

Reuse of gray water for irrigation of green areas through ecological

Gino Frank Laque Cordova ⁽²⁾, Walter Hugo Lipa Condori ⁽³⁾ Cesar Edwin Guerra Ramos ⁽⁴⁾

Abstract- The main objective of this research is to reduce the consumption of drinking water for irrigation, maintain drinking water for domestic use and use treated water for irrigation. To achieve this, a prototype of artificial wetlands has been created for the treatment of gray water. The collection of gray water, the construction of a prototype artificial wetland and the evaluation of its effectiveness are part of the study. The results show that during the gray water treatment process, artificial wetlands significantly improved the physical parameters of turbidity, odor and color. Treated wastewater can therefore be safely used in irrigation, without endangering the environment or human health. This allows more drinking water to be saved for irrigation and used for domestic consumption.

Keywords: Turbidity, gray water treatment, irrigation, green area

Reutilización de aguas grises para riego de áreas verdes mediante tratamientos ecológicos

Gino Frank Laque Cordova⁽²⁾, Walter Hugo Lipa Condori⁽³⁾ Cesar Edwin Guerra Ramos⁽⁴⁾

Resumen- El objetivo principal de esta investigación es reducir el consumo de agua potable destinada al riego, mantener el agua potable para el uso doméstico y utilizar agua tratada para el riego. Para lograrlo, se ha creado un prototipo de humedales artificiales destinados al tratamiento de aguas grises. La recolección de aguas grises, la construcción de un prototipo de humedal artificial y la evaluación de su eficacia son parte del estudio. Los resultados muestran que, durante el proceso de tratamiento de aguas grises, los humedales artificiales mejoraron significativamente los parámetros físicos de turbidez, olor y color. Por lo tanto, las aguas residuales tratadas se pueden usar de forma segura en el riego, sin poner en peligro el medio ambiente o la salud humana. Esto permite ahorrar más agua potable para el riego y destinarla al consumo doméstico.

Palabras claves: Turbidez, tratamiento de aguas grises, riego, área verde

I. INTRODUCCIÓN

El distrito de San Antonio de la provincia de Huarochiri según el censo realizado por el INEI en el año 2017 contaba con una población de 4343 habitantes en total, 3 715 habitantes en el área urbana y 628 habitantes en el área rural y Lima presentaba una tasa de crecimiento en área urbana de 2% y en el área rural de -3.5%. Apreciando así un crecimiento en la población y el incremento de la urbanización trayendo consigo un crecimiento en la demanda de agua potable para el aseo personal, alimentación, limpieza y riego, generando una presión significativa sobre los recursos hídricos [1].

En este contexto es fundamental encontrar alternativas que disminuyan el uso de agua potable en actividades de riego para áreas verdes y conservar este recurso para uso doméstico. Si bien nuestro objetivo fundamental es disminuir el uso de agua potable en riego de áreas verdes, es fundamental también considerar la búsqueda de alternativas efectivas para asegurar el riego adecuado de estas áreas. Esto se debe a que las áreas verdes desempeñan un papel fundamental en la reducción de la sensación térmica en nuestro distrito, considerando anuncios de especialistas del Senamhi que indicaron que se prevén temperaturas de alrededor de 31°C para Lima Metropolitana y valores entre 28°C y 33°C en las demás localidades costeras de la región Lima, así mismo las áreas verdes contribuyen con la creación de un entorno más agradable y saludable para la comunidad [2].

Entre las alternativas que proponen estudios realizados en Panamá, Colombia y México para el tratamiento de aguas grises está la utilización de humedales artificiales como una opción prometedora. Estos sistemas naturales simulados han demostrado su eficacia en la depuración de aguas residuales, al tiempo que ofrecen beneficios adicionales como la conservación de la biodiversidad y la mejora del entorno paisajístico [3].

Esta investigación pretende contribuir al conocimiento y el diseño efectivo de un prototipo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises con el objetivo de reducir el uso de agua potable para riego y conservar este recurso para un uso doméstico eficiente. [4].

Entre sus resultados que se obtuvieron con la implementación de los humedales artificiales en Perú, México y Colombia se concluye que finalmente, se logró reducir la DQO a nivel de laboratorio mediante filtración, obteniendo un nivel que cumplía con los estándares de calidad del agua para riego [8].

Se presentaron tres opciones en Panamá para aprovechar las aguas grises y reducir el uso de agua potable, entre ellas el uso de humedales artificiales como sistema de tratamiento de aguas grises, concluyendo que la implementación de humedales artificiales es una excelente oportunidad para establecer políticas públicas que guíen a las autoridades en la adopción de estos métodos de reutilización de agua, beneficiando así al medio ambiente y a las comunidades en general [9].

Entre los principales resultados obtenidos en un estudio realizado en Huancavelica indica que el humedal artificial de totora mostró una eficiencia en la remoción de contaminantes, concluyendo que los humedales artificiales de totora y berros lograron eliminar aproximadamente el 78.88% y 78.91%, de los contaminantes presentes en los efluentes de la granja de porcinos en Huancavelica. Estos hallazgos respaldan la efectividad de los humedales artificiales como una opción viable para tratar los contaminantes encontrados en los efluentes de granjas porcinas [10].

