



Propuesta de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises que disminuiría el consumo de agua potable en viviendas familiares

Proposal for a hydraulic system for reusing gray water that would reduce drinking water consumption in family homes

Yrwin Azabache^{1,*}; Kary Rojas¹; Stánler Irigoín¹; Ronald Rodríguez²; Bany Quispe¹

1 Facultad de Ecología, Departamento Académico de Ciencias Ambientales y Sanitaria, Universidad Nacional San Martín- Tarapoto, Jr. Maynas N° 177, Tarapoto, Perú.

2 Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Pje. Mercedes Indacochea 609, Huacho, Perú.

*Autor correspondiente: yfazabache@unsm.edu.pe (Y. Azabache).

ID ORCID de los autores

Y. Azabache  <https://orcid.org/0000-0003-1396-9745>

K. Rojas  <https://orcid.org/0000-0002-4332-4609>

S. Irigoín  <https://orcid.org/0000-0002-5682-5330>

R. Rodríguez  <https://orcid.org/0000-0003-4124-7619>

B. Quispe  <https://orcid.org/0000-0002-5093-5176>

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue realizar la propuesta del diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en viviendas familiares. Para ello, se realizaron análisis físico químico de las muestras de aguas grises y poder determinar la eficiencia del sistema propuesto. Las concentraciones iniciales de los parámetros fueron: pH (7,54), sólidos totales disueltos (721 mg/ L), color (500 UPC), nitratos (0,17 mg/ L), Demanda Bioquímica de Oxígeno (90 mg/ L), Demanda Química de Oxígeno (112 mg/ L). Con el diseño hidráulico realizado, se logra disminuir 10 litros diarios en el consumo de agua potable; siendo las concentraciones finales pH (7,05), sólidos totales disueltos (412 mg/ L), color (200 UPC), nitratos (0,05 mg/ L), Demanda Bioquímica de Oxígeno (30 mg/ L), Demanda Química de Oxígeno (42 mg/ L); lo que indica eficiencia en la remoción de: sólidos totales disueltos 52,68%; color 60%; nitratos 70,59%; DBO 66,67%; DQO 62,50%. La evaluación del sistema realizado demuestra que si tiene efecto en la reutilización de aguas grises en vivienda familiar.

Palabras clave: Diseño; sistema hidráulico; reutilización; aguas grises; agua potable.

ABSTRACT

The objective of the present work was to make the proposal for the design and application of a hydraulic system for the reuse of gray water, to reduce the consumption of drinking water in family homes. For this, physical chemical analysis of the gray water samples was performed, and the efficiency of the proposed system could be determined. The initial concentrations of the parameters were: pH (7.54), total dissolved solids (721 mg/ L), color (500 UPC), nitrates (0.17 mg/ L), Biochemical Oxygen Demand (90 mg/ L), Chemical Oxygen Demand (112 mg/ L). With the hydraulic design carried out, it is possible to decrease 10 liters a day in the consumption of drinking water; the final concentrations being pH (7.05), total dissolved solids (712 mg/ L), color (200 UPC), nitrates (0.05 mg/ L), Biochemical Oxygen Demand (30 mg/ L), Chemical Oxygen Demand (42 mg/ L); indicating efficiency in the removal of: total dissolved solids 52.68%; color 60%; nitrates 70.59%; BOD 66.67%; COD 62.50%. . The evaluation of the system carried out shows that it does influence the reuse of gray water in family homes.

Keywords: Design; hydraulic system; reuse; grey waters; drinking water.

Recibido: 07-04-2020.

Aceptado: 25-06-2020.

INTRODUCCIÓN

La presencia de aguas residuales en el medio rural y urbano ocasiona la multiplicación de enfermedades diarreicas agudas y que, con la influencia de las altas temperaturas en los meses de verano facilita la reproducción de bacterias, contaminando el medio ambiente (Gobierno Regional de San Martín [GORESAM], 2017).

