



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**Efecto del biochar de caña de azúcar y cáscara de naranja sobre propiedades
fisicoquímicas de efluentes del lavado vehicular, 2026**

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores

Jose Rodolfo Canchari Rodriguez
Yoselin Yajaira Collazos Jara

Asesora

Mtra. Tania Ivette Méndez Izquierdo

Huacho – Perú
2026



TANIA IVETTE
MENDEZ IZQUIERDO
INGENIERA AMBIENTAL
Reg. CIP N° 185644



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):

NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Jose Rodolfo Canchari Rodriguez	77676110	11/06/2026
Yoselin Yajaira Collazos Jara	48400084	11/06/2026

DATOS DEL ASESOR:

NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Mg. Tania Ivette Mendez Izquierdo	46925087	https://orcid.org/0000-0002-2473-4610

DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADO – PREGRADO:

NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Dra. María del Rosario Utia Pinedo	07922793	https://orcid.org/0000-0002-2396-3382
Dr. Roberto Hugo Tirado Malaver	44565193	https://orcid.org/0000-0002-4615-5310
Mg. Hellen Yahaira Huertas Pomasoncco	46741141	https://orcid.org/0000-0002-4204-7320

2026-037426 CANCHARI RODRIGUEZ JOSE RODOL...

Efecto del biochar de caña de azúcar y cáscara de naranja sobre propiedades fisicoquímicas de efluentes del lavado vehi...

UI-FIAIAYA PREGRADO 2026
Unidad de Investigación FIAIAYA-2026
Facultad de Ingeniería Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3567899177

Fecha de entrega

12 may 2026, 11:49 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

12 may 2026, 11:51 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_DE_INVESTIGACION_CANCHARI_Y_COLLAZOS_.pdf

Tamaño del archivo

3.4 MB

81 páginas

17.694 palabras

94.576 caracteres



Página 2 de 87 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3567899177

14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cá...

Fuentes principales

14% Fuentes de Internet

6% Publicaciones

9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Para mis amados padres, Ylda Jara Blas y Martin Collazos Yataco, que me brindaron amor, confianza y fueron mi motivo para cumplir una meta más en el ámbito profesional.

COLLAZOS

A mi madre, Juana Marcelina Rodríguez Rosales, por no dudar de mí desde que comencé a estudiar en la universidad. Gracias por tu amor incondicional, tus sacrificios silenciosos y tu constante apoyo a lo largo de este camino. Este logro cumplido también es tuyo, porque sin tu guía, paciencia y confianza, no habría sido posible culminar esta etapa tan importante de mi vida.

CANCHARI

AGRADECIMIENTO

A mí señor Dios por ser mi guía y ayudarme cuando estuve por rendirme. A mis padres, familia y amigos por confiar en mí plenamente. A mí asesora y estimados jurados por ayudarme a llegar a este gran paso profesional. Con amor, dedicación y gratitud este título también es para todos ustedes.

COLLAZOS

Primero, doy gracias a Dios por darme la fuerza para seguir adelante a pesar de los tiempos difíciles, por guiar mi camino sabiamente y por proveerme la sabiduría necesaria para mejorar cada día.

También expreso mi sincero agradecimiento a mi asesora de tesis, Mg. Tania Ivette Méndez Izquierdo, por creer en nosotros y guiarnos con sus consejos durante este viaje académico.

También quiero agradecer a mi compañera de tesis su compromiso, apoyo y trabajo en equipo durante todo este viaje, que ha sido fundamental para lograr este objetivo.

CANCHARI

ÍNDICE

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación de la investigación	3
1.5. Delimitaciones del estudio	4
1.5.1. Delimitación temporal.	4
1.5.2. Delimitación geográfica.	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.1.1. Investigaciones internacionales.	5
2.1.2. Investigaciones nacionales.	7
2.2. Bases teóricas	9

2.3. Bases filosóficas	16
2.4. Definición de términos básicos	16
2.5. Hipótesis de investigación	17
2.5.1. Hipótesis general.	17
2.5.2. Hipótesis específicas.	17
2.6. Operacionalización de las variables	19
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	20
3.1. Diseño metodológico	20
3.1.1. Características de la investigación	20
3.1.2. Tratamientos	20
3.1.3. Conducción del experimento.	21
3.2. Población y muestra	34
3.2.1. Población	34
3.2.2. Muestra	34
3.3. Técnicas de recolección de datos	34
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información	34
CAPITULO IV. RESULTADOS	35
4.1. Análisis de resultados	35
4.2. Contrastación de hipótesis	38
CAPITULO V. DISCUSIÓN	53
5.1. Discusión de resultados	53
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
6.1. Conclusiones	56
6.2. Recomendaciones	56
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

ANEXOS	63
--------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables estadísticas	19
Tabla 2. Tratamientos experimentales con biochar de bagazo de caña y cáscara de naranja	21
Tabla 3. Características de los efluentes del lavado vehicular extraídos del local “Fel y Sac”	35
Tabla 4. Efluentes del lavado vehicular post filtración con biochar de bagazo y naranja	36
Tabla 5. Shapiro Wilk para resultados de filtración con biochar de bagazo y naranja	37
Tabla 6. ANOVA entre masa de biochar de bagazo de caña y turbidez	38
Tabla 7. Tukey para turbidez lograda con el biochar de bagazo de caña	39
Tabla 8. ANOVA entre biochar de bagazo de caña y pH	40
Tabla 9. ANOVA entre las masas de carbón de endocarpio de coco vs conductividad	41
Tabla 10. Tukey para DQO lograda con el biochar de bagazo de caña	42
Tabla 11. ANOVA entre biochar de bagazo de caña y aceites y grasas	43
Tabla 12. Tukey para A y G logrados con el biochar de bagazo de caña	43
Tabla 13. ANOVA entre masa de biochar de cáscara de naranja y turbidez	45
Tabla 14. Tukey para turbidez lograda con el biochar de cáscara de naranja	46
Tabla 15. ANOVA entre biochar de cáscara de naranja y pH	47
Tabla 16. ANOVA entre biochar de cáscara de naranja y DQO	48
Tabla 17. Tukey para DQO lograda con el biochar de cáscara de naranja	49
Tabla 18. ANOVA entre biochar de cáscara de naranja y aceites y grasas	50
Tabla 19. Tukey para A y G logrados con el biochar de cáscara de naranja	50
Tabla 20. Evaluación de los resultados obtenidos con 3 kilogramos de cada biochar	52

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Aplicaciones comunes del biochar. Obtenido de Cámara Llanos (2025).	10
<i>Figura 2.</i> Formatos de biochar. Obtenido de Morales et al. (2022).	11
<i>Figura 3.</i> Poros de biochar bajo microscopio. Obtenido de León Cori (2025).	11
<i>Figura 4.</i> Partes de la caña de azúcar. Obtenido de Abonamos (2021).	14
<i>Figura 5.</i> Partes del naranjo. Obtenido de Sánchez Bravo (2007).	15
<i>Figura 6.</i> Sistema típico de tratamiento de efluentes de lavado de autos. Obtenido de Cedeño y Ayón (2024).	16
<i>Figura 7.</i> Acondicionamiento del bagazo de caña de azúcar. Elaboración propia.	22
<i>Figura 8.</i> Secado de bagazo de caña con el sol. Elaboración propia.	22
<i>Figura 9.</i> Introducción del bagazo de caña en el cilindro. Elaboración propia.	23
<i>Figura 10.</i> Calentamiento del bagazo de caña. Elaboración propia.	23
<i>Figura 11.</i> Enfriamiento del biochar de bagazo de caña. Elaboración propia.	23
<i>Figura 12.</i> Mezcla del biochar de bagazo de caña con zumo de limón. Elaboración propia.	24
<i>Figura 13.</i> Calentamiento de la mezcla. Elaboración propia.	24
<i>Figura 14.</i> Lavado del biochar. Elaboración propia.	25
<i>Figura 15.</i> Resumen de elaboración de biochar de bagazo de caña. Elaboración propia.	25
<i>Figura 16.</i> Adquisición de cáscaras de naranja. Elaboración propia.	26
<i>Figura 17.</i> Lavado de cáscaras de naranja. Elaboración propia.	26
<i>Figura 18.</i> Secado solar de cáscaras de naranja. Elaboración propia.	26
<i>Figura 19.</i> Introducción de cáscaras de naranja en cilindro. Elaboración propia.	27
<i>Figura 20.</i> Calentamiento de cáscaras de naranja en cilindro. Elaboración propia.	27
<i>Figura 21.</i> Enfriamiento del biochar de naranja. Elaboración propia.	28
<i>Figura 22.</i> Mezcla de biochar de naranja con zumo de limón. Elaboración propia.	28
<i>Figura 23.</i> Secado del biochar de naranja activado con el zumo. Elaboración propia.	29
<i>Figura 24.</i> Lavado del biochar de naranja. Elaboración propia.	29
<i>Figura 25.</i> Síntesis de preparación de biochar de cáscara de naranja. Elaboración propia.	30
<i>Figura 26.</i> Materiales para el muestreo de los efluentes del local Fel y Sac. Elaboración propia.	30

<i>Figura 27.</i> Llenado de los envases con los efluentes del lavado vehicular. Elaboración propia.	31
<i>Figura 28.</i> Acondicionamiento de los botellones de agua. Elaboración propia.	32
<i>Figura 29.</i> Filtros llenos con biochar de naranja y bagazo de caña según tratamientos. Elaboración propia.	32
<i>Figura 30.</i> Introducción del efluente de lavado de vehículos dentro de los biochar. Elaboración propia.	33
<i>Figura 31.</i> Conservación del efluente tratado. Elaboración propia.	33
<i>Figura 32.</i> Masa de biochar de bagazo de caña vs turbidez de efluente. Fuente: Propia. ...	39
<i>Figura 33.</i> Masa de biochar de bagazo de caña vs pH de efluente. Fuente: Propia.	41
<i>Figura 34.</i> Masa de biochar de bagazo de caña vs DQO. Fuente: Propia.	42
<i>Figura 35.</i> Masa de biochar de bagazo de caña vs aceites y grasas. Fuente: Propia.	44
<i>Figura 36.</i> Masa de biochar de cáscara de naranja vs turbidez del efluente. Fuente: Propia.	46
<i>Figura 37.</i> Masa de biochar de cáscara de naranja vs pH del efluente. Fuente: Propia.	48
<i>Figura 38.</i> Masa de biochar de cáscara de naranja vs DQO del efluente. Fuente: Propia. ..	49
<i>Figura 39.</i> Masa de biochar de cáscara de naranja vs aceites y grasas del efluente. Fuente: Propia.	51
<i>Figura 40.</i> Instrumento 1: Registro de caracterización base de efluentes del lavado vehicular. Fuente: Propia.	64
<i>Figura 41.</i> Instrumento 2: Registro de tratamientos con biochar de bagazo de caña. Fuente: Propia.	65
<i>Figura 42.</i> Instrumento 3: Registro de tratamientos con biochar de cáscara de naranja. Fuente: Propia.	66
<i>Figura 43.</i> Mapa de la zona de muestreo de efluentes del lavado vehicular. Elaboración propia.	67

RESUMEN

Objetivo: Determinar el efecto de ambos biochar sobre las propiedades fisicoquímicas de efluentes del lavado vehicular durante el año 2026. **Metodología:** Se obtuvieron 15 kilogramos de bagazo de caña, los mismos se procesaron mediante: Lavado con agua destilada, secado con luz solar por 5 días, pirólisis por 6 horas, enfriamiento por 5 horas, mezclado con zumo de limón en proporción de 0.5 mL por cada gramo, secado a 380 °C por 120 minutos y enjuague con agua destilada. Luego, se adquirieron 20 kilogramos de cáscaras de naranja que se convirtieron en biochar mediante: Limpieza con agua destilada, exposición a luz solar durante 7 días, pirólisis durante 6 horas, enfriamiento durante 5 horas, baño con jugo de limón en una relación de 0.5 mL por cada 1 gramo, calentamiento a 380 °C durante 150 minutos y lavado con agua destilada. Después, como muestras se han recogido 14 litros de efluentes generados por el local de lavado de vehículos. Por último, se armaron 6 filtros a base de botellones de plástico llenos con 2, 2.5 y 3 kilogramos de cada biochar respectivamente. **Resultados:** Las muestras de efluentes de lavado vehicular tuvieron: 427.15 UNT, pH de 8.13, 458.56 mg/L de DQO y un nivel de aceites y grasas de 17.38 mg/L. Con el empleo de 3 kilogramos de biochar de bagazo se obtuvo una turbidez de 15.72 UNT, 11.26 mg/L de DQO, 2.14 mg/L de aceites y grasas y un pH de 8.06. Asimismo, 3 kilogramos del biochar de cáscara de naranja dieron una turbidez de 6.02 UNT, 13.62 mg/L de DQO, 1.16 mg/L de aceites y grasas y pH de 8.22. **Conclusiones:** Ambos biochar tuvieron efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas de los efluentes del lavado vehicular.

Palabras clave: Biochar, bagazo, filtración, efluente, propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

Objective: To determine the effect of both biochars on the physicochemical properties of vehicle wash effluents during the year 2026. **Methodology:** 15 kilograms of sugarcane bagasse were obtained, which were processed by: Washing with distilled water, sun drying for 5 days, pyrolysis for 6 hours, cooling for 5 hours, mixing with lemon juice at a ratio of 1 gram per 5 mL, drying at 380 °C for 120 minutes, and rinsing with distilled water. Then, 20 kilograms of orange peels were acquired and converted into biochar through: cleaning with distilled water, exposure to sunlight for 7 days, pyrolysis for 6 hours, cooling for 5 hours, immersion in lemon juice at a ratio of 1 gram per 0.5 mL, heating at 380 °C for 150 minutes, and washing with distilled water. Next, 14 liters of effluent from the vehicle wash facility were collected as samples. Finally, six filters were assembled using plastic bottles filled with 2, 2.5, and 3 kilograms of each biochar, respectively. **Results:** Before the experiments, the vehicle wash effluent samples had the following values: 427.15 NTU, pH of 8.13, 458.56 mg/L COD, and an oil and grease level of 17.38 mg/L. Additionally, 3 kilograms of the bagasse biochar yielded a turbidity of 15.72 NTU, 11.26 mg/L COD, 2.14 mg/L oil and grease, and a pH of 8.06. Also, 3 kilograms of orange peel biochar resulted in a turbidity of 6.02 NTU, 13.62 mg/L of COD, 1.16 mg/L of oils and greases, and a pH of 8.22. **Conclusions:** Both biochars had significant effects on the physicochemical properties of the vehicle washing effluents.

Keywords: Biochar, bagasse, filtration, effluent, physicochemical properties.

INTRODUCCIÓN

Zuta Dávila (2023) declara que más del 2 % de la matriz de energía nacional está cubierta por la biomasa residual de las plantaciones de caña de azúcar ya que su composición carbonosa la hace combustionar en cuestión de segundos. Sin embargo, en muchas regiones del país donde están ausentes establecimientos de extracción energética todavía persiste el hábito de quemar los bagazos al aire libre emitiendo cenizas o partículas potencialmente tóxicas que dificultan el tránsito vehicular si es que el huerto se ubica en las cercanías de las carreteras y también se liberan descontroladamente gases de efecto invernadero. Aparte de ello, en los últimos años ha surgido mayor interés en someter a los bagazos a una actividad de pirólisis hasta conseguir un material negruzco que es útil para retener nutrientes en los suelos agrícolas, para mitigar malos olores en viviendas y para filtrar aguas contaminadas con sustancias peligrosas.

Gran parte de la ciudadanía dispone al instante las cáscaras de naranja dentro de los tachos de residuos porque desconocen alguna medida para reaprovecharlas, aunque a ello se le suma que recién desde la última década se está avanzando en la búsqueda de opciones sostenibles como lo han sido: Repelente de insectos dentro de viviendas, producción de plásticos bio degradables, disolventes de restos de tecnopor y filtro biológico para remover el metal cromo dentro de aguas servidas. Debido a la última opción mencionada previamente, ha surgido interés considerable por convertir las cáscaras de naranja en biochar y evaluar si la capacidad de retención de metales, sólidos suspendidos, moléculas orgánicas o microorganismos supera a que tenía la materia prima inicial. (León Cori, 2025)

El poco espacio en el que operan los carwash provoca que se recurran a sistemas muy compactos para la descontaminación parcial de sus efluentes y entre las operaciones más realizadas están: Uso de rejillas (reducción de sólidos gruesos, arenas, grasas), ingreso a tanque de aireación (para quitar detergentes, aceite y una parte de la materia orgánica), y floculación en un rango de pH 6.5 – 7.5 dentro de sedimentador (desestabiliza los coloides). Ya que la inversión es elevada, los establecimientos que practican esas operaciones son una minoría. Por ello, lo ideal sería aplicar tratamientos más baratos a pequeña escala que permitan remover cerca del total de la carga contaminante en una única etapa siendo un candidato la filtración con biochar convencional o a base de biomasa residual. (Compacta Saneamiento, 2025)

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

De acuerdo con Delgado y Reicher (2025), a nivel mundial se han fabricado un aproximado de 1600 millones de autos volviendo al lavado de vehículos como un servicio rentable aparecido a inicios del año 1920 pero también es un servicio completamente dependiente del recurso agua ya que por cada auto que sea lavado pueden llegarse a consumir en promedio unos 120 litros de agua. Más del 40% de efluentes provenientes de esa actividad no son manejados responsablemente por los dueños del establecimiento, sobre todo los que operan de modo informal, puesto que se descargan en espacios públicos cercanos o son mezclados con ambientes acuáticos liberando impurezas nocivas para el bienestar humano como aceites, tensoactivos, fosfatos e hidrocarburos.

