2	M3	1.32	394.43	522.23
1.1.6.3	Concreto en caseta de motobomba	M3	0.28	234.54	64.50
1.1.7	Encofrado y desencofrado	M2	14.08	54.25	763.84
1.1.8	Acero f'y= 4200kg/cm2	KG	430.37	6.75	2905.00
1.1.9	Tuberías 1"	M	34.67	36	1248.12
1.1.10	Tanque de Agua Rotoplas 1100L Arena, Accesorios	Unid.	1.00	799.90	799.90
1.1.11	Humboldt Bomba de Agua Periférica 0.5 HP 32L/min	Unid.	1.00	279.89	279.89
1.1.12	Marco y tapa para las cisternas	Unid.	3.00	180.00	540.00
1.1.13	Canasta metálica	Unid.	1.00	59.78	59.78

4 Discusiones y Conclusiones

Según (Chávez Vera) propuso la implementación de un tratamiento primario y secundario para la empresa. El tratamiento primario se basó en un sistema UASB, ya que reducen el tiempo de aireación, seguido de una sedimentación que desinfecta el agua eliminando contaminantes físicos. El tratamiento secundario que aplicó la autora fue tanques de aireación con la finalidad de conseguir mayor agitación del caudal para la separación de los sólidos y líquidos [14]. En el presente artículo científico se utilizó el tratamiento primario y terciario lo cual implica la recuperación de 1433.14 m3 de agua residual por año para su reutilización en inodoros y áreas verdes muestra un impacto positivo directo en la reducción del consumo de agua potable. Esto es especialmente relevante en un contexto de estrés hídrico como el que enfrenta la región, contribuyendo al manejo eficiente del recurso y alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 y 12.

El sistema de tratamiento cuenta con un buzón sedimentador que cumple la función de separar las aguas residuales y la metería orgánica, un tanque cisterna de filtración con capas de 10 cm (confitillo, carbón, arena gruesa, arena fina) y una canasta metálica, tanque cisterna de tratamiento y un tanque Rotoplas. La implementación del sistema de tratamiento propuesto permite recuperar y reutilizar 3930 litros de agua residual por día, reduciendo significativamente el consumo de agua potable en los sistemas sanitarios y áreas verdes de campus de la UNAMBA; el sistema para el pabellón de aulas generable representa un solución accesible para optimizar el uso de agua en la universidad; considerando los beneficios obtenidos, refuerza la capacidad de ser replicable en otros sectores del campus universitario, con potencial para beneficiar a otras facultades o instituciones en contextos similares. Las aguas tratadas serán reutilizadas en las áreas verdes de tal forma se optimizará el recurso hídrico, este resultado obtenido resalta la viabilidad técnica del sistema en la optimización hídrica. Asimismo, futuras investigaciones podrían explorar la integración de tecnología complementarias, como el procesamiento mediante secado de restos orgánicos del sistema para fertilizantes y tratamientos avanzados para ampliar el rango de reutilización del agua tratada. La implementación de este sistema de tratamiento de aguas residuales no solo reduce la presión sobre las fuentes de agua potable [15], sino que también promueve una mayor conciencia ambiental entre estudiantes; esto tiene el potencial de fortalecer una cultura institucional orientada hacia la sostenibilidad.

5 Biografías

- Melani Isabel Mendoza Pumacayo, estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Edison Caillahua Alvis, estudiante de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Silva Noriega Fanny, Docente en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac Perú, Ingeniero Civil con estudios en la Universidad de Barcelona de Planificación Territorial y Gestión Ambiental egresada en la maestría administración Educativa, diplomados en geotecnia y Suelos ; asimismo en Project Management for development y Asociación públicas de desarrollo en el Banco Interamericano de Desarrollo.

6 Referencias

- [1] U. e. a. Programme, «Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: el valor del agua; datos y cifras. 2021.,» UNESCO, 2021.
- [2] M. N. LEON URRUTIA, *Oportunidades para el uso de geotextiles para el tratamiento de aguas grises*, 2022.
- [3] Á. C. Triay, *ESTUDIO DE UNA INSTALACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES Y NEGRAS, EN UN EDIFICIO RESIDENCIAL*, 2023.
- [4] C. A. Defrancisco-Larrañaga y C. C. Ortiz-López,, *INICIATIVAS PARA EL CAMBIO*, 2013.
- [5] N. R. AMARO VICTORIA, *Desafíos y puentes de solución sostenibles de las amenazas ambientales y el Cambio Climático*, 2019.
- [6] J. A. Silva, «Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review,» *Sustainability*, vol. 15, nº 14, 2023.
- [7] J. M. Ángeles Hernández, W. Ojeda Bustamante y X. Cisneros Estrada, *Métodos de riego y prácticas de manejo del cultivo para el uso de las aguas residuales tratadas en la agricultura en México*, 2018.
- [8] C. Vargas Rodríguez, *El uso sostenible de los recursos naturales y las generaciones futuras como sujetos de derecho*, 2023.
- [9] E. Blanco, M. Gil, A. Llavona, L. Naranjo y S. Saravia Matus, *Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe*, 2020.
- [10] A. y. V. G. O. N. Quimis Gómez, «UNESUM,» 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/313>. [Último acceso: 11 Diciembre 2024].
- [11] H. F. PETER STTYD y L. F. G. RUIZ, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FILTRO DE AGUAS RESIDUALES DEL, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE TECNOLOGÍA INGENIERÍA DE MANUFACTURA PEREIRA*, 2023.
- [12] M. P. JIMÉNEZ SANABRIA, S. Y. RIOS RODRÍGUEZ y J. J. ARDILA GÓMEZ, *Evaluación del impacto ambiental de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio.*, 2023.
- [13] B. A. MIGUÉLEZ, *Investigación social cualitativa y dilemas éticos: de la ética vacía a la ética situada*, 2016.
- [14] SINIA, *TRATAMIENTO Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES*, 2019.
- [15] F. PAUCAR, *Los desafíos de la reutilización de aguas residuales en el peru*, 2020.