

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES CLARAS PARA REUSO COMO AGUA DE REGADÍO.

Fernando Anaya Meléndez^a, Elizabeth Norma Espinosa Descalzo^b, Jorge Eduardo Loayza Pérez^c, Raúl Armando Zamudio Castillo^d, Manuel Augusto Yáñez López^e

RESUMEN

El artículo tiene como objetivo fundamental proponer un diseño efectivo para el tratamiento óptimo de aguas grises claras, las cuales siguen la clasificación de los diferentes tipos de aguas residuales como resultado de la prestación de un servicio tanto a nivel doméstico, como industrial. Según el grado de impurezas contenidas en dichas aguas residuales, se clasifican por ese orden en aguas negras, aguas grises oscuras y aguas grises claras. En el diseño propuesto, se hace una diferenciación de los desagües, que permiten tratar in situ a las aguas grises recolectadas en los servicios higiénicos situados en el quinto piso de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. En la investigación se realizó la recolección, cuantificación, caracterización y tratamiento de las aguas grises, para un caudal promedio de 26.12 L/h (2.00 m³/día). Se midieron in situ (en muestras individuales): T (°C) = 21.5 – 23.0; pH (a 20 °C) = 7.32 – 8.03; Conductividad C (μS/cm) = 873 – 1083, Turbiedad (NTU) = 295 – 305; y en muestras compuestas (compósitos) se determinaron: SSS (mL/L) = 1:00, Dureza Total (mg/L) = 389, Alcalinidad Total (mg/L) = 136, DBO (mg O₂/L) = 8, DQO (mg O₂/L) = 163. La relación R = DBO/DQO = 0.05, indica que el tratamiento del agua gris debe ser fisicoquímico, descartándose el uso de un método biológico. Para poder utilizar el agua con fines de regadío se redujo la DQO a escala de laboratorio, mediante filtración por diferentes medios, obteniéndose una DQO (mg/L) = 18 (% reducción = 89), que cumple con los ECA-Agua para riego.

Palabras clave: Diseño, Sistema de Tratamiento, aguas grises, reúso, agua de regadío, desagües.

DESIGN OF A CLEAR GRAY WATER TREATMENT SYSTEM FOR REUSE AS IRRIGATION WATER.

ABSTRACT

The main objective of the article is to propose an effective design for the optimal treatment of clear gray water, which follows the classification of the different types of wastewaters as a result of the provision of a service both at a domestic and industrial level. Depending on the

^{a,b,c} Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Calle Germán Amezaga 375, Lima 01, Perú, fanayam@unmsm.edu.pe

^d Asesor del Programa de Educación Sanitaria y Ambiental (PESA)- SEDAPAL.

^e P&S Chemical Engineering S.A.C.

degree of impurities contained in the wastewater, it is classified in that order as black water, dark gray water and light gray water. In the proposed design, a differentiation of the drains is made, which allows treating in situ the gray water collected in the hygienic services located on the fifth floor of the Faculty of Chemistry and Chemical Engineering of the National University of San Marcos. In the investigation, the collection, quantification, characterization and treatment of gray water was carried out, for an average flow of 26.12 L/h (2.00 m³/day). They were measured in situ (in individual samples): T (°C) = 21.5 - 23.0; pH (at 20°C) = 7.32 - 8.03; Conductivity C (μS/cm) = 873 - 1083, Turbidity (NTU) = 295 - 305; and in composite samples (composites) the following were determined: SSS (mL/L) = 1.00, Total Hardness (mg/L) = 389, Total Alkalinity (mg/L) = 136, BOD (mg O₂/L) = 8, COD (mg O₂/L) = 163. The ratio R = BOD/COD = 0.05, indicates that gray water treatment must be physical-chemical, ruling out the use of a biological method. In order to use the water for irrigation purposes, the COD was reduced on a laboratory scale, through filtration by different means, obtaining a COD (mg/L) = 18 (% reduction = 89), which complies with the ECA-Water for irrigation.

Key words: Design, Treatment System, greywater, reuse, irrigation water, drainage.

