



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.12

OCTUBRE - DICIEMBRE 2024

Artículo Científico

170 - 180



ARTÍCULO  
Científico

## TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES AUTOMOTRICES CON LECHOS FILTRANTES DE CÁSCARA DE MAÍZ Y BAGAZO

TREATMENT OF AUTOMOTIVE GREY WATER WITH FILTER BEDS OF CORN HUSK AND BAGASSE

**Carlos Gabriel Perez Mamani**

cperezm@unjbg.edu.pe

ORCID: 0000-0002-7401-7564

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna - Perú

**Claudia Fiorella Maquera Chambilla**

cmaquerac@unjbg.edu.pe

ORCID: 0000-0002-4110-9171

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna - Perú

**Aceptación:** 11 de Noviembre del 2024

**Publicación:** 5 de Diciembre del 2024

### RESUMEN

La escasez hídrica es una problemática que requiere atención urgente en la región de Tacna, Perú. En ese contexto, el objetivo del presente estudio es evaluar el rendimiento de un lecho filtrante, utilizando cáscara de maíz (chala), para el tratamiento de aguas grises en la industria automotriz, a partir de la elaboración de dos diseños de lechos filtrantes. El primero consistió en cuatro tratamientos, cada uno con cuatro capas. En los filtros N° 03 y N° 04 se utilizaron dos niveles de cáscara de maíz para comparar su rendimiento con los filtros N° 01 y N° 02. El segundo diseño consistió en tres tratamientos y tres repeticiones, cada uno compuesto por una combinación de bagazo de caña de azúcar, aserrín y arena. Los parámetros a evaluar fueron el pH y la turbidez. Como resultado, se observó que el lecho filtrante con cáscara de maíz en el filtro N° 1 presentó la mayor efectividad, con una eficiencia del 95,98%. En cambio, el lecho filtrante a base de bagazo de caña de azúcar, en el tratamiento 1, obtuvo una eficiencia del 62,41%. En conclusión, se encontró que la cáscara de maíz es una opción prometedora para el tratamiento de aguas residuales industriales, porque se evidencian los parámetros dentro de un rango aceptable.

**Palabras clave:** Escasez hídrica; aguas grises; filtro; parámetros

### ABSTRACT

Water scarcity is a problem that requires urgent attention in the Tacna region of Peru. In this context, the objective of this study is to evaluate the performance of a filter bed using corn husk (chala) for the treatment of greywater in the automotive industry, based on the development of two filter bed designs. The first consisted of four treatments, each with four layers. In filters No. 03 and No. 04, two levels of corn husk were used to compare their performance with filters No. 01 and No. 02. The second design consisted of three treatments and three repetitions, each composed of a combination of sugarcane bagasse, sawdust and sand. The parameters to be evaluated were pH and turbidity. As a result, it was observed that the filter bed with corn husk in filter No. 1 presented the highest effectiveness, with an efficiency of 95.98%. In contrast, the sugarcane bagasse-based filter bed, in treatment 1, obtained an efficiency of 62.41%. In conclusion, it was found that corn husk is a promising option for the treatment of industrial wastewater, because the parameters are within an acceptable range.

**Keywords:** Water scarcity; grey water; filter; parameters

TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES AUTOMOTRICES CON LECHOS FILTRANTES DE CÁSCARA DE MAÍZ Y BAGAZO

Claudia Fiorella Maquera Chambilla

ORCID: 0000-0002-4110-9171

Carlos Gabriel Perez Mamani

ORCID: 0000-0002-7401-7564

<https://revista.scienceevolution.com/>





## INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de creciente demanda y escasez de agua, la gestión eficiente de los recursos hídricos ha adquirido gran importancia, especialmente en industrias de gran consumo como la automotriz (Kuan et al., 2022). Este sector es uno de los pilares de la economía global, para operar utiliza grandes cantidades de agua en diversas fases de su producción y mantenimiento, generando igualmente un volumen significativo de aguas residuales. Entre estas, el tratamiento de las llamadas aguas grises, resultantes de procesos como el lavado de vehículos y el mantenimiento de maquinaria, representan un reto específico debido a su mezcla de contaminantes que incluyen aceites, detergentes y partículas en suspensión (Astudillo et al., 2020). Dichos compuestos no solo son difíciles de eliminar, sino que impiden el reúso efectivo de esta agua, ocasionando su desperdicio en un contexto de crisis hídrica.