Con el objetivo de reducir el uso de agua potable en el riego de áreas verdes, esta investigación se justifica al proponer un diseño efectivo de un prototipo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises y su utilización de esta agua tratada para el uso de riego y conservar este recurso para uso doméstico, siendo este prototipo una solución sostenible que promueve la reducción del consumo de agua potable en el riego de áreas verdes sin comprometer su calidad y vitalidad [11].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Al buscar alternativas eficientes y efectivas, no solo contribuimos a la conservación de este recurso, sino que también fomentamos la adopción de prácticas más responsables y respetuosas con el medio ambiente.

II. METODOLOGÍA

En los estudios para el tratamiento de aguas residuales domésticas para riego, es necesario aplicar una metodología de enfoque cuantitativo que permita identificar y describir los criterios de tratamiento y establecer las operaciones y procesos de tratamiento óptimo para lograr los requerimientos definidos y concretar la solución correspondiente.

A. Población

- El estudio fue realizado en el distrito de San Antonio.

B. Muestra

- Sector Bellavista, Anexo N°08 Jicamarca, distrito de San Antonio, Provincia de Huarochirí.
- El agua residual que entra en el humedal, en este caso se trata de agua grises provenientes principalmente del uso de la lavadora; baño/ducha; lavamanos (cepillado de dientes, lavado de cara, lavado de manos y afeitado de rostro); suponiendo un hogar de cuatro personas en promedio.

En la tabla 1 se puede observar el consumo de agua. Esta tabla será utilizada como referencia para los cálculos. [9]

TABLA 1
TABLA DE CONSUMO DE AGUA EN UN HOGAR

| Descripción | Consumo |
|------------------------|--------------------|
| Baño (ducha) (10 min) | 9 litros/min |
| Lavamanos | |
| Cepillarse los dientes | 4 litros/cepillado |
| Lavado de manos | 4 litros/lavado |
| Lavado de cara | 4 litros/lavado |
| Afeitarse la cara | 4 litros/lavado |
| Lavadora (7kg/carga) | 95 litros/carga |
| Fregador | 15 litros/minuto |

Nota: Tabla adaptada del Banco Interamericano de Desarrollo, 2015.

C. Factores que determinan la contaminación del agua

Entre los parámetros físicos medibles tenemos: Temperatura, olores, conductividad eléctrica y turbidez [12].

Se define el término turbidez como una medida de la pérdida de transparencia, ocasionada por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente de agua [12].

D. Procedimiento

1) Diseño del humedal artificial

Tamaño del humedal: Para el diseño se debe considerar el tamaño del humedal, la profundidad y el área transversal del lecho, entre otros. Respecto al primero, el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [13],

específica que puede determinarse con base en la ecuación de Kickuth:

$$A_h = \frac{Q_d(\ln C_i - \ln C_e)}{K_{DBO}} \quad (1)$$

donde,

A_h : Área de superficie del lecho (m^2)

Q_d : Nivel promedio de flujo diario de desechos (m^3/d)

C_i : Concentración de DBO_5 en el afluente (mg/l)

C_e : Concentración de DBO_5 en el efluente (mg/l)

K_{DBO} : Constante de velocidad (m/d)

Con base en lo anterior, procederemos ahora a calcular el tamaño de nuestro humedal artificial.

Datos:

Volumen promedio de aguas residuales: $917.57 \text{ l/día} = 0.9176 \text{ m}^3/\text{día}$

Temperatura: 20°C

Para determinar las concentraciones de DBO_5 , tanto en el afluente como en el efluente, se requiere de un análisis en laboratorio. Dado que no se cuenta con tales datos, se asumirán dichos valores, así:

Concentración de DBO_5 en el afluente: 500 mg/l

Concentración de DBO_5 en el efluente: 35 mg/l

Para calcular la constante de velocidad utilizaremos el gráfico K_{DBO} versus Temperatura para el caso de humedales de flujo horizontal, presentado por ONU-HABITAT [13], que se muestra líneas abajo. En él, trazamos una recta vertical por 20, en el eje horizontal; que, al intersecar a la curva, determina un punto. Luego, trazamos una recta horizontal por dicho punto de intersección hasta que corte al eje vertical. Todo lo anteriormente descrito, se visualiza por medio de rectas de color rojo en la Fig.1. Finalmente, obtenemos el valor aproximado de K_{DBO} .