INTRODUCCIÓN

En estos momentos del siglo XXI ante variados problemas que afronta el mundo contemporáneo, debido a la escasez, el mal uso del agua potable y la disminución de las fuentes de agua dulce, la problemática del agua es un punto permanente en la agenda de discusiones de los principales organismos de cada país¹⁻⁴. Entre los factores que gravitan sobre estos problemas están sin duda alguna, el crecimiento de la población y su distribución heterogénea, dado que, en las urbes reside en promedio el 80% de los habitantes del Perú⁵⁻⁶ además del consumo indiscriminado de este líquido vital para la vida y el Desarrollo Sostenible (DS)⁷

Al respecto cabe señalar que a nivel planetario se cuenta sólo con alrededor del 1% de agua consumible directamente ya que la gran mayoría se deposita en los océanos y otra parte en los glaciales y los polos en forma de hielo⁷

Si unimos a estas realidades la poca conciencia social en cuanto a su uso, lo que provoca a su vez una acumulación de aguas residuales que en la mayoría de los casos no se pueden reutilizar, entonces la situación se agrava más.

En el presente trabajo se tienen en cuenta definiciones básicas del objeto de estudio de este artículo. A las aguas residuales provenientes de todo el conglomerado después que se utiliza para sus servicios, se les denomina aguas negras que se unen en un desagüe común y van a parar a la red de tuberías de desagües. Se llaman aguas negras porque contienen restos de metabolismo humano provenientes de servicios higiénicos e inodoros.

En general, estas aguas se clasifican en aguas negras propiamente dichas (originadas por los desechos humanos), aguas grises oscuras (surgidas de los fregaderos, cocinas, y lavado de

ropa) y finalmente las aguas grises claras que surgen de las duchas, lavabos y otras fuentes de baja carga orgánica¹⁰⁻¹⁵

En la investigación que sirve de base para este trabajo se realizó un muestreo en los baños de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde se recomienda propiciar el uso de desagües diferenciados con el fin de verter una menor cantidad de aguas negras y tratar in situ las aguas grises claras.

Como modo de ilustrar con mayor claridad la magnitud del problema para su comprensión, si ingresan 100 litros de agua potable y se utilizan de ellos 30 litros como fluido de arrastre en los inodoros, entonces si hubiera desagües diferenciados se producirían 30 litros de aguas negras, pero como no hay dichos tipos de desagües, los 70 litros de aguas restantes se mezclan con los anteriores, transformándose en 100 litros de aguas negras.

A nivel nacional, especialmente en Lima Metropolitana, el caso es sumamente crítico, ya que a pesar de ser una megaciudad con las complejidades que ello conlleva, su composición es bastante heterogénea y las cuencas abastecedoras provenientes de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, presentan escasez hídrica y alto grado de contaminación⁶⁻⁸ Es por ello, que si el proyecto diseñado consistente en la separación de las aguas residuales para tratar convenientemente las aguas grises claras, se extendiera a nivel distrital resultaría un logro altamente positivo partiendo de lo que se propone en este trabajo, ya que brinda una opción de reúso sostenible de dichos efluentes¹¹⁻¹⁵

PARTE EXPERIMENTAL. PRIMERA FASE

2.1. Metodología y recolección de datos.

A nivel experimental, se tomaron como referencia los servicios higiénicos y lavamanos del 5º piso del Pabellón Antiguo de la Facultad de Química e Ingeniería Química de dicha universidad, y se procedió a separar temporalmente, la línea de aguas grises antes de que se mezclen con la línea de aguas negras, para la realización del muestreo.

Luego se tomaron muestras de aguas grises cada dos horas, de estos servicios higiénicos tanto de mujeres como de hombres. A continuación, se ha procedido a la medición de los siguientes parámetros: Temperatura, pH, Conductividad y Turbiedad. Las aguas que se han analizado forman parte de las denominadas aguas grises claras y los resultados obtenidos (y estimados), son los que se han utilizado para el diseño del sistema de tratamiento. También se estimó la cantidad total de aguas grises, generada en los cinco pisos del referido pabellón.

La separación de estas aguas y su tratamiento se realizó como sigue:

Primero: Se acondicionaron los servicios higiénicos del 5to. Piso del Pabellón Antiguo de la Facultad de Química e Ingeniería Química (Ciudad Universitaria), para la recolección de aguas grises.