Ante la creciente problemática, diversos estudios han subrayado el elevado consumo de agua en los centros de lavado de automóviles. Según González (2018), un lavado convencional puede llegar a utilizar entre 70 y 90 litros de agua por vehículo, mientras que en sistemas de túnel este consumo aumenta significativamente, alcanzando hasta 300 litros. Por su parte, Escobar (2024) sostiene que el consumo de agua en un centro de lavado oscila entre 50 y 60 litros, aunque este puede incrementarse hasta 400 litros si el lavado se realiza de manera doméstica, lo que pone en evidencia la urgencia de implementar soluciones que permitan reducir el uso de agua y promover su reutilización.

Frente a este desafío, la investigación científica ha puesto su atención en soluciones sostenibles y económicas para el tratamiento de aguas residuales. Entre estas, el uso de materiales naturales para la filtración ha ganado relevancia debido a su bajo costo, disponibilidad y propiedades adsorbentes (Duran, 2022). En este marco, la cáscara de maíz ha emergido como un material prometedor. La cáscara de maíz posee propiedades que hacen que sea viable este filtro. Por ello, Díaz-Oviedo (2022), en su artículo donde estudiaba las propiedades fisicoquímicas de esta materia prima se percató en la microestructura donde observó una superficie porosa y concluyó que es una alternativa viable para fines de investigación. La cáscara de maíz presenta una estructura celular fibrosa que le otorga una alta capacidad de retención de contaminantes. La médula de este subproducto agrícola, formada principalmente por células parenquimatosas, contiene numerosos poros que facilitan la adsorción de partículas, incrementando su eficacia como filtro natural (Prado et al., 2012).

Asimismo, se cuenta con diversas opciones, entre ellas el bagazo de caña de azúcar, un subproducto agrícola resultante de la extracción del jugo de la caña, ha ganado atención por su potencial en la remediación ambiental, específicamente en el tratamiento de aguas residuales. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta ampliamente cultivada y utilizada, especialmente en la industria alimentaria y energética. (Resano et al., 2022)

La producción mundial de azúcar genera grandes cantidades de bagazo, un residuo orgánico con características estructurales que lo hacen adecuado para ser utilizado en diversas aplicaciones industriales (González et al., 2021). Además, investigaciones recientes han demostrado que el bagazo de caña de azúcar, debido a su estructura porosa y su contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa, tiene propiedades adsorbentes que lo hacen útil en la eliminación de contaminantes de aguas residuales (Chuquimboques et al., 2019). Estas propiedades permiten que el bagazo actúe como un filtro natural, adsorbiendo compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua contaminada (Hafshejani L. et al, 2016). El uso de materiales naturales como el bagazo no solo contribuye a la purificación de agua, sino que también promueve un enfoque sostenible en la gestión de residuos agrícolas, reduciendo la dependencia de productos químicos sintéticos en los procesos de tratamiento (Tahir et al., 2016). Según estudios recientes, el bagazo de caña ha demostrado ser eficaz en la remoción de aceites y grasas, componentes predominantes en las aguas residuales de los lavados de autos (Fernández et al., 2022). Además, su capacidad de adsorción se incrementa al combinarlo con otros materiales como carbón activado o zeolitas, mejorando así su eficiencia en el tratamiento (Chuquimboques et al., 2019).



La cáscara de maíz y el bagazo de caña de azúcar son dos residuos comunes de las industrias agrícolas y azucarera, los cuales presentan características físicas y químicas que los hacen atractivos como lechos filtrantes. Por consiguiente, al tratarse de materiales naturales abundantes y económicos, pueden ofrecer una alternativa ecológica a los medios filtrantes convencionales, permitiendo un aprovechamiento de los residuos de producción agrícola que, de otro modo, serían descartados. Este estudio propone un análisis comparativo de ambos materiales con el fin de evaluar su eficiencia en la retención de contaminantes presentes en las aguas grises de la industria automotriz se abordarán las posibles mejoras y desafíos asociados con su implementación en entornos industriales (Ylagan et al., 2020), explorando su potencial para reducir la carga de contaminantes y mejorar la calidad del agua tratada. A través del análisis de estudios previos, se discutirá la eficiencia de estos materiales en la retención de contaminantes, su impacto en la conservación del recurso hídrico y su potencial para contribuir a la sostenibilidad del sector automotriz.

## MÉTODO

El tipo de investigación fue cuantitativa. Se tomó en cuenta el Diseño Completamente al Azar (DCA) que es el más simple en cuanto a los otros diseños que se usan para analizar la comparación de 2 o más tratamientos.