En toda ciudad existen numerosas zonas aledañas que no cuentan con red de agua para el consumo humano y tampoco cuentan con un sistema de disposición final de las aguas residuales domiciliarias, por lo que representa un problema de salud pública latente. Frente a esta situación existe la necesidad del uso de sistemas de tratamiento de agua grises de bajo caudal, como opción de manejo de aguas residuales en zonas periurbanas y rurales.

A la problemática causada por las aguas servidas y grises, hay que añadir la provocada por la eliminación de desechos sólidos, casi siempre irresponsablemente descargados a ríos, quebradas, etc (OEFA, 2014). La reutilización de aguas grises (AG) contribuye a la preservación del agua y a disminuir la demanda de agua potable (Meléndez y Lemos, 2019; Solano et al., 2017).

El agua es un recurso natural que hay que proteger para garantizar el funcionamiento de los ecosistemas y la supervivencia de los seres vivos que lo forman. Se utiliza para beber, para lavar, para cocinar y para regar cultivos (Arboleda, 2016; Torres, 2019). Nunca se ha tenido en cuenta que el agua es un recurso natural limitado y hay que cuidarla (Soliclima, 2013).

Las aguas grises pueden contener sustancias que, al ser vertidas, son causa de ciertos cambios físicos, biológicos o químicos en la masa del agua que las recibirá (Rodríguez, 2017).

Debido a la escasez de agua, la sociedad está tomando conciencia de la importancia de reciclar el agua que se consume. (RNE, 2006 – OS 090). El gasto doméstico diario por persona en climas

calurosos es de 150 litros y la mitad provienen de la ducha y la cisterna. Además de limitar ese gasto, se puede optar por sistemas de reutilización para mejorar el consumo (RNE, 2006). El tratamiento y el reuso del agua juegan un papel fundamental en la administración y manejo de este recurso en todos los países (Guadarrama y Galván, 2015).

Se podrían ahorrar una cantidad considerable de litros de agua al año por familia, con un sistema de tratamiento de aguas grises, donde su función será limpiar el agua del aseo personal (lavado, ducha, baño) haciéndola útil para otros usos con agua no potable: regar el jardín, la cisterna, vaciar el inodoro; en definitiva, para aquellos usos no potables. En la actualidad el tratamiento de aguas residuales no es una opción, sino una obligación, para beneficio del medio ambiente y de todos los que nos desarrollamos en él (Chávez, 2017).

En el presente estudio, se propone un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises para disminuir el consumo de agua potable en viviendas familiares. El sistema consta de un conjunto de estructuras diseñadas (caja de pre – recolección, sistema de bombeo y almacenamiento), con la finalidad de contribuir a la disminución de consumo de agua potable y ahorro económico.

Así mismo se tuvo como objetivo general: Proponer un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, para disminuir el consumo de agua potable en una vivienda familiar; el cual se logró mediante los objetivos específicos: a) diseñar y construir un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, b) caracterizar el agua gris proveniente de las instalaciones sanitarias como duchas, lavatorios y lavaderos antes y después del sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises y c) evaluar la eficiencia del sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises, comprobando que se cumpla con los límites máximos permisibles de calidad del agua.

MATERIAL Y MÉTODOS

Métodos

El caudal de agua gris generada en la vivienda tiene un valor total de 0,75 m³/día, del cual se trabajó con una muestra de 16 litros para las pruebas.

A continuación, se describe cada una de las etapas:

Separación de las aguas grises

En la Figura 1 se observa dentro de la vivienda familiar la separación de las aguas grises (duchas, lavatorios, lavadoras, etc.) con las aguas negras (inodoro). Se recolectan las aguas grises por medio de un sistema de tuberías PVC con diámetro de 2 pulgadas, se hace la distribución de las tuberías para recolectar todas las aguas grises posibles de la vivienda y se termina la separación en la caja de pre – recolección de aguas grises.

Diseño

Caudal de diseño. Para el diseño es necesario realizar aforo, se calculó el caudal mediante el

método volumétrico, del cual se obtuvo 0,288 L/s.