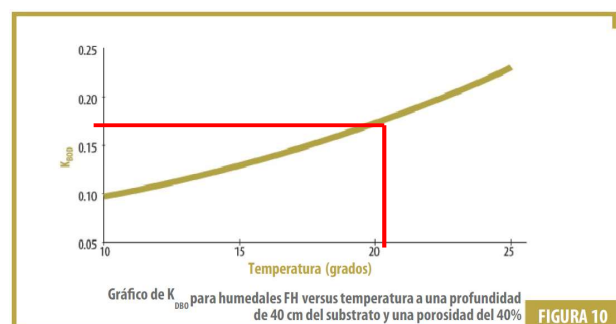


Fig. 1. Gráfico de K_{DBO} versus Temperatura para humedales de flujo horizontal. Fuente: ONU-HABITAT. (2008). *Manual de humedales artificiales*.

Entonces,

$$K_{DBO} = 0.17$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Kickuth,

$$A_h = \frac{(0.9176 \text{ m}^3/\text{día}) [\ln(500 \text{ mg/l}) - \ln(35 \text{ mg/l})]}{0.17 \text{ md/d}}$$

$$A_h = 14.4 \text{ m}^2$$

Profundidad: En relación la profundidad del lecho de un humedal Pastor et al. [14], presentan una tabla con parámetros típicos de diseño para humedales, adaptado de Constructed for wastewater treatment in Europe, 1998, la cual se muestra en la siguiente figura.

| Tipo flujo | Horizontal | Subsuperficial | Vertical |
|--------------------------------|---|---|--|
| Carga orgánica afluente | < 112 kg DBO ₅ /ha ¹ d ¹ | < 150 kg DBO ₅ /ha ¹ d ¹ | >800 kg DBO ₅ /ha ¹ d ¹ |
| Carga hidráulica | < 5 cm d ¹ | < 5 cm d ¹ | > 5 cm d ¹ |
| Tiempo de retención hidráulica | 5 – 15 días | > 5 días | horas |
| Area específica por PE, | De 5 m ² a 20 m ² /PE | De 5 m ² a 20 m ² /PE | De 1 m ² a 3 m ² /PE |
| Relación largo ancho | 10:1 | 3:1 | NA |
| Profundidad | < 0.60 cm | < 0.60 m | ≥ 1.00 m |
| Pendiente del fondo | < 0.1% | < 0.1% | NA* |
| Tipo de relleno | NA* | Arenas y gravas | Arenas y gravas |
| Vegetación | Variable | Variable | Variable |

* No aplicable

Fig. 2 Parámetros típicos de diseño para humedales construidos para tratamiento de aguas residuales domésticas. Fuente. [14]. *Humedales construidos para la depuración de aguas residuales.*

De la Fig.2, puede observarse que, para el caso de un humedal con flujo horizontal, la profundidad típica de diseño es menor a 0.60 cm.

Además, ONU-HABITAT [13] menciona lo siguiente en relación con la profundidad del lecho del humedal de flujo horizontal:

La mayoría de los humedales FH de Europa presentan una profundidad de lecho de 60 cm (Cooper et al.,1996). En los Estados Unidos, este tipo de humedales ha sido diseñado, en general, con lechos de entre 30 y 45 cm de profundidad (Steiner y Watson, 1993). Un estudio experimental llevado a cabo en España mostró que los humedales FH con una profundidad promedio de 27 cm eran más efectivos que los humedales FH con un promedio de profundidad de agua superior a los 50 cm. (García et al., 2004). (p. 32).

Para nuestro caso, tomando en cuenta lo anterior, consideraremos una profundidad de 60 cm en nuestro humedal.

Área transversal del lecho: En cuanto al dimensionamiento, Pastor, Arias y Miglio [14] mencionan que “Tradicionalmente el diseño hidráulico de los humedales de flujo horizontal se ha hecho asumiendo que el sistema se comporta como un canal a cielo abierto y por tanto se usan las leyes de Darcy” (p. 34). Seguidamente, se muestra la Ley de Darcy:

$$Q = k_s A_c S_w \quad (2)$$

donde,

Q: Caudal promedio (m³/s)

k_s: Conductividad hidráulica (m/s)

A_c: Superficie de la sección transversal (m²)

S_w: Pendiente del gradiente hidráulico (m/m)

Además, ONU-HABITAT [13] refiere que “Para gravas con granulometría graduada se elige un valor de Kf de 1 x 10-3 a 3 x 10-3 m/s” (p. 33). Entonces, consideraremos un valor de la conductividad hidráulica de 2 x 10⁻³ m/s.

Para el caso de la pendiente se tendrá en cuenta los parámetros típicos de diseño según la figura 2; por lo que, tomaremos como pendiente 0.09%.

Considerando 2 humedales, situados de forma paralela, calcularemos el área de la sección transversal del lecho.

Datos

$$Q = 0.4588 \text{ m}^3/\text{día} = 5.31 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$k_s = 2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$S_w = 0.0009$$

Sustituimos los valores en la ecuación de Darcy.

$$A_c = \frac{5.31 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}}{(2 \times 10^{-3} \text{ m/s})(0.0009)} = 2.95 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta la profundidad del humedal, 60 cm, calculamos el ancho (B).

$$B = \frac{2.95 \text{ m}^2}{0.60 \text{ m}} = 4.92 \text{ m}$$

Para facilitar la construcción, consideraremos un ancho igual a 5.0 m.