En Latinoamérica según Llanes y Leguisamo (2021) en un local de autolavado ingresan entre 70 a 160 vehículos diariamente donde se aprovechan 70 litros por cada unidad. Es un negocio que ha tenido un desarrollo abrupto por razones como: Aumento poblacional, búsqueda de mejorar la estética del vehículo, mayores modalidades y facilidades económicas para adquirir un automóvil y necesidades de desplazarse a entornos más lejanos. Respecto a los efluentes provenientes de esos autolavados, varias naciones de la región han normado su manejo, plantearon estándares e implementan labores de fiscalización y aun así continúan desechándose en el alcantarillado urbano sin sufrir modificaciones en su caracterización.

Villar García (2023) expresa que en el Perú se considera al lavado de autos dentro de la categoría de mantenimiento y reparación automotriz (código N° 4520 del CIIU), es un servicio que se brinda en la mayoría de ciudades del país y proporciona fuentes de empleo de ejecución segura. Sin embargo, las entidades de saneamiento identificaron excesos en los valores máximos admisibles (VMA) en más de 5000 establecimientos durante el 2023 demostrando que gran parte de los carwash formalizados presentan complicaciones para la gestión de sus efluentes debido a asuntos ligados a los costos elevados que involucran los tratamientos de descontaminación convencionales.

Por otro lado, Dávila (2025) declara que la producción de caña de azúcar y la remoción de su jugo en las zonas costeras del país generan anualmente un orden de 120 toneladas de bagazos. Tales residuos son quemados descontroladamente por los agricultores emitiendo partículas y

gases dañinos hacia la atmósfera debido al desconocimiento de técnicas de reaprovechamiento como lo es la síntesis de biochar.

De igual manera, Vargas Fonseca (2018) afirma que las cáscaras de naranja presentes en la fracción orgánica de los residuos municipales del Perú recogidos diariamente son consideradas como limitadoras del compostaje a causa de su elevada acidez, por lo cual se están analizando métodos de reutilización como: Producción de vasos biodegradables, confección de prendas, adsorbente de metales pesados y transformación en biochar químicamente activado.

En un contexto local, ante la dificultad de cumplir con los valores máximos admisibles para descarga al alcantarillado el establecimiento “Fel y Sac” dedicado al lavado de autos en la ciudad de Huacho vierte continuamente sus efluentes sin depurar en un canal de regadío aledaño, incorporando en el agua restos de jabones, emulsiones, nutrientes y materiales particulados dentro del agua para así evitar pagar las multas que surgen por la transgresión de esos estándares sanitarios.

Por todo lo mencionado previamente, mediante este estudio se evaluará una potencial alternativa para la depuración de efluentes del lavado vehicular generados por el local “Fel y Sac” a través de la preparación y experimentación con diversas masas de biochars provenientes de residuos orgánicos comunes como el bagazo de caña de azúcar y cáscara de naranja. Los parámetros del efluente a monitorear serán: Turbidez, pH, demanda química de oxígeno (DQO) y aceites y grasas (A y G).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de ambos biochar sobre las propiedades fisicoquímicas de efluentes del lavado vehicular durante el año 2026?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es el efecto del biochar de caña de azúcar sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026?

¿Cuál es el efecto del biochar de cáscara de naranja sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de ambos biochar sobre las propiedades fisicoquímicas de efluentes del lavado vehicular durante el año 2026.

1.3.2. Objetivos específicos

Evaluar el efecto del biochar de caña de azúcar sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

Evaluar el efecto del biochar de cáscara de naranja sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

1.4. Justificación de la investigación

Conveniencia

Con este estudio se conoció el efecto de un biochar de bagazo de caña y otro biochar a base de cáscara de naranja sobre la composición fisicoquímica de efluentes provenientes del local de lavado de autos “Fel y Sac” porque diariamente en aquel establecimiento se generan volúmenes considerables de ese tipo de efluentes que al no depurarse están contaminando un canal de regadío cercano comprometiendo la calidad del suelo y producción agrícola si es que los cultivos llegan a interactuar con su carga contaminante (tensoactivos, aceites, materiales orgánicos fitotóxicos y pH extremo). Ante ello, se propone un método de depuración barato como lo es la filtración con biochar elaborado a partir de residuos agroindustriales (bagazo de caña), de residuos generados por hogares, mercados y juguerías (cáscaras de naranja) y utilizando como soporte a filtros hechos a partir de botellones reutilizados.

Relevancia social

Como beneficiario principal de los resultados logrados por los ensayos con ambos biochar (bagazo de caña de azúcar y cáscaras de naranja) se encontrará el dueño del local de lavado vehicular “Fel y Sac” el cual tendrá a su disposición una alternativa segura, accesible y efectiva para controlar la polución ambiental causada por los efluentes de su establecimiento en caso considere implementarla. Asimismo, como grupo de beneficiados también se tendría los agricultores de los campos aledaños al local “Fel y Sac” puesto que una fuente contaminante significativa se vería extinta y con esto se obtendría un desarrollo más seguro de los alimentos que cultivan. Igualmente, las empresas agroindustriales de la provincia de Huara en vez de

quemar los bagazos podrían transformarlos en biochar y comercializarlo a negocios que requieran depurar efluentes con características similares a los tratados en este trabajo. Por último, adicionalmente se evidenciaría una opción sostenible para el manejo de residuos de naranja dentro de los centros de valorización administrados por los municipios del país.

1.5. Delimitaciones del estudio

1.5.1. Delimitación temporal.

El desarrollo del estudio fue iniciado en el mes de enero del año 2026 y finalizó en el mes de abril del año 2026.

1.5.2. Delimitación geográfica.

El presente estudio se ha desarrollado en el local “Fel y Sac” dedicado al lavado de unidades vehiculares cuyas coordenadas en sistema UTM son: 216791.03 E y 8769711.75 N. El mapa de ubicación se encuentra detallado en la sección de anexos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Investigaciones internacionales.

Cabrini et al. (2025) en su artículo hecho en Brasil han tenido como propósito sintetizar biochar de naranja para remediar efluentes agroindustriales. Al comienzo, los restos de naranja fueron calentados a 105 °C por 2 días, se tamizó el producto en una malla con 10 µm de porosidad y se efectuaron 4 ensayos donde se calentó el biochar de naranja en rangos de 350 a 650 °C por 60 minutos. Luego, a través de un tubo PVC (altura de 40 centímetros – diámetro de 15 centímetros) se vertió el efluente agroindustrial muestreado dentro de 3 filtros: F (30 centímetros de biochar de naranja), BF (34 centímetros de biochar de naranja) y BGF (38 centímetros de biochar de naranja). Como resultados, el efluente agroindustrial crudo presentó pH de 7.62, conductividad de 910 uS/cm y 3.4 UNT de turbidez. Además, el ensayo F cambió los parámetros del efluente agroindustrial a: 8.92 de pH, 920 uS/cm de conductividad y 1.84 UNT de turbidez. Asimismo, el ensayo BF cambió los parámetros del efluente agroindustrial a: 9.28 de pH, 906 uS/cm de conductividad y 1.78 UNT de turbidez. También, el ensayo BGF cambió los parámetros del efluente agroindustrial a: 9.16 de pH, 846 uS/cm de conductividad y 1.85 UNT de turbidez. Se concluyó que los 3 sistemas (F, BF y BGF) fueron óptimos para mejorar la calidad del efluente agroindustrial hasta límites legales.

Cámara Llanos (2025) en su artículo hecho en Ecuador tuvo como finalidad elaborar un biochar de naranja para depurar efluentes de una procesadora de arrozillo. En primer lugar, fueron recuperados 5 kilogramos de restos de naranja dentro de unas piladoras pertenecientes a la fábrica Yaguachi, se bañaron los restos de naranja con 8 litros de agua desionizada, se calentaron a 120 °C por 60 minutos y se carbonizó totalmente a 450 °C por 60 minutos, se lavó el biochar para quitar cenizas, se hizo reaccionar el biochar con 0.5 litros de ácido fosfórico por cada 300 gramos de carbón de naranja y fue secada la mezcla a 120 °C por una hora. En segundo lugar, siguiendo la NTE 2169 – I fueron recogidos 50 litros de efluentes de lavado de arrozillo. Por último, se vertieron 5 litros de efluentes sobre los filtros (600 y 900 gramos de biochar) a través de un tubo de 40 centímetros de altura y 0.5 pulgadas de radio. Como resultados, el efluente de lavado de arrozillo presentó 6.65 de pH y 80.08 UNT de turbidez. Además, el filtro con 600 gramos de biochar de naranja dio un pH de 7.28 y 22 UNT

de turbidez. También, el filtro con 900 gramos de biochar de naranja dio un pH de 7.51 y 22.75 UNT de turbidez. En conclusión, el biochar de naranja alcalinizó el pH del efluente y demostró elevada adsorción de turbidez.

Cedeño y Ayón (2024) en su artículo hecho en Ecuador tuvieron como finalidad preparar biochar de naranja y usarlo para la filtración de efluentes de matadero Manto. Como etapa preparativa, los restos de naranja fueron proporcionados por pobladores de Rocafuerte, se dejaron secar por 7 días en una estufa programada a 450 °C, el sólido fue cribado en un tamiz número 4. Además, se usó un galón para recoger 9 litros de efluentes dentro del matadero Manto. Por último, 3 tubos PVC (1.5 pulgadas de radio y capacidad de 1.3 litros) sirvieron como filtros, se agregaron distintas masas de biochar (120, 360 y 600 gramos) y fueron filtrados 0.5 litros de efluentes de matadero en cada uno. Como resultados, 120 gramos del biochar de naranja eliminaron 6.58% de turbidez. Asimismo, 360 gramos del biochar de naranja eliminaron 13.48% de turbidez. Finalmente, 600 gramos del biochar de naranja eliminaron 18.08% de turbidez. Se concluyó que 600 gramos del biochar de naranja presentaron la más alta reducción de turbidez del efluente del matadero Manto.

Kalengyo et al. (2024) en su artículo elaborado en Egipto tuvieron como propósito reaprovechar restos de naranja para crear biochar útil para filtrar efluentes textiles. Como etapa operativa, al inicio se recogieron los restos de naranja dentro de un comedor universitario, se lavaron con agua desionizada, se deshidrataron los restos de naranja a 100 °C por un día, se trituro el carbón con un molidor mecánico, se hizo pasar el polvo de naranja en una criba número 180 y se calentaron los restos a 550 °C por 120 minutos sin entrada de oxígeno. Después, dentro de un matraz Erlenmeyer (0.25 litros) se juntaron 250 mL de efluentes textiles con el biochar de polvo de naranja para conformar una dosis de 1.2 g/L durante media hora y con agitación de 100 rpm. Como resultados, el biochar de naranja en polvo removió la turbidez en un 84.7%, el color en un 80.2% y 41% de conductividad eléctrica. En conclusión, el biochar de naranja en polvo fue un recurso efectivo para remediar la contaminación de los efluentes textiles.

Morales et al. (2022) en su artículo creado en Ecuador tuvo como propósito tratar efluentes de lavado de autos a través de un filtro de bagazo de caña. Como fase de campo, inicialmente durante 2 semanas se recogieron volúmenes simples de un local de lavado de vehículos para luego unificarlos en una muestra de 30 litros y almacenado en un galón conservado a 4 °C.

Continuando, se armaron estanques de 30 litros con un hueco de 7 mm de diámetro en su zona baja, se colocó una capa de 25 mm de biochar de bagazo de caña adquirido comercialmente y se alimentó el estanque con un caudal de 15 L/min del efluente de lavado de autos. Como resultados, la muestra compuesta del efluente de limpieza de autos tuvo 228 UNT de turbidez y 2147 mg/L de DQO. Además, el filtro con el biochar de bagazo removió turbidez en un 98.7% (2.8 UNT) y un 51.4% de DQO (1044 mg/L). En conclusión, el biochar de caña demostró utilidad elevada para depurar efluentes del lavado de automóviles.

2.1.2. Investigaciones nacionales.

León Cori (2025) en su tesis elaborada en Huánuco tuvo como finalidad conocer la eficiencia de un biochar de naranja respecto a la depuración del agua residual del poblado Huancamina. Como etapa operativa, primero se captaron 60 litros de agua fluvial dentro de 4 galones plásticos. Luego, se construyeron estanques (24 centímetros de largo, 24 centímetros de anchura y 48 centímetros de alto) que se unieron a un tubo de 0.75 pulgadas de diámetro. Después, dentro de un mercado huanuqueño se obtuvieron los residuos de naranja, por 30 minutos se enjuagaron en agua desionizada, fueron secados a la intemperie por 15 días, se carbonizaron a 450 °C, se ha roto el biochar con máquinas molidoras y se cribó con un medio poroso de 0.25 mm. Finalmente, se hicieron 4 ensayos con masas variadas de biochar de naranja (2, 3 o 4 kg) donde fueron filtrados 15 litros de agua fluvial dentro de cada estanque. Como resultados, el agua del río cercano al pueblo Huancamina tuvo 680.56 uS/cm de conductividad, pH de 5.13 y DQO de 26.32 mg/L. Los 2 kg del biochar de naranja modificaron la conductividad a 538.49 uS/cm, el pH a 6.08 y DQO a 21.77 mg/L. También, los 3 kg del biochar de naranja modificaron la conductividad a 492.5 uS/cm, el pH a 6.25 y DQO a 19.02 mg/L. Además, los 4 kg del biochar de naranja modificaron la conductividad a 450.76 uS/cm, el pH a 6.32 y DQO a 17.84 mg/L. En conclusión, el biochar de naranja demostró servir como un producto eficiente para corregir la calidad del agua fluvial.

Perez y Maquera (2024) en su artículo hecho en Tacna han tenido como finalidad depurar efluentes grises del lavado de automóviles mediante filtros de biochar de bagazo. En primer lugar, se han juntado 5 kg de bagazo dentro del mercado Grau, fueron secados por 2 semanas y se carbonizó a 550 °C. En segundo lugar, se solicitó a 4 establecimientos de lavado de autos que proporcionaron individualmente 5 litros de sus efluentes grises. En tercer lugar, se dispuso 5 kg de biochar de bagazo dentro de un tanque (20 litros) por donde se introdujeron 4 litros

de efluentes. Como resultados, el efluente de lavado presentó pH de 5.95 y 146.3 UNT de turbidez. Mientras que 5 kilogramos de biochar de bagazo redujo a 97.3 UNT y elevó el pH a 6.46. En conclusión, el biochar de bagazo permitió neutralizar el pH ácido del efluente de lavado y tuvo una efectividad regular en la eliminación de turbidez.

Portugal y Sosa (2023) en su tesis efectuada en Arequipa tuvo como finalidad mejorar la calidad de agua de un pozo perteneciente al poblado Villa Hidropónica. Como metodología, al inicio se juntaron 10 kg de bagazo en buen estado, se deshidrataron a la intemperie, se trituraron en una malla < 2 mm, se calentaron a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, se bañaron con ácido fosfórico, se neutralizó su pH con un enjuague de agua desionizada y se carbonizó a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Luego, con ayuda de 3 galones se han extraído 36 litros de agua de pozo. Por último, se diseñaron tanques de 100 centímetros de longitud, 40 centímetros de anchura y altura de 130 centímetros donde se vertieron 6 litros de la muestra que fueron filtrados con 4 kg de biochar de bagazo. Como resultados, el agua de pozo tuvo pH de 8.6, 681 uS/cm de conductividad y 0.52 UNT de turbidez. Además, el agua filtrada por el biochar de bagazo elevó a 4.66 UNT la turbidez, redujo el pH a 8.5 y aumentó a 692 uS/cm la conductividad. En conclusión, el biochar de bagazo probó ser eficaz para alterar significativamente la calidad del agua de pozo.

Chavez Chamaya (2022) en su tesis desarrollada en Chachapoyas tuvo como propósito sintetizar biochar de naranja para descontaminar efluentes de la PTAR Molino. Como etapa de campo, primero se muestrearon 66 litros de efluentes dentro de la estructura tomando en cuenta el estándar de la norma OS. 090. Luego, se consiguieron 10 kg de residuos de naranja que se procesaron mediante: Remoción de suciedad usando agua desionizada, secado de cáscaras a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 60 minutos, activación con ácido fosfórico durante 2 horas, cribado en medio de $200\text{ }\mu\text{m}$, extracción de cenizas con agua desionizada y secado a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un día. Después, se crearon 4 reactores conectados a un tubo PVC (2.54 cm de radio y 35 cm de longitud), se aplicaron masas de biochar de naranja de 2.5 kg, 5 kg, 7.5 kg y 10 kg y fue alimentado cada reactor con 5 litros de efluentes. Como resultados, la masa de 2.5 kg de biochar de naranja logró remociones del 48% para DQO, del 61% en conductividad y 37% en turbidez. La masa de 5 kg de biochar de naranja logró remociones del 43% para DQO, del 48% en conductividad y 37% en turbidez. Además, la masa de 7.5 kg de biochar de naranja logró remociones del 24% para DQO, del 39% en conductividad y 19% en turbidez. También, la masa de 10 kg de biochar de naranja logró remociones del 25% para DQO, del 15% en

conductividad y 11% en turbidez. En conclusión, el biochar de naranja procesó una moderada eficiencia para la eliminación de contaminantes de los efluentes que ingresan a la PTAR Molino.