Caja de pre – recolección. Las dimensiones de la caja de pre – recolección se calculan a partir del caudal de diseño de aguas grises. Obteniendo para su construcción una caja con dimensiones de 0,60 m de ancho, 0,80 m de largo y 0,60 m de altura, y su respectiva tapa de concreto con un espesor de 0,15 m (Parte izquierda Figura 2).

Sistema de bombeo

Se utilizó una bomba CP100 Centrífuga Monofásica 1HP 220V - GAMMA-2765BR con las siguientes características: tipo de fluido: Agua de pre-recolección (gris), temperatura de trabajo: 20 °C – 30 °C, caudal: 2 L/s, fuerza: 1 HP, diámetro de la tubería: 1”- 0,5” respectivamente. Se instaló el sistema de bombeo con una tubería de succión e impulsión de Ø 1” para llegar hasta el siguiente componente. Parte central Figura 2.

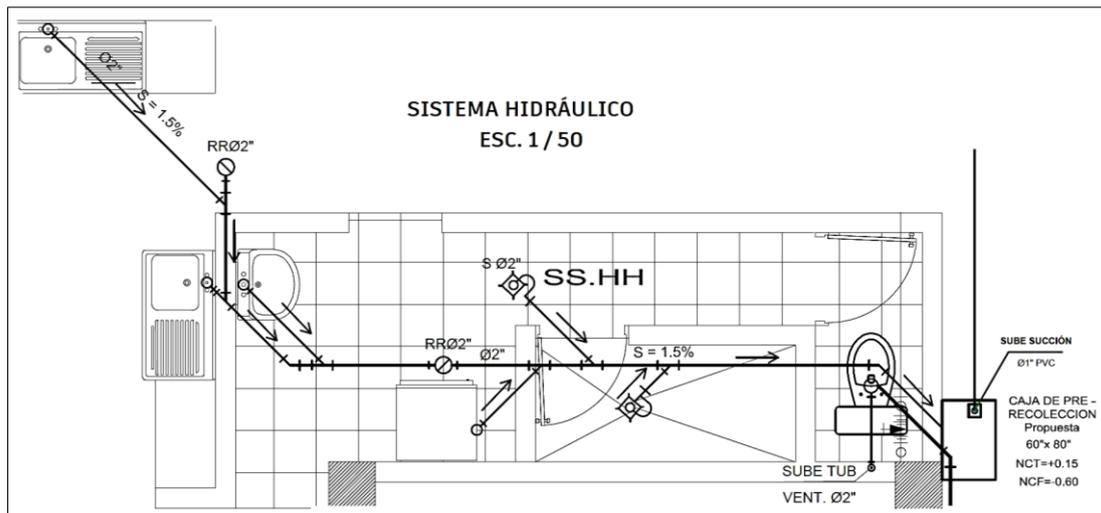


Figura 1. Separación de las aguas grises y negras.