**Tabla 1**

Esquema del DCA para la cáscara de maíz

Tratamientos	Repeticiones		
	1	2	3
1	T1R1	T1R2	T1R3
2	T2R1	T2R2	T2R3
3	T3R1	T3R1	T3R3
4	T4R1	T4R2	T4R3

*Nota. Elaboración propia*

Donde se tiene 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, teniendo así los siguientes tratamientos (considerando de superior a inferior nivel):

- Tratamiento 1: 1 nivel de grava, 1 nivel de maíz, 1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava.
- Tratamiento 2: 1 nivel de grava, 1 nivel de carbón activado, 1 nivel de maíz, 1 nivel de grava.
- Tratamiento 3: 1 nivel de carbón activado, 2 niveles de maíz, 1 nivel de grava.
- Tratamiento 4: 1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava, 2 niveles de maíz.

Para crear el prototipo, se construyeron 4 filtros, cada uno con 4 secciones para diferentes medios filtrantes. No hay un método estándar para seleccionar y organizar estas secciones, por lo que se optó por medir cada sección en 3.5 y 5 cm, como se muestra en la figura. En los filtros N° 03 y 04 se utilizaron 2 niveles de cáscara de maíz para comparar su rendimiento con los filtros N° 01 y 02. Las secciones estaban separadas por rejillas metálicas.

### Bagazo de caña de azúcar

**Tabla 2**

Esquema del DCA para el bagazo de caña de azúcar

Tratamientos	Repeticiones		
	1	2	3
1	T1R1	T1R2	T1R3
2	T2R1	T2R2	T2R3
3	T3R1	T3R1	T3R3

*Nota. Elaboración propia*



Donde se tiene 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, teniendo así los siguientes tratamientos (considerando de superior a inferior nivel):

- Tratamiento 1: 20 cm de bagazo de caña de azúcar, 20 cm de aserrín, 20 cm m de arena
- Tratamiento 2: 30 cm de bagazo de caña de azúcar, 15 cm de aserrín, 15 cm de arena
- Tratamiento 3: 40 cm de bagazo de caña de azúcar, 10 cm de aserrín, 10 m de arena

Para crear el prototipo, se construyeron 3 filtros, cada uno con 3 secciones para diferentes medios filtrantes. No hay un método estándar para seleccionar y organizar estas secciones, por lo que se optó por medir cada sección de acuerdo a la cantidad de bagazo de caña de azúcar insertado, que es de 20 cm, 30 cm y 40 cm.

### **Población y muestra**

La presente investigación tuvo como población la cáscara de maíz y el bagazo de caña de azúcar, proveniente de mercados de la ciudad de Tacna, Perú; y de la recolección de aguas grises de la industria automotriz en Tacna.

La muestra seleccionada se obtuvo a partir de los residuos generados del Mercado Mayorista Grau, ya que es un mercado que cuenta con muchos residuos de cáscara de maíz y bagazo de caña de azúcar. Se recolectó 5 kilogramos de cáscara de maíz y 5 kg de bagazo de caña de azúcar.

### **Procedimiento experimental**

Para el procedimiento experimental, en el primer paso de recolección de muestras de la industria automotriz se tomará en cuenta 4 puntos de lavadero de autos, "Roly's", "El Rápido", "Rogelio's", "El Limpio", de donde se recolectó 5 litros por cada lavadero de autos en tinas de plástico.

### **Elaboración del lecho a base de la Cáscara de maíz**

Para el segundo proceso de recolección de cáscara de maíz, se recolectó 5 kg de cada uno de este residuo en diferentes puestos del Mercado Mayorista Grau, posterior a ello se realizó el lavado y pasó por un proceso de secado durante una hora.

Para el tercer paso, recolección de carbón activado y grava, se compró 5 kilogramos carbón activado adquirido en una reconocida farmacia a nivel nacional, denominada Inkafarma. Mientras que, la grava se recolectó de la cantera ubicada en Cono Sur, Distrito de Gregorio Albarracín.

Para el cuarto paso, ensamblado del filtro, se contrató un técnico experto en instalaciones de tuberías, quién realizó el ensamblado del prototipo final de ambos filtros, el cual demoró 7 días calendario.

Para el último paso, se tomó en cuenta las características fisicoquímicas ya que se llevó al laboratorio las muestras y se procedió a la medición de estas, las cuales son: pH y turbidez.

### **Elaboración del lecho a base de Bagazo de Caña de azúcar**

Para el segundo paso con respecto al bagazo de caña de azúcar, se recolectó 5kg en los diferentes puestos ambulatorios en el Mercado Mayorista Grau, luego se realizó el lavado y un proceso de secado durante 15 días, esto para retirar la humedad que contiene el material. En cuanto al tercer paso, se recolectó el aserrín y la arena, la primera obtuvo de la carpintería "Rojas carp", donde se compró 5 kilogramos y la arena se recolectó de la cantera ubicada en Cono Sur, Distrito de Gregorio Albarracín. Para el cuarto paso, se realizó en segundo prototipo, donde se requirió, materiales como tubos de PVC, un soporte metálico y un tanque de 20 litros, posterior a esto se volvió a contratar a un técnico experto en instalaciones de tuberías, quién realizó el ensamblado del prototipo final de ambos filtros la cual se demoró 5 días. Por último, para el análisis fisicoquímico se llevó a un laboratorio las muestras y se realizó la medición del pH y la Turbidez.



## RESULTADOS

### Resultados obtenidos de la cáscara de maíz

En la Tabla 3 se presenta los tratamientos y repeticiones con sus respectivos valores de pH obtenidos en laboratorio, teniendo dichos valores en:

**Tabla 3**  
Resultados obtenidos del pH

Tratamientos	Repeticiones		
	1	2	3
1	6.557	6.587	6.601
2	6.306	6.329	6.316
3	6.252	6.269	6.216
4	5.505	5.467	5.516

En la Tabla 4 se observa la existencia de diferencias significativas por lo menos entre dos de los tratamientos utilizados sobre el pH, pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.

**Tabla 4**  
ANOVA para pH

ANOVA para pH	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,952	3	,651	1281,089	,000
Dentro de grupos	,004	8	,001		
Total	1,956	11			

Se puede observar en la Tabla 5 que el tratamiento que obtuvo un mayor pH fue el de 1 nivel de grava, 1 nivel de maíz, 1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava, en tanto el que obtuvo un menor pH fue el de 1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava, 2 niveles de maíz.

**Tabla 5**  
Prueba de medias Tukey  
HSD Tukey<sup>a</sup> para pH

Tratamientos	N	Repeticiones			
		1	2	3	4
1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava, 2 niveles de maíz	3	5,496 0			
1 nivel de carbón, 2 niveles de maíz, 1 nivel de grava	3		6,2457		
1 nivel de grava, 1 nivel de carbón, 1 nivel de maíz, 1 nivel de grava	3			6,3170	
1 nivel de grava, 1 nivel de maíz, 1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava	3				6,5817
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

En la Tabla 6 se presenta los tratamientos y repeticiones con sus respectivos valores obtenidos en laboratorio, teniendo dichos valores en NTU:

**Tabla 6**  
Resultados obtenidos de la Turbidez

Tratamientos	Repeticiones		
	1	2	3
1	10.07	10.59	10.23
2	18.21	17.89	18.01
3	17.21	17.44	17.25
4	26.65	27.17	26.96



En la Tabla 7 se observa la existencia de diferencias significativas por lo menos entre dos de los tratamientos utilizados sobre la turbidez, pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.

**Tabla 7**  
ANOVA para Turbidez

ANOVA para Turbidez	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	418,518	3	139,506	1835,002	,000
Dentro de grupos	,608	8	,076		
Total	419,126	11			

Se puede observar en la Tabla 8 que el tratamiento que obtuvo una mayor turbidez fue el de 1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava, 2 niveles de maíz, en tanto el que obtuvo una menor turbidez fue el de 1 nivel de grava, 1 nivel de maíz, 1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava.

**Tabla 8**  
Prueba de medias Tukey  
HSD Tukey<sup>a</sup> para Turbidez

Tratamientos	N	Subconjunto para $\alpha = 0.05$		
		1	2	3
1 nivel de grava, 1 nivel de maíz, 1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava	3	10,2967		
1 nivel de carbón, 2 niveles de maíz, 1 nivel de grava	3		17,3000	
1 nivel de grava, 1 nivel de carbón, 1 nivel de maíz, 1 nivel de grava	3		17,8467	
1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava, 2 niveles de maíz	3			26,9267
Sig.		1,000	,148	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

**Porcentaje de remoción**

Entonces según los valores obtenidos en la Prueba de Medias Tukey, tenemos que:

Tratamiento 1:

$$\%Remoción = \frac{256,21-10,29}{256,21} \times 100 = 95,98\%$$

Tratamiento 2:

$$\%Remoción = \frac{256,21-17,84}{256,21} \times 100 = 93,03\%$$

Tratamiento 3:

$$\%Remoción = \frac{256,21-17,30}{256,21} \times 100 = 93,24\%$$

Tratamiento 4:

$$\%Remoción = \frac{256,21-26,92}{256,21} \times 100 = 89,49\%$$

**Resultados obtenidos del bagazo de caña de azúcar**

En la Tabla 9 se presenta los tratamientos y repeticiones con sus respectivos valores de pH obtenidos en laboratorio, teniendo dichos valores:

**Tabla 9**  
Resultados obtenidos del pH

Tratamientos	Repeticiones		
	1	2	3
1	5,44	5,95	5,84
2	6,04	6,10	6,08
3	6,30	6,46	6,48

En la Tabla 10 se observa la existencia de diferencias significativas por lo menos entre dos de los tratamientos utilizados sobre el pH, pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.



**Tabla 10**  
ANOVA para pH

ANOVA para pH	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,67	2	0,34	12,21	0,0077
Dentro de grupos	0,17	6	0,03		
Total	0,84	8			

Se puede observar en la Tabla 11 que el tratamiento que obtuvo un mayor pH fue el 20 cm de bagazo de caña de azúcar, 40 cm de bagazo de caña de azúcar, 10 cm de aserrín, 10 m de arena, en tanto el que obtuvo un menor pH fue el 20 cm de bagazo de caña de azúcar, 20 cm de aserrín, 20 cm m de arena.

**Tabla 11**  
Prueba de medias Tukey  
HSD Tukey<sup>a</sup> para pH

Tratamientos	Subconjunto para $\alpha = 0.05$	
	N	
20 cm de bagazo de caña de azúcar, 20 cm de aserrín, 20 cm m de arena	3	5,74
30 cm de bagazo de caña de azúcar, 15 cm de aserrín, 15 cm de arena	3	6,07
40 cm de bagazo de caña de azúcar, 10 cm de aserrín, 10 m de arena	3	6,41
Sig.		,41
		1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

En la Tabla 12 se presenta los tratamientos y repeticiones con sus respectivos valores obtenidos en laboratorio, teniendo dichos valores en NTU:

**Tabla 12**  
Resultados obtenidos de la Turbidez

Tratamientos	Repeticiones		
	1	2	3
1	150,70	146,30	151,60
2	123,50	142,50	136,10
3	97,60	97,30	94,10

En la Tabla 13 se observa la existencia de diferencias significativas por lo menos entre dos de los tratamientos utilizados sobre el pH, pudiendo afirmar ello con un 95 % de confianza.

**Tabla 13**  
ANOVA para pH

ANOVA para pH	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4491.78	2	2245.89	64.01	0.0001
Dentro de grupos	219.52	6	35.09		
Total	4702.30	8			

Se puede observar en la Tabla 5 que el tratamiento que obtuvo un mayor Turbidez fue el de 20 cm de bagazo de caña de azúcar, 20 cm de aserrín, 20 cm m de arena, por otro lado el que obtuvo un menor Turbidez fue el de 40 cm de bagazo de caña de azúcar, 10 cm de aserrín, 10 m de arena.

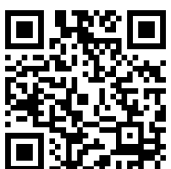


Tabla 14

Prueba de medias Tukey  
HSD Tukey<sup>a</sup> para NTU

Tratamientos	Subconjunto para $\alpha = 0.05$			
	N	1	2	3
40 cm de bagazo de caña de azúcar, 10 cm de aserrín, 10 m de arena	3	96,33		
30 cm de bagazo de caña de azúcar, 15 cm de aserrín, 15 cm de arena	3		134,03	
20 cm de bagazo de caña de azúcar, 20 cm de aserrín, 20 cm m de arena	3			149,53
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

### Porcentaje de remoción

Entonces según los valores obtenidos en la Prueba de Medias Tukey, tenemos que:

Tratamiento 1:

$$\%Remoción = \frac{256,21-96,33}{256,21} \times 100 = 62,41\%$$

Tratamiento 2:

$$\%Remoción = \frac{256,21-134,03}{256,21} \times 100 = 47,68\%$$

Tratamiento 3:

$$\%Remoción = \frac{256,21-149,53}{256,21} \times 100 = 41,63\%$$

## DISCUSIÓN

### Tratamiento de aguas grises con filtro de cáscara de maíz

Según la Tabla 3 se observa que el menor valor obtenido corresponde al tratamiento 4 con 5.505 y el mayor valor obtenido corresponde al tratamiento 1 con 6.601, siendo todos estos valores ácidos en la escala de pH, sin embargo, el tratamiento 1 se acerca más al pH ideal del agua que corresponde a un pH neutro de 7, teniendo así un valor más efectivo en cuanto a los demás valores de pH obtenidos de los tratamiento 2, 3 y 4; teniendo así un valor aceptable ya que este tratamiento se aproxima más. Considerando que el pH inicial fue de 6.848, hubo una disminución por parte del pH pero el único tratamiento que tuvo buen resultado fue el tratamiento 1. De esta manera determinamos que el filtro si influye con respecto a este parámetro disminuyendo así el pH; pero influyó de manera positiva en el tratamiento 1, y de manera negativa en los otros 3 tratamientos con respecto a este parámetro.

