

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECUTA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Eficiencia de un humedal artificial en la remoción de
parámetros fisicoquímicos en aguas grises, provenientes de
una vivienda del sector Mishquiyacu, Carretera Nueva Vía-
Morales, 2021**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Flor Adelith Altamirano Carrasco

Claudia Peñaherrera Mora

Asesor:

Mtro. Carmelino Almestar Villegas

Tarapoto, marzo del 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Carmelino Almestar Villegas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Eficiencia de un humedal artificial en la remoción de parámetros fisicoquímicos en aguas grises, provenientes de una vivienda del sector Mishquiyacu, Carretera Nueva Vía-Morales, 2021”** constituye la memoria que presenta las Bachilleres (Flor Adelith Altamirano Carrasco y Claudia Peñaherrera Mora) para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 27 días del mes de abril del año 2022.



Carmelino Almestar Villegas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a...1.1..... día(s) del mes de.....marzo.....del año 20.22.. siendo las....09:00..horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mg. Jhon Patrick Rios Bartra, el (la) secretario(a): Mtra. Katterin Jina Luz Pinedo Gómez y los demás miembros: Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado

.....y el (la) asesor(a) Mtro. Carmelino Almaster Villegas.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Eficiencia de un humedal artificial en la remoción de parámetros fisicoquímicos en aguas grises, provenientes de una vivienda del Sector Mishquiyacu, carretera Nueva Vía - Morales, 2021"

del(los) bachiller/es: a) Flor Adelith Altamirano Carrasco
 b) Claudia Peñaherrera Mora
 c).....

.....conducente a la obtención del título profesional de:
Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller-(a): Flor Adelith Altamirano Carrasco.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

Bachiller -(b): Claudia Peñaherrera Mora.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

Bachiller -(c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

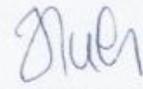
 Presidente/a

 Asesor/a

 Bachiller (a)

 Miembro

 Bachiller (b)


 Secretario/a

 Miembro

 Bachiller (c)

(*) **Tabla de Calificación**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	20	A+	Con nominación de Excelente	Excelencia
	19	A		
	18	A-	Con nominación de Muy Bueno	Sobresaliente
	17	B+		
	16	B	Con nominación de Bueno	Muy Bueno
	15	B-		
	14	C	Con nominación de Aceptable	Bueno
DESAPROBADO	Menos de 14	D	Con nominación de Deficiente	Insuficiente

Resumen

El objetivo del artículo fue analizar el potencial de remoción de contaminantes fisicoquímicos de las aguas grises provenientes de una vivienda mediante humedal artificial con la especie *Brachiaria brizantha*. Las dimensiones del humedal fueron: Largo (153 cm), ancho (77 cm) y altura (65 cm) y un caudal de 0.810 mL/s. Asimismo, los parámetros del agua residual que se midieron fueron pH, temperatura, DBO, aceites y grasas, y detergentes (SAAM). El pH del agua residual disminuyó de 7.35 a 6.59, la temperatura se redujo de 24.74°C a 24.17°C, la concentración de aceites y grasas de 6.3 mg/L a 6.1 mg/L, la DBO de 663.0 mg/L a 277.2 mg/L y la concentración de SAAM fue menor a 0.003 mg/L antes y después del tratamiento con humedales. Por otro lado, la eficiencia de remoción del parámetro aceites y grasas fue 3.17% mientras que de la DBO fue 58.19%. Se concluye que la tecnología de humedales artificiales utilizando la especie *B. brizantha* es eficiente para la remoción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas grises, principalmente de la materia orgánica, además es conveniente su uso por ser amigable con el ambiente.

Palabras clave: Humedal artificial, DBO, Detergentes

Abstract

The objective of the article was to analyze the potential for removal of physicochemical pollutants from gray water from a dwelling by means of an artificial wetland with the *Brachiaria brizantha* species. The dimensions of the wetland were: Length (153 cm), width (77 cm) and height (65 cm) and a flow rate of 0.810 mL/s. Likewise, the residual water parameters that were measured were pH, temperature, BOD, oils and fats and detergents (SAAM). The pH of the wastewater decreased from 7.35 to 6.59, the temperature decreased from 24.74 ° C to 24.17 ° C, the concentration of oils and fats from 6.3 mg / L to 6.1 mg / L, the BOD from 663.0 mg / L to 277.2 mg / L and SAAM concentration was less than 0.003 mg / L before and after wetland treatment. On the other hand, the removal efficiency of the oils and fats parameter was 3.17% while that of the BOD was 58.19%. It is concluded that the technology of artificial wetlands using the species *B. brizantha* is efficient for the removal of the physicochemical parameters of the gray waters, mainly of the organic matter, in addition its use is convenient for being friendly with the environment.