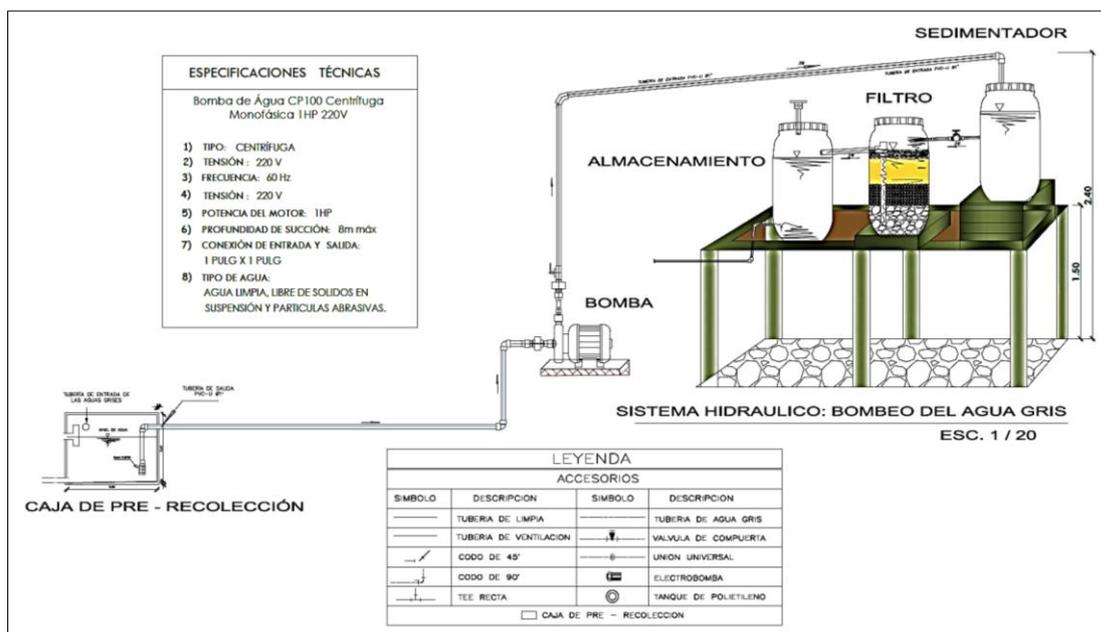


Figura 2. Diseño del sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises.

Tanque de sedimentación

En la figura 2 del lado derecho es el primer tanque de tratamiento, cuya capacidad es de 60 L, con 71cm de altura y Ø 21"; su función es almacenar el agua bombeada y a la vez sedimentarla, el tanque es adecuado con una tubería de Ø 1", que ingresa por la parte superior conduciendo el agua gris proveniente del sistema de bombeo, al tanque de sedimentación.

Se instala los accesorios hidráulicos (sistema de atrapa grasas, codos, tubería de ventilación, llave de control). Además, al costado del tanque se instala una llave de control para regular el pase y/o controlar el flujo del agua gris que pasa al sistema de filtración.

Tanque de filtración

En la figura 2 es el segundo tanque de tratamiento, con capacidad igual al primer tanque; su finalidad es filtrar toda el agua proveniente del primer tanque de tratamiento. Se instala una tubería de Ø 2" perforada para regular la velocidad y presión, además para que la entrada del agua sea de manera

uniforme al sistema de filtración, se observa en la figura 3 que el sistema de filtración tiene una primera capa de piedra media aproximadamente de Ø 4", con una altura de 0,20 m, una segunda capa de grava (piedra chancada) comprendida entre Ø 2 - 3" con una altura de 0,15 m, como tercera capa de medio filtrante se utiliza gravilla con una altura de 0,15 m, la cuarta capa del medio filtrante arena de 0,25 a 0,35 mm de diámetro con una altura de 0,06 m y la última capa de medio filtrante, es de carbón artesanal con una altura de 0,21 m. En el interior del sistema de filtración se instaló una tubería de Ø 2" de salida del agua filtrada.

Tanque de almacenamiento

En la figura 2 es el último tanque de polietileno cuya capacidad es de 60L, con 71 cm de altura y Ø 21"; su principal función es almacenar el agua proveniente del sistema de filtración, en la Figura 4 se observa una tubería de entrada de 2 pulgadas de diámetro en la parte superior y una tubería de salida de ½ pulgada de diámetro que conecta hacia el inodoro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño y construcción del sistema hidráulico de reutilización de aguas grises

El proceso de construcción del sistema consta de las siguientes partes de su construcción dando a conocer el esquema final del sistema, sus componentes, su funcionalidad y su estética:

Pre-recolección

Tenemos en la **figura 5** la caja de pre-recolección como el principal compartimento de recolección y separación de las aguas grises, en donde existe el desvío del agua gris (ducha, lavatorios, lavadoras) con el agua negra (inodoros), cuya capacidad es de: Ancho x largo x altura = capacidad volumétrica

$$0,60 \text{ m} \times 0,80 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} = 0,288 \text{ m}^3$$