Según la Tabla 6, se observa que el menor valor obtenido corresponde al tratamiento 1 que fue de 10,07 NTU y el mayor valor obtenido corresponde al tratamiento al tratamiento 4 con 26,96 NTU, el límite máximo recomendado por la OMS para el agua potable es de 5 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), siendo así que el tratamiento 1 fue el que más se acerca según lo recomendado por la OMS, los demás tratamientos tienen casi el doble de valor del tratamiento 1, y el cuarto tratamiento casi triplica dicho valor, siendo así este más efectivo. Considerando una turbidez inicial de 256,21 NTU; se hallaron los porcentajes de remoción para cada tratamiento donde el tratamiento 1 obtuvo 95.98% de remoción, el tratamiento 2 obtuvo 93.03 % de remoción, el tratamiento 3 obtuvo 93.24 % de remoción y el tratamiento 4 obtuvo 89.49% de remoción teniendo porcentajes de remoción bastante altos; sin embargo, en cuanto a los valores se ve una diferencia entre los tratamientos.

### Tratamiento de aguas grises con filtro de bagazo de caña de azúcar

De acuerdo a los resultados en la Tabla 9 se obtuvo que el tratamiento 3, que consiste en 40 cm de bagazo de caña de azúcar, 10 cm de aserrín y 10 cm de arena, presentó los valores de pH más altos,





con un promedio de 6.41. El pH en las aguas tratadas con el tratamiento 3 es el más cercano al valor neutro (7), lo que indica que este tratamiento es más efectivo para neutralizar la acidez del agua en comparación con los otros tratamientos. Esto podría deberse a que el mayor contenido de bagazo de caña de azúcar en este tratamiento proporciona una mayor capacidad de adsorción de compuestos ácidos, lo que eleva el pH.

Además, la estructura más porosa del bagazo puede permitir un mejor contacto entre el agua y el material, favoreciendo la neutralización de los ácidos presentes en el agua. Por otro lado, el tratamiento 1, presentó los valores de pH más bajos, con un promedio de 5.74. Este tratamiento mostró un pH más bajo, lo que indica que no es tan efectivo en la neutralización de la acidez del agua. Una posible explicación de este resultado podría ser que el menor contenido de bagazo de caña de azúcar (20 cm) en comparación con los otros tratamientos limitó su capacidad para reducir la acidez. Además, el uso de aserrín en combinación con arena podría haber favorecido una mayor retención de compuestos ácidos, afectando negativamente el pH.

Los resultados de turbidez para los tres tratamientos muestran diferencias claras en su capacidad para reducir la turbidez del agua. El tratamiento 1, con una turbidez promedio de 149.87 NTU (con una remoción del 62.41%), fue el más eficaz para reducir la turbidez, seguido del tratamiento 2 con una turbidez promedio de 134.03 NTU (remoción del 47.68%), y el tratamiento 3 con un promedio de 96.00 NTU (remoción del 41.63%). Estos valores indican que el tratamiento 1 logró la mayor eliminación de partículas suspendidas, mientras que el tratamiento 3 presentó la turbidez más baja, aunque con una menor remoción, lo que podría sugerir que, a pesar de un mayor éxito en la reducción de turbidez, la capacidad de remoción de partículas finas es menos eficiente en comparación con el tratamiento 1.

#### Comparación entre los lechos filtrantes

Los resultados obtenidos muestran que el tratamiento con cáscara de maíz fue el más efectivo en acercarse al pH neutro, con un valor de 7.78 en el tratamiento 1, lo cual es ideal según los estándares de calidad de agua. Este resultado es consistente con estudios previos que destacan el potencial de materiales orgánicos para neutralizar aguas ácidas. Por ejemplo, un estudio de Astudillo et al. (2019) demostró que la cáscara de maíz, debido a su alto contenido de celulosa y lignina, posee una capacidad significativa para neutralizar aguas ácidas y mejorar el pH.

