

Optimización del uso de agua residual en inodoros a través de un sistema por gravedad

Optimizing wastewater use in toilets through a gravity system

Otimização do uso de águas residuais em vasos sanitários por meio de um sistema de gravidade

Autores: Carlos Arturo Damiani Lazo, Gonzalo Obando Velásquez

Fecha de recibido: marzo 08 de 2024 – **Fecha de aprobado:** 05 de abril de 2024

Fecha de publicación: junio 28 de 2024

Resumen

Mediante la reutilización de las aguas grises, esta investigación pretende maximizar y minimizar el consumo diario de agua de las duchas en pisos superiores, para abastecer inodoros en niveles inferiores. El estudio se realiza en Arequipa (Perú) y pretende contribuir a la preservación del medio ambiente a través del uso eficiente del recurso hídrico, apoyando a familias de bajos recursos y promoviendo una cultura de uso racional del agua. Esta solución es práctica, replicable y adaptable a diversas comunidades. El sistema opera por gravedad e incluye una red de tuberías de PVC con un registro sumidero que retiene partículas, conduciendo el agua hacia un tanque de 18 litros instalado sobre el inodoro, que utiliza 6 litros por uso. Aunque el ahorro en consumo es modesto, se estima que se pueden reutilizar hasta 180 000 litros al día, fomentando la conciencia ambiental y prácticas sostenibles.

Palabras clave: aguas grises, eficiencia hídrica, reutilización de agua residual, sistemas de gravedad, sostenibilidad ambiental[HAGS2.1][GGOV2.2].

Abstract: This research project aims to optimize and reduce daily water consumption in homes by reusing grey water from showers on upper floors to supply toilets on lower levels. The study is being carried out in Arequipa (Perú) and aims to contribute to the preservation of the environment through the efficient use of water resources, supporting low-income families and promoting a culture of rational water use. This solution is practical, replicable and adaptable to various communities. The system operates by gravity and includes a network of PVC pipes with a sump that retains particles, leading the water to an 18-liter tank installed above the toilet, which uses 6 liters per use. Although the savings in consumption are modest, it is estimated that up to 180 000 liters can be reused per day, promoting environmental awareness and sustainable practices.

Keywords: greywater, water efficiency, wastewater reuse, gravity systems,

Producto derivado del proyecto de investigación: "Aprovechamiento del agua residual mediante un sistema que trabaja a gravedad para su utilización en aparatos sanitarios, Arequipa 2012.", apoyado por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil. C. A. Damiani Lazo, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, email: cdamiani@unsa.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5866-1723>

2Gonzalo. G. Obando Velasquez, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, email: gonzalo.obando@ucsm.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6768-4701>

Como citar este artículo: C. A. Damiani Lazo y G. G. Obando Velasquez, "Optimización del uso de agua residual en inodoros a través de un sistema por gravedad",

Como citar este artículo: C-A. Damiani Lazo y G. Obando Velásquez, "Optimización del uso de agua residual en inodoros a través de un sistema por gravedad", *Inventum*, vol. 19, no. 36, pp. 17-25, enero-junio año. DOI: 10.26620/uniminuto.inventum.19.36.2024.17-25.

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO. ISSN: 1909-2520 eISSN: 2590-8219

Copyright:



environmental sustainability.

Resumo: O presente projeto de pesquisa visa otimizar e reduzir o consumo diário de água nas residências por meio da reutilização de águas cinzas dos chuveiros dos andares superiores para abastecer os vasos sanitários dos andares inferiores. O estudo está sendo realizado em Arequipa (Perú) e tem como objetivo contribuir para a preservação do meio ambiente por meio do uso eficiente dos recursos hídricos, apoiando famílias de baixa renda e promovendo uma cultura de uso racional da água. Esta solução é prática, replicável e adaptável a comunidades diversas. O sistema funciona por gravidade e inclui uma rede de tubos de PVC com um dreno que retém partículas, direcionando a água para um tanque de 18 litros instalado acima do vaso sanitário, que consome 6 litros por uso. Embora a economia no consumo seja modesta, estima-se que até 180 000 litros podem ser reutilizados por dia, promovendo a consciência ambiental e práticas sustentáveis.