Keywords: Artificial wetland, BOD, Detergents

Introducción

Las aguas grises contienen diversos contaminantes, los cuales pueden provocar efectos adversos sobre el ambiente y la salud pública (Bakare, Mtsweni, & Rathilal, 2017), por ello es necesario su tratamiento antes de ser vertidas a cuerpos hídricos o ser reutilizadas.

La técnica de fitorremediación es parte de las tecnologías de biorremediación, la cual utiliza especies vegetales para la remoción de contaminantes del agua; para ello se selecciona plantas con potencial de eliminación de nutrientes del agua residual, a través de procesos biológicos desarrollados en la rizósfera (Mustafa & Hayder, 2021).

El tratamiento de las aguas residuales mediante humedales artificiales es un método amigable con el ambiente, en el cual se utilizan plantas para realizar el proceso de remoción de contaminantes del agua residual. Asimismo, la vegetación que se utiliza en los humedales es conocida como macrófitas acuáticas, las cuales hacen parte de un conjunto de plantas que crecen en medio acuático y poseen alto poder de depuración (Alves & Souza, 2016).

El potencial de fitorremediación de las especies de macrófitas ha conllevado a que sea un componente indispensable en los sistemas de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Ashraf et al., 2020). Asimismo, las macrófitas se caracterizan por su elevada eficiencia en la remoción de contaminantes como la materia orgánica, los nutrientes, microorganismos patógenos y compuestos tóxicos del agua residual.

El reúso de las aguas grises contribuye a reducir la demanda de agua potable y a preservar los recursos hídricos. Las aguas grises tratadas se pueden reutilizar en la descarga de inodoros y para el riego de jardines (Meléndez, Lemos, Dominguez, & Oviedo, 2019).

El propósito del estudio fue evaluar el potencial de remoción de contaminantes de las aguas grises mediante la tecnología de humedales artificiales, utilizando la especie *B. brizantha*.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se desarrolló en una vivienda ubicada en el distrito de Morales, provincia de San Martín, departamento del mismo nombre. El humedal empezó a funcionar desde el 01 hasta el 12 de setiembre 2021, siendo la temperatura y precipitación promedio mensual del lugar de 26.5°C y 70.1 mm (SENAMHI, 2021).

Diseño del humedal

Para el tratamiento de las aguas grises se consideró un humedal horizontal de tipo sub-superficial, el cual tienen la ventaja de desarrollar una película biológica en simbiosis con la rizósfera de las plantas, permitiendo de este modo mejorar la eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual.

Luego se determinaron las dimensiones del humedal, considerando los criterios recomendados por Higuera (2017); cuyas dimensiones deben estar en la siguiente proporción: largo (2.4 k); ancho (1.2 k) y altura (k), con un valor de "k" de 0.65 m. Al realizar los cálculos, se obtuvo las siguientes dimensiones del humedal: Largo (153 cm), ancho (77 cm) y altura (65 cm). El sistema hidráulico

del humedal se construyó con tubería de PVC de 1/2" (Ver figura 1); asimismo, se utilizó como materiales para la construcción del humedal, ladrillos de arcilla y cemento.

Los materiales que se utilizaron como lechos para el enraizamiento de las plantas fueron grava de 1/2" y cascarilla de arroz, cuyos espesores respectivamente fueron 10 cm y 10 cm, con un total de dos capas alternadas de cada material); siendo el volumen del sustrato de 0.471 m³ (V_s). Asimismo, la porosidad de la grava (p) fue 35% y de la cascarilla de arroz 54%, con un promedio de 44.5% (Higuera, 2017). Luego se calculó el volumen útil del sustrato (V_u).

$$V_u = p * V_s$$

$$V_u = 0.445 * 0.471$$

$$V_u = 0.210 \text{ m}^3$$

El tiempo de retención hidráulico para el humedal fue de tres días (Higuera, 2017). El caudal del agua residual del humedal se calculó con la siguiente ecuación; siendo Q: caudal, V_u: volumen y TRH: tiempo de retención hidráulico; obteniéndose un valor de 0.810 $\frac{\text{mL}}{\text{s}}$.

$$Q = \frac{V_u}{\text{TRH}}$$

$$Q = \frac{0.210 \text{ m}^3}{3 \text{ días}}$$

$$Q = 0.07 \frac{\text{m}^3}{\text{días}}$$

$$Q = 0.810 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

El número de plantas que se establecieron en la superficie del humedal (1.18 m²) fueron veinte, distribuidas en dos hileras de diez plantas. La fase de adaptación de las plantas en el humedal tuvo una duración de 15 días previos al funcionamiento del humedal; esta etapa consiste en establecer las plantas en el humedal hasta lograr su aclimatación y de esta manera desarrollar sus funciones metabólicas.