$0,288 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ L} / 1 \text{ m}^3 = 288 \text{ L}$ de aguas grises
Es decir, la capacidad total de las aguas grises en el pre-recolector es de 288 L con un caudal de 0,5 L/s, donde al ser almacenada diariamente en 12 horas, sedimentan las partículas o sólidos que pasan a través de las tuberías del lavatorio. La importancia de este compartimento es que permite la sedimentación de sólidos que pueden obstruir o malograr las tuberías; así mismo, reúne la cantidad suficiente de agua que debe ser impulsada hacia el siguiente componente. Es el primer compartimento y uno de los más importantes ya que busca medir el caudal del agua que ingresa al sistema y se concentra en eliminar como primer paso todos los sólidos suspendidos en el agua y que son perceptibles al ojo. Estos sólidos se caracterizan por ser de gran tamaño buscando reducir o eliminar los sólidos inorgánicos como las arenas.

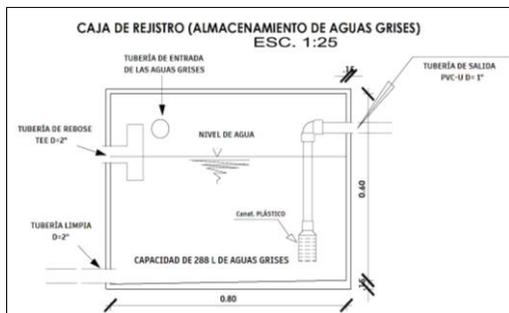


Figura 5. Caja de pre recolección.

Sistema de bombeo

En la **figura 6** observamos la bomba que se utiliza en el sistema, cuenta con las siguientes características:

- Tipo de fluido: Agua de pre-recolección (gris)
- Temperatura de trabajo: 20 °C - 30 °C
- Caudal: 2 L/s
- Fuerza: 1 HP
- Diámetro de la tubería: 1" - 0,5", respectivamente

La bomba es la principal impulsora de las aguas grises hacia los siguientes componentes. Su función principal es absorber el agua de la caja de pre-recolección impidiendo el paso de sólidos debido a una rejilla en la primera parte, todo ello por el tubo de 1 pulg, por un espacio de 3 m e impulsarlo hasta una altura de 2,4 m por una tubería de ½ pulg, para que continúe el paso al siguiente componente.



Figura 6. Bomba de impulsión.

Sedimentación

El paso del agua para su depuración consiste en la conducción de la misma por el filtro, pero acompañada de un contenedor antes y después. En la **figura 7** el de la derecha que es el tanque de sedimentación del agua hasta unos 60 L, en cuyo costado tiene una llave que dirige el agua hacia el filtro con un caudal de 0,2 L/s, donde al llenarse pasa por el tanque del centro que es un filtro de grava, arena y carbón; esta a su vez impulsa el agua hasta el siguiente contenedor que funciona como un reservorio donde se desinfecta cada 7 días, para su utilización en los inodoros y en el riego. Brinda un tipo de filtración lenta, simple y altamente efectiva, donde el agua penetra a través de este, y por difusión va recorriendo los diferentes niveles. Es allí donde queda retenida la suciedad e impurezas dando como resultado agua depurada. Este tipo de tanque permite mantener un volumen de agua elevado sin movimiento, lo cual facilita sedimentar los sólidos de manera rápida y precisa, debido a que se depositan en el fondo cónico del mismo, lo que ayuda a una extracción fácil de los lodos acumulados.



Figura 7. Tanque de sedimentación, filtro y almacenamiento.

Filtración

Tenemos el tanque de diseño de la **figura 3** que corresponde al tanque central en la **figura 7**, donde la primera capa del filtro está constituida por piedra mediana de aproximadamente 4", utilizada como compartimento de limpieza inferior y como protector del tubo que impulsará el agua hacia arriba con presión de las demás capas; así mismo, esta funciona como unidad espaciosa que permitirá el flujo del agua en la base del contenedor.

Del mismo modo, no impiden el paso del agua, pero si retienen los sólidos que viajan en ella.

Se puede observar en la **figura 3** la segunda capa del filtro constituida por grava (piedra chancada) comprendida entre 2" y 3" de diámetro, cuya función principal es la adsorción de partículas y compuestos que inducen la turbiedad entre otros parámetros alterados, los cuales se adhieren a las partes planas de las piedras y quedan retenidas de esta forma.