Palavras-chave: águas cinzas, eficiência hídrica, reuso de águas residuais, sistemas de gravidade, sustentabilidade ambiental.

I. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua es, desde hace tiempo, motivo de preocupación a escala mundial. El agua dulce es un recurso limitado, en peligro y amenazado. Sólo el 0,007 % del agua dulce está realmente disponible para todos los fines humanos directos, según las evaluaciones de los balances hídricos del planeta. De este pequeño porcentaje dependen importantes procesos sociales. Según las últimas estimaciones de expertos y organizaciones mundiales dedicadas a cuestiones hídricas, casi dos tercios de la población mundial sufrirán estrés por escasez de agua en 2025 [1].

El agua en el planeta genera la percepción de abundancia; sin embargo, aproximadamente el 97 % es salada y más del 2 % corresponde a agua dulce congelada en los casquetes polares, glaciares y acuíferos profundos. En definitiva, menos del 1 % restante es agua dulce accesible para el consumo humano. No obstante, debido a condiciones relativas a su disponibilidad y calidad, este recurso no siempre es aprovechable de manera equitativa o resulta inutilizable para ciertos fines por su

grado de contaminación. Se estima que aproximadamente el 70 % del agua dulce se utiliza en la agricultura, un 20 % en la industria y el 10 % restante para el consumo doméstico [2].

Aunque no existe una correlación clara entre población y disponibilidad de agua dulce, esta no es particularmente escasa a nivel mundial. En cambio, la disponibilidad de recursos hídricos varía mucho de un continente a otro. Además, existen disparidades entre regiones dentro de cada continente, algunas de las cuales se encuentran en vías de desarrollo o extremadamente diferentes, y hay diferencias significativas entre ciudades, pueblos y comunidades dentro de un mismo lugar. La escasez de agua dulce puede exacerbar los conflictos dentro de las naciones o regiones y entre ellas [3].

Esto nos invita a reflexionar sobre la importancia del uso responsable del agua. En muchas ciudades de Latinoamérica se realizan esfuerzos considerables para el tratamiento de aguas residuales (aguas negras); sin embargo, la mayoría de las ciudades vierten este tipo de aguas directamente a los cauces de los ríos, dejando que la naturaleza la purifique mediante procesos aeróbicos o anaeróbicos. Cabe destacar que, según Muñoz Cruz [4], la capacidad natural de degradar contaminantes ha sido superada por la creciente cantidad y complejidad química de los desechos, lo que limita la restauración completa de las propiedades del agua. Es ampliamente reconocido que el tratamiento de aguas negras es más costoso que el de aguas grises (aguas residuales domésticas provenientes de duchas, lavamanos, lavadoras y fregaderos); por ejemplo, según la empresa CBR Ingeniería de México, los costos de tratamiento oscilan entre 0,05 y 0,25 dólares estadounidenses por litro, siendo aún mayores los asociados a las aguas negras.

La ciudad de Arequipa (Perú), en la que se lleva a cabo esta investigación, no cuenta con redes diferenciadas para el manejo de aguas grises, disponiendo únicamente de colectores para aguas negras, que son tratados en las dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) existentes [5].

II. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

La palabra latina resilio (resurgir), que significa “volver a saltar, rebotar o reanimarse”, es el origen de la palabra «resiliencia». Se utiliza con frecuencia en campos como la ingeniería civil y la metalurgia para medir la capacidad de un material para recuperarse o volver a su estado inicial tras los impactos que lo han distorsionado [6].