Muestreo del agua residual

Los parámetros del agua residual que se midieron fueron pH, temperatura, DBO, aceites y grasas y detergentes (SAAM). Se recolectó el agua residual en un recipiente cilíndrico de 80 L, desde el cual se hizo fluir el agua residual al humedal a través de tuberías de PVC de 1/2 pulgada. Posteriormente, se envió al laboratorio una muestra de las aguas grises (antes del tratamiento). Se realizaron cuatro recirculaciones del agua en el humedal, durante un tiempo de 12 días, luego se envió una muestra del agua residual al laboratorio, para su respectivo análisis.

Selección de la especie vegetal

Se eligió como macrófita del humedal a la especie *B. brizantha*. Las plantas fueron recolectadas de un campo ganadero del distrito de Tres Unidos con una edad de 2 meses; para luego ser trasplantadas al humedal, donde tuvieron un tiempo de adaptación de 15 días (desde el 08 al 23 de agosto).

Resultados

El agua gris antes del tratamiento tuvo un pH ligeramente alcalino (7.35), mientras que después del tratamiento con el humedal artificial se obtuvo un pH ligeramente ácido (6.59), como se muestra en la figura 2.

Antes del tratamiento, se obtuvo una temperatura de las aguas grises de 24.74°C, mientras que después del tratamiento con humedales artificiales la temperatura fue 24.17°C, como se muestra en la figura 3.

El humedal artificial con la especie vegetal *B. brizantha*, logró reducir el contenido de aceites y grasas de las aguas grises desde 6.3 mg/L hasta 6.1 mg/L; con una eficiencia del 3.17%, como se muestra en la figura 4.

Después del tratamiento de las aguas grises utilizando la especie *B. brizantha*, la DBO de del agua residual, se redujo desde 663.0 mg/L hasta 277.2 mg/L. Asimismo, la eficiencia de remoción de este parámetro fue 58.19%, como se muestra en la figura 5.

En cuanto al parámetro SAAM, se obtuvo valores menores a 0.003 mg/L, antes y después del tratamiento del agua residual doméstica.

Discusión

En el presente estudio, el pH de las aguas grises, antes del tratamiento con humedales fue 7.35; mientras que después del tratamiento fue 6.59; es decir hubo una disminución de este parámetro, aunque dentro del rango de los límites máximos permisibles de la normativa nacional (6.5-8.5). Baracuh, *et al.* (2015) reportaron un valor de pH de 7.36 para las aguas grises, esta alcalinidad se debe a la presencia de jabón, suavizantes y otros productos químicos, los cuales pueden elevar el nivel de pH. De acuerdo con Zurita, Rojas, Carreón, & Gutiérrez (2015) en el tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales; mientras mayor sea la nitrificación mayor será la disminución del pH. Por otro lado, Coaquira (2016) encontró una disminución del pH del agua residual, al utilizar totora *Schoenoplectus californicus* en el tratamiento de aguas residuales domésticas; el pH, se redujo desde 8.6 hasta pH 6.5; es decir el agua residual se acidificó debido a la descomposición de la materia orgánica en ácidos orgánicos. Por otro lado, Bustamante & Pérez (2019) al utilizar la especie vetiver *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas residuales municipales encontraron una reducción del pH desde 7.2 hasta 6.8, lo cual se debe al proceso de nitrificación que ocurre en el tratamiento de aguas residuales.

En el presente estudio, la temperatura del agua residual antes del tratamiento fue 24.74; mientras que luego del tratamiento fue de 24.17; es decir hubo una ligera disminución, la cual se debe a las condiciones ambientales del entorno, ya que, al tomar la muestra del agua residual tratada, la radiación solar fue de mayor intensidad; asimismo, es importante indicar que este valor está dentro del límite máximo permisible de la normativa nacional (<35°C). Esta disminución de la temperatura está de acuerdo con Chang & Huamán (2019), quienes encontraron un valor de 24.58°C para el agua residual doméstica y 23.00°C para el agua residual tratada con *Eichhornia crassipes*.