El tratamiento con bagazo de caña de azúcar también mostró una capacidad para aumentar el pH, con un valor de 6.41 en el tratamiento 3, acercándose al valor neutro. Por su parte, Madrigal et al. (2019) encontraron que el bagazo, al ser rico en compuestos alcalinos, puede tener un efecto positivo en la neutralización de aguas residuales, aunque con una capacidad limitada comparada con otros materiales como el carbón activado. En este sentido, ambos tratamientos fueron efectivos en la mejora del pH, pero la cáscara de maíz presentó mejores resultados, lo que coincide con investigaciones previas que sugieren que este material es altamente eficaz en la adsorción de compuestos ácidos (Alvarez et al., 2020).

Los resultados muestran que el tratamiento con cáscara de maíz (tratamiento 1) obtuvo una remoción de turbidez del 95.98%, alcanzando un valor final de 10.07 NTU. Aunque no cumplió con el estándar de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 NTU para agua potable (OMS, 2017), este valor representa una mejora significativa frente a los 256,21 NTU observados inicialmente en el agua de autolavado. Este hallazgo es consistente con la investigación de Rodríguez et al. (2020), que concluyó que la cáscara de maíz tiene una alta capacidad de adsorción para partículas suspendidas, debido a su porosidad y su capacidad de formar complejos con contaminantes orgánicos.

En comparación, el bagazo de caña de azúcar mostró una menor efectividad, con una remoción de turbidez del 62.41%, alcanzando un valor final de 149.87 NTU. Este resultado sugiere que el bagazo de caña tiene una capacidad de adsorción inferior en comparación con la cáscara de maíz, aunque aún se muestra más eficiente que tratamientos convencionales como la coagulación-floculación, según Cueva et al. (2017). Sin embargo, ambos tratamientos no lograron cumplir con los límites máximos permisibles de turbidez establecidos por las Normas ECA (Estándares de Calidad



Ambiental) para el vertido de aguas residuales, que requieren que la turbidez no supere los 10 NTU para aguas vertidas en cuerpos receptores (Ministerio del Ambiente, 2016).

## CONCLUSIONES

El filtro de la cáscara de maíz tuvo efectividad en el tratamiento 1 a diferencia de los tratamientos 2, 3 y 4. Esto en cuanto a sus parámetros fisicoquímicos en los cuales obtuvo 6.601 de pH y 10.07 NTU en la turbidez, teniendo así un porcentaje de remoción alto en la turbidez de 95.98%; concluyendo que el tratamiento que cuenta con 1 nivel de grava, 1 nivel de maíz, 1 nivel de carbón activado, 1 nivel de grava, es más efectivo, determinando así que el orden si influye en estos parámetros de pH, CE, y turbidez; además de ello se concluye que el filtro es más eficiente con solo un nivel de cáscara de maíz, puesto que el tratamiento 4 que contenía dos niveles de cáscara de maíz es menos eficiente obteniendo valores no recomendados por las instituciones reguladoras.

El filtro del bagazo de caña de azúcar tuvo efectividad en este estudio, se observó que el bagazo de caña de azúcar (en combinación con aserrín y arena) logró aumentar el pH de las aguas ácidas, acercándolas al valor neutro, lo que sugiere su capacidad para neutralizar compuestos ácidos presentes en las aguas residuales de autolavados. Sin embargo, su efectividad fue inferior en comparación con otros tratamientos, como el de la cáscara de maíz, especialmente en lo que respecta a la remoción de turbidez.

Con respecto al análisis comparativo entre los mejores tratamientos para estos dos residuos, el tratamiento con cáscara de maíz fue el más efectivo en términos de remoción de turbidez, con una remoción del 95.98%, mientras que el tratamiento con bagazo de caña de azúcar mostró una mayor capacidad para neutralizar el pH, especialmente con el tratamiento 3. Sin embargo, en términos generales, el tratamiento con cáscara de maíz es más adecuado para mejorar la calidad del agua en cuanto a la turbidez, lo que lo hace más eficaz para tratar aguas residuales provenientes de industrias de autolavados, donde la turbidez es una de las preocupaciones principales.