Considerando que aproximadamente el 90 % del agua potable tratada en cualquier ciudad se devuelve al cauce natural, resulta altamente conveniente aprovechar este recurso de manera dual. Una vez que el agua ingresa a los colectores, la responsabilidad del tratamiento de las aguas servidas recae en el Ministerio de Salud (MINSA) y el Ministerio de Vivienda y Construcción, encargados de asegurar que, al ser retornada al cauce natural, el agua esté libre de residuos patógenos que puedan ocasionar problemas de salubridad en las poblaciones ubicadas aguas abajo. Una de las soluciones propuestas para mitigar este problema es la reutilización de aguas grises en los inodoros de los baños, permitiendo así el reciclaje de este recurso.

La zona de análisis para esta investigación es la ciudad de Arequipa. Según el censo del 2017, realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la población en la región es de 1 382 730 habitantes, y la provincia de Arequipa concentra el 83,8 % de los pobladores en la zona urbana (tabla 1). De acuerdo con la tabla publicada por el INEI, el 91,8 % de la población total de la región reside en áreas urbanas, donde se disponen de servicios básicos como energía eléctrica, agua y alcantarillado. Es importante señalar que no todas las áreas urbanas cuentan con agua potable de calidad, ya que el servicio es gestionado por las municipalidades distritales y no por la empresa responsable. Además, la región de Arequipa cuenta con 565 799 viviendas particulares; de este total, el 88,7 % corresponde a casas independientes; el 4,8 % a departamentos en edificios; mientras que las viviendas en quintas, casas de vecindad, chozas o cabañas, y locales no destinados para la habitación humana representan menos del 1 % cada uno.

Asimismo, investigaciones recientes han demostrado que la instalación de sistemas de reutilización de aguas grises en zonas metropolitanas mejora enormemente la conservación de los recursos y la sostenibilidad medioambiental, al tiempo que beneficia a las perso-

nas marginadas económica y socialmente [7].

La propuesta y aplicación de este proyecto es sencilla, ya que puede implementarse en cualquier pueblo, ciudad o país del mundo, contribuyendo al ahorro en el tratamiento del agua potable al reutilizar las aguas grises para el funcionamiento de aparatos sanitarios, como los inodoros. Igualmente, estudios recientes han demostrado que la implementación de sistemas de reutilización de aguas grises reduce significativamente el consumo de agua potable y los costos asociados a su tratamiento, aportando una gestión más sostenible de los recursos hídricos [8].

Provincia	Total	Urbana		Rural	
		Absoluto	%	Absoluto	%
Total	1 382 730	1 268 941		100,0	113 789 100,0
Arequipa	1 080 635	1 063 523		83,8	17 112 15,0
Camaná	59 370	49 868	3,9	9 502	8,4
Caraveli	41 346	26 447	2,1	14 899	13,1
Castilla	33 629	18 554	1,5	15 075	13,2
Caylloma	86 771	55 954	4,4	30 817	27,1
Condesuyos	16 118	2 830	0,2	13 288	11,7
Islay	52 034	49 575	3,9	2 459	2,2
La Unión	12 827	2 190	0,2	10 637	9,3

Tabla 1. Resultados definitivos de los censos nacionales 2017. Fuente: Censos Nacionales de Población y Vivienda – INEI 2017.

III. JUSTIFICACIÓN

La escasez de agua preocupa actualmente al planeta. Se cree que alrededor del 70 % del agua dulce se utiliza en la agricultura, mientras que la industria absorbe de media el 20 % del uso mundial (se utiliza para el transporte, la refrigeración y como disolvente de diversos productos químicos). El 10 % restante se consume a nivel doméstico. [9]. Aprovechar al máximo este recurso es crucial para el futuro, aunque este porcentaje pueda parecer poco. Aprovechar al máximo este recurso es crucial para el futuro, aunque este porcentaje pueda parecer poco.