La concentración de aceites y grasas en esta investigación, se redujo desde 6.3 a 6.1 mg/L; estos valores están dentro del límite máximo permisible de la normativa nacional (20 mg/L). Los valores bajos de este parámetro se deben a

que se utilizó una criba para la remoción de las natas, antes del ingreso del agua residual al humedal. Hernández (2017), indican que la concentración de aceites y grasas debe reducirse previo al tratamiento con humedales; esta remoción puede hacerse mediante una trampa de atrapamiento de grasas, es importante reducir este parámetro, ya que los humedales son muy sensibles a los aceites y grasas, ya que disminuyen el oxígeno por saturación una vez llegada el afluente este parámetro se reduce por la fermentación, impidiendo de este modo las reacciones bioquímicas de descomposición aerobia de la materia orgánica. Asimismo, Rojas (2017) al utilizar la especie *Chrysopogon zizanioides* en un humedal artificial logró reducir la concentración de aceites y grasas del agua residual doméstica desde 27.00 hasta 3.00 mg/L.

Asimismo, la DBO del agua residual se redujo desde 663.0 hasta 277.2 mg/L, ambos valores no cumplieron la normativa nacional (100 mg/L), es decir es necesario un tratamiento posterior para eliminar la carga orgánica contaminante. La eficiencia de remoción de este parámetro fue 58.19%. De acuerdo con Torres, Magno, Pineda, & Cruz (2018), en climas cálidos, la remoción de DBO es más eficiente, siendo muy rápida en los primeros días, estos autores encontraron una eficiencia de remoción de la DBO del 84%, utilizando la especie *Phragmites Australis* con un tiempo de retención de dos días. De acuerdo con Castañeda (2021), reporta eficiencia de remoción de la DBO del agua residual doméstica desde el 45 al 95% en humedales de tipo sub-superficial de flujo horizontal.

Por otro lado, concerniente al parámetro SAAM, se encontró valores menores a 0.003 mg/L, antes y después del tratamiento de las aguas grises. Šíma, Havelka, & Holcová (2009), utilizaron un humedal artificial de flujo horizontal para la remoción de SAAM, encontrando una remoción de este parámetro desde 3.55 mg/L hasta 0.65 mg/L, con una eficiencia del 81.7%, asimismo, los autores señalan que la remoción depende de la temperatura y del potencial redox del agua residual; de otro lado, la aireación de la rizósfera contribuyó a la eliminación de SAAM. Asimismo, Ramprasad & Philip (2016), estudiaron la remoción de SAAM en un humedal horizontal de flujo sub-superficial, utilizando la especie *Phragmites australis*, alcanzando una eficiencia de remoción de este parámetro de 85% con un tiempo de retención hidráulico de 9 días.

Conclusión

El pH del agua residual disminuyó de 7.35 a 6.59, la temperatura se redujo de 24.74°C a 24.17°C, la concentración de aceites y grasas de 6.3 mg/L a 6.1 mg/L, la DBO de 663.0 mg/L a 277.2 mg/L y la concentración de SAAM fue menor a 0.003 mg/L antes y después del tratamiento con humedales. Por otro lado, la eficiencia de remoción del parámetro aceites y grasas fue 3.17% mientras que de la DBO fue 58.19%. Se concluye que la tecnología de humedales artificiales utilizando la especie *B. brizantha* es eficiente para la remoción de los parámetros fisicoquímicos de las aguas grises, principalmente de la materia orgánica, además es conveniente su uso por ser amigable con el ambiente.

Agradecimiento

Toda nuestra gratitud a Dios, porque todo viene de Él, y es para Él. Asimismo, agradecemos a nuestros padres por su soporte material y emocional durante todo el tiempo que tomó esta investigación. Agradecemos también a la familia Carbajal

Montenegro por permitirnos ingresar a su hogar y colaborar con nosotras, haciendo posible la ejecución de nuestro trabajo; no alcanzaríamos a devolver todo el servicio brindado en favor de nosotras. Del mismo modo agradecemos a cada amigo y familiar, que siendo instrumentos de Dios en el camino nos ayudó sin reparo. Por último, agradecemos al Mtro. Carmelino Almestar Villegas, por la asesoría durante el desarrollo del presente estudio.