La tercera capa del filtro de agua está constituida por gravilla, la misma que cumple las funciones de la grava, aunque en mayor escala debido al menor tamaño, y con esto la retención mucho más del agua al pasar por esta capa.

La cuarta capa del filtro está constituida por arena, para esto la arena debe estar limpia y exenta de arcilla, polvo, raíces y otras impurezas. Debe tener un diámetro que oscile entre 0,25 y 0,35 mm; la misma que hace las veces de campo filtrador y adsorbente para los líquidos y partículas no sedimentables del agua, la misma que permite el paso hacia las otras capas de grava y gravilla, debido a que el agua sin tratar contiene normalmente sólidos en suspensión, los cuales son indeseables o perjudiciales para uso en aplicaciones domésticas. Los filtros de arena a presión eliminan las partículas finas.

La quinta y última capa está constituida por carbón artesanal, que por sus distintas propiedades adherentes y porosas permite la adsorción de contaminantes especialmente removiendo color, olor, nitratos, fosfatos: esta capa es uno de las fundamentales para el paso del agua gris. Cabe resaltar que es la primera barrera donde se esparce el agua del sistema de retención.

Almacenamiento

Constituye el tanque de la izquierda en la Figura 7, en el que se llega a depositar el agua tratada, así mismo es el lugar donde semanal se vierte 60 mL de hipoclorito de sodio para su desinfección y matar algunas bacterias que puedan adherirse a las paredes del bidón y generar problemas biológicos infecciosos.

Caracterización de las aguas gris proveniente de las instalaciones sanitarias antes y después del sistema hidráulico de reutilización

El último análisis realizado fue a la cuarta semana, en la **tabla 1** los valores se observan como una función cuya forma es decreciente, demuestran efectividad, el valor de pH ha variado pero no de manera abrupta ya que es un parámetro poco afectado tanto al ingreso como a la salida; los sólidos totales disueltos también han bajado durante las cuarta semanas llegando hasta 412 mg/L; el color baja progresivamente hasta los 200 UPC, son los nitratos uno de los parámetros más elevados al ingreso y con el paso del tiempo han llegado con los mejores resultados cuyo valor hasta la cuarta semana llegó a ser 0,05 mg/L; la demanda biológica de oxígeno ha tomado importancia al ser reducida hasta los 30 mg/L, su valor se encuentra relacionado con la materia orgánica y con la acción de la demanda química de oxígeno, el cual llegó en la cuarta semana a medir 42 mg/L.

Tabla 1
Sistema de recuperación de aguas grises

Parámetro	Unidad	Ingreso	Salida		
			M1	M2	M3
Temperatura	°C	23,8	23,7	23,4	23,5
pH	valor de pH	7,54	7,12	7,02	7,05
Sólidos Totales	mg/L	721	424	415	412
Disueltos					
Color	UPC	500	445	315	200
Nitratos	ppm	0,17	0,07	0,05	0,05
DBO	mg/L	90	45	41	30
DQO	mg/L	112	47	45	42

La prueba estadística que se desarrolló para validar los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, correspondientes a Temperatura, pH, Sólidos Totales Disueltos, Color, Nitratos, DBO₅ y DQO; se realizó por medio de la prueba estadística de distribución t- Student pareada entre la pre prueba y post prueba, con α= 5%.