Iturralde y Escobar (2022) en su artículo hecho en Lima tuvieron como finalidad elaborar un biochar de naranja para depurar efluentes de una procesadora de pescados. En primer lugar, fueron recuperados 5 kilogramos de restos de naranja dentro de unas piladoras pertenecientes a la fábrica Maguchi, se bañaron los restos de naranja con 8 litros de agua desionizada, se calentaron a 120 °C por 60 minutos y se carbonizó totalmente a 450 °C por 60 minutos, se lavó el biochar para quitar cenizas, se hizo reaccionar el biochar con 0.5 litros de ácido fosfórico por cada 300 gramos de carbón de naranja y fue secada la mezcla a 120 °C por una hora. En segundo lugar, fueron recogidos 50 litros de efluentes. Por último, se vertieron 5 litros de efluentes sobre los filtros (600 y 900 gramos de biochar) a través de un tubo de 40 centímetros de altitud y 0.5 pulgadas de radio. Como resultados, el efluente presentó 6.60 de pH y 80 UNT de turbidez. Además, el filtro con 600 gramos de biochar de naranja dio un pH de 7.1 y 0.2 UNT de turbidez. También, el filtro con 900 gramos de biochar de naranja dio un pH de 7.11 y 1.75 UNT de turbidez. En conclusión, el biochar de naranja incrementó el pH de las muestras y tuvo elevada adsorción de turbidez.

2.2. Bases teóricas

Biochar

Cal Herrera (2023, p. 138) sostiene que un biochar constituye la parte sólida conseguida post pirólisis y gasificación de las biomásas ricas en moléculas lignocelulósicas (huesos, astillas o cubiertas de frutas), es decir, es la materia rica en el elemento C que no se volatilizó. El biochar presenta una considerable estabilidad, perdura durante varios años y se utiliza en: Limpieza de emisiones gaseosas tóxicas, filtrar efluentes, encapsulador de fertilizantes, acumulador de CO₂ (medidas de mitigación), crear indumentaria transpirable, creación de jabones, controlador de humedad en edificaciones y como aislador térmico dentro del cableado público.

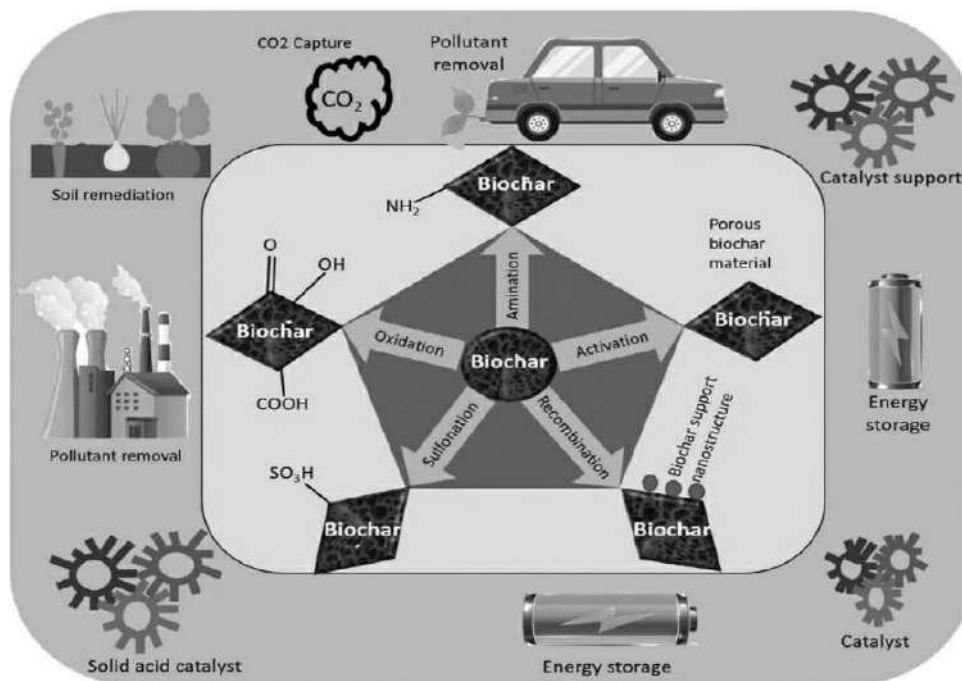


Figura 1. Aplicaciones comunes del biochar. Obtenido de Cámara Llanos (2025).

Tipos de biochar

Biochar en polvo: Quispe et al. (2024, p. 42) postulan que se implementa el uso de biochar en polvo cuando existen sabores desagradables, olores fuertes, micromateriales y pesticidas dentro del efluente. Hay 3 oportunidades en las que ese biochar puede agregarse: Durante la captación del líquido contaminado, durante el reactor de mezcla veloz y durante la gestión de lodos semisólidos. El diámetro del polvo de biochar suele ser menos de 1 milímetro (en promedio 0.15 a 0.25 mm). El tamaño del grano se refina en cribas número cincuenta u ochenta.

Biochar granular: Quispe et al. (2024, p. 43) expresan que el biochar granular se destina para la purificación de agua de pozo y acuíferos con elevada materia orgánica tóxica, además representa un obstáculo físico para aquellos microcontaminantes que arrastran las aguas continentales. En contraste con el biochar en polvo, la presentación granular presenta un ratio inferior de uso de carbono por litro de agua. La materia retenida en los gránulos de biochar tiene mayor posibilidad de desorberse haciendo repetible el proceso de filtrado. Cada gránulo del biochar suele presentar un tamaño de 67 μm aproximadamente.



Figura 2. Formatos de biochar. Obtenido de Morales et al. (2022).

Porosidad del biochar

Red de Compostaje (2014) define la porosidad del biochar como el factor vinculado a la eliminación de sustancias contaminantes que atraviesan los filtros. Aquellas cavidades del biochar mayores a 0.8 milímetros (macroporosidad) son iguales a las que presentaban sus materiales originarios previo a su pirólisis, por ellas circulan partículas finas de los efluentes y también ciertos gases insolubles. Además, el biochar presenta cavidades de la escala de nanómetros (microporos) cuyo rol reside en la adsorción de cationes, aniones y gases contaminantes.

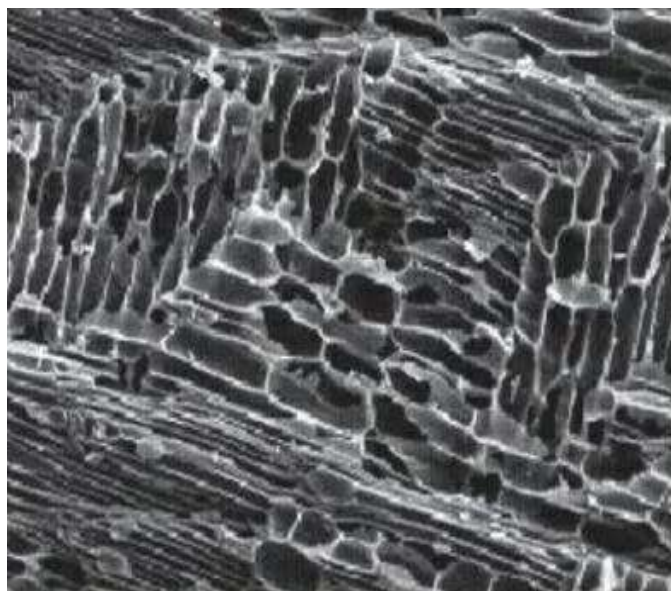


Figura 3. Poros de biochar bajo microscopio. Obtenido de León Cori (2025).

Activación física del biochar

Sreedharan et al. (2024, p. 6) afirman que el producto carbonoso conseguido post pirólisis presenta una pésima superficie reactiva, sus cavidades no son suficientes y no tienen grupos funcionales útiles para actividades descontaminantes. Por eso, debe someterse al biochar a un proceso de activación física a través de su secado a temperaturas cercanas a los 700 °C junto a concentraciones elevadas de vapor o anhídrido carbónico. El efecto que se logra es un alargamiento del diámetro de los macroporos.

Activación química del biochar

Sreedharan et al. (2024, p. 7) ratifican que el biochar post pirólisis se baña con ciertas sustancias reactivas (ácidos como el sulfúrico o fosfórico; bases como el hidróxido de potasio o sales como el cloruro de estaño o carbonato de potasio) para activar grupos funcionales positivos, negativos y neutrales dentro del producto. Activar químicamente un biochar requiere mayor complejidad que el método físico, pero en general se usan temperaturas más bajas. La creación de nuevas cavidades tras el baño químico se da por mecanismos como: Evita la formación de enlaces cíclicos entre carbonos, sustituye átomos de carbono por iones cargados y liberación de moléculas volátiles que saturaban el espacio poroso. Para esta técnica es relevante lavar con agua desionizada el biochar activado hasta dispersar los químicos residuales que no llegaron a reaccionar.

Caña de azúcar

Origen

De acuerdo a INEGI (2008, p. 3), estudios han esclarecido que la caña de azúcar es una especie originario de las secciones tropicales de Nueva Guinea (islote ubicado al norte australiano). Empezó a dispersarse desde el territorio que actualmente se conoce como Polineasia hasta el continente de Asia, luego los navegantes de Oceanía llevaron la planta hasta la India hace 2500 años y en ese sitio se comenzó a extraer su jugo para fines alimenticios. Al hibridarse, se volvió más resistente a las condiciones ambientales, por lo que llegó finalmente a América durante el siglo 16.

Taxonomía de la caña de azúcar

REINO: *Plantae*

DIVISIÓN: *Magnoliophyta*

CLASE: *Liliopsida*

SUBCLASE: *Commelinidae*

ORDEN: *Poales*

FAMILIA: *Poaceae*

SUBFAMILIA: *Panicoideae*

GÉNERO: *Saccharum*

ESPECIE: *Officinarum*

NOMBRES COMUNES: Caña de azúcar, caña dulce.

Morfología de la caña de azúcar

Raíz: García y Toscano (2022, p. 14) señalan que la red radical de la caña de azúcar sirve como soporte subterráneo de la planta y extractor de humedad junto a nutrientes. Se dividen en dos tipos: Raíz primordial (alta ramificación, considerable delgadez y duración entre 1 a 4 meses) y raicillas permanentes (surgen de los aros de desarrollo de nuevos brotes, de grosor notable y crecimiento acelerado).

Tallo: Valles Ramírez (2009) asegura que en el tallo de la caña de azúcar se concentra jugo de sacarosa mientras que su rigidez es debida a su elevado porcentaje de fibras sólidas. A nivel comercial, es la parte más relevante por sus reservas de sacarosa aunque se prefiere que se mantengan en posturas rectas.

Hoja: Para Valles Ramírez (2009), en una caña de azúcar la importancia de sus hojas radica en su capacidad fotosintética que permite mantener vivo al vegetal. Esas hojas son largas (0.83 a 1.54 metros), anchas (0.8 a 10.2 centímetros), de superficie aplanada, con varios pelillos distribuidos alrededor de su superficie y son ricas en cavidades conocidas como estomas.

Flor: Subirós Ruiz (2004, p. 31) comenta que la caña de azúcar a determinada edad, humedad, fotoperiodo y temperatura paraliza su modelo de tejido vegetal para centrarse en la elaboración de una hoja bandera (más ancha y alargada), lo que da aviso de la próxima aparición de una inflorescencia. La inflorescencia de la caña consiste en una panícula libre, extensa y que cuenta con la mayoría de ramificaciones alrededor de su base.

Fruto: Según Starr (2023), cuando una inflorescencia perteneciente a la caña de azúcar es fecundada, proporciona frutos que son granos marrones de 2 mm de anchura y alrededor de 3 mm de longitud.



Figura 4. Partes de la caña de azúcar. Obtenido de Abonamos (2021).

Naranja

Generalidades de la naranja

Como recalca Sánchez (2023), en nuestro país el cultivo de naranja se da principalmente en la región costera debido a las características del suelo de dicha zona. El árbol de naranjo es capaz de superar los 5 metros de altura, tiene hojas ovaladas rodeadas de pequeñas espinas y las flores blancuecinas que nacen de ellas desprenden un aroma agradable. El naranjo no es una especie nativa del Perú, sino que originalmente provino del continente asiático.

Taxonomía de la naranja

REINO: *Vegetal*

DIVISIÓN: *Magnoliophyta*

CLASE: *Magnoliopsida*

SUBCLASE: *Rosidae*

ORDEN: *Sapindales*

FAMILIA: *Rutaceae*

GÉNERO: *Citrus*

ESPECIE: *Citrus sinensis*

NOMBRES COMUNES: Naranjo, naranja, naranjero.

Pectina presente en la cáscara de naranja

Según Bello (2000, p. 92), la pectina es un compuesto orgánico con amplia presencia en los tejidos de las naranjas. Al ser un polímero natural, goza de un elevado peso molecular y está formado por hasta 500 unidades básicas de ácido galacturónico. A nivel comercial, la pectina se halla como un polvo que al disociarse en el agua su composición química sufre transformaciones por la temperatura y el pH, que le brindan propiedades catiónicas y gelatinosas. La pirólisis de la pectina la convierte a la cáscara de naranja en un candidato adecuado para la elaboración de biochar.

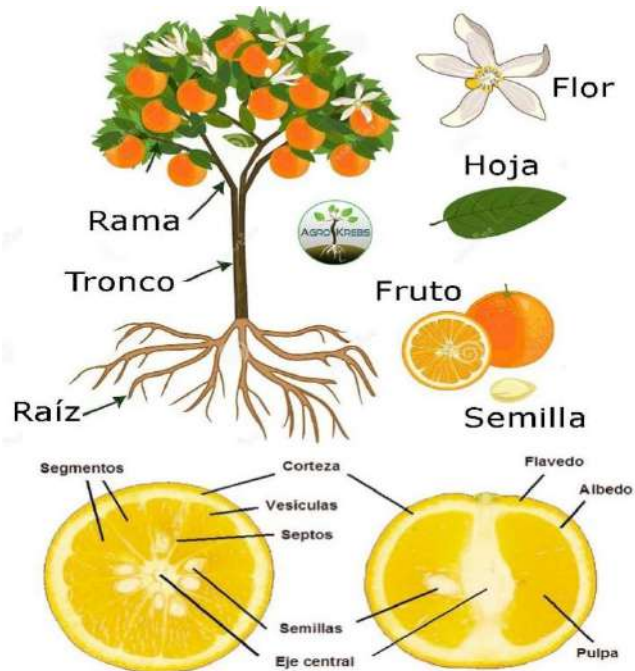


Figura 5. Partes del naranjo. Obtenido de Sánchez Bravo (2007).

Efluentes de lavado de vehículos

Huamán Izquierdo (2023) señala que las aguas servidas que generan los locales de lavado de vehículos presentan la siguiente caracterización: 7.15 de pH, 19.8 mg/L de aceites y grasas, 173.9 mg/L de DBO₅, 321.7 mg/L de DQO, 27.6 mg/L de hidrocarburos totales de petróleo (HTP), 328.4 mg/L de SST, 531 mg/L de sólidos totales, 6 mg/L de detergentes (SAAM) y coliformes termotolerantes 1867 NMP por cada 100 mL.

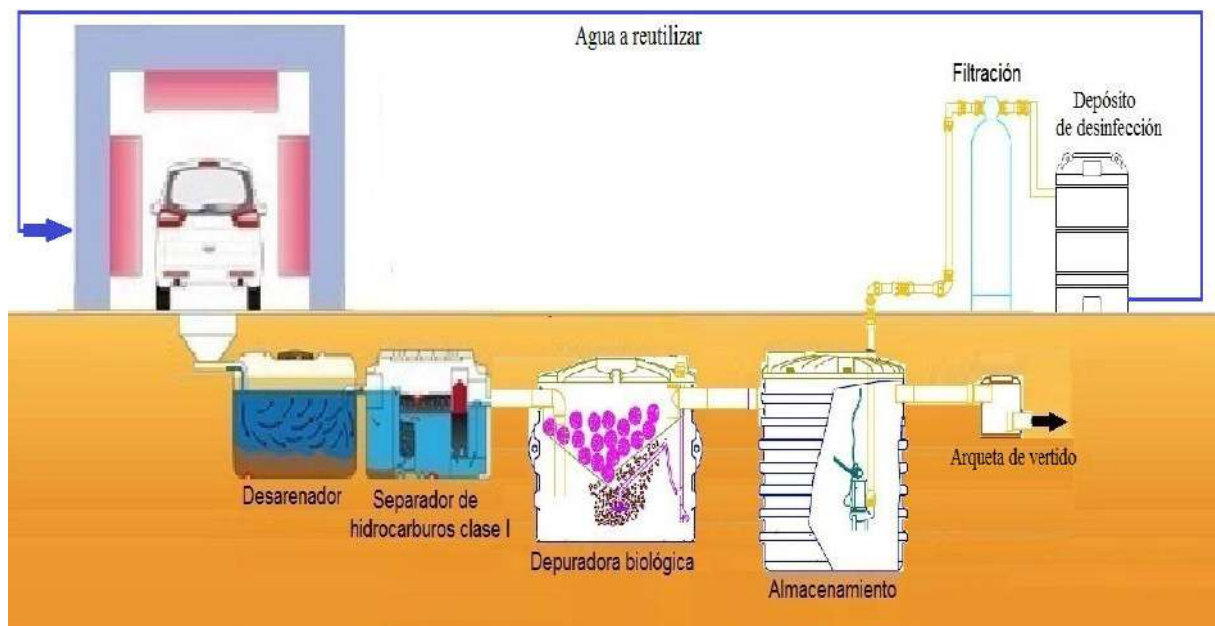


Figura 6. Sistema típico de tratamiento de efluentes de lavado de autos. Obtenido de Cedeño y Ayón (2024).