Referencias bibliográficas

- Alves, C., & Souza, B. (2016). Implementation of a sewage treatment system, with the application of a subsurface horizontal flow wetland in emeralds/MG. *environmental and sanitary engineering*, *85*(1), 1–17.
- Ashraf, S. (2020). Revelando o potencial de novas macrófitas para o tratamento de efluente de curtume em áreas úmidas construídas piloto de fluxo vertical. *Água (Suíça)*, *12*(2).
- Bakare, B. F. (2017). Características da água servida de diferentes fontes dentro das famílias em uma comunidade em Durban, África do Sul. *Jornal de Reutilização e Dessalinização de Água*, *7*(4), 520–528.
- Baracuh, V. S. (2015). Quality of greywater treated with phytoremediation in agricultural production units. *Green Journal of Agroecology and Sustainable Development*, *10*(1), 187.
- Bustamante, E., & Pérez, W. (2019). *Evaluation of the efficiency of constructed wetlands in municipal wastewater treatment using the species junco typha sp and vetiver chrysopogon zizanioides in the district of Saposoa.*
- Castañeda, A. (2021). Installation of Artificial Wetlands for the treatment and reuse of wastewater in semi-arid areas of Mexico.
- Chang, K., & Huamán, C. (2019). *Efficiency in the treatment of domestic wastewater through the macrophytes Eichhornia Crassipes and Pistia Stratiotes, typical plants of the Peruvian Jungle.*
- Coaquira, A. L. (2016). *Determination of the efficacy in artificial humidities of sub-surface flow with cattails (Schoenoplectus californicus) in the treatment of domestic wastewater in the community of San Antonio de Chujura - Puno Region, 2018*
- Hernández, W. (2017). *Wastewater treatment using achira (Canna indica) and reed (Pragmites australis) species through artificial wetlands, Chalarmarca 2017.*
- Higuera, S. K. (2017). Biofilter with rice husk and vetiver grass (C. Zizanioides) for the treatment of effluent from the WWTP of INPEC - Yopal, Casanare, Colombia. *Journal of Agricultural and Environmental Research*, *8*(1), 107–118.
- Meléndez, J. (2019). Reuse of domestic gray water for efficient use of water resources: social acceptance and financial analysis. A case in Portugal. *UIS Engineering Magazine*, *18*, 223–236.
- Mustafa, H. M., & Hayder, G. (2021). Estudos recentes sobre aplicações de plantas daninhas aquáticas na fitorremediação de águas residuais: um artigo de revisão. *Ain Shams Engineering Journal*, *12*(1), 355–365.
- Ramprasad, C., & Philip, L. (2016). Remoção de surfactantes e produtos de higiene pessoal em pântanos construídos com fluxo horizontal e vertical em

- escala piloto durante o tratamento de águas cinzas. *Chemical Engineering Journal*, 284 (agosto), 458–468.
- Rojas, M. (2017). *Treatment of domestic wastewater with the vetiver species (Chrysopogon Zizanioides) in artificial wetlands in the community of Santa Rosa Bajo, District of Chota, 2017*
- SENAMHI. (2021). *Hydrometeorological data in San Martín*
- Šíma, J. (2009). Remoção de tensoativos aniônicos de águas residuais usando um pântano construído. *Química e Biodiversidade*, 6(9), 1350–1363.
- Torres, J. D. (2018). Evaluation of the efficiency in the treatment of wastewater for irrigation by means of artificial free-flow surface wetlands (FLS) with the species *Cyperus Papyrus* and *Phragmites Australis*, in Carapongo-Lurigancho. *Journal of Research Science, Technology and Development*, 3(2), 48–64.
- Zurita, F. (2015). Wastewater disinfection in three hybrid built wetland systems. *Interscience*, 40(6), 409–415.

Conflicto de interés

Los autores declaramos no tener conflictos de interés.