Segundo: Se recolectaron las aguas grises de cada uno de los lavamanos de los servicios cada dos horas, en los siguientes horarios: 08:00 horas, 10:00 horas, 12:00 horas, 14:00 horas y 16:00 horas. En cada caso se tomó una muestra de 1 L de cada uno de los recipientes preparados y acondicionados adecuadamente para tal fin.

Tercero: Los muestreos se repitieron durante cinco días (de lunes a viernes), calculándose las cantidades recolectadas, determinando los caudales generados.

Cuarto: En cada uno de los recipientes de 1 L, se determinaron los siguientes parámetros de caracterización: Temperatura (en °C), pH, Conductividad (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) y Turbidez (en NTU), en muestras simples⁹

Quinto: En las muestras compuestas, se determinaron otros parámetros, tales como: Alcalinidad, CO_3^{2-} (mg/L), Alcalinidad, HCO_3^- (mg/L), Dureza total, CaCO_3 (mg/L), SSS – Sólidos Suspendidos Sedimentables (mL/L) y Tensoactivos, mg /L (SAAM)⁹

Sexto: La determinación de los parámetros DBO₅ y DQO, se realizó en un laboratorio externo.

Séptimo: Luego se hizo la estimación de la cantidad total generada, tomando en cuenta factores de corrección, asignados por el grupo de investigación GI ITECTARI.

Octavo: Con la información recopilada se procedió al Diseño del Sistema de Tratamiento.

2.2. Caracterización del agua residual y tratamiento por filtración.

La caracterización del agua residual se realizó en el laboratorio 523 A, con que cuenta el Grupo de Investigación ITECTARI, en el 5to. Piso del Pabellón Antiguo de la Facultad de Química e Ingeniería Química. Tomando en cuenta los requerimientos de la Facultad, se determinó la reutilización futura del agua tratada, la cuál sería aprovechada para el riego de los jardines de la Facultad de Química e Ingeniería Química en la Ciudad Universitaria. Este tratamiento corresponde a una primera fase y se verificó el cumplimiento de las características de calidad del agua tratada en referencia al DS N°004-2017-MINAM, ECA Agua categoría 3 para agua destinada al riego de vegetales⁹ (DQO 40 mg de O_2/L ; DBO₅ de 15 mg de O_2/L y detergentes (SAAM) 0.2 mg/L como valores máximos). Para la filtración que permitiera remover la DQO presente en el agua gris, se procedió a ejecutar los siguientes pasos:

- Se preparó la muestra sintética de agua gris, con el agua residual proveniente del lavado de las manos y dientes, las cuales se almacenaron en un balde de 20 litros. Después de dejarlo por un día, se observó la presencia de material flotante y sedimentos.
- Luego de realizar la separación del material flotante con una paleta, se tomó la solución sobrenadante y se procedió a la filtración a través de un filtro de arena de sílice: malla >10, de 20 cm de diámetro y 8 cm de altura ($V = 251.3 \text{ cm}^3$), produciéndose una filtración rápida, que aparentemente no modificó la composición del agua residual.
- Posteriormente, se realizó la filtración a través de un filtro de sílice: malla < 10, de 20 cm de diámetro y 8 cm de altura ($V = 251.3 \text{ cm}^3$), en el cual se observó una filtración lenta con un caudal de 29.3 mL/min, pero que condujo a una solución más transparente, a la cual se analizó la DQO (cantidad de oxígeno necesario para descontaminar el agua).
- En el análisis realizado por un laboratorio externo, se obtuvo un valor para la DQO = 18 mg/L (análisis por duplicado).

Tabla 1. Caracterización parcial del agua gris (agua residual)

Variable (Unidades)	Valor obtenido	Luego del tratamiento	Observaciones
Temperatura (°C)	20.5		Rango, cumple
pH	7.6		Rango, cumple
Turbiedad (NTU)	61.5		Rango, cumple
Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$	975		Rango, cumple
Alcalinidad, CO_3^{2-} (mg/L)	No detectable		
Alcalinidad, HCO_3^- (mg/L)	136		
Dureza total, CaCO_3 (mg/L)	389		
SSS (mL/L)	1		
DQO, $\text{mg O}_2/\text{L}$	163	18	Se reduce en 89%
DBO ₅ , $\text{mg O}_2/\text{L}$	8		Laboratorio externo
Tensoactivos, mg/L (SAAM)	0.02		

2.3. Resultados de la caracterización.

Los resultados de la caracterización se muestran en la Tabla 1, en la cual se incluyen aquellos reportados por un laboratorio externo, para el caso de la determinación de la DQO y la DBO₅ (la última indica la cantidad de oxígeno que las bacterias y otros microorganismos consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C) ⁹.