## REFERENCIAS

- Alvarez, J., Gómez, F., & Ruiz, A. (2020). Uso de cáscara de maíz como adsorbente para la remoción de contaminantes en aguas residuales industriales. *Revista de Tecnología Ambiental*, 32(4), 233-245.  
<https://doi.org/10.1016/j.tecen.2020.04.005>
- Astudillo, S., Vera, L., Astudillo, J., & Castro, C. (2020). Evaluación del poder biosorbente de la hoja de maíz en la remoción de metales pesados. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 77(591)  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7762661>
- Brandão P., Souza T., Ferreira C., Hori C., Romanielo L. (2010). Eliminación de hidrocarburos de petróleo de solución acuosa utilizando bagazo de caña de azúcar como adsorbente. *Revista de materiales peligrosos*.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.060>
- Cueva J., Hormaza A., & Merlino A. (2017). Sugarcane bagasse and its potential use for the textile effluent treatment. *Revista DYNA*.  
<https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.61723>
- Chuquimboques J., Rojas J., & Mendoza J. (2019). Optimización de la remoción simultánea de nitrato, nitrito, amonio y fosfato de aguas residuales municipales. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 85 (1):85-96  
[https://www.researchgate.net/publication/339557692\\_OPTIMIZACION\\_DE\\_LA\\_REMOCION\\_SIMULTANEA\\_DE\\_NITRATO\\_NITRITO\\_AMONIO\\_Y\\_FOSFATO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_MUNICIPALES](https://www.researchgate.net/publication/339557692_OPTIMIZACION_DE_LA_REMOCION_SIMULTANEA_DE_NITRATO_NITRITO_AMONIO_Y_FOSFATO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES)
- Díaz-Oviedo, A. F., Ramón-Valencia, B. A., & Moreno-Contreras, G. G. (2022). Caracterización físico-química de la cáscara de mazorca de cacao como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 12 (1), 97-106  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2027-83062022000100097](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2027-83062022000100097)



Duran M., (2022). Aprovechamiento de los subproductos del procesamiento de la caña de azúcar: Bagazo, cachaza, vinazas, metano, polifenoles, aguas residuales tratadas, etc. *Revista ICUAP compartiendo ciencia*. <https://www.siiiba.conadesuca.gob.mx/siiaca/Consulta/verDoc.aspx?num=1662>

Escobar, A. (2024) La grandísima diferencia de litros de agua que se consume lavando el coche en casa o en un lavadero. *Auto Bild*. España. <https://www.autobild.es/noticias/grandisima-diferencia-litros-agua-consume-lavando-coche-casa-lavadero-1367250>

Fernández G., Reyes M. Cáceres J., Castro N., Urgüelles J., & Oropeza Y. (2022). Caracterización de biocarbon de bagazo de caña y morera enriquecido con el bioproducto IHPLUS® BF. [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=fernandez+2022+tratamiento+de+agua+bagazo+&btnG=#d=gs\\_qabs&t=1733355672083&u=%23p%3D18GdWVB-d3UJ](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=fernandez+2022+tratamiento+de+agua+bagazo+&btnG=#d=gs_qabs&t=1733355672083&u=%23p%3D18GdWVB-d3UJ)

González, X. (2018) *Conozca las iniciativas ambientales de algunos lavaderos de carros en el país*. Colombia. <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/las-iniciativas-ambientales-de-algunos-lavaderos-de-carros-2767532#:~:text=Se%20calcula%20que%20alrededor%20de,en%20los%20t%C3%BAneles%20de%20lavado>

González, F., Martínez, S., & Pérez, J. (2021). Uso de residuos agrícolas en la mejora de la calidad del agua: Un enfoque hacia la sostenibilidad. *Sustainability and Environmental Research*, 28(3), 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.sers.2021.02.012>

Hafshejani L., Hooshmand A., Naseri A., Mohammadi A., Abbasi F., Bhatnagar A. (2016). Eliminación de nitrato de solución acuosa mediante biocarbón de bagazo de caña de azúcar modificado. *Revista Ingeniería Ecológica*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.035>

Kuan, W. H., Hu, C. Y., Ke, L. W., & Wu, J. M. (2022). A Review of On-Site Carwash Wastewater Treatment. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su14105764>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Norma ECA-Agua: Estándares de Calidad Ambiental para el Agua. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). *Guía para la calidad del agua potable: fundamentos*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>

Prado M. (2012). Caracterización de hojas de mazorca de maíz y bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera bosques* 18 (3). [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712012000300004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712012000300004)

Resano D., Guillen O., Ubillus F., & Barranzuela J. (2022) Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Revista De información tecnológica*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-0764202200020247>

Tahir H., Sultan M., Akhtar N., Hameed U., & Abid T. (2016). Aplicación de bagazo de caña de azúcar natural y modificado para la remoción de colorante de solución acuosa Journal of Saudi Chemical Society. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84868262439&origin=inward&txGid=0341ef2ea2b6321ae9c3af5f9175cf51>