La zona de análisis es la ciudad de Arequipa, donde, con el paso de los años, la población ha crecido de manera geométrica, al igual que la contaminación del río Chili, en el que desemboca la mayoría de los desas-

tres de la ciudad. Aunque el agua es un recurso vital, la población en general carece de conciencia sobre su uso sostenible, lo cual se refleja, por ejemplo, en la duración y frecuencia de uso de los aparatos sanitarios. En un estudio reciente realizado por Pilco Mamani y Pacheco Salazar [10], docentes de la Escuela de Física de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, se realizaron a cabo encuestas a personas de ambos sexos, con edades comprendidas entre 5 y 40 años, residentes en la ciudad de Arequipa y pertenecientes a los niveles socioeconómicos A, B, C y D. El resultado que mostramos en la tabla 2, muestra la percepción sobre el uso del agua perdida de agua en una terma solar previa al uso de agua caliente.

Clase socio económica	Pérdidas anuales de agua (litros)
A	100 010
B	82 125
C	86 505
D	89 425

Tabla 2. Pérdidas anuales de agua según la clase socio económica. Fuente: Pérdidas anuales de agua - Pilco & Pacheco.

Según la información recopilada, la población se baña entre 3 y 4 veces por semana, lo que implica una pérdida promedio de 6 litros de agua por baño, acumulándose un total de 180 000 litros diarios, en la tabla 3 se muestra las pérdidas en función del tiempo.

Asimismo, se ha observado que una lavadora consume 60 litros de agua por ciclo (para una capacidad de 4 kilogramos) y el lavado de manos utiliza aproximadamente 1,5 litros [10]. Pilco y Pacheco fundamentaron sus encuestas en el aprovechamiento de la energía mediante termas solares, señalando que en la ciudad de Arequipa existen, en promedio, 30 000 termas solares instaladas. Según sus evaluaciones, se registra una pérdida promedio de 6 litros de agua antes de que el agua caliente generada por las termas sea utilizada; es decir, corresponde al agua fría que discurre hasta el inicio del baño.

Las cifras presentadas en la tabla 3 de esta investigación corresponden a las pérdidas diarias, mensuales y anuales. Esta información resulta particularmente relevante, ya que, considerando el sistema de almace-

namiento propuesto en nuestra solución, el volumen de agua ahorrado podría cuadruplicarse, al incluir el tiempo de enjabonado y enjuague durante el baño, de modo que el volumen total reutilizable ascendería a 720 000 litros diarios.

Para esta investigación, nos enfocamos en el agua utilizada durante las duchas, ya que nuestro sistema se implementará para recuperar este recurso. En consecuencia, se toma como referencia un consumo diario de 180 000 litros.

Día (litros)	Mes(litros)	Año (litros)
180 000	5 400 000	65 700 000

Tabla 3. Proyección del estimado de pérdidas de agua. Fuente: elaboración propia.

La persona media de los países industrializados utiliza 300 litros de agua al día, frente a los 25 litros de los países en desarrollo y los 80 litros que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el aseo personal y las necesidades esenciales. Teniendo en cuenta lo anterior, se prevé que las necesidades diarias de 2250 personas pueden satisfacerse con esta pérdida de agua. Además, numerosos estudios han demostrado que los sistemas de reutilización de aguas grises pueden optimizar la gestión de este recurso en entornos urbanos y reducir la cantidad de agua potable utilizada [11].

Aspectos de evaluación	Valor promedio
Duración del baño	10 a 15 minutos
Frecuencia del baño	3 a 4 durante la semana
Número de integrantes por familia	5 a 6 integrantes
Frecuencia de termas solares	5 termas por manzana encuestada
Aproximado de termas solares en Arequipa	30 000 termas
Pérdida diaria antes del uso de agua caliente	6 litros

Tabla 4. Valores promedio de consumo. Fuente: elaboración propia.