En el análisis de la tabla anterior, se obtuvo el resultado de las variables y su valor, donde se observa que la cantidad de oxígeno para descontaminar el agua (DQO) baja considerablemente después del tratamiento, de 163 $\text{mg O}_2/\text{L}$ a 18 $\text{mg O}_2/\text{L}$, con lo cual se cumple con la norma para riego de vegetales mencionada previamente ⁹.

Un aspecto importante por resaltar es que las muestras se tomaron antes de la suspensión de la actividad presencial debido a la pandemia, tomándose como referencia lo que aclaramos en la introducción sobre los servicios higiénicos del 5to. piso de la Facultad de Química e Ingeniería Química (FQIQ), de donde se ofrecen los datos siguientes:

CÁLCULOS BÁSICOS EN BASE A LA INFORMACIÓN RECOPIADA:

Nota importante:

Las muestras se tomaron antes de la suspensión de actividad presencial por la pandemia del COVID-19, del 5 al 9 de noviembre de 2018.

Se tomó como referencia el 5° Piso de la FQIQ:

$$Q_{SSHH \text{ MUJERES}} = 5.78 \text{ L/h/piso}$$

$$Q_{SSHH \text{ HOMBRES}} = 11.63 \text{ L/h/piso}$$

$$Q_T = \text{Caudal Total 5° Piso (experimental)} = 17.41 \text{ L/h/piso}$$

$F_{\text{pérdidas}}$ = Factor de corrección (por pérdidas) = 1.5 (determinado por el Grupo de Investigación GI ITECTARI)

$$Q_{Tc} = \text{Caudal Total 5° Piso (corregido)} = 26.115 \text{ L/h/piso}$$

t = tiempo (en horas) del uso de los servicios higiénicos = 15 horas (8:00 a 22 Horas).

Considerando que 1 día = 15 h.

F_{piso} = Factor de corrección (por pisos) = 5

$$Q_{TPA} = \text{Caudal Total Pabellón Antiguo (corregido)} = \\ = 15\text{h/día} \times 5 \text{ pisos} \times 26.115 \text{ L/h/piso} = 1958.625 \text{ L/día} \approx 2 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{día} \text{ (Detalle: m}^3 \text{ de aguas grises/día de 15 horas)}$$

(Nota: La planta a instalar en la FQIQ procesará un caudal de aguas grises)

$$Q_{\text{diseño}} = 130.575 \text{ L/h} \approx 150 \text{ L/h (aproximado a este valor).}$$

Caudal de diseño a escala banco (propuesta del GI ITECTARI):

$$Q_{\text{diseño-banco}} = Q_{\text{diseño}}/3 = (150 \text{ L/h})/3 = 50 \text{ L/h}$$

2.4. Diseño de un sistema de filtros (filtración lenta) para ser colocados en los jar-dines de la FQIQ.

Luego de tener la caracterización de la muestra y sus resultados, se procedió al diseño del sistema de filtros basado tradicionalmente en su sencillez y utilizado para remover la turbiedad. Este se apoya en la reducción de velocidad de flujo para favorecer la sedimentación y, como consecuencia, contribuir a la clarificación del agua 11-15.

El sistema consta de sedimentadores en los que se aporta como elemento de perturbación de inercia, material de bajo costo y de fácil obtención que actúa como medio filtrante (específicamente piedra de río o de "canto rodado") con un tamaño específico para favorecer la retención de partículas de acuerdo al diámetro indicado en cada etapa. Generalmente estos sistemas se adaptan muy bien a rangos de turbiedad de medios a bajos.

Como se puede observar en el esquema de la Figura 2, la zona acondicionada como ingreso sumergido de cada unidad o módulo tiene piedras grandes de canto rodado con una longitud promedio entre 6 a 8 pulgadas a modo referencial, con el objetivo de asegurar un flujo libre de agua a cada etapa subsiguiente. Esto hace posible un mayor margen de tiempo de servicio

de cada unidad, evitando la obstrucción por problemas de pérdida de carga o problemas colaterales. Además, permite establecer mejores criterios para definir los periodos de lavado o de mantenimiento de las unidades 12-15.

Estos sistemas son muy sencillos, eficientes y de bajo costo, pero es menester entender que la operación y mantenimiento correctos dependen del control constante y sostenibilidad de los rangos de trabajo para los que fueron diseñados.

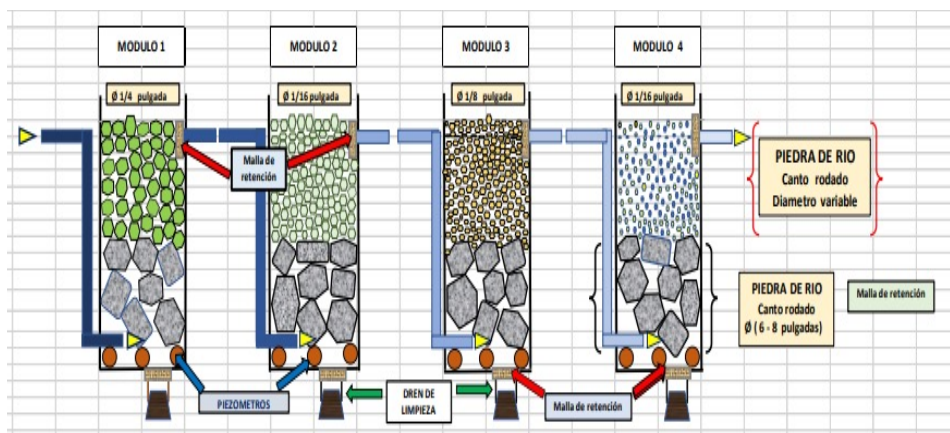


Figura 1. Esquema que representa la separación de aguas negras y grises.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se ofrecen los cálculos básicos para dicho filtro de arena en que se indican los pasos correspondientes:

Tabla 2. Cálculos básicos y los pasos seguidos para el diseño de un filtro lento de arena tomando como referencia los heurísticos o reglas heurísticas. Elaboración propia.

PASOS	RELACIONES BÁSICAS	DATOS Y CÁLCULOS BÁSICOS	VALORES
		Q = Caudal de diseño - banco	Q = 50 L/h
		t_f = Tasa de filtración (Heurístico)	$(0.1 - 0.2) \frac{m^3}{m^2 \cdot xh}$
1	$Q = t_f \times A_f$	t_f = Asumiendo dentro del rango	$t_f = 0.1 \frac{m^3}{m^2 \cdot xh}$
2	$A_f = Q/t_f$	$A = [50(L/h)/(0.1 \frac{m^3}{m^2 \cdot xh})] \times (1m^3/10^3L)$	$A_f = 0.50 m^2$
3	$D_f = (\frac{4A}{\pi})^{1/2}$	$D_f = (\frac{4 \times 0.50 m^2}{\pi})^{1/2}$	$D_f = 0.80 m$

PARTE EXPERIMENTAL. SEGUNDA FASE

3.1. Biofiltración (humedal artificial usando Pasto Vetiver)

La segunda fase es una propuesta de proyecto (en proceso), y se refiere a la iniciativa de la utilización de un tipo de pasto para atrapar impurezas por medios naturales, aunque a nivel de ensayo se propone un humedal artificial 16.. Este humedal artificial de flujo subsumergido se toma considerando la especie vegetal a usar: en este caso, Pasto Vetiver (PV), que tiene una gran capacidad para retener la máxima cantidad de contaminantes (nutrientes) aprovechables, debido a su estructura radicular; por ello, es necesario favorecer que sólo las raíces estén permanentemente en contacto directo con el agua gris.

Debido a que el área donde se implementará dicho humedal artificial piloto se encuentra al lado de los laboratorios de la FQIQ, se usará en lugar de la grava y piedras como sustrato, un soporte que permita la flotación del pasto Vetiver, de tal forma, que se pueda utilizar las pozas de tratamiento con sembríos (cultivos) en forma de hidroponía, lo que permitiría asimismo evaluar opciones de mantenimiento más sostenibles (haciendo más rentable este proyecto). El siguiente esquema, ilustra cómo se dispondrán los elementos de esta fase.

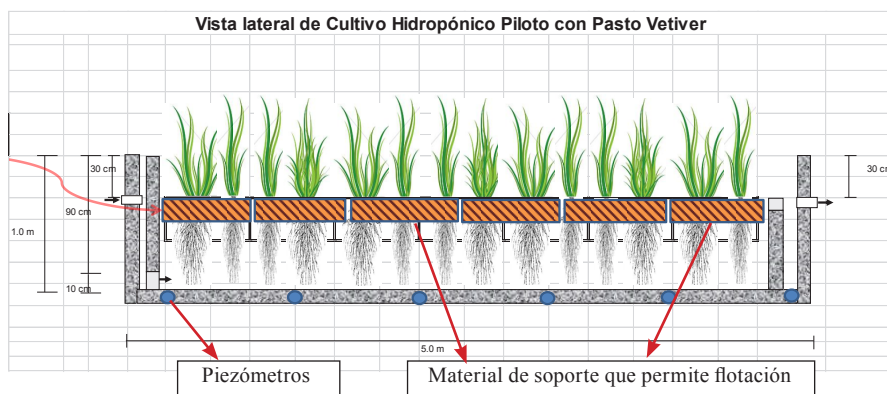


Figura 2. Esquema que representa el filtro con pasto Vetiver.

Fuente: Diseño: Raúl Zamudio (Miembro del GI ITECTARI)

3.2. Descripción del filtro de pasto Vetiver

De acuerdo a las dimensiones del humedal hidropónico a evaluar se debiera considerar el número de plantas suficientes para empezar el control que, en este caso, lo aconsejable sería permitir entre planta y planta una separación inicial de 20 - 30 cm, y de ahí fomentar su desarrollo sin complicaciones, asumiendo que su función será la de asimilar los nutrientes a evaluar, los que provienen de las aguas con las que se está trabajando.

Para el caso de la FQIQ se sugiere construir en esta primera etapa dos baterías paralelas de 1m x 1m x 5 m con la finalidad de practicar un control redundante en caso de presentarse alguna interferencia no estimada originalmente.

Asimismo, se sugiere que el espesor del material flotante sea lo suficiente para sostener el tallo y raíces del Pasto Vetiver, considerando que la longitud del follaje debiera estar entre 15-20 cm y de 60 - 80 cm por la longitud de las raíces. También es necesario aclarar que los piezómetros considerados tendrán tres funciones importantes, ya que servirán para controlar los parámetros siguientes: turbiedad, parámetros de remoción y de variación de pérdidas de carga.

CONCLUSIONES

La novedad de este artículo radica en evidenciar cómo las aguas grises pueden ser tratadas con fines de reutilización, en este caso para riego de áreas verdes partiendo de los servicios higiénicos donde se proyectó el diseño, además de otros posibles usos, tales como, limpieza de pisos de patios exteriores, en los mismos servicios higiénicos como fluido de arrastre en los inodoros y como agua de enfriamiento en la industria. De esta forma, además de su aporte ecológico, también resulta de un indiscutible valor práctico y económico cuando pueda ampliarse a escalas mayores, ya que las aguas grises en vez de desperdiciarse, pueden constituir un recurso muy importante para la economía formando parte de una correcta política de reciclaje, como exigen las condiciones actuales a nivel mundial.

El tratamiento propuesto depende del tipo de agua gris disponible y la carga de impurezas que contenga, por eso, primero se diseñó un filtro de arena, que es un equipo principal del sistema de tratamiento propuesto y que se demostró su eficiencia a nivel experimental, ya que la DQO bajó de 163 mg/L a 18 mg/L, que es un resultado significativo y permite su uso en riego de vegetales. Antes de la filtración se requiere instalar un sistema de separación de los sólidos suspendidos sedimentables, luego el filtro de grava-arena, seguido de un proceso de aireación para su uso en riego de los jardines.

Es posible la segregación de las aguas grises claras de los servicios higiénicos modificando las líneas de desagüe de los lavamanos. Los sólidos separados del agua gris, constituidos por jabones de calcio, magnesio y trazas de materia orgánica, pueden ser compostados por su biodegradabilidad, aportando nutrientes para los jardines.