Luego, calculamos la longitud (L) del humedal.

$$L = \frac{14.4 \text{ m}^2}{5 \text{ m} \times 2} = 1.44 \text{ m}$$

Para facilitar la construcción, consideraremos una longitud igual a 1.5 m.

2) Elección de tipo de plantas

Los humedales operan mediante mecanismos en los que las plantas desempeñan un papel crucial al colaborar en la depuración de las aguas residuales[15]–[17]. Es por ello por lo que el criterio que se tuvo en cuenta para la selección de las plantas a emplear en la elaboración de nuestro prototipo de humedal artificial son los siguientes:

- Se debe emplear especies locales, autóctonas.
- Usar especies de plantas que crecen naturalmente en los humedales o riberas de los ríos debido a que sus raíces ya están adaptadas a crecer en condiciones de agua saturada.
- Las plantas deben ser capaces de soportar altas cargas, así como cortos periodos de sequía. Deben ser capaces de afrontar temporadas de inundación y encharcamiento del suelo.

Estudios han demostrado que las plantas australis (Carrizo) presenta un buen rendimiento en cuanto a la remoción de SST, DBO, DQO, CF, [18]–[20]. Es por ello la

elección de esta especie de planta para la elaboración del prototipo del humedal artificial.

A continuación, se presenta información respecto de las principales características de la especie vegetal empleada en el prototipo del humedal artificial:

TABLA 2
CARACTERÍSTICA DE ESPECIES VEGETALES EMPLEADAS EN HUMEDALES ARTIFICIALES.

| Nombre científico | Phragmites spp australis más común | |
|---------------------------------------|--|-------|
| Familia | gramínea | |
| Nombre común | carrizo | |
| Características sobresalientes | Anuales y altos, Plantas acuáticas usadas más extensas, Pueden ser más eficientes en la transferencia de oxígeno, Son muy usadas en humedales porque ofrecen un bajo valor alimenticio | |
| Distancia de siembra | 60 cm | |
| Penetración de raíces en grava | 40cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial | |
| Temperatura C | Deseable | 12-23 |
| | Germinación de semillas | 10-30 |
| Salinidad | ppt | 45 |
| PH | 2-8 | |

Nota. Elaboración propia

Debido a que nuestro prototipo de humedal artificial será uno de tipo flujo subsuperficial, definimos que la principal especie a emplear serían la gramínea y en particular el carrizo, esto se debe a que estas plantas están adaptadas para subsistir en condiciones de saturación de humedad e inundación, lo que implica capacidad para soportar las limitaciones en la disponibilidad de oxígeno en el suelo.