IV. PROBLEMÁTICA

El agua es un recurso natural renovable, pero al ser un

componente del ciclo hidrológico —que incluye procesos como la evaporación, la condensación y la precipitación—, sus reservas se están agotando, a pesar de que todas las formas de vida conocidas dependen de ella para prosperar. En la actualidad, el agua potable es un recurso escaso debido a la contaminación (por la falta de control sobre los contaminantes vertidos en las fuentes de agua), el abuso, el calentamiento global y el aumento de la población (que ha reducido la media mundial de suministro de agua per cápita y ha creado disparidades de acceso) [12]. Se cree que más del 30 % de la población mundial carece de un saneamiento adecuado y que el 18 % no tiene acceso a fuentes de agua potable. Las enfermedades relacionadas con el acceso inadecuado al agua y al saneamiento causan la muerte de más de 2200 millones de personas al año en las naciones subdesarrolladas, la mayoría de las cuales son niños [13].

En nuestro país, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) es la autoridad facultada para supervisar directamente estos casos y aplicar sanciones en caso de que se excedan los Límites Máximos Permitidos (LMP). Además, la OEFA, dependiente del Ministerio del Ambiente, exige el cumplimiento y la vigilancia de los Estándares de Calidad Ambiental (ECAS). Asimismo, existen otros organismos encargados de fiscalizar el cumplimiento de los ECAS, tales como la Autoridad Nacional del Agua del Ministerio de Agricultura (ANA), la Dirección General de Salud (DIGESA) y el Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA).

Estos organismos gubernamentales sugieren una recuperación adecuada de los costos de los servicios asociados a todo el ciclo del agua y basan sus políticas en la teoría de «quien contamina paga». Sólo el 32 % de los 2,2 millones de metros cúbicos (m) de aguas residuales que actualmente fluyen por las redes de alcantarillado de Perú se tratan antes de verterse a masas de agua naturales, como ríos, lagos, arroyos y el mar. Solo se trata el 20 % de los 1,2 millones de m de aguas residuales producidas por la infraestructura de alcantarillado de Lima. La cantidad de aguas residuales generadas, expresada en litros por habitante por día, varía según las regiones del país. Según lo ilustrado en la figura 1, los consumos son de 145 L/hab./día en la costa, 144 L/hab./día en la sierra y 136 L/hab./día en la selva [14]. Además, se realizó una proyección a 10

años, la cual se cumplió el 2024.

En el 2015, en Arequipa se inauguró la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “La Enlosada”. Esta planta, resultado de un acuerdo entre la minera Cerro Verde y la empresa de saneamiento SEDAPAR, tiene la capacidad de tratar el 83,71 % de las aguas residuales generadas por la población de Arequipa Metropolitana, operando a un caudal aproximado de 2000 l/s. Además, la ciudad cuenta con la PTAR “La Escalerilla”, cuya capacidad máxima de tratamiento es de aproximadamente 200 l/s. Dado que Arequipa se proyecta como una gran metrópoli y, según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) extraídos del censo de 2017, la tasa de crecimiento poblacional es del 1,8 %, se prevé que este problema se incrementará en el futuro.

Ante esta realidad, la propuesta de solución es sencilla y de fácil implementación. La iniciativa ayudará a mejorar la economía de los hogares, ya que permitirá reutilizar las aguas grises provenientes de las duchas en las viviendas, lo que se traducirá en un menor consumo de agua y en una reducción de los costos asociados tanto a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) como a las Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR).

Asimismo, investigaciones recientes han evidenciado que la implementación de sistemas de reutilización de aguas grises en áreas residenciales puede disminuir el consumo de agua en hasta un 25 % y reducir significativamente la presión sobre las infraestructuras de tratamiento, lo que contribuye a una gestión más sostenible del recurso [15].

V. METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS [T1]

Para aprovechar y optimizar el uso del recurso hídrico, es fundamental que los usuarios del sistema adopten una cultura del uso adecuada del agua. Por ello, se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Una persona gasta, en promedio, 20 litros al bañarse.
2. El tanque de almacenamiento propuesto para este proyecto tendrá una capacidad de entre 18 y 20 litros.
3. El inodoro requiere 6 litros para su correcto fun-

cionamiento.