Figura 1

Diagrama del humedal horizontal sub-superficial construido



Figura 2

Comparación del pH antes y después del tratamiento con humedales

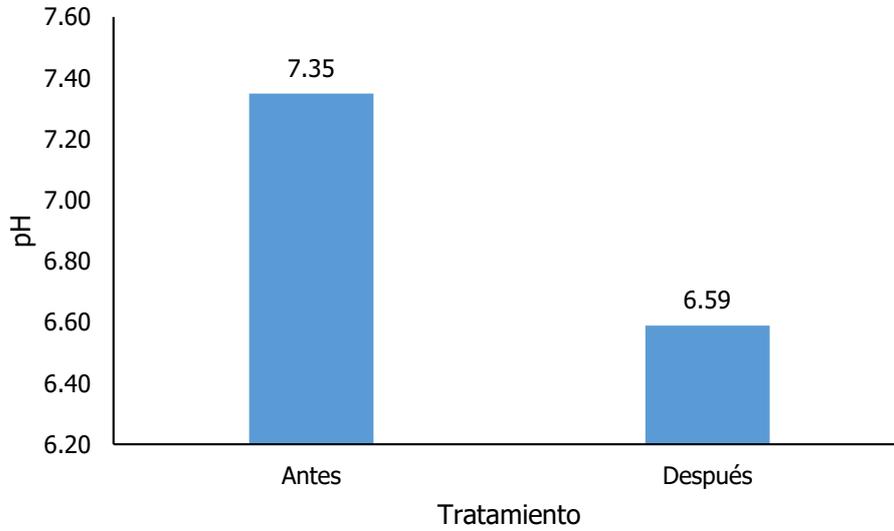


Figura 3

Comparación de la temperatura antes y después del tratamiento con humedales

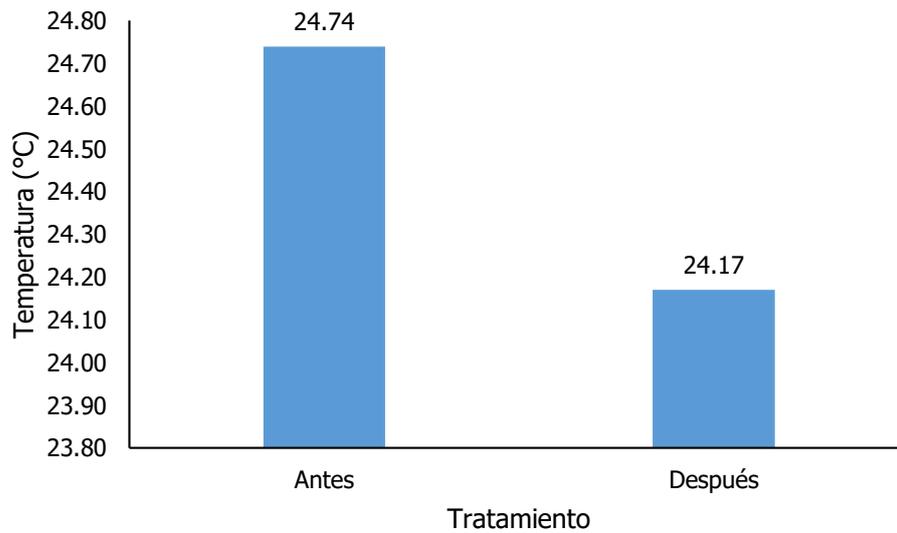


Figura 4

Comparación aceites y grasas antes y después del tratamiento con humedales

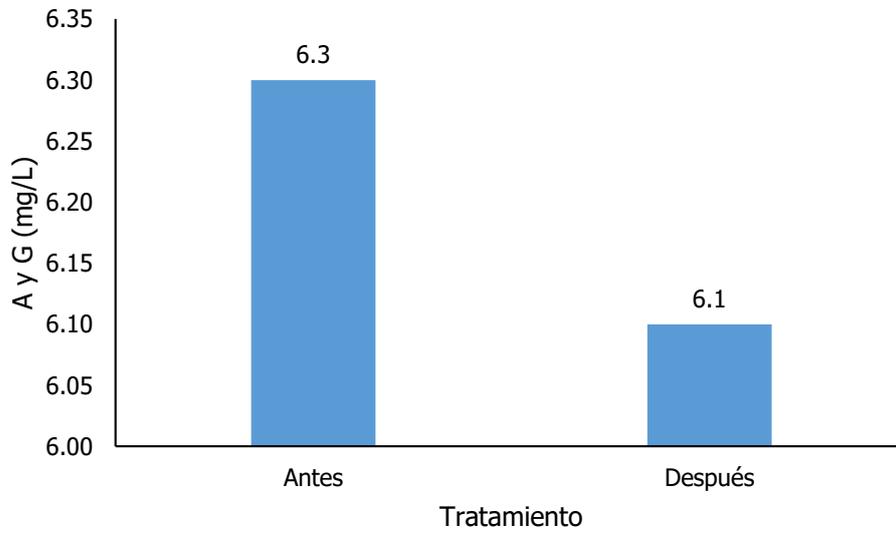


Figura 5

Comparación de DBO antes y después del tratamiento con humedales