3) Recolección de agua grises

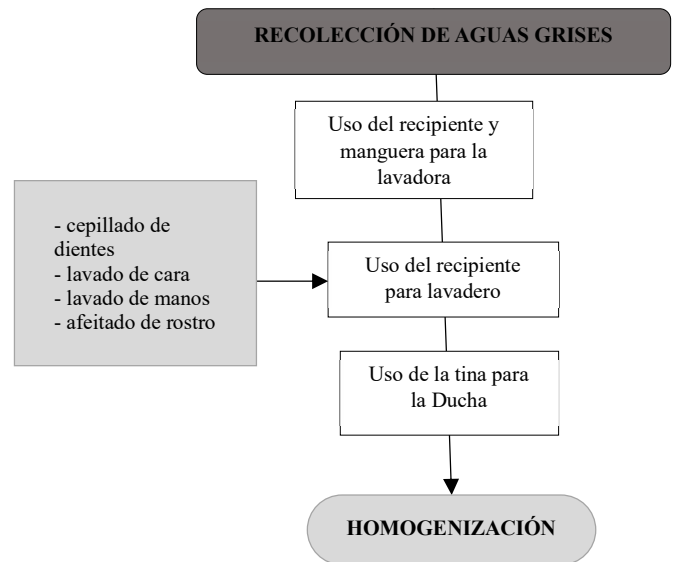


Fig 3. Esquema de recolección de aguas grises

4) Elaboración del prototipo de humedal artificial

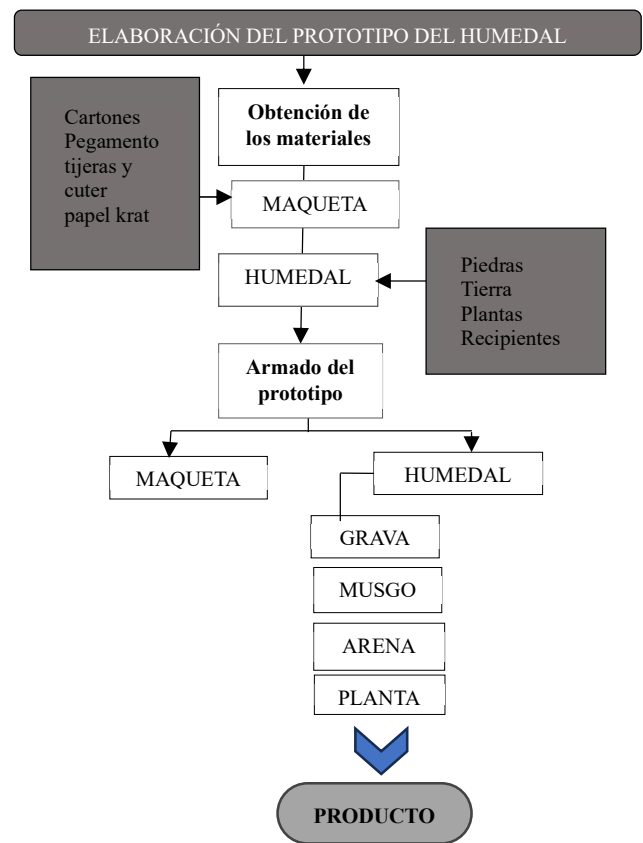


Fig 4. Elaboración de prototipo de humedal artificial

5) Técnicas de recolección de datos:

Se acudió a las fuentes de información primaria y secundaria. Respecto a las técnicas se utilizaron los instrumentos que se detallan a continuación.

- Identificación del área de estudio: Reconocimiento de campo del área de estudio y descripción de los procesos.

- Monitoreo de agua para riego: Toma de muestras en campo
- Análisis de agua para riego: Se realizó con un laboratorio acreditado
- Visita de Campo: Visita de campo para evaluar la zona y recoger muestras
- Evaluación de la calidad del agua
- Evaluación cuantitativa. El monitoreo de las aguas residuales antes de ingresar al humedal y después de su tratamiento por el mismo.

6) *Técnicas de análisis estadísticos:*

El objetivo del análisis entre los atributos que definen los datos es determinar el grado de interrelación o dependencia que existe entre los valores de dichos atributos. Este análisis se basa en la utilización de los datos disponibles para obtener evidencia estadística que respalde o refute las hipótesis formuladas para explicar estas relaciones. La herramienta o técnica que permite llevar a cabo esto es el análisis causal, que permite relacionar las causas con los efectos y el grado en el que se afectan mutuamente. En este nivel se puede predecir y además se puede identificar el por qué ocurren diferentes fenómenos [21].

En el análisis estadístico, para la determinación del intervalo de las estimaciones del verdadero promedio, se hizo el cálculo en base a la estimación de la media aritmética y la distribución “t” Student con un nivel de confianza de 95%. Por lo que la determinación de los valores mínimos y máximos se calculó con la siguiente fórmula.

Dentro del análisis estadístico, para la determinación del intervalo de las estimaciones del verdadero promedio, se hizo el cálculo en base a la estimación de la media aritmética y la distribución “t” Student con un nivel de confianza de 95%. Por lo que la determinación de los valores mínimos y máximos se calculó con la siguiente fórmula.

$$\bar{X} - Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots (3)$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética

σ : Media aritmética

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$: Coeficiente de confiabilidad al 95% en la distribución “t” Student.

III.RESULTADOS

A. Estimación del consumo de aguas grises

En la tabla 3 se muestra la generación total de litros de agua por día de cada actividad:

TABLA 3
CONSUMO DE AGUA POR DÍA

| Descripción | Pers. x hogar | cant x día | T de ducha (min) | consumo (l/cant x día) | total de litros/día |
|-----------------------------------|---------------|------------|------------------|------------------------|---------------------|
| baño (ducha) | 4 | 2 | 10 | 9 | 720 |
| Cepillado de dientes | 4 | 3 | - | 4 | 48 |
| Lavado de manos | 4 | 5 | - | 4 | 80 |
| Lavado de cara | 4 | 3 | - | 4 | 48 |
| Afeitarse la cara | 2 | 1 | - | 4 | 8 |
| Lavado de ropa (7kg/carga) | - | 0.14 3 | - | 95 | 13.571 |

Nota: elaboración propia con datos estimados.

La generación total de agua en el baño (ducha) ha resultado en 720 litros/día, este representa el mayor porcentaje generado.

La generación de agua en el lavamanos en diferentes actividades (cepillado de dientes, lavado de manos/cara, afeitado) se obtiene de multiplicar el consumo estimado en la tabla 1 por la cantidad de veces que se realiza la actividad por día.

Para el cálculo de la generación total de agua, por día, para lo que respecta de lavado, se utiliza, según lo expuesto en la tabla 1, una capacidad de lavado de 7 kg/carga por semana. Por lo cual el lavado por días será de 1/7. En la tabla 7 obtenemos una generación total de 13.57 litros/día en el proceso de lavado de ropa.

Para finalizar, se tiene la obtención de la generación total diario en cada punto del hogar, luego se procedió a calcular la estimación mensual y anual de la generación de aguas grises en un hogar promedio de cuatro personas, cuyos resultados se presentan en la tabla 4.