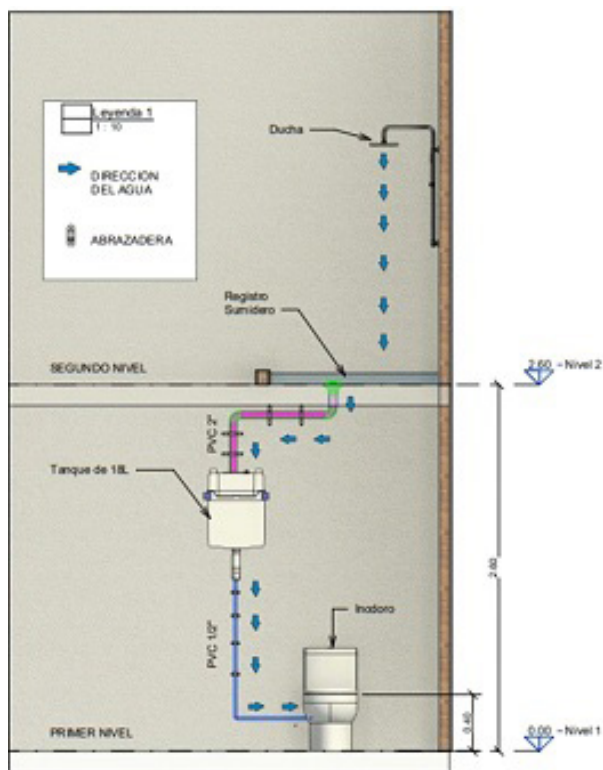
4. Todo el sistema tiene la capacidad de almacenar hasta 26 litros.
5. Una persona utiliza el inodoro aproximadamente 2 veces al día, lo que implica un consumo de 12 litros diarios, dejando un excedente de 14 litros para otros usos.
6. Con estos parámetros, una persona podría bañarse entre 3 y 4 veces a la semana y, al mismo tiempo, disponer del agua necesaria para la limpieza del inodoro.
7. Este análisis puede variar según la cantidad de personas que habitan una vivienda.

VI. PROPUESTA DEL SISTEMA DE GRAVEDAD

La propuesta planteada (figura 1) demuestra que el espacio disponible permite la instalación del sistema. Con una altura típica entre pisos de 2,40 metros, no es necesario contar con una presión mínima para llenar el inodoro, ya que el sistema opera por gravedad.

A continuación, se presenta una versión revisada de los puntos de implementación del proyecto:

1. El sistema opera aprovechando la fuerza de la gravedad, que impulsa el movimiento del agua hacia el nivel inferior.
2. Se empleará el agua residual proveniente del uso de duchas, lavatorios, lavandería o lavadora, situadas en un nivel superior, para alimentar los aparatos sanitarios (inodoros) ubicados en un nivel inferior. Cada tubería de desagüe contará con rejillas o registros sumideros destinados a retener partículas que podrían obstaculizar el proceso de llenado del inodoro.
3. Se instalará una red de tuberías y accesorios de PVC de 2", conectada a los aparatos sanitarios del piso superior.
4. En la parte superior del inodoro, se instalará un tanque con una capacidad de 18 litros, que permitirá controlar el suministro de agua para su funcionamiento.
5. El tanque dispondrá de una entrada de 2" y una salida de 3/4", conectada al inodoro mediante un tubo de asbesto.
6. El inodoro requiere 6 litros de agua para su operación.



TFigura 1. Sección típica del sistema por gravedad.
Fuente: elaboración propia.