Tabla 2
Prueba de muestras emparejadas

Mediante el diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de aguas grises se disminuye los parámetros fisicoquímicos del agua y por ende el consumo de agua potable en una vivienda familiar.		Diferencias emparejadas							
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		tc	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Temperatura	T0 - Tf	0,27	0,15	0,09	-0,11	0,65	3,024	2	0,094
pH	pH _i - pH _f	0,48	0,05	0,03	0,35	0,60	16,09	2	0,004
Sólidos Totales	TDS _i - TDS _f	304,00	6,25	3,61	288,49	319,51	84,31	2	0,000
Disueltos									
Color	Color _i - Color _f	180,00	122,58	70,77	-124,50	484,50	2,54	2	0,126
Nitratos	Nitratos _i - Nitratos _f	11,33	1,15	0,67	8,46	14,20	17,00	2	0,003
DBO ₅	DBO _{5i} - DBO _{5f}	51,33	7,77	4,48	32,04	70,63	11,45	2	0,008
DQO	DQO _i - DQO _f	67,33	2,52	1,45	61,08	73,58	46,34	2	0,000

En la **Tabla 2** como el p valor (Sig) de los principales parámetros como pH (0,004), Sólidos Totales Disueltos (0,000), Nitratos (0,003), DBO₅ (0,008) y DQO (0,000) son menores que 0,05 valor de nivel de significancia previamente establecido, por lo tanto, se rechaza la H₀ y se acepta H₁; en consecuencia, se puede decir, que hay suficiente base estadística para afirmar que, si existe una disminución estadísticamente significativa de la concentración en los parámetros antes y después del tratamiento.

Por lo tanto, este resultado permite declarar parcialmente verdadera nuestra hipótesis de investigación: *“Mediante el diseño y aplicación de un sistema hidráulico de reutilización de aguas grises se disminuye los parámetros fisicoquímicos del agua y por ende el consumo de agua potable en una vivienda familiar”*.

Se logró diseñar e instalar un sistema de circulación de aguas grises con el objetivo de mejorar la utilización de aguas, al igual que Espinal *et al.* (2014), en su investigación también propone un sistema de reciclaje de aguas grises, cuyo principal objetivo es el diseño y simulación que permita volver a utilizar este tipo de aguas, para lo cual fue necesario la ubicación de los principales puntos de captación en el hogar, desde donde se pueden obtener aguas grises procedentes de lavados en general. Después se indican los resultados, los cuales cumplen con los objetivos planteados, llegando a cumplir lo esperado en el sistema actual, donde se observó su progresivo mejoramiento. Bermejo (2012), preparó un sistema de tratamiento de aguas grises urbanas, de donde concluyó: Los rendimientos de eliminación de los principales parámetros estudiados fueron superiores al 94% para DQO. En cuanto al sistema de tratamiento de aguas grises se logró mejorar hasta más de un 50% de la remoción del DQO, al 97% para DBO₅; en cambio, ha llegado hasta más de 60% en esta investigación, pero, así como se observó buenos resultados en el tratamiento planteado, para los sólidos es menos eficiente. Por su parte, los rendimientos de eliminación de

nutrientes oscilaron entre el 57% y 90% para nitrógeno total y entre el 5% y el 56% para fósforo total, con ello también se logró reducir el nitrógeno a un porcentaje del 90%. Además, a lo largo del tratamiento se produce un incremento de la concentración de oxígeno disuelto, así como disminuir la concentración de la DBO₅; por lo que se coincide con la investigación indicando que la calidad de efluente desde el punto de vista físico-químico, es adecuado para el uso del regadío en las zonas verdes y cumple con la directiva reglamentaria.

Se construyó tres compartimentos de pre filtro, filtro y el post filtro, sus compartimentos están en base a la composición cilíndrica de los tanques cuya capacidad es de 60 litros, para Palomino y Ballón (2007). Se construyeron dos reactores de vidrio, cada uno con sus respectivos sedimentadores secundarios como eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de 69,66% y 49,06% en el reactor N°1 y N°2, respectivamente. Debido a la baja eficiencia de remoción se aplicó como segunda condición una tasa de oxigenación de 0,062 g/h de O₂, obteniéndose una eficiencia de remoción de DBO₅ del 84,7% en el reactor N°1 y 86,35% en el reactor N°2. Para la presente investigación, se obtuvo una serie de análisis realizado a los 14 días de su funcionamiento, cuya eficiencia de remoción supera los 50% para la demanda biológica de oxígeno y para la demanda química; no se administró otro tipo de compartimento debido a que se observó al pasar las semanas mejores resultados.