TABLA 4
ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE AGUAS GRISES QUE SE GENERA EN UN HOGAR PROMEDIO DE 4 PERSONAS, SEGÚN PERIODO, EN LITROS.

| Descripción | Generación diaria (litros/día) | Generación mensual (litros/mes) | Generación anual (litros/año) |
|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| baño (ducha) | 720 | 21600 | 259200 |
| Cepillado de dientes | 48 | 1440 | 17280 |
| Lavado de manos | 80 | 2400 | 28800 |
| Lavado de cara | 48 | 1440 | 17280 |
| Afeitarse la cara | 8 | 240 | 2880 |
| Lavado de ropa | 13.571 | 407.142857 | 4885.71429 |
| TOTAL | 917.571429 | 27527.1429 | 330325.714 |

Nota: Elaboración propia

Como se puede apreciar de los resultados el mayor volumen de aguas grises proviene de la generación de agua en el baño,

en específico de la ducha. Con estos resultados se estimará las dimensiones de la capacidad del prototipo de humedal.

B. Diseño del prototipo del humedal artificial

1) Elementos constituyentes del humedal artificial:

- Influyente:

El agua residual que entra en el humedal, en este caso se trata de agua grises que provienen principalmente del uso de la lavadora; baño/ducha; lavamanos (cepillado de dientes, (cepillado de dientes, lavado de cara, lavado de manos y afeitado de rostro); suponiendo un hogar de cuatro personas en promedio.

2) Diseño del prototipo

El prototipo consistirá en una serie de compartimentos dispuestos en cascada, que permitirán el flujo secuencial del agua a del sistema.

El compartimento destinado para el humedal artificial estará compuesto por diferentes capas de material filtrante y plantas acuáticas seleccionadas por su capacidad de remoción de contaminantes. Se utilizarán materiales como grava, arena para la filtración y retención de sólidos y nutrientes.

Pretratamiento del agua:

Antes de ingresar al sistema de humedales, el agua gris pasará por un pretratamiento para eliminar sólidos gruesos y sedimentos. Esto se puede lograr mediante un proceso de sedimentación en un tanque de retención.

El agua gris pretratada ingresará a la primera capa del humedal artificial, donde comenzará su proceso de filtración y tratamiento. A medida que el agua fluye a través de las diferentes capas, se producirá la remoción de contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos, como la adsorción, la filtración y la actividad microbiana de las plantas y microorganismos presentes en el sistema.

3) Monitoreo

Cantidad de agua tratada y dispuesta para riego

El porcentaje de volumen de agua finalmente tratada y dispuesta para riego respecto al volumen disponible a tratar se muestra en la TABLA 5, cuyos cálculos se sustentan en la aplicación del prototipo. Ya se estableció que de acuerdo con el consumo de la población el caudal que ingresa al humedal es 917.57 l/día, el cual se puede aproximar a un caudal de 0.64 l/min para ser evaluado en el prototipo. Para evaluarlo se echa 650 ml al sistema en un tiempo aproximado de 1 minuto y se mide el volumen de agua que sale de los humedales. Los resultados indican que, de todo el volumen de las aguas grises dispuestas a ser tratadas, el 50.92% se podrán usar para el riego de plantas o cultivos.

TABLA 5
CÁLCULO DE CAUDALES

| Muestra | Vol. entrada (l) | Tiempo (s) | Q entrada (l/min) | Vol. Salida (l) | %Vol. De agua para riego |
|--------------|------------------|------------|-------------------|-----------------|--------------------------|
| 1 | 0.65 | 61 | 0.64 | 0.34 | 52.31% |
| 2 | 0.65 | 61 | 0.64 | 0.33 | 50.77% |
| 3 | 0.65 | 60 | 0.65 | 0.32 | 49.23% |
| 4 | 0.65 | 61 | 0.64 | 0.31 | 47.69% |
| 5 | 0.65 | 62 | 0.63 | 0.35 | 53.85% |
| 6 | 0.65 | 61 | 0.64 | 0.33 | 50.77% |
| 7 | 0.65 | 62 | 0.63 | 0.32 | 49.23% |
| 8 | 0.65 | 61 | 0.64 | 0.34 | 52.31% |
| 9 | 0.65 | 60 | 0.65 | 0.33 | 50.77% |
| 10 | 0.65 | 61 | 0.64 | 0.34 | 52.31% |
| PROM. | 0.65 | 61 | | 0.33 | 50.92% |

Nota: elaboración propia con datos estimados.

Variación de la turbidez

En la siguiente tabla se aprecian los resultados obtenidos, con respecto al tiempo de tratamiento en nuestro prototipo de humedales artificiales y las condiciones climáticas promedio con que se contaron en dichos días, los cuales se obtuvieron de los datos hidrometeorológicos que maneja el Senamhi.