VII. VIABILIDAD DEL SISTEMA POR GRAVEDAD

Ambientalmente, la cantidad de agua reutilizada sería de 180 000 litros por día. La huella hídrica se define como el volumen total de agua dulce empleada para producir los bienes y servicios consumidos tanto por la población como por los comercios. Con base en lo anterior, se estima que la huella hídrica de Perú es de $0,02 \times 10$ m/año, lo que equivale a aproximadamente 777 m/hab./año, situándose por debajo del promedio mundial de 1243 m/hab./año [16]. Esto se traduce en cerca de 3,4 m/hab./día. Aunque los 0,006 m/hab./día de agua que se dejan de reutilizar pueden parecer una cantidad pequeña, representan un inicio significativo hacia un uso más óptimo y sostenible del recurso. Además, esta iniciativa se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables), ya que promueve la gestión eficiente y sostenible del agua, contribuyendo a garantizar su disponibilidad para las generaciones presentes y futuras [17].

COSTO DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Descripción	Und.	Cant.	P.U.	Parcial Sol (S/)
Mano de obra				233,60
Operario	HH	5,00	26,15	130,75
Oficial	HH	5,00	20,57	102,85
Material				254,42
Registro sumidero 3"	Pza.	1,00	18,43	18,43
Codo 90° de 2"	Pza.	2,00	13,72	27,44
Tubería PVC de 2"	m	2,50	31,64	79,10
Tubería PVC de 1/2"	m	1,50	25,18	37,77
Pegamento	Pza.	3,00	5,00	15,00
Abrazadera 2"	Pza.	3,00	2,50	7,50
Abrazadera 1/2"	Pza.	2,00	0,50	1,60
Conector de 1/2"	Pza.	1,00	1,09	1,09
Tanque cap. 18 litros	Pza.	1,00	55,00	55,00
Cinta teflón	Pza.	2,00	2,00	4,00
Empaque	Pza.	1,00	7,50	7,50
Equipo				7,01
Herramientas	% M.O	3,00	233,60	7,01
Total del costo				495,04

Tabla 5. Estimación del costo del sistema por gravedad.
Fuente: elaboración propia.

El costo de instalación del sistema es de 495.04 soles (S/) y su mantenimiento resulta sencillo. Económicamente, el costo del agua en la ciudad de Arequipa es de 2.41 soles por m (SEDAPAR). Considerando que el consumo de agua de una persona es de 6 litros, equivalente a 0,006 m, el costo diario del agua consumida es de aproximadamente 0,014 soles. Aunque la diferencia entre el costo de instalación del proyecto y el ahorro en el consumo de agua es considerable, se trata de un primer paso fundamental para fomentar la conciencia sobre el uso adecuado del recurso hídrico y para impulsar la adopción de construcciones sostenibles en hogares, edificios y otras estructuras.

VIII. CONCLUSIONES

1. El sistema propuesto funciona utilizando únicamente las aguas grises de la ducha del segundo nivel; el tanque tiene la capacidad de almacenar el equivalente a tres recargas del tanque del inodoro.
2. El ahorro mensual en consumo de agua, considerando un promedio de 6 usos diarios del inodoro, asciende a 1 m, lo que representa un ahorro mínimo de S/ 2,40.
3. Esta iniciativa podría incentivar a las familias a aprovechar otras fuentes de agua residual, como la proveniente de las lavadoras, para el riego de jardines y el lavado de vehículos, aumentando así el ahorro total.
4. Existe una falta de cultura en el uso responsable y el cuidado del agua, lo cual impide reconocer el valor de este recurso en la vida cotidiana y en el entorno comunitario.
5. Aunque se conoce la importancia de las prácticas de cuidado del agua, esto no se traduce en acciones efectivas, ya que no se percibe de manera real la problemática de la escasez. Esto se debe, en parte, a que el país cuenta con grandes reservas hídricas, lo que genera una falsa sensación de abundancia, pese a que en un futuro cercano el

agua podría volverse un recurso escaso.