Además, se concuerda con Pérez *et al.* (2016), pues con la aplicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se logró prevenir la contaminación, minimizar riesgos biológicos, y, sobre todo, mejorar la disposición final de efluentes. En el artículo de Mendoza *et al.* (2016), la fitorremediación es una alternativa eficiente y viable para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, considerándose también la instalación de un sistema hidráulico potencialmente eficiente.

CONCLUSIONES

Se ha logrado diseñar y aplicar un sistema de tratamiento de aguas grises conformado por caja de pre - recolección, sedimentador, filtro y almacenamiento, desde donde se conduce el agua tratada directamente al inodoro.

La utilización de un sistema de tratamiento con recirculación ayudó a disminuir hasta más de 10 litros diarios en la utilización de agua procedente de las tuberías de agua potable.

La caracterización de las aguas grises en la vivienda unifamiliar son la temperatura relacionada con el

ambiente de 23.8 °C, pH con 7,54 unidades; así mismo, se puede observar sólidos totales disueltos 721 mg/L, 500 unidades platino cobalto de color (UPC), tiene 0,17 mg/L de nitrato, DBO y DQO con 90 y 112, respectivamente.

A las condiciones experimentales determinadas; se logró eficiencia en la remoción de: sólidos totales disueltos 52,68%; color 60%; nitratos 70,59%; DBO 66,67%; DQO 62,50%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arboleda, N. 2016. Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua lluvia en el consejo comunitario de la comunidad negra de los lagos, Buenaventura. Luna Azul 49: 1-23.
Bermejo, D. 2012. Reutilización de aguas residuales domésticas. Estudio y comparativa de tipologías edificatorias:

depuradoras naturales como alternativa sostenible. Tesis de pregrado. Universidad de Alicante. España. 25 pp.
Chávez, I.G. 2017. Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. Revista Dominio de las Ciencias 3(1): 536-560.

- Espinal, C.; Ocampo, D.; Rojas J. 2014. Construcción de un prototipo para el sistema de reciclaje de aguas grises en el hogar. Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. 14-32 pp.
- Gobierno Regional de San Martín, 2017. Plan estratégico Institucional del Gobierno Regional de San Martín 2018-2020. Gerencia Regional de Planeamiento y Presupuesto. Perú. 105 pp.
- Guadarrama, M.E.; Galván A. 2015. Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias* 4(7): 1-23.
- Mendoza, Y.I.; Castro, F.L.; Marín, J.C.; Behling, E.H. 2016. Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia). *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. 39: 2-11.
- Meléndez, J.A.; Lemos, M.M. 2019. Reutilización de aguas grises domésticas para el uso eficiente del recurso hídrico: aceptación social y análisis financiero. Un caso en Portugal. *Revista UIS Ingeniería* 18: 223-236.
- OEFA – Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental 2014. Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Ministerio del Ambiente. Perú. 10-25 pp.
- Palomino, G.; Ballón, M. 2007. Tratamiento de aguas residuales por procesos de biopelícula. Tesis de pre grado. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú. 24-32 pp.
- Pérez, F.; Armenteros, T.A.; Hernández, J.P. 2016. Sistema de tratamiento para las aguas residuales en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Villa Clara. *Revista Centro Azúcar* 43: 68-75.
- RNE, 2006. Reglamento Nacional de Edificaciones. Dotaciones de consumo de agua según regiones: Costa, Sierra y Selva. Perú. 15 pp.
- RNE. 2006. Reglamento Nacional de Edificaciones, DS N°011-2006-VIVIENDA, OS.090 Plantas de tratamiento de agua residual. Perú. 84 pp.
- Rodríguez, H. 2017. Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Soliclima. 2017. Energía solar. Disponible en: <http://www.soliclima.es/aguas-grises>
- Solano, C.; Gonzaga, F.; Espinoza, F.; Espinoza, J. 2017. Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico, Isla Jambelí, cantón Santa Rosa. *Revista Cumbres* 3(1): 151-159.
- Torres, R. 2019. La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental XL(2)*: 125-139.