TABLA 6.
VARACIÓN DE TURBIDEZ.

| Tiempo de Retención (días) | 0 | 3 | 5 | 7 |
|--------------------------------|----|---|---|---|
| 23/06/23 – 29/06/23 (22.51 °C) | 12 | 8 | 6 | 3 |
| 30/06/23 – 06/07/23 (22.16 °C) | 14 | 9 | 6 | 4 |

Nota: Elaboración propia

En base a los datos recopilados se observa una reducción de la turbiedad conforme fueron avanzando los días, esto demuestra que el humedal artificial tiene la capacidad de mejorar la calidad del agua con respecto a este parámetro analizado, tal como se aprecia en la Fig.5.

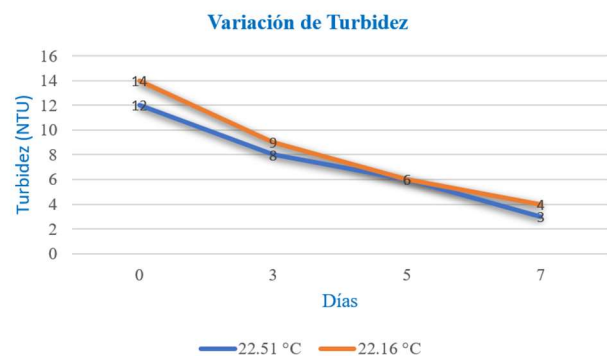


Fig. 5 Relación de los días de tratamiento y la reducción de la turbidez

IV. CONCLUSIONES

La implementación y aplicación del prototipo de humedales artificiales, según la recolección de datos y los cálculos correspondientes, se determinó que el porcentaje de volumen de agua finalmente tratada y disponible para riego, en relación con el volumen inicialmente disponible para tratar, es del 50.92%. Esto indica que aproximadamente la mitad del volumen de aguas grises sometidas a tratamiento puede ser utilizada de manera segura para el riego de plantas o cultivos. Estos resultados demuestran la efectividad del sistema de tratamiento implementado y su capacidad para convertir las aguas grises en un recurso aprovechable en actividades agrícolas, reemplazando el uso de agua potable, que reduciría la utilización de este recurso en estas actividades, y se destinaría con mayor efectividad en el uso doméstico.

Los resultados obtenidos destacan el potencial de los humedales artificiales como una solución eficaz y sostenible para el tratamiento de aguas residuales puesto que cuenta con capacidad para convertir estas aguas residuales en recursos reutilizable y seguros para el riego sin implicar impactos negativos en la salud y el medio ambiente. Al aprovechar los procesos naturales de filtración y purificación, los humedales artificiales ofrecen una opción viable y respetuosa con el medio ambiente para abarcar desafíos asociados con el tratamiento de agua residual.

Según los datos que se recolectaron, respecto a la relación existente entre los días de tratamiento a los que es sometido el agua y las condiciones climáticas que se presentaron durante dichos días se determinó que estos influyen de manera directa en el nivel de turbidez que posee el agua, donde se aprecia que la cantidad de días de análisis es el factor más influyente.

Es fundamental seleccionar cuidadosamente las especies de plantas utilizadas en los humedales artificiales, considerando tanto factores como el clima y las características de las aguas residuales a tratar. Esto se debe a que los componentes que están presentes en el agua que pueden dificultar la supervivencia de las plantas, sobre todo en la etapa inicial, por lo tanto, es fundamental elegir plantas adecuadas que sean capaces de adaptarse y funcionar eficientemente en ese entorno específico, así mismo el aporte al medio ambiente con la proliferación de estas especies nativas, expandiendo el área verde.

V. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar monitoreo regular y seguimiento de las condiciones del humedal artificial, evaluando la salud y el desempeño de las plantas, así como el estado del sistema de filtración. Esto permitirá detectar cualquier desviación o problema tempranamente y tomar las medidas correctivas necesarias.

Se sugiere que los responsables de la gestión del agua, tanto a nivel gubernamental como a nivel local, evalúen la viabilidad de implementar humedales artificiales en sus sistemas de tratamiento de aguas residuales, contribuyendo a

la protección del medio ambiente y al aprovechamiento de recursos hídricos de manera segura.

Para provechar al máximo el potencial de agua tratada disponible para riego se sugiere implementar sistemas de captación y almacenamiento de agua, como tanques o cisternas, que permitan recolectar y conservar el agua tratada para su posterior utilización en actividades de riego.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Informática, "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y II de comunidades Indígenas.," 2017. <https://www.gob.pe/inei/>
- [2] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, "Costa Centro: Temperaturas se incrementarán hasta fin de semana.," 2023. <https://www.senamhi.gob.pe/>
- [3] D. M. Delvalle-Borrero, J. R. Medina, and K. Fuentes, "Humedales artificiales flotantes y su valor paisajista en ríos urbanos - Ciudad de Panamá," *Prisma Tecnológico*, vol. 13, no. 1, pp. 3-9, Feb. 2022, doi: 10.33412/pri.v13.1.2871.
- [4] F. Anaya Meléndez, E. N. Espinosa Descalzo, J. E. Loayza Pérez, R. A. Zamudio Castillo, and M. A. Yáñez López, "DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISAS CLARAS PARA REUSO COMO AGUA DE REGADÍO," *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 88, no. 1, 2022, doi: 10.37761/rsqp.v88i1.375.
- [5] C. Marín Acosta, R. Solís Silván, G. López Ocaña, R. G. Bautista Margulis, and M. J. Romellón Cerino, "Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México / Constructed wastewater treatment by tropical -wetlands in Tabasco, Mexico / Treatment of water waste by wetlands artificial tropical in Tabasco," *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, vol. 5, no. 10, 2016, doi: 10.23913/ciba.v5i10.54.
- [6] R. A. Polo Salazar, M. M. Huamán Carranza, J. I. Flores Albornoz, C. B. Poma Villafuerte, and C. M. Dávila Paredes, "Eficiencia de la Unidad Básica de Saneamiento empleando humedales artificiales con especies nativas para la depuración de aguas residuales en el centro experimental Tuyu Ruri - Marcara, para su reúso como agua de riego," *APORTE SANTIAGUINO*, vol. 11, no. 2, 2019, doi: 10.32911/as.2018.v11.n2.578.
- [7] J. A. García Ocaña, G. López Ocaña, and C. A. Torres Balcázar, "Evaluación de medios de soporte en humedales artificiales con vegetación *Sagittaria latifolia* en la remoción de contaminantes básicos / Evaluation of media of support of artificial wetlands with vegetation *Sagittaria latifolia* in the removal of basics pollutants," *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, vol. 8, no. 15, 2019, doi: 10.23913/ciba.v8i15.82.
- [8] K. L. Quintero García, D. P. Rodríguez Zúñiga, M. E. González Duque, and J. A. Arroyave Rojas, "Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial, acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia," *Ingeniería y Región*, vol. 25, 2021, doi: 10.25054/22161325.2921.
- [9] L. Gómez, M. Moreno, M. Vargas, and M. Cedeño, "Análisis de la generación de aguas grises en los hogares y evaluación de sistemas de tratamiento," *Revista de Iniciación Científica*, vol. 7, 2021, doi: 10.33412/rev-ric.v7.0.3254.
- [10] V. G. Sánchez Araujo, P. A. Palomino Pastrana, and R. J. Malpartida Yapias, "Eficiencia de humedales artificiales de tatora y berros sobre efluentes de granja porcícola, Perú," *Revista Alfa*, vol. 5, no. 14, 2021, doi: 10.33996/revistaalfa.v5i14.110.
- [11] L. Miller Gil and J. Fábrega Duque, "Reutilización de aguas tratadas para riego. Caso de estudio: Efluente de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chitré, Panamá (2019-2020)," *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología - APANAC*, 2021, doi: 10.33412/apanac.2021.3188.
- [12] E. M. ALVARADO CANALES, L. V. BAYONA ESPINOZA, and I. P. HUAYHUA GIRON DE DELGADO, "EVALUACIÓN DE LOS COMPONENTES DE OPERACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DEL DISTRITO DE

- INDEPENDENCIA, LIMA 2022,” UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO, 2022.
- [13]ONU-HABITAT, “Manual de humedales artificiales.” 2008.
- [14]C. Arias, R. Pastor, and R. Miglio, HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. 2017.
- [15]S. A. Arias Martínez, F. M. Betancur Toro, G. Gómez Rojas, J. P. Salazar Giraldo, and M. L. Hernández Ángel, “Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas,” *Informador Técnico*, vol. 74, 2010, doi: 10.23850/22565035.5.
- [16]L. P. Badillo Guevara, C. E. Carvajal Arias, D. Plata Plata, and D. F. Fernández Calderón, “Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la Universidad El Bosque,” *Revista de Tecnología*, vol. 15, no. 2, 2017, doi: 10.18270/rt.v15i2.2184.
- [17]C. A. Peña Guzmán and J. Lara Borrero, “Tratamiento de aguas de escorrentía mediante humedales artificiales: Estado del arte,” *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 22, no. 2, 2012, doi: 10.18359/rcin.240.
- [18]R. Mancera-De-La-Cruz, A. Camargo-Avila, H. Cohen-Padilla, and M. Ahumado-Monterrosa, “Influencia de los factores bióticos en humedales artificiales,” *IPSA Scientia*, revista científica multidisciplinaria, vol. 1, no. 1, 2016, doi: 10.25214/27114406.894.
- [19]D. C. Rodríguez Loaiza, “Humedales artificiales subsuperficiales: comparación de metodologías de diseño para el cálculo del área superficial basado en la remoción de la materia orgánica,” *Ingenierías USBMed*, vol. 11, no. 1, 2020, doi: 10.21500/20275846.4558.
- [20]W. Llagas Chafloque and E. Guadalupe Gómez, “Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de aguas Residuales en la UNMSM,” *Revisa del Instituto de Investigaciones FIGMG*, vol. 15, no. 17, 2006.
- [21]J. López and J. Herrero, *Técnicas de análisis de datos. Aplicaciones Prácticas utilizando Microsoft Excel y WEKA*. 2006.