6. Cualquier ahorro en el uso del agua se refleja en una disminución en los costos del tratamiento de aguas residuales, lo que a su vez contribuye a evitar incrementos en las tarifas del servicio.
7. El análisis de esta propuesta se realizó en la ciudad de Arequipa, sin embargo, puede aplicarse en cualquier pueblo, ciudad o región del Perú y del mundo, ya que el costo de implementación de construcciones sostenibles es reducido, y los beneficios económicos y ambientales constituyen el primer paso hacia una cultura de sostenibilidad ambiental.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al ingeniero Marco Calla quién con su inquietud por la preservación del medio ambiente y la sostenibilidad del planeta, basado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible del Plan 2030, dio el primer paso para hacer que esta propuesta pueda ser difundida y con

REFERENCIAS

[1] M. I. L'Vovich, G. F. White, A. V. Beryaev, J. Kindler, N. I. Koronkevic, T. R. Lee y G. V. Voropaev, "Use and transformation of terrestrial water systems", en *The Earth as transformed by Human Action*, n.º 14, B. L. Turner II ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1995, pp. 235-252.

[2] J. Mas de les Valls Ortiz, "Estudio y análisis de la escasez física y económica de agua dulce en la India en función de la oferta y de la demanda", trabajo de grado, Universitat Politècnica de Catalunya, 2011 [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/entities/publication/415d83d2-5739-4935-8815-10bd-503f64de>

[3] B. Escribano Rodríguez de Robles, "Una visión sostenibilista sobre la escasez del agua dulce en el mundo", *Rev. Intern. de Tecn., Sost. y Hum.*, n.º 2, pp. 85-107, dic. 2007 [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2099/4234>

[4] A. Muñoz Cruz, "Caracterización y tratamiento de aguas residuales", trabajo de grado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2008 [En línea]. Disponible en: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/514>

[5] M. R. Robles Rázuri, "Planteamiento de solución a la problemática de las aguas residuales de Arequipa metropolitana y diseño de emisores", trabajo de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2010 [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/15429>

[6] F. Elizalde Castillo, R. E. Díaz Caravantes y J. L. Moreno Vázquez, "Resiliencia en el agua doméstica en comunidades del río Sonora ante el derrame de 2014", *EST*, vol. 21, n.º 66, pp. 569-598, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22136/est20211715>

[7] ONU Hábitat, Informe Mundial de Ciudades 2020: el valor de la urbanización sostenible, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2020-the-value-of-sustainable-urbanization>

[8] J. Pérez, L. Martínez y R. Gómez, "Estrategias innovadoras de reutilización del agua en zonas urbanas", *Revista de Gestión del Agua*, vol. 23, n.º 4, pp. 45-58, 2019.

[9] D. Quintero Morales, "Bacterias extraídas de cuerpos de agua de la Ciudad de Puebla con capacidad de eliminar materia orgánica", tesis de maestría, Universidad Autónoma de Puebla, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/5254>

[10] V. J. Pilco Mamani y D. G. Pacheco Salazar, “Estudio de percepción sobre el uso del agua perdida en una terma solar previa al uso de agua caliente y hábitos de consumo en la población”, en XVI Simposio Peruano de Energía Solar, Arequipa, 2009.

[11] Organización de las Naciones Unidas [ONU], Gestión Sostenible del Agua Urbana: Estrategias para la Reutilización del Agua, 2021.

[12] Organización Mundial de la Salud [OMS], “Cantidad mínima necesaria para uso doméstico, Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud – Guía técnica No. 9”, may 2009.

[13] [HAGS14.1][GGOV14.2] Naciones Unidas, “Agenda 21: Programa de acción para el desarrollo sostenible”, 1992, [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21sptoc.htm>.

[14] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], Memoria Institucional del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental 2013–2014, Lima: OEFA, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/sbgw0>

[15] UNESCO, “¿Son las aguas residuales el nuevo ‘oro negro’?”, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.unesco.org/es/articles/son-las-aguas-residuales-el-nuevo-oro-negro?utm.com>. [HAGS15.1][GGOV15.2]

[16] A.Y. Hoekstra y A. K. Chapagain, Globalization of Water: Sharing the Planet’s Freshwater Resources, Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2008. <https://doi.org/10.1002/9780470696224>

[17] Organización de las Naciones Unidas, Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/ecj1>