Cabe resaltar que, a nivel de laboratorio, se ha demostrado la factibilidad de tratar las aguas grises claras a través de diferentes procedimientos, entre ellos el filtro de arena y grava, además del filtro exterior de Pasto Vetiver (PV), proyectado para ejecutar en la práctica en una segunda fase como etapa de pulido.

El reúso de las aguas grises tratadas, reduce la cantidad de aguas negras generadas, a la vez que disminuye el consumo de agua potable, la cual se utiliza actualmente para el riego de todos los jardines de la universidad. Cabe resaltar que, el agua usada para el riego proviene de un pozo ubicado en el campus, con el mayor costo que implica su extracción del subsuelo, además de la cloración, almacenaje y bombeo hacia los puntos de uso.

El presente proyecto, busca ser replicado en las diferentes facultades, con el propósito de contribuir a la economía y sostenibilidad de la institución, además de aportar a la formación de los estudiantes como futuros profesionales comprometidos con el Desarrollo Sostenible. Finalmente, el aporte social del proyecto, resulta en una gestión más económica y sostenible de los recursos hídricos sobre aquellas que requieren realizar grandes inversiones en mayor infraestructura para las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) y/o en PTAR, esto debido al crecimiento demográfico constante, sumado a la migración desde las zonas rurales a las urbanas y la foránea, que viene incrementando la población urbana en el orden del 80% con respecto a la población total, niveles que requieren soluciones como las mostradas en este artículo para aportar al cumplimiento del 6º Objetivo del Desarrollo Sostenible: Agua y saneamiento para todos.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro reconocimiento a los estudiantes de la Facultad de Química e Ingeniería Química, quienes en la semana del 5 al 9 de noviembre de 2018 nos apoyaron en el muestreo y análisis de las muestras individuales de las aguas grises: Maycol Orozco, Stephanie Cruces, María Julia Torres, Karen Quintana, Israel Reátegui Pascasio, Alexandra Alvarado Vilela y Bárbara Cristina Orihuela Astete.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Naciones Unidas (UN). Informe de los Objetivos del Desarrollo Sostenible. Nueva York: ONU; 2019.
2. OEFA Ministerio del Ambiente. Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. San Isidro, Lima: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental; 2014.
3. Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de setiembre de 2015 - Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible e Indicadores de los ODS. [Internet] ONU; 2016. [accesado 15 feb 2022]. Disponible en: https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf.
4. WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos; 2017. Aguas Residuales: recurso desaprovechado. París: UNESCO; 2017.

5. MINAM. Ciencia para la sostenibilidad (2011-2016). El rol del sector Ambiente en la promoción de la Ciencia. Informes sectoriales de Ambiente. Lima: MINAM; 2016.
6. MINAM-SINIA. Cifras ambientales; 2017. Lima: MINAM; 2017.
7. MINAM. Ciudadanía Ambiental-Guía de Educación en Ecoeficiencia. Lima: MINAM; 2012.
8. Autoridad Nacional del Agua, ANA. Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos. Perú: 4 de abril 2018. Lima: ANA; 2019.
9. MINAM. D.S.N °004-2017. Estándares de Calidad de Agua (ECA-Agua). Lima: El Peruano; 2017.
10. Geiser G, Arroyo M. El agua como un recurso renovable. 1 ° edición. México: Trillas; 2011.
11. Gleason J. Sistemas de agua Sustentables en las Ciudades. México: Trillas; 2014.
12. Greywater Action (Version 2). [Internet]. 2015.[accesado 11 ene 2022]. Disponible en: <http://www.greywateraction.org>
13. Spellman F, Drinan J. Manual del agua potable. Zaragoza, España: Editorial Acribia; 2013.
14. Revitt DM, Eriksson E, Donner E. The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads. *Water Res.* 2011;45(4):1549-60.
15. Pidou M, Avery L, Stephenson T, Jeffrey P, Parsons SA, Liu S, Memon FA, Jefferson B. Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere.* 2008;71(1):147-55.
16. Ruiz C, Rodríguez O. Desarrollo de un sistema de tratamiento para la remoción de flúor del agua mediante el uso del *Vetiveria zizanioides* L, en Guarataro, Yaracuy, Venezuela. [Tesis de magister]. Maracay, Venezuela: Universidad Central de Venezuela; 2006.