2.3. Bases filosóficas

De acuerdo a Moreno (2021), el empirismo es una filosofía que indica que existen conocimientos nacidos a base de experiencias vividas. Por ello, en la presente investigación se planteó filtrar efluentes de la actividad de lavado de unidades vehiculares con distintas masas de los biochar de bagazo de caña de azúcar y cubierta de naranja contrastando los resultados hasta ubicar a la cantidad óptima que nos dé un agua cuya caracterización se acerque o asemeje a lo solicitado por la tercera categoría de los ECA para Agua.

2.4. Definición de términos básicos

Activante

Moreno Piraján (2025, p. 82) expresa que los activantes actúan como formadores de espacios vacíos dentro del biochar y cargan grupos funcionales complejos dándole al carbón una

afinidad con las impurezas disueltas, coloides o tensoactivos lo suficiente decente como para mantenerlos retenidos en su interior.

Filtración

Arellano y Guzmán (2011, p. 26) comentan que la filtración es una operación destinada a hacer que un volumen de agua con una presencia significativa de sólidos flotantes atraviese un producto con bastantes cavidades con el propósito de excluir esas impurezas y obtener un efluente más puro.

Pirólisis

Sánchez Bravo (2007, p. 257) declara que la pirólisis es una alternativa de modificación de materiales orgánicos y biomasa a través de su exposición a temperaturas considerables dentro de un envase por donde no hay ingreso de oxígeno. Se obtienen 3 productos: Mezcla gaseosa (hidrógeno e hidrocarburos), líquidos aceitosos que contienen gran capacidad energética y materias sólidas (el char).

Saneamiento

Para Cuerda López (2006), el saneamiento es un conjunto de acciones hechas por entidades estatales que controla, domina y regula factores individuales y del ambiente que podrían agravar el bienestar de la ciudadanía.

2.5. Hipótesis de investigación

2.5.1. Hipótesis general.

H1: Ambos biochar tuvieron un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

Ho: Ambos biochar no tuvieron un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

2.5.2. Hipótesis específicas.

H1: El biochar de bagazo de caña de azúcar tuvo un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

Ho: El biochar de bagazo de caña de azúcar no tuvo un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

H1: El biochar de cáscara de naranja tuvo un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

H0: El biochar de cáscara de naranja no tuvo un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

2.6. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de variables estadísticas

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
V.I: Biochar	“Material carbonoso con variadas cavidades que le sirven para adsorber muchos contaminantes dentro de suelos o agua polucionada” (Huamán Izquierdo, 2023).	Se producirá biochar a partir de bagazos de caña azucarera y de cáscaras de naranja. Con tres masas de cada biochar van a filtrarse efluentes del lavado vehicular.	Biochar de bagazo de caña	Masa de bagazo de caña	Kg
				Masa de biochar de bagazo de caña de azúcar	Kg
			Biochar de cáscaras de naranja	Masa de cáscaras de naranja	Kg
				Masa de biochar de cáscaras de naranja	Kg
V.D: Efluentes del lavado vehicular	“Son aguas servidas que los establecimientos de limpieza vehicular generan posterior a sus acciones de desengrasamiento, enjuague y espumado de vehículos generales” (Villar García, 2023).	Las propiedades más destacadas de efluentes del lavado vehicular son turbidez, DQO, pH y aceites y grasas. Tales propiedades se evaluarán antes y después de la filtración con los biochar.	Propiedades físicas	Turbidez	UNT
				DQO	mg/L
			Propiedades químicas	pH	Adimensional
				Aceites y grasas	mg/L

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Características de la investigación

Tipo de investigación:

Este estudio fue aplicado, ya que la síntesis de los biochar de bagazo de caña de azúcar y cáscara de naranja se ejecutó con el objetivo de remover contaminantes presentes en los efluentes del lavado vehicular provenientes del local “Fel y Sac”.

Nivel de investigación:

En el presente estudio se utilizó un nivel explicativo porque la variable independiente fue la masa de biochar (bagazo de caña de azúcar y cáscara de naranja) y la variable dependiente fue el efluente del lavado vehicular cuyo pH, aceites y grasas, DQO y turbidez va a modificarse.

Diseño de investigación:

El diseño fue experimental porque durante los ensayos con el biochar de bagazo de caña de azúcar y cáscara de naranja van a variarse las masas (2 kg, 2.5 kg y 3 kg) para verificar el efecto que tendrán sobre la caracterización de efluentes del lavado vehicular generados por el local “Fel y Sac”.

Enfoque de investigación:

Para esta investigación se empleó un enfoque cuantitativo puesto que los parámetros fisicoquímicos de los efluentes del lavado vehicular serán expresados de forma numérica respetando lo normado por los ECA Agua categoría 3.

3.1.2. Tratamientos

Como es mostrado en la tabla 2, se hizo una filtración de 1 L de efluente de lavado de vehículos con 3 masas de biochar de bagazo de caña de azúcar: 2 kg, 2.5 kg y 3 kg. Del mismo modo, también se aplicaron las mismas 3 masas de biochar de cáscara de naranja (2 kg, 2.5 kg y 3 kg) para el tratamiento de los efluentes del lavado de vehículos. El control corresponde a los parámetros de la muestra sin modificaciones experimentales y se trabajaron dos repeticiones por cada filtración.

Tabla 2

Tratamientos experimentales con biochar de bagazo de caña y cáscara de naranja

Tratamiento	Especie vegetal	Variables independientes	Variables dependientes			
		Masa de biochar (kg)	Turbidez (UNT)	pH	DQO (mg/L)	Aceites y grasas (mg/L)
0	Ninguna	0				
BC 1	Bagazo de caña	2				
BC 2	Bagazo de caña	2.5				
BC 3	Bagazo de caña	3				
CN 1	Cáscara de naranja	2				
CN 2	Cáscara de naranja	2.5				
CN 3	Cáscara de naranja	3				

Nota. Elaboración propia.

3.1.3. Conducción del experimento.

Preparación del biochar de bagazo de caña de azúcar

Siguiendo las mismas etapas que el autor Huamán Izquierdo (2023), se recolectaron 15 kg de bagazos de caña de azúcar dentro de una chacra ubicada en el poblado de Irrigación Santa Rosa. Fueron agitados fuertemente los bagazos hasta extraer tierra adherida en su superficie y como complemento se lavaron con agua desionizada.



Figura 7. Acondicionamiento del bagazo de caña de azúcar. Elaboración propia.

Fue retirada la humedad de los bagazos colocándolos en una manta grande de plástico que a su vez se mantuvo expuesta lo máximo posible al calor del sol por un periodo de 5 días.



Figura 8. Secado de bagazo de caña con el sol. Elaboración propia.

En un espacio se armó una base de ladrillos king kong sobre la cual se puso un cilindro pirolítico de volumen mediano.

Se dispuso todo el bagazo seco en el interior del cilindro hasta que se ocupó un 75% de su capacidad.



Figura 9. Introducción del bagazo de caña en el cilindro. Elaboración propia.

El personal se colocó un protector facial y calentó a fuego intenso el cilindro sellado durante 6 horas. Debió verificarse que el cilindro tenga aberturas pequeñas por donde escape el humo. El biochar inerte de bagazo se dejó enfriar dentro del cilindro por 5 horas.



Figura 10. Calentamiento del bagazo de caña. Elaboración propia.



Figura 11. Enfriamiento del biochar de bagazo de caña. Elaboración propia.

Luego, se dejó remojando el biochar de bagazo con zumo de limón en razón 1 g / 0.5 mL respectivamente por 60 minutos. La mezcla se calentó a 380 °C dentro de un horno de cocina por 2 horas.



Figura 12. Mezcla del biochar de bagazo de caña con zumo de limón. Elaboración propia.



Figura 13. Calentamiento de la mezcla. Elaboración propia.

Con agua desionizada se lavó 2 veces el biochar de bagazo químicamente activado para neutralizar su pH y remover remanentes de zumo de limón.



Figura 14. Lavado del biochar. Elaboración propia.

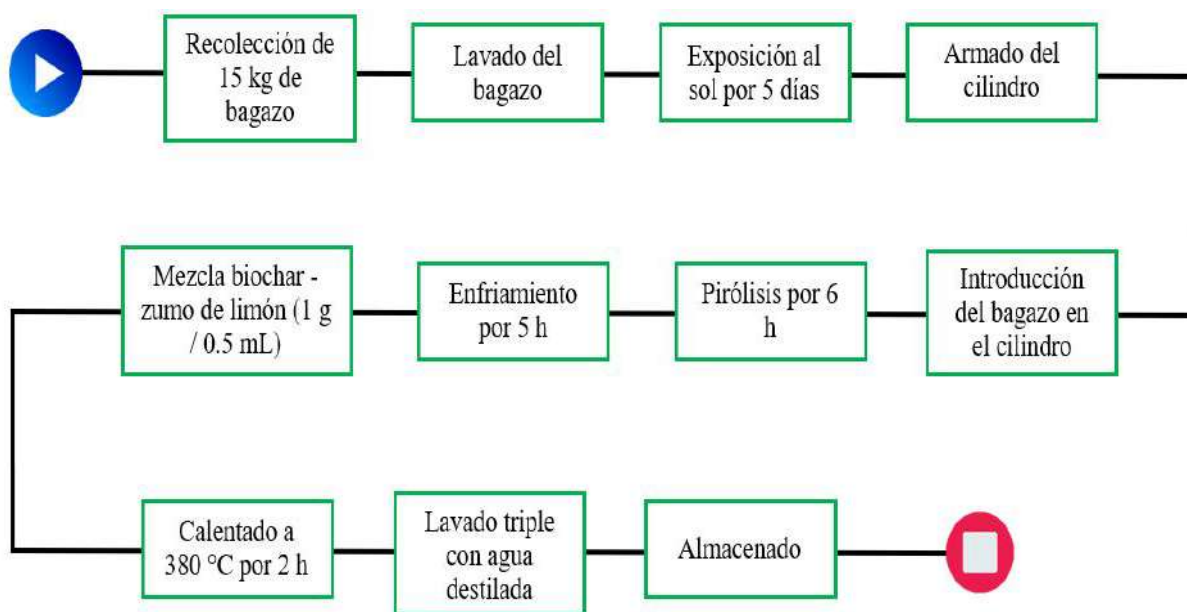


Figura 15. Resumen de elaboración de biochar de bagazo de caña. Elaboración propia.

Preparación del biochar de cáscara de naranja

Siguiendo las mismas etapas que el autor León Cori (2025), se solicitaron cáscaras de naranja a juguerías presentes en el mercado Centenario de Huacho hasta tener una masa cercana a 20 kg. Las cáscaras de naranja recibieron un lavado con agua desionizada. Luego, se aglomeraron las cáscaras en una manta mediana y limpia donde se les hizo un secado simple mediante luz solar durante 7 días.

En un espacio se armó una base de ladrillos king kong sobre la cual fue puesto un cilindro pirolítico de volumen mediano.

Se almacenaron todas las cáscaras secas de naranja en el interior del cilindro pirolítico.



Figura 19. Introducción de cáscaras de naranja en cilindro. Elaboración propia.

Se calentó a fuego intenso el cilindro sellado durante 6 horas. Tuvo que verificarse que el cilindro tuviera aberturas pequeñas por donde escape el humo.



Figura 20. Calentamiento de cáscaras de naranja en cilindro. Elaboración propia.

El biochar a base de cáscara de naranja se dejó enfriar dentro del cilindro por unas 5 horas.



Figura 21. Enfriamiento del biochar de naranja. Elaboración propia.

Después, se dejó remojando el biochar de cáscara de naranja con zumo de limón en razón 1 g / 0.5 mL respectivamente por 60 minutos. La mezcla se calentó a 380 °C dentro de un horno de cocina durante 2 horas con 30 minutos.



Figura 22. Mezcla de biochar de naranja con zumo de limón. Elaboración propia.



Figura 23. Secado del biochar de naranja activado con el zumo. Elaboración propia.

Con agua desionizada se lavó 2 veces el biochar de cáscara de naranja químicamente activado para neutralizar su pH y remover remanentes de zumo de limón.



Figura 24. Lavado del biochar de naranja. Elaboración propia.



Figura 25. Síntesis de preparación de biochar de cáscara de naranja. Elaboración propia.

Procedimiento para obtener las muestras

Días antes del muestreo se establecieron coordinaciones con los encargados del local de lavado de vehículos “Fel y Sac” para solicitar la entrega de 14 litros de sus efluentes.

También se revisó el estado de la indumentaria como mascarilla, guantes, botas, guardapolvo y casco. Además, se compraron 14 envases de plástico (1 L), una nevera, una pizarra pequeña y plumones.



Figura 26. Materiales para el muestreo de los efluentes del local Fel y Sac. Elaboración propia.

Para el día del muestreo, primero se ingresó al local “Fel y Sac” con todos los materiales de monitoreo adquiridos, luego se cogió el borde de la manguera por donde se vierten los efluentes del lavado de vehículos hacia la acequia y cuidadosamente se llenaron los 16 envases boca ancha de plástico con los efluentes.



Figura 27. Llenado de los envases con los efluentes del lavado vehicular. Elaboración propia.

Se anotaron las coordenadas del local “Fel y Sac” en la pizarra.

Se introdujeron las muestras de efluentes del lavado vehicular dentro de la nevera llena con hielo. Dos litros del efluente se transportaron a las instalaciones del laboratorio ALab con sede en el Callao para su análisis inicial, mientras que el volumen restante fue usado para los experimentos con los filtros de biochar de bagazo de caña y cáscara de naranja dentro de un espacio limpio.

Construcción de los filtros y filtrado del efluente de lavado vehicular

Se recolectaron 6 botellones de agua vacíos, en buenas condiciones y con una capacidad individual de 7 litros. El conjunto de filtros se construyó a partir de esos materiales.

Se retiraron los primeros 5 centímetros de la base de cada botellón con una tijera.



Figura 28. Acondicionamiento de los botellones de agua. Elaboración propia.

La sección de la boquilla se cubrió con una lámina delgada de algodón.

Se introdujeron las masas de biochar de bagazo de caña de azúcar de 2 kg, 2.5 kg y 3 kg en 3 botellones diferentes respectivamente.

Se introdujeron las masas de biochar de cáscara de naranja de 2 kg, 2.5 kg y 3 kg en 3 botellones diferentes respectivamente.



Figura 29. Filtros llenos con biochar de naranja y bagazo de caña según tratamientos. Elaboración propia.

A través de una jarra se vertió 1 litro del efluente del lavado vehicular en cada filtro de biochar.

Se dejó que el agua circule dentro del biochar por 30 minutos. Cuando finalizaron los 30

minutos, se destapó la boquilla de los filtros y el efluente tratado fue capturado en frascos de 1 litro.



Figura 30. Introducción del efluente de lavado de vehículos dentro de los biochar. Elaboración propia.

Los experimentos con los biochar de bagazo de caña y cáscara de naranja se volvieron a repetir para asegurar las 2 réplicas por ensayo. Los frascos se almacenaron en un cooler y se llevarán al laboratorio ALab ubicado en el Callao para la determinación de parámetros como turbidez, pH, DQO, aceites y grasas.



Figura 31. Conservación del efluente tratado. Elaboración propia.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

El conjunto de elementos considerados como población para este estudio fue todo el volumen de efluentes que el local “Fel y Sac” genera diariamente durante su actividad de lavado de unidades vehiculares.

3.2.2. Muestra

Para el desarrollo de los experimentos con los filtros de biochar de bagazo de caña y cáscara de naranja se capturaron 12 litros de efluentes que el local “Fel y Sac” genera en horas de la mañana junto a 2 litros adicionales para el análisis base en laboratorio ALab. Ello ha dado una muestra conformada por 14 litros de efluentes de lavado vehicular.

3.3. Técnicas de recolección de datos

Se ha usado la técnica de observación directa a través de la formulación de 3 instrumentos: Registro de caracterización base de efluentes del lavado vehicular, registro de tratamientos con biochar de bagazo de caña y registro de tratamientos con biochar de cáscara de naranja. Los tres registros se sometieron a una revisión por parte de un grupo de docentes con sólidos conocimientos sobre saneamiento, monitoreo de efluentes y evaluación ambiental para asegurar sus validaciones.

3.4. Técnicas para el procesamiento de la información

Primero, se digitalizaron los resultados en una base de datos de SPSS. Luego, para evaluar el cambio en las propiedades fisicoquímicas del efluente del lavado vehicular por acción de las masas biochar de bagazo de caña de azúcar y cáscara de naranja se ha usado un diseño experimental totalmente al azar (DCA). Después, se examinará la normalidad de los datos de pH, turbidez, DQO y aceites y grasas mediante el test de normalidad de Shapiro – Wilk el cual dará dos posibles escenarios: Los datos presentarán distribución normal por lo que se aplicará pruebas ANOVA junto a tukey o los datos presentarán distribución no simétrica por lo que se usarán pruebas como el Kruskal Wallis. Por último, se configuró en el SPSS un nivel de confianza de 95% y la información complementaria se plasmó en tablas y gráficos de barras.

.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

Propiedades del efluente del lavado vehicular antes de su filtración

Las muestras de efluentes de lavado vehicular que han sido recogidas dentro del establecimiento “Fel y Sac” posterior a ser evaluadas dentro del laboratorio ALab presentaron la caracterización mostrada en la tabla 3. Con una turbidez de 427.15 UNT no se pudo realizar una comparación con los ECA Agua Categoría 3 a causa de que el parámetro está ausente en el listado de la norma. Además, el pH fue 8.13 (alcalino) pero no incumplió el rango de los ECA Agua. Por otro lado, con 458.56 mg/L de DQO se identificó un incumplimiento de la ley ya que el máximo de 40 mg/L fue sobrepasado. Finalmente, el parámetro de aceites y grasas tuvo una concentración de 17.38 mg/L por lo que también ha excedido el límite de los 5 mg/L planteados por los ECA Agua Categoría 3.

Tabla 3

Características de los efluentes del lavado vehicular extraídos del local “Fel y Sac”

Características fisicoquímicas	Unidad	Valor	Valor límite permitido por ECA Agua Categoría 3 (D.S N° 004-2017-MINAM)
Turbidez	UNT	427.15	No indicado
pH	Ninguna	8.13	6.5 - 8.5
DQO	mg/L	458.56	< 40 mg/L
Aceites y grasas	mg/L	17.38	< 5 mg/L

Nota. Elaboración propia.

Resultados del filtrado con los biochar

Los resultados de la filtración con los biochar de bagazo de caña y cáscara de naranja han sido anotados en la tabla 4. De las 3 masas de biochar a base de bagazo de caña, el tratamiento óptimo fue “BC 3” ya que la turbidez fue removida en un 96.32 %, la DQO en un 97.54 %, los aceites y grasas en un 87.69 % y el pH se redujo a 8.06. Igualmente, el tratamiento óptimo con el biochar de cáscara de naranja ha sido “CN 3” porque la turbidez fue eliminada en un 98.59 %, la DQO en un 97.03 %, los aceites y grasas en un 93.33 % y el pH fue elevado a 8.22.

Tabla 4

Efluentes del lavado vehicular post filtración con biochar de bagazo y naranja

Ensayo	Masa de biochar (Kg)	Turbidez (UNT)			DQO (mg/L)			pH		Aceites y Grasas (mg/L)		
		Valores	Media	Remoción (%)	Valores	Media	Remoción (%)	Valores	Media	Valores	Media	Remoción (%)
BC 1 - I	2	107.07	107.32	74.87	103.14	103.16	77.50	7.78	8.07	6.32	6.34	63.52
BC 1 - II	2	107.57			103.18			8.36		6.36		
BC 2 - I	2.5	75.09	75.38	82.35	32.28	32.41	92.93	8.04	8.06	3.79	3.82	78.02
BC 2 - II	2.5	75.67			32.54			8.08		3.85		
BC 3 - I	3	15.51	15.72	96.32	11.11	11.26	97.54	8.02	8.06	2.09	2.14	87.69
BC 3 - II	3	15.93			11.41			8.1		2.19		
CN 1 - I	2	62.38	62.43	85.38	208.07	208.09	54.62	8.09	8.17	4.39	4.57	73.70
CN 1 - II	2	62.48			208.11			8.25		4.75		
CN 2 - I	2.5	26.89	27.00	93.68	83.04	83.12	81.87	8.06	8.18	1.55	1.62	90.68
CN 2 - II	2.5	27.11			83.2			8.3		1.69		
CN 3 - I	3	5.99	6.02	98.59	13.53	13.62	97.03	8.17	8.22	1.03	1.16	93.33
CN 3 - II	3	6.05			13.71			8.27		1.29		

Nota. Elaboración propia.

Resultados de los ensayos de normalidad

Como se plasmó en la tabla 5, Shapiro Wilk ejecutada con un nivel de confiabilidad del 95 % dentro de SPSS ha dado las significancias de los parámetros del efluente del lavado vehicular post filtración. En el caso del biochar de bagazo de caña (2 kg, 2.5 kg y 3 kg) los valores de la turbidez tuvieron 0.112 como significancia permitiendo la validación de hipótesis a través de ANOVA. La demanda química de oxígeno (DQO) post filtrado con biochar de bagazo tuvo 0.38 como significancia permitiendo la validación de hipótesis a través de ANOVA. A su vez, tanto el pH como los aceites y grasas presentaron las significancias de 0.53 y 0.173 respectivamente, permitiendo la validación de hipótesis a través de ANOVA.

Respecto al biochar de cáscara de naranja (2 kg, 2.5 kg y 3 kg), los valores de turbidez post filtro tuvieron 0.122 como significancia permitiendo la validación de hipótesis a través de ANOVA. Además, la demanda química de oxígeno (DQO) post filtrado tuvo 0.11 como significancia permitiendo la validación de hipótesis a través de ANOVA. A su vez, tanto el pH como los aceites y grasas que se recolectaron luego del filtrado con el biochar de cáscara de naranja presentaron significancias de 0.43 y 0.36 respectivamente, permitiendo la validación de hipótesis a través de ANOVA.

Tabla 5

Shapiro Wilk para resultados de filtración con biochar de bagazo y naranja

Parámetro	Tipo de biochar	Estadístico	gl	Significancia (p-valor)
Turbidez	Bagazo de caña	0,832	6	0,112
DQO		0,779	6	0,380
pH		0,923	6	0,530
Aceites y grasas		0,855	6	0,173
Turbidez	Cáscara de naranja	0,836	6	0,122
DQO		0,831	6	0,110
pH		0,909	6	0,430
Aceites y grasas		0,777	6	0,360

Nota. Elaboración propia.

4.2. Contrastación de hipótesis

Evaluación de la primera hipótesis específica

H1: El biochar de bagazo de caña de azúcar tuvo un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

H0: El biochar de bagazo de caña de azúcar no tuvo un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

Influencia de la filtración con biochar de bagazo de caña sobre la turbidez de los efluentes del lavado vehicular

Las masas de biochar de bagazo de caña de azúcar se aplicaron en cantidades de 2 kilogramos, 2.5 kilogramos y 3 kilogramos sobre las muestras de efluentes del lavado vehicular. Por eso, para saber si tales masas influyen considerablemente (p valor < 0.05) o no influyen considerablemente (p valor > 0.05) sobre la turbidez fue usado un análisis ANOVA gracias a SPSS V. 25 al 95 % de confianza. Dentro de la tabla 6, se anotó un p valor de 0.000 y, en consecuencia, al ser inferior a 0.05 indica que la turbidez sí se ha visto influenciada por la filtración con biochar de bagazo de caña.

Tabla 6

ANOVA entre masa de biochar de bagazo de caña y turbidez

	Diferencias	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Turbidez	Entre grupos	8646,693	2	4323,346	34006,395	0,000
	Dentro de grupos	0,381	3	0,127		
	Total	8647,074	5			

Nota. Elaboración propia.

La tabla 7 da a entender que tras una evaluación de Tukey se identificó que de las 3 masas de biochar de bagazo de caña empleadas destaca el tratamiento donde se filtraron los efluentes del lavado vehicular con 3 kilogramos, ya que se logró una turbidez de 15.72 UNT (menor valor) posicionada el grupo F 1.

Tabla 7

Tukey para turbidez lograda con el biochar de bagazo de caña

Factor: Masa de biochar de bagazo de caña (Kg)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		F 1	F 2	F 3
3	2	15,72		
2.5	2		75,38	
2	2			107,32

Nota. Elaboración propia.

Previo a la filtración con el biochar de bagazo de caña, el efluente recolectado dentro del establecimiento “Fel y Sac” dedicado a la limpieza de vehículos tenía una turbidez de 427.15 UNT como se ve en la figura 32. Con 2 kilogramos del biochar esa turbidez se ha visto reducida hasta 107.32 UNT siendo removida en un 74.87 %. Al filtrar el mismo efluente con 2.5 kilogramos se obtuvo una turbidez de 75.83 UNT removiéndola en un 82.35 %. Por último, al filtrar con 3 kilogramos del biochar de bagazo de caña se consiguió un efluente con una turbidez de 15.72 UNT y esa fue la remoción más alta (96.32 %).

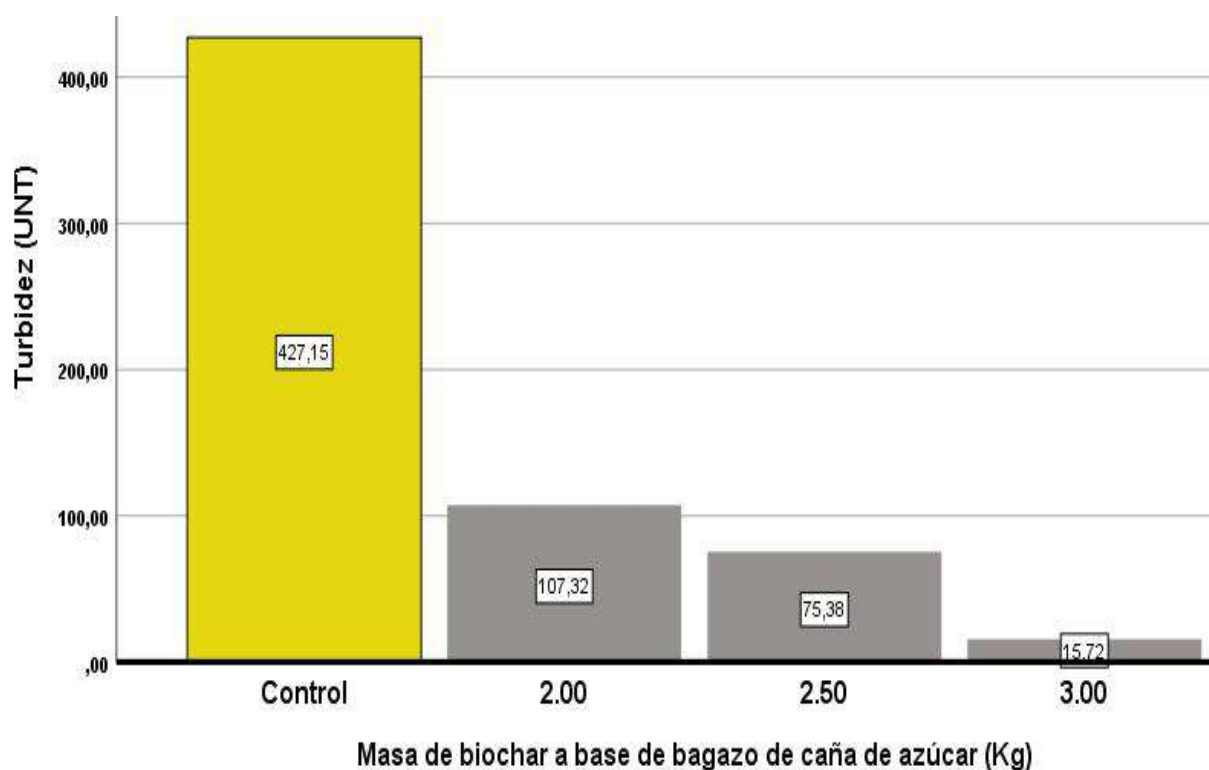


Figura 32. Masa de biochar de bagazo de caña vs turbidez de efluente. Fuente: Propia.

Influencia de la filtración con biochar de bagazo de caña sobre el pH de los efluentes del lavado vehicular

Las masas de biochar de bagazo de caña de azúcar se aplicaron en cantidades de 2 kilogramos, 2.5 kilogramos y 3 kilogramos sobre las muestras de efluentes del lavado vehicular. Por eso, para saber si tales masas influyen considerablemente (p valor < 0.05) o no influyen considerablemente (p valor > 0.05) sobre el pH fue usado un análisis ANOVA gracias a SPSS V. 25 al 95 % de confianza. Dentro de la tabla 8, se anotó un p valor de 0.999 y, en consecuencia, al ser mayor a 0.05 indica que el pH no se ha visto influenciado por la filtración con biochar de bagazo de caña.

Tabla 8

ANOVA entre biochar de bagazo de caña y pH

	Diferencias	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	0,000	2	0,000	0,001	0,999
	Dentro de grupos	0,172	3	0,057		
	Total	0,172	5			

Nota. Elaboración propia.

Previo a la filtración con el biochar de bagazo de caña, el efluente recolectado dentro del establecimiento “Fel y Sac” dedicado a la limpieza de vehículos tenía un potencial de hidrógeno (pH) alcalino de 8.13 como se ve en la figura 33. Con 2 kilogramos del biochar tal pH se ha visto reducido hasta 8.07. Al filtrar el mismo efluente con 2.5 kilogramos se obtuvo un pH aún menor de 8.06. Por último, al filtrar con 3 kilogramos del biochar de bagazo de caña, el efluente presentó pH de 8.06 igual que el tratamiento anterior.

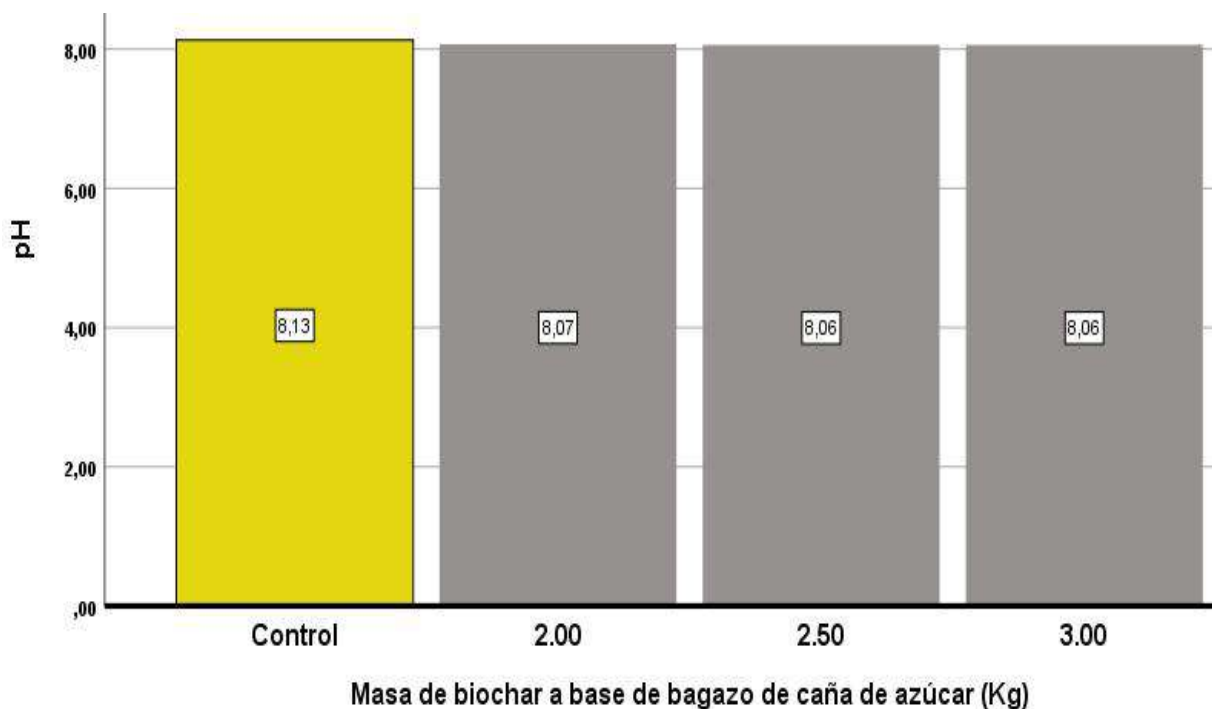


Figura 33. Masa de biochar de bagazo de caña vs pH de efluente. Fuente: Propia.

Influencia de la filtración con biochar de bagazo de caña sobre la DQO de los efluentes del lavado vehicular

Las masas de biochar de bagazo de caña de azúcar se aplicaron en cantidades de 2 kilogramos, 2.5 kilogramos y 3 kilogramos sobre las muestras de efluentes del lavado vehicular. Por eso, para saber si tales masas influyen considerablemente (p valor < 0.05) o no influyen considerablemente (p valor > 0.05) sobre la demanda química de oxígeno (DQO) fue usado un análisis ANOVA gracias a SPSS V. 25 al 95 % de confianza. Dentro de la tabla 9, se anotó un p valor de 0.000 y, en consecuencia, al ser menor a 0.05 indica que la DQO sí se ha visto influenciada por la filtración con biochar de bagazo de caña.

Tabla 9

ANOVA entre biochar de bagazo de caña y DQO

	Diferencias	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DQO	Entre grupos	9265,663	2	4632,832	174604,209	0,000
	Dentro de grupos	0,080	3	0,027		
	Total	9265,743	5			

Nota. Elaboración propia.

La tabla 10 da a entender que tras una evaluación de Tukey se identificó que de las 3 masas de biochar de bagazo de caña empleadas destaca el tratamiento donde se filtraron los efluentes del lavado vehicular con 3 kilogramos, ya que se logró una DQO de 11.26 mg/L (menor valor) posicionada en el grupo F 1.

Tabla 10

Tukey para DQO lograda con el biochar de bagazo de caña

Factor: Masa de		Subconjunto para alfa = 0.05		
biochar de bagazo de	N	F 1	F 2	F 3
caña (Kg)				
3	2	11,26		
2.5	2		32,41	
2	2			103,16

Nota. Elaboración propia.

Previo a la filtración con el biochar de bagazo de caña, el efluente recolectado dentro del establecimiento “Fel y Sac” dedicado a la limpieza de vehículos tenía una demanda química de oxígeno (DQO) de 458.56 mg/L como se ve en la figura 34. Con 2 kilogramos del biochar esa DQO se ha visto reducida hasta 103.16 mg/L siendo removida en un 77.5 %. Al filtrar el mismo efluente con 2.5 kilogramos se obtuvo una DQO de 32.41 mg/L removiéndola en un 92.93 %. Por último, al filtrar con 3 kilogramos del biochar de bagazo de caña se consiguió un efluente con una DQO de 11.26 mg/L y esa fue la remoción más alta (97.54 %).

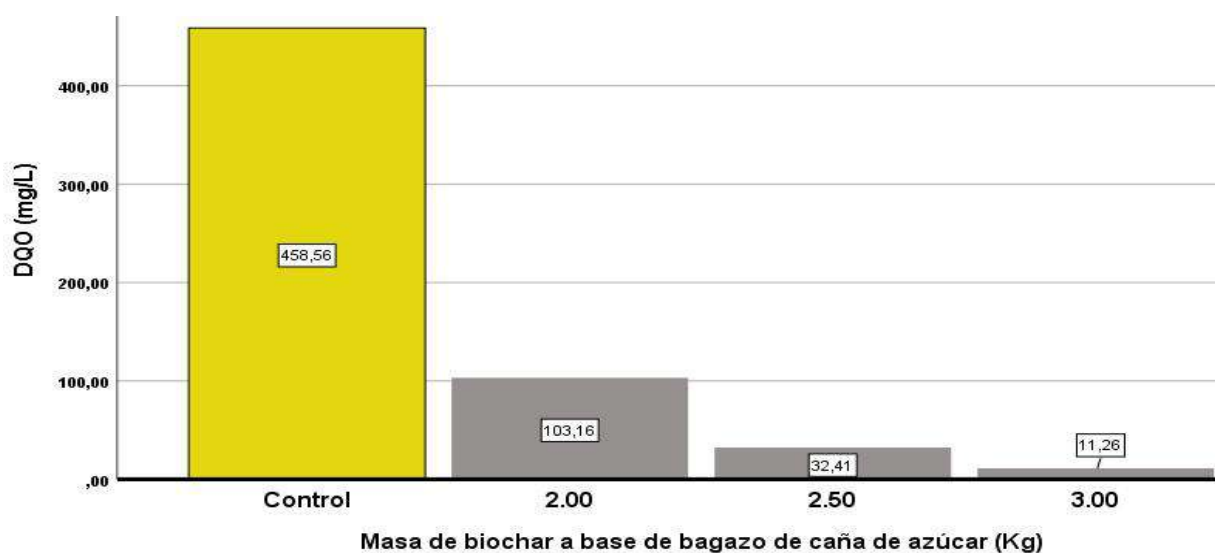


Figura 34. Masa de biochar de bagazo de caña vs DQO. Fuente: Propia.

Influencia de la filtración con biochar de bagazo de caña sobre aceites y grasas de los efluentes del lavado vehicular

Las masas de biochar de bagazo de caña de azúcar se aplicaron en cantidades de 2 kilogramos, 2.5 kilogramos y 3 kilogramos sobre las muestras de efluentes del lavado vehicular. Por eso, para saber si tales masas influyen considerablemente (p valor < 0.05) o no influyen considerablemente (p valor > 0.05) sobre los aceites y grasas (A y G) fue usado un análisis ANOVA gracias a SPSS V. 25 al 95 % de confianza. Dentro de la tabla 11, se anotó un p valor de 0.000 y, en consecuencia, al ser menor a 0.05 indica que los A y G sí se han visto influenciados por la filtración con biochar de bagazo de caña.

Tabla 11

ANOVA entre biochar de bagazo de caña y aceites y grasas

	Diferencias	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aceites y grasas	Entre grupos	17,875	2	8,938	3528,000	0,000
	Dentro de grupos	0,008	3	0,003		
	Total	17,883	5			

Nota. Elaboración propia.

La tabla 12 da a entender que tras una evaluación de Tukey se identificó que de las 3 masas de biochar de bagazo de caña empleadas destaca el tratamiento donde se filtraron los efluentes del lavado vehicular con 3 kilogramos, ya que se logró una concentración de aceites y grasas de 2.14 mg/L (menor valor) posicionada el grupo F 1.

Tabla 12

Tukey para aceites y grasas logrados con el biochar de bagazo de caña

Factor: Masa de biochar de bagazo de caña (Kg)		Subconjunto para alfa = 0.05		
	N	F 1	F 2	F 3
3	2	2,14		
2.5	2		3,82	
2	2			6,34

Nota. Elaboración propia.

Previo a la filtración con el biochar de bagazo de caña de azúcar, el efluente recolectado dentro del establecimiento “Fel y Sac” dedicado a la limpieza de vehículos tenía una concentración de aceites y grasas (A y G) de 17.38 mg/L como se ve en la figura 35. Con 2 kilogramos del biochar los aceites y grasas se han visto reducidos hasta 6.34 mg/L siendo removidos en un 63.52 %. Al filtrar el mismo efluente con 2.5 kilogramos se obtuvo un nivel de aceites y grasas de 3.82 mg/L removiéndolos en un 78.02 %. Por último, al filtrar con 3 kilogramos del biochar de bagazo de caña se consiguió un efluente con 2.14 mg/L de aceites y grasas y esa fue la remoción más alta (87.69%).

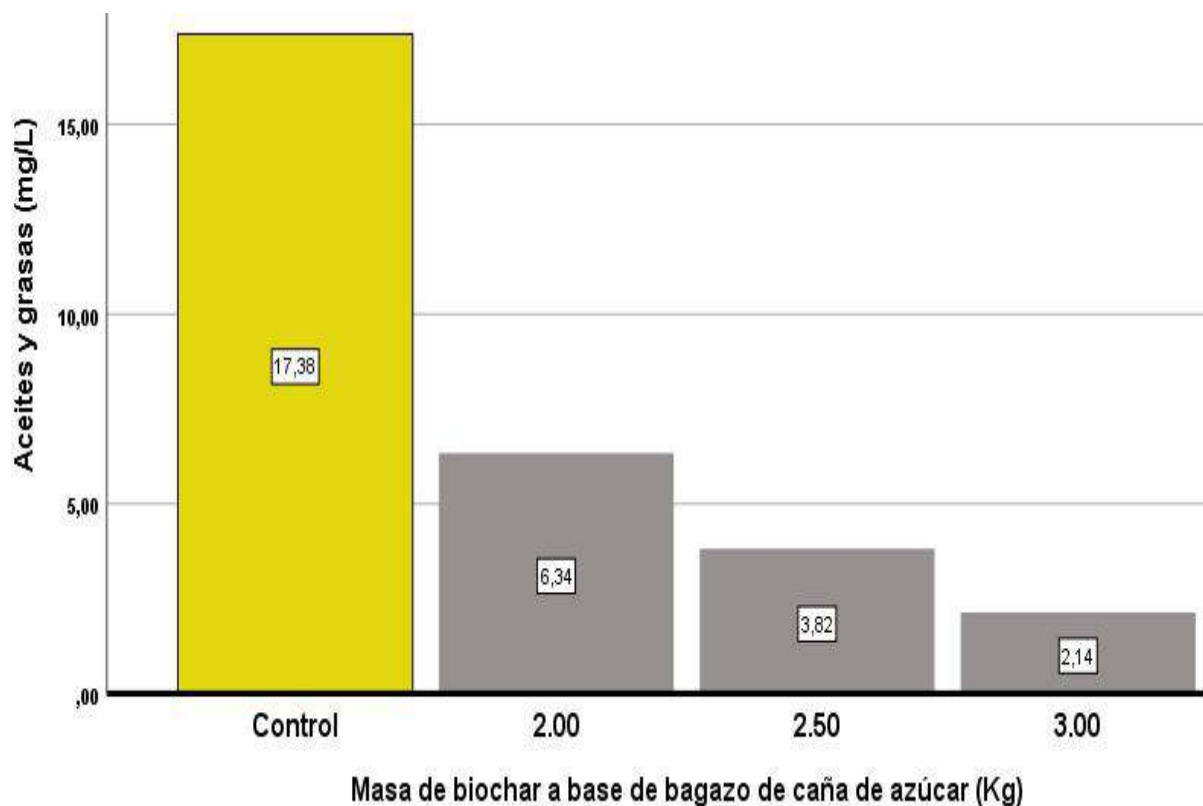


Figura 35. Masa de biochar de bagazo de caña vs aceites y grasas. Fuente: Propia.

Se acepta la hipótesis alterna (H1) porque el biochar de bagazo de caña de azúcar tuvo un efecto significativo en la mayoría de los parámetros pertenecientes a los efluentes del lavado vehicular como lo han sido: Turbidez, DQO y aceites y grasas.

Evaluación de la segunda hipótesis específica

H1: El biochar de cáscara de naranja tuvo un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

Ho: El biochar de cáscara de naranja no tuvo un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

Influencia de la filtración con biochar de cáscara de naranja sobre la turbidez de los efluentes del lavado vehicular

Las masas de biochar de bagazo de cáscara de naranja se aplicaron en cantidades de 2 kilogramos, 2.5 kilogramos y 3 kilogramos sobre las muestras de efluentes del lavado vehicular. Por eso, para saber si tales masas influyen considerablemente ($p \text{ valor} < 0.05$) o no influyen considerablemente ($p \text{ valor} > 0.05$) sobre la turbidez fue usado un análisis ANOVA gracias a SPSS V. 25 al 95 % de confianza. Dentro de la tabla 13, se anotó un p valor de 0.000 y, en consecuencia, al ser inferior a 0.05 indica que la turbidez sí se ha visto influenciada por la filtración con el biochar.

Tabla 13

ANOVA entre masa de biochar de cáscara de naranja y turbidez

	Diferencias	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Turbidez	Entre grupos	3251,689	2	1625,844	157339,787	0,000
	Dentro de grupos	,031	3	0,010		
	Total	3251,720	5			

Nota. Elaboración propia.

La tabla 14 da a entender que tras una evaluación de Tukey se identificó que de las 3 masas de biochar de cáscara de naranja empleadas destaca el tratamiento donde se filtraron los efluentes del lavado vehicular con 3 kilogramos, ya que se logró una turbidez de 6.02 UNT (menor valor) posicionada en el grupo F 1.

Tabla 14

Tukey para turbidez lograda con el biochar de cáscara de naranja

Factor: Masa de biochar de cáscara de naranja (Kg)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		F 1	F 2	F 3
3	2	6,02		
2.5	2		27	
2	2			62,43

Nota. Elaboración propia.

Previo a la filtración con el biochar de cáscara de naranja, el efluente recolectado dentro del establecimiento “Fel y Sac” dedicado a la limpieza de vehículos tenía una turbidez de 427.15 UNT. Con 2 kilogramos del biochar esa turbidez se ha visto reducida hasta 62.43 UNT siendo removida en un 85.38 % como se ve en la figura 36. Al filtrar el mismo efluente con 2.5 kilogramos se obtuvo una turbidez de 27 UNT removiéndola en un 93.68 %. Por último, al filtrar con 3 kilogramos del biochar de cáscara de naranja se consiguió un efluente con una turbidez de 6.02 UNT y esa fue la remoción más alta (98.59 %).

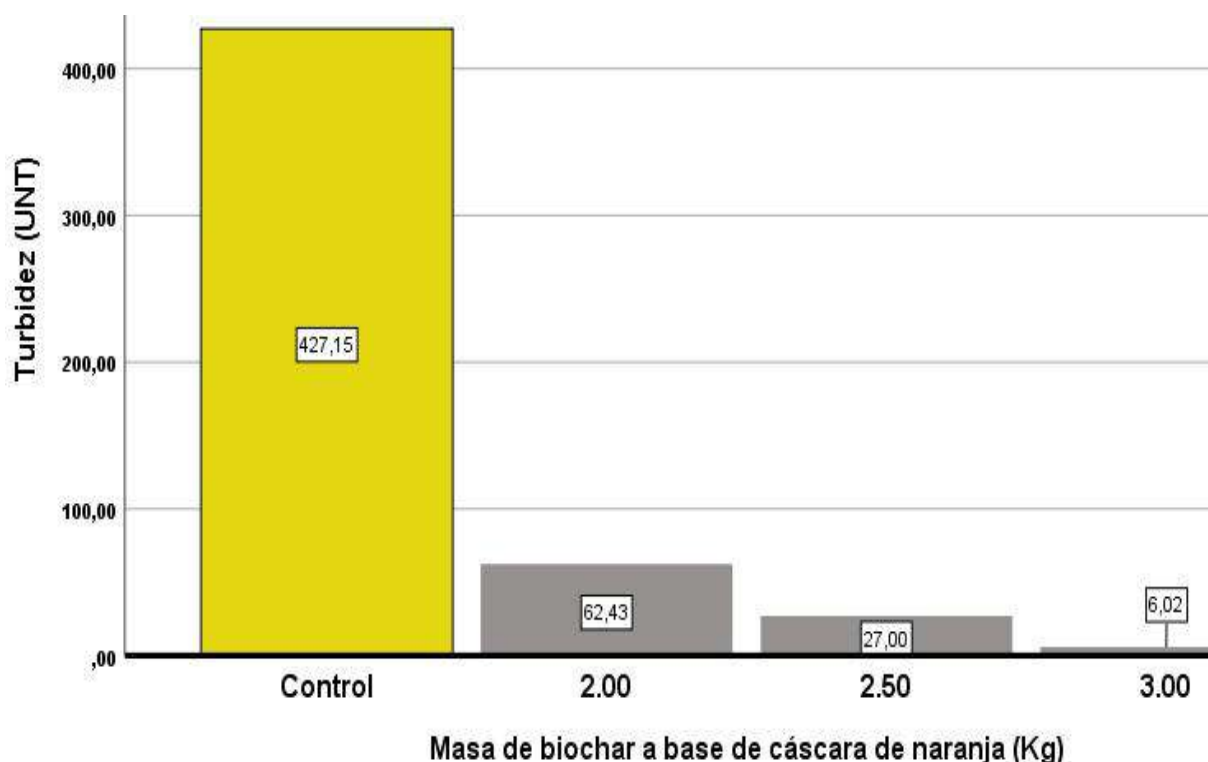


Figura 36. Masa de biochar de cáscara de naranja vs turbidez del efluente. Fuente: Propia.

Influencia de la filtración con biochar de cáscara de naranja sobre el pH de los efluentes del lavado vehicular

Las masas de biochar de bagazo de cáscara de naranja se aplicaron en cantidades de 2 kilogramos, 2.5 kilogramos y 3 kilogramos sobre las muestras de efluentes del lavado vehicular. Por eso, para saber si tales masas influyen considerablemente (p valor < 0.05) o no influyen considerablemente (p valor > 0.05) sobre la turbidez fue usado un análisis ANOVA gracias a SPSS V. 25 al 95 % de confianza. Dentro de la tabla 15, se anotó un p valor de 0.916 y, en consecuencia, al ser mayor a 0.05 indica que el pH sí se ha visto influenciada por la filtración con el biochar.

Tabla 15

ANOVA entre biochar de cáscara de naranja y pH

	Diferencias	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	0,003	2	0,001	0,090	0,916
	Dentro de grupos	0,047	3	0,016		
	Total	0,049	5			

Nota. Elaboración propia.

Previo a la filtración con el biochar de cáscara de naranja, el efluente recolectado dentro del establecimiento “Fel y Sac” dedicado a la limpieza de vehículos tenía un potencial de hidrógeno (pH) alcalino de 8.13 como se ve en la figura 37. Con 2 kilogramos del biochar tal pH fue elevado hasta 8.17. Al filtrar el mismo efluente con 2.5 kilogramos se obtuvo un pH ligeramente mayor de 8.18. Por último, al filtrar con 3 kilogramos del biochar de cáscara de naranja el efluente presentó pH de 8.22.

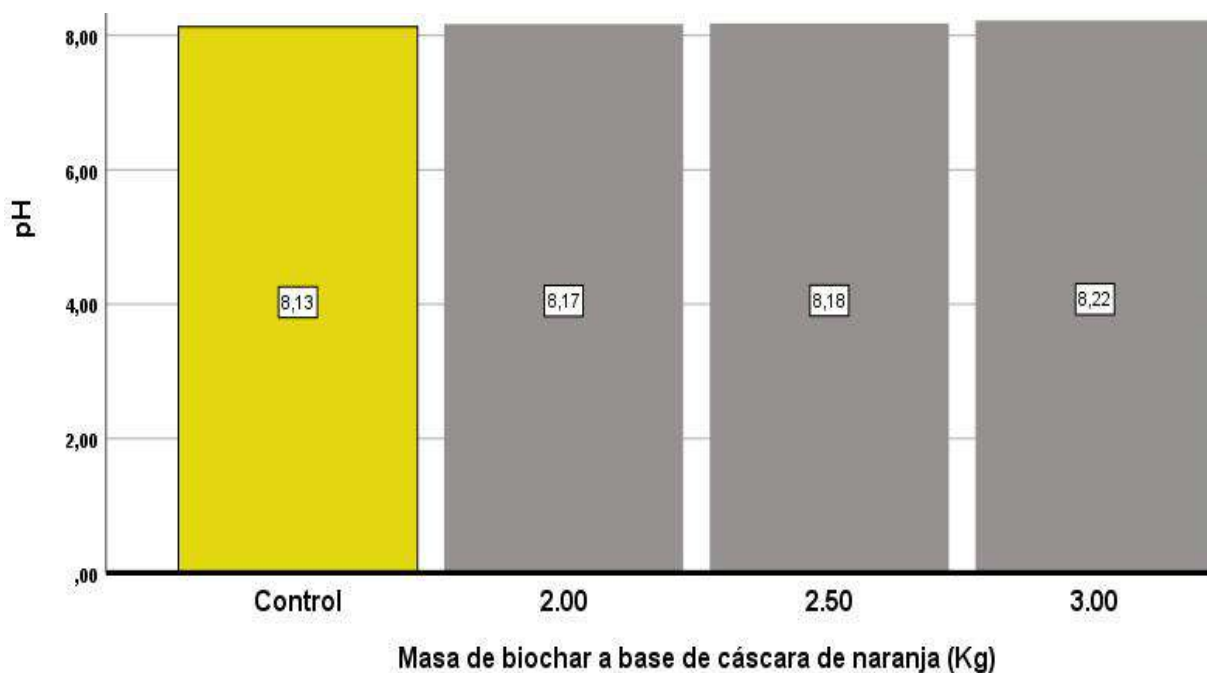


Figura 37. Masa de biochar de cáscara de naranja vs pH del efluente. Fuente: Propia.

Influencia de la filtración con biochar de cáscara de naranja sobre la DQO de los efluentes del lavado vehicular

Las masas de biochar de bagazo de cáscara de naranja se aplicaron en cantidades de 2 kilogramos, 2.5 kilogramos y 3 kilogramos sobre las muestras de efluentes del lavado vehicular. Por eso, para saber si tales masas influyen considerablemente (p valor < 0.05) o no influyen considerablemente (p valor > 0.05) sobre la DQO fue usado un análisis ANOVA gracias a SPSS V. 25 al 95 % de confianza. Dentro de la tabla 16, se anotó un p valor de 0.000 y, en consecuencia, al ser inferior a 0.05 indica que la DQO sí se ha visto influenciada por la filtración con el biochar.

Tabla 16

ANOVA entre biochar de cáscara de naranja y DQO

	Diferencias	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DQO	Entre grupos	38844,221	2	19422,111	1955246,034	0,000
	Dentro de grupos	,030	3	0,010		
	Total	38844,251	5			

Nota. Elaboración propia.

La tabla 17 da a entender que tras una evaluación de Tukey se identificó que de las 3 masas de biochar de cáscara de naranja empleadas destaca el tratamiento donde se filtraron los efluentes del lavado vehicular con 3 kilogramos, ya que se logró una DQO de 13.62 mg/L (menor valor) posicionada el grupo F 1.

Tabla 17

Tukey para DQO lograda con el biochar de cáscara de naranja

Masa de biochar de cáscara de naranja (Kg)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		F 1	F 2	F 3
3	2	13,62		
2.5	2		83,12	
2	2			208,09

Nota. Elaboración propia.

Previo a la filtración con el biochar de cáscara de naranja, el efluente recolectado dentro del establecimiento “Fel y Sac” dedicado a la limpieza de vehículos tenía una demanda química de oxígeno (DQO) de 458.56 mg/L como se ve en la figura 38. Con 2 kilogramos del biochar esa DQO se ha visto reducida hasta 208.09 mg/L siendo removida en un 54.62 %. Al filtrar el mismo efluente con 2.5 kilogramos se obtuvo una DQO de 83.12 mg/L removiéndola en un 81.87 %. Por último, al filtrar con 3 kilogramos del biochar de cáscara de naranja se consiguió un efluente con una DQO de 13.62 mg/L y esa fue la remoción más alta (97.03 %).

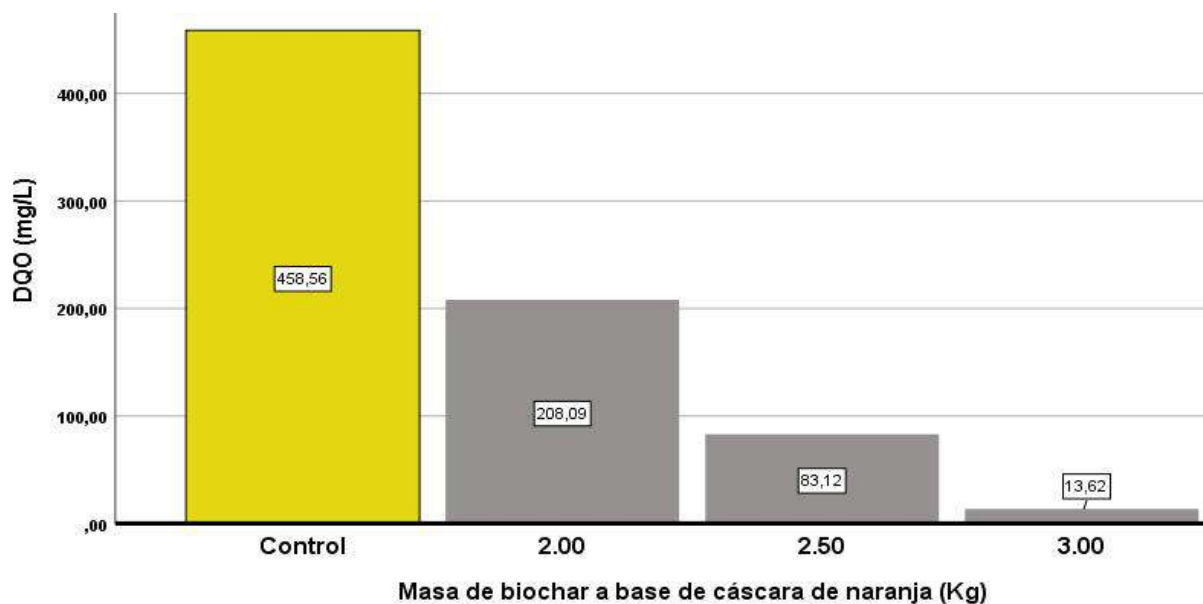


Figura 38. Masa de biochar de cáscara de naranja vs DQO del efluente. Fuente: Propia.

Influencia de la filtración con biochar de cáscara de naranja sobre aceites y grasas de los efluentes del lavado vehicular

Las masas de biochar de cáscara de naranja se aplicaron en cantidades de 2 kilogramos, 2.5 kilogramos y 3 kilogramos sobre las muestras de efluentes del lavado vehicular. Por eso, para saber si tales masas influyen considerablemente (p valor < 0.05) o no influyen considerablemente (p valor > 0.05) sobre los aceites y grasas (A y G) fue usado un análisis ANOVA gracias a SPSS V. 25 al 95 % de confianza. Dentro de la tabla 18, se anotó un p valor de 0.001 y, en consecuencia, al ser menor a 0.05 indica que los A y G sí se han visto influenciados por la filtración con el biochar.

Tabla 18

ANOVA entre biochar de cáscara de naranja y aceites y grasas

	Diferencias	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aceites y grasas	Entre grupos	13,695	2	6,847	189,504	0,001
	Dentro de grupos	0,108	3	0,036		
	Total	13,803	5			

Nota. Elaboración propia.

La tabla 19 da a entender que tras una evaluación de Tukey se identificó que de las 3 masas de biochar de cáscara de naranja empleadas destacan los tratamientos donde se filtraron los efluentes del lavado vehicular con 2.5 y 3 kilogramos, ya que se lograron concentraciones de aceites y grasas de 1.62 mg/L y 1.16 mg/L (menor valor) posicionándose en el grupo F 1.

Tabla 19

Tukey para aceites y grasas logrados con el biochar de cáscara de naranja

Factor: Masa de biochar de cáscara de naranja (Kg)		Subconjunto para alfa = 0.05	
	N	F 1	F 2
3	2	1,1600	
2.5	2	1,6200	
2	2		4,5700

Nota. Elaboración propia.

Previo a la filtración con el biochar de bagazo de cáscara de naranja, el efluente recolectado dentro del establecimiento “Fel y Sac” dedicado a la limpieza de vehículos tenía una concentración de aceites y grasas (A y G) de 17.38 mg/L como se ve en la figura 39. Con 2 kilogramos del biochar los aceites y grasas se han visto reducidos hasta 4.57 mg/L siendo removidos en un 73.70 %. Al filtrar el mismo efluente con 2.5 kilogramos se obtuvo un nivel de aceites y grasas de 1.62 mg/L removiéndolos en un 90.68 %. Por último, al filtrar con 3 kilogramos del biochar de cáscara de naranja se consiguió un efluente con 1.16 mg/L de aceites y grasas y esa fue la remoción más alta (93.33 %).

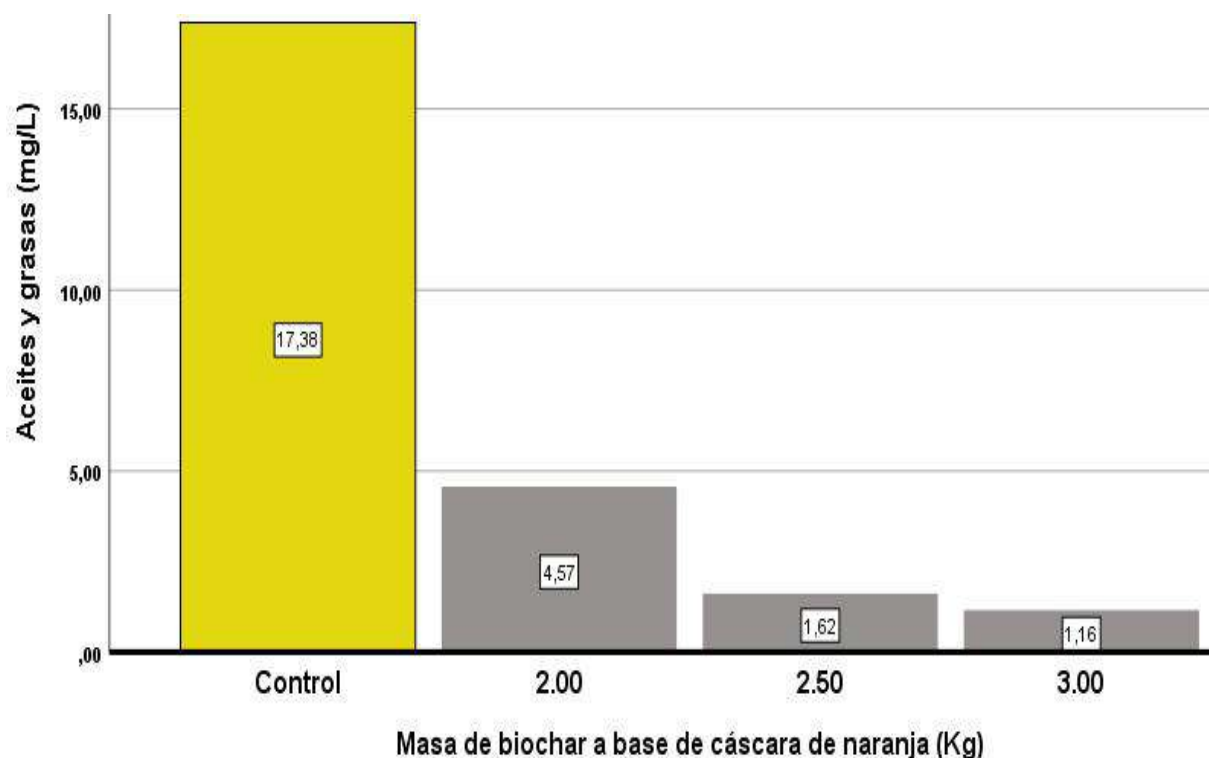


Figura 39. Masa de biochar de cáscara de naranja vs aceites y grasas del efluente. Fuente: Propia.

Contrastación de la hipótesis general

H1: Ambos biochar tuvieron un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

Ho: Ambos biochar no tuvieron un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas del efluente de lavado vehicular durante el año 2026.

Según las pruebas Tukey, para el caso del biochar a base de bagazo de caña de azúcar la masa que ha dado las mejores remociones de turbidez, DQO, aceites y grasas fue la de 3 kilogramos

como se ve en la tabla 20. Mientras que, en el caso del biochar a base de cáscaras de naranja la masa de 3 kg también ofreció elevadas reducciones de turbidez, DQO y aceites y grasas.

Tabla 20

Evaluación de los resultados obtenidos con 3 kilogramos de cada biochar

Masa de biochar (Kg)	Turbidez (UNT)	Turbidez en ECA Agua	pH	pH en ECA Agua	DQO. (uS/cm)	DQO en ECA Agua	A y G (mg/L)	A y G en ECA Agua
	<i>Valor medio</i>	<i>Valor límite</i>	<i>Valor medio</i>	<i>Valor límite</i>	<i>Valor medio</i>	<i>Valor límite</i>	<i>Valor medio</i>	<i>Valor límite</i>
Bagazo de caña (3 Kg)	15.72	No hay	8.06	6.5 a 8.5	11.26	< 40 mg/L	2.14	< 5 mg/L
Cáscaras de naranja (3 Kg)	6.02	No hay	8.22	6.5 a 8.5	13.62	< 40 mg/L	1.16	< 5 mg/L

Nota. Elaboración propia.

Con 3 kilogramos de biochar de bagazo de caña se consiguió una turbidez de 15.72 UNT mientras que una masa igual del biochar de cáscara de naranja redujo la turbidez a 6.02 UNT por lo que el segundo producto eliminó en mayor medida ese parámetro. Además, 3 kilogramos de biochar de bagazo de caña consiguieron una DQO de 11.26 mg/L mientras que una masa igual del biochar de cáscara de naranja ha dado una DQO mayor que fue 13.62 mg/L por lo que el primer producto eliminó en mayor medida el parámetro y ambos respetaron los ECA Agua Categoría 3. Continuando, 3 kilogramos de biochar de bagazo de caña modificaron el pH del efluente hasta 8.06 mientras que una masa igual del biochar de cáscara de naranja ha dado un pH mayor que fue 8.22 por lo que el primer producto redujo en mayor medida el parámetro, aunque ambos valores respetaron los ECA Agua Categoría 3. Finalmente, el nivel de aceites y grasas bajó a 2.14 mg/L gracias al biochar de bagazo de caña (3 kilogramos) pero con una igual masa de biochar a base de cáscara de naranja los aceites y grasas se eliminaron hasta 1.16 mg/L y los dos valores cumplieron los ECA Agua Categoría 3. Ante ello, se aceptó la hipótesis alterna (H1) porque los dos biochar han afectado significativamente las propiedades fisicoquímicas de los efluentes del local “Fel y Sac” encargado del lavado de vehículos.

CAPITULO V. DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

Biochar de bagazo de caña de azúcar

El investigador Morales et al. (2022) aplicó la filtración con una capa de 25 milímetros de biochar de bagazo de caña sobre efluentes del lavado vehicular de 228 UNT de turbidez inicial y logró bajar el parámetro hasta 2.8 UNT representando una eliminación del 98.7 % siendo un porcentaje cercano al 96.32 % de remoción de turbidez que 3 kilogramos de nuestro biochar de bagazo pudieron brindar.

Con 3 kilogramos de nuestro biochar de bagazo de caña se ha conseguido eliminar en un 97.54 % la DQO inicial de 458.56 mg/L perteneciente a los efluentes del local de lavado de vehículos “Fel y Sac” y esa remoción ha sido mayor a la conseguida por Morales et al. (2022) quien notificó que su filtro compuesto por 25 mm del mismo tipo de biochar redujo en un 51.4 % la DQO inicial de su muestra que era 2147 mg/L.

Los autores Perez y Maquera (2024) reportaron que el filtrado de sus muestras con 5 kilogramos de biochar de bagazo de caña permitió que la turbidez inicial (146.3 UNT) fuese reducida en un 33.49 % quedando un agua con turbidez de 97.3 UNT. Tal remoción ha sido menor al 82.35 % de reducción de turbidez que la mitad de esa masa, es decir, 2.5 kilogramos, ha brindado tras realizar la filtración de las muestras con nuestro biochar de bagazo de caña.

Perez y Maquera (2024) han reportado que el pH de 5.95 correspondiente a los efluentes de lavado vehicular con los que trabajaron ha sufrido un incremento hasta 6.46 luego de filtrarlos dentro de 5 kilogramos de biochar de bagazo de caña de azúcar, pero un efecto opuesto ha sido hallado en nuestro estudio debido a que con la masa de biochar más alta utilizada, que fue 3 kilogramos, se ha reducido el pH de las muestras (8.13) hasta 8.06.

Los investigadores Portugal y Sosa (2023) mencionaron que tras utilizar un filtro con 4 kilogramos de biochar de bagazo de caña la turbidez inicial (0.52 UNT) de sus muestras de agua de pozo ha sufrido un aumento hasta 4.66 UNT, mientras que un fenómeno contrario fue identificado en esta investigación puesto que en los 3 tratamientos con nuestro biochar se removió la turbidez en un 74.87 %, 82.35 % y 96.32 % respectivamente.

Por otra parte, Portugal y Sosa (2023) señalaron que su muestra de agua de pozo tenía al inicio un pH de 8.6 pero el valor se redujo a 8.5 cuando se hizo una filtración con 4 kilogramos de biochar de bagazo de caña de azúcar. En nuestro estudio también existieron reducciones de pH

ya que al usar 2 kilogramos de biochar, que vendría siendo la mitad de la masa que los anteriores autores usaron, el pH inicial (8.13) del efluente del local “Fel y Sac” bajó a 8.07.

Biochar de cáscara de naranja

Cabrini et al. (2025) reportaron que la máxima eliminación (47.65 %) de la turbidez presente en su efluente agroindustrial fue lograda por un filtro lleno con una capa de 34 centímetros de biochar de cáscara de naranja, pero ese valor de remoción fue considerablemente menor al 98.59 % otorgado por 3 kilogramos del mismo tipo de biochar elaborado para este estudio.

Con nuestro biochar a base de cáscara de naranja se lograron incrementos del pH de 8.13 perteneciente al efluente del local “Fel y Sac” hasta 8.17, 8.18 y 8.22 luego de utilizar masas de 2, 2.5 y 3 kilogramos del producto y una tendencia semejante fue registrada por Cabrini et al. (2025) quienes indicaron que el pH de su muestra (7.62) aumentó hasta 8.92, 9.28 y 9.16 posterior a la filtración con capas de 30 cm, 34 cm y 38 cm del biochar que han elaborado.

Cámara Llanos (2025) indicó que una masa de 600 gramos (más baja) de su biochar de cáscara de naranja remueve en un 72.53 % la turbidez presente en sus muestras de efluentes extraídos de una procesadora de arrozillo, pero ha tenido un rendimiento menor a nuestra masa de 2 kilogramos de la misma clase de biochar ya que esta removió en un 85.38 % la turbidez inicial (427.15 UNT) hallada en los efluentes del lavado vehicular.

Cámara Llanos (2025) ha notificado que el pH de 6.65 correspondiente a los efluentes de una procesadora de arrozillo con los que trabajaron ha tenido un incremento hasta 7.28 y 7.51 por acción de las masas de biochar de cáscara de naranja de 600 gramos y 900 gramos respectivamente. De igual forma, nuestras masas de 2, 2.5 y 3 kilogramos del mismo tipo de biochar hicieron que el pH de las muestras (8.13) suba hasta 8.17, 8.18 y 8.22 de manera respectiva.

Cedeño y Ayón (2024) indicaron que posterior a filtrar efluentes de matadero con 3 masas de biochar de cáscara de naranja (120 gramos, 360 gramos y 600 gramos) se obtuvieron remociones de turbidez de 6.58 %, 13.48 % y 18.08 % respectivamente teniendo en general rendimientos bajos a comparación de nuestras masas de 2, 2.5 y 3 kilogramos de biochar las cuales permitieron quitar la turbidez de los efluentes del lavado vehicular en un 85.38 %, 93.68 % y 98.59 %.

Los investigadores Kalengyo et al. (2024) aplicaron un tratamiento donde por cada litro de efluente textil aplicaron 1.2 gramos de un biochar de cáscara de naranja y así removieron la

turbidez inicial en un 84.7 %. Tal rendimiento se acercó al 85.38 % de minimización de turbidez inicial (427.15 UNT) logrado por 2 kilogramos de nuestro biochar donde el agua filtrada tuvo 62.43 UNT.

Asimismo, el investigador León Cori (2025) determinó que el pH de 5.13 correspondiente a su muestra de agua residual extraída en el poblado Huancamina fue elevado hasta 6.08 tras ser tratada con 2 kilogramos de biochar de cáscara de naranja. Un incremento del parámetro también se ha dado en el presente trabajo porque nuestra masa de 2 kilogramos del biochar hizo que el pH inicial de 8.13 suba hasta 8.17.

A través de la aplicación de 3 kilogramos de nuestro biochar de cáscara de naranja la DQO inicial (458.56 mg/L) del efluente del local “Fel y Sac” fue removida en un 97.03 %, mientras que el autor León Cori (2025) quien ha usado una masa igual, tan solo consiguió reducir en un 27.74 % la DQO de 26.32 mg/L correspondiente a su muestra de agua residual recolectada en el centro poblado Huancamina.

El investigador Chavez Chamaya (2022) quien filtró unos efluentes de PTAR con 2.5 kilogramos de biochar de cáscara de naranja, pudo quitar en un 48 % la DQO inicial. Sin embargo, en nuestro trabajo se identificó que la misma masa del producto permitió una eliminación de DQO del 81.87 %.

Chavez Chamaya (2022) reportó que una eliminación del 37 % de la turbidez presente en su muestra fue lograda por un filtro lleno con 2.5 kilogramos de biochar de cáscara de naranja, pero ese nivel de reducción fue bastante menor al 93.68 % conseguido por 2.5 kilogramos del mismo tipo de biochar elaborado para esta investigación.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Tanto el biochar de bagazo de caña de azúcar como el de cáscara de naranja tuvieron un efecto significativo sobre la turbidez, DQO, aceites y grasas y pH de los efluentes del lavado vehicular. Los filtros que usaron 3 kilogramos de cada biochar permitieron que las propiedades fisicoquímicas del efluente se ajustaran a lo pedido por los ECA Agua Categoría 3.
- Las masas de 2, 2.5 y 3 kilogramos del biochar de bagazo de caña de azúcar tuvieron un efecto significativo sobre la turbidez, DQO, aceites y grasas y pH de los efluentes del lavado vehicular. En específico, el tratamiento con 3 kilogramos hizo que las propiedades fisicoquímicas del efluente respetaran lo pedido por los ECA Agua Categoría 3.
- Las masas de 2, 2.5 y 3 kilogramos de cáscara de naranja tuvieron un efecto significativo sobre la turbidez, DQO, aceites y grasas y pH de los efluentes del lavado vehicular. En específico, el tratamiento con 3 kilogramos hizo que las propiedades fisicoquímicas del efluente respetaran lo pedido por los ECA Agua Categoría 3.

6.2. Recomendaciones

- Para los muestreos de efluentes de lavado vehicular se le debería consultar al dueño del local respecto al horario en el que existe mayor presencia de clientela, ya que es un factor ligado al volumen de efluentes que se podrían recolectar.
- Podría usarse un agente activador diferente al jugo de limón y evaluar la eficiencia de los biochar de bagazo de caña y cáscara de naranja activados con el mismo.
- Asegurarse de que los envases de plástico se mantengan sellados durante la etapa de transporte para así prevenir lecturas erróneas de turbidez, DQO, pH y aceites y grasas.
- Es necesario seguir analizando la efectividad descontaminante del biochar a base de bagazo de caña, ya que hasta el momento existen pocos antecedentes.
- Se recomienda al encargado del local “Fel y Sac” que realice la filtración de los efluentes de lavado vehicular con las masas más eficientes de biochar de bagazo de caña y cáscaras de naranja vistas en este trabajo.

- Ambos biochar podrían combinarse con medios de filtración convencionales como la arena o piedra caliza y analizar su eficiencia relacionada a la remoción de turbidez, DQO y aceites y grasas.
- A la municipalidad provincial de Huaura se le recomienda practicar la valorización material de las cáscaras de naranja para volverlas a biochar por la vía de pirólisis.
- A los agricultores que trabajan en los campos de caña de azúcar se les recomienda transformar sus residuos de bagazo de caña de azúcar en biochar ya que es un material que está ganando notoriedad en el rubro del tratamiento de efluentes y también en los hogares puesto que controla malos olores.

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abonamos. (13 de Marzo de 2021). *FICHA TÉCNICA PARA CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR*. Obtenido de Abonamos: <https://www.abonamos.com/cana-de-azucar>
- Cabrini, M. P., Bastos, R. G., & Fonseca Souza, C. (2025). Open-access Biochar from orange waste as a filter medium for domestic effluent treatment aimed at agricultural reuse. *Revista Ambiente y Agua*, 2(1), 50-62. Obtenido de <https://doi.org/10.4136/ambiente-agua.3024>
- Cal Herrera, J. A. (2023). *Aplicación de la Bioenergía en el ámbito industrial: Una visión práctica. Valoración energética de biomasa residual bajo modelos de bioeconomía circular*. Barcelona: Ediciones Díaz de Santos. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=E3nwEAAQBAJ&pg=PA140&dq=biochar+agua&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&source=gb_mobile_search&sa=X&ved=2ahUKEwiNyfPF172RAxUCuZUCHYo_Ov8Q6AF6BAgNEAM#v=onepage&q=biochar%20agua&f=false
- Cámara Llanos, F. E. (2025). *Efecto de un filtro a base de carbón activado granular de caña de azúcar (saccharum officinarum) sobre la calidad del agua potable en el centro poblado de Casha, Huánuco-2022 [Tesis para optar título, Univ. de Huánuco]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/5936>
- Cedeño Llor, R. O., & Ayón Hidalgo, C. C. (2024). Reducción de color y turbidez en aguas residuales del camal municipal de Manta, mediante biofiltración con cáscara de coco (cocos nucifera) y cascarilla de arroz (oryza sativa), enero 2020. *Revista De Ciencias Del Mar y Acuicultura YAKU*, 3(6), 21–37. Obtenido de <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/yaku/article/view/77>
- Chavez Chamaya, E. (2022). *Empleo de filtros de carbón activado de endocarpio de coco y cascarilla de arroz para el tratamiento de aguas residuales [Tesis para optar título profesional, Univ. Toribio Rodriguez de Mendoza]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2960>
- Compacta Saneamiento. (19 de Febrero de 2025). *Cómo funciona una PTAR de Efluentes para Lavado de Vehículos*. Obtenido de Saneamiento:

<https://compactasaneamiento.cl/planta-de-tratamiento-de-efluentes-para-lavado-de-vehiculos/>

- Cuerda López, S. (2006). *Técnico Especialista en Radiodiagnostics Del Servicio Gallego de Salud.volumen I.temario Materias Especificas Ebook*. Madrid: MAD-Eduforma. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=viEduuyTk4C&pg=PA43&dq=saneamiento+concepto&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&source=gb_mobile_search&sa=X&ved=2ahUKEwjouMLKkp2RAxXBK7kGHSzwLI4Q6AF6BAgIEAM#v=onepage&q=saneamiento%20concepto&f=false
- Dávila, L. Z. (13 de Mayo de 2025). *Piura: Científicos desarrollan método para generar energía limpia con bagazo de caña*. Obtenido de Andina: <https://andina.pe/agencia/noticia-piura-cientificos-desarrollan-metodo-para-generar-energia-limpia-bagazo-cana-939874.aspx>
- Delgado, V., & Reicher, O. (29 de Enero de 2025). *Prohibido Lavar Autos en la Calle: Una Norma Olvidada con Potencial Ambiental*. Obtenido de DOE: <https://actualidadjuridica.doe.cl/prohibido-lavar-autos-en-la-calle-una-norma-olvidada-con-potencial-ambiental/>
- García, H., & Toscano, A. (2022). *Guia Tecnologica Para El Manejo Integral Del Sistema Productivo de la Cana Panelera*. Barcelona: Corpoica. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=HavGX8wguv4C&pg=PA14&dq=ca%C3%B1a+de+azucar+morfologia&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&source=gb_mobile_search&sa=X&ved=2ahUKEwid6bOAm72RAxX5r5UCHYJdCHwQ6AF6BAgHEAM#v=onepage&q=ca%C3%B1a%20de%20azucar%20morfologia&f=false
- Huamán Izquierdo, J. J. (2023). *Propuesta de un sistema de tratamiento de agua residual para un lavadero de vehículos, Bagua – Amazonas [Tesis para optar título, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3147>
- INEGI. (2008). *Análisis a nivel nacional de la producción de caña de azúcar*. Bogotá: INEGI. Obtenido de

https://books.google.com.pe/books?id=BYSwDgAAQBAJ&pg=PA4&dq=origen+ca%C3%B1a+de+azucar&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&source=gb_mobile_search&sa=X&ved=2ahUKEwiK6Kn-tcCRAxV3j5UCHWW2L74Q6AF6BAgJEAM#v=onepage&q=origen%20ca%C3%B1a%20de%20azucar&f=false

- Iturralde Jácome, X. A., & Hernández Escobar, A. A. (2022). Biofiltración de aguas residuales de industrias arroceras de San Jacinto de Yaguachi, Ecuador mediante cascarilla de arroz. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5(1), 271. doi:<https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e271>
- Kalengyo, R., Ibrahim, M., & Fujii, M. (2024). Utilización de biomasa de residuos de cáscara de naranja en el tratamiento de aguas residuales textiles y su reciclabilidad para la producción dual de biogás y biocarbón: un enfoque tecnoeconómico sostenible. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(1), 19875–1988. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-023-04111-1>
- León Cori, I. M. (2025). *Efectividad del biofiltro de la cáscara de Citrus sinensis sobre la calidad de agua contaminada por plomo en la localidad de Huancamina - 2024 [Tesis para optar título, Univ. de Huánuco]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/6112>
- Llanes Cedeño, E. A., & Leguisamo Milla, J. (30 de Junio de 2021). ¿Cuál es la realidad de los autolavados con respecto a la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental? *Journal of engineering*, 3(7), 1 - 12. doi:<https://doi.org/10.53734/esci.vol3.id205>
- Morales Fiallos, F., Maldonado Narváez, L., Nuñez Aldás, G., & Paredes Cabezas, G. (2022). Filtro con elementos de bagazo de caña de azúcar para el tratamiento de aguas residuales de lavadoras de autos en la ciudad de Ambato, Ecuador. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 13(5), 365-395. doi:<https://doi.org/10.24850/j-tyca-13-05-10>
- Moreno Piraján, J. C. (2025). *Fundamentos de adsorción aplicados a la eliminación de compuestos tóxicos presentes en solución acuosa*. Barcelona: Universidad de los Andes. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=-093EQAAQBAJ&pg=PA82&dq=acido+fosforico+activante&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&source=gb_mobile_search&sa=X&ved=2ahUKEw

iN8sunkJ2RAXX3vJUCHdaXKeoQ6AF6BAGOEAM#v=onepage&q=acido%20fosforico%20activante&f=false

- Perez Mamani, C. G., & Maquera Chambilla, C. F. (2024). Tratamiento de aguas grises automotrices con lechos filtrantes de cáscara de maíz y bagazo. *Scienceevolution*, 4(12), 170–180. doi:<https://doi.org/10.61325/ser.v4i12.140>
- Portugal Yagua, J. A., & Sosa Gomez, L. M. (2023). *Eficacia del filtro con carbón activado a base del bagazo de la caña de azúcar para la mejora de las características organolépticas del agua en la poza de la Asociación de Villa Hidropónica a nivel laboratorio. Arequipa 2022 [Tesis para optar título, UTP]*. Repositorio institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/6940>
- Quispe, J. H., Otoya Zelada, A. M., & Evangelista Benites, G. D. (2024). *Problemas ambientales y de salud pública. El papel de los filtros de carbón activado en la protección de cuerpos de agua*. Barcelona: Religacion Press. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=yN8aEQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=carbon+activado+granular&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&source=gb_mobile_search&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=carbon%20activado%20granular&f=false
- Red de Compostaje. (2014). *Enmiendas orgánicas de nueva generación: biochar y otras biomoléculas III.8*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=JBINBQAAQBAJ&pg=PA81&dq=biochar+agua&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&source=gb_mobile_search&sa=X&ved=2ahUKEwiNyfPF172RAXUCuZUCHYo_Ov8Q6AF6BAGGEAM#v=onepage&q=biochar%20agua&f=false
- Sánchez Bravo, A. (2007). *Ciudades, medioambiente y sostenibilidad*. Madrid: ArCiBel Editores. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=bw-Rm2mafdEC&pg=PT257&dq=pir%C3%B3lisis&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&source=gb_mobile_search&sa=X&ved=2ahUKEwiMx52GkJ2RAXXnr5UCHc-fNKYQ6AF6BAGLEAM#v=onepage&q=pir%C3%B3lisis&f=false

- Sreedharan, V., Bhatnagar, A., & Vithanage, M. (2024). *Enmiendas de biocarbón para la remediación ambiental*. El Cairo: Prensa CRC. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=7xksEQAAQBAJ&pg=PA7&dq=biochar+chemical+activation&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&source=gb_mobile_search&sa=X&ved=2ahUKEwjOoY6omb2RAxW2ppUCHU2XNfsQ6AF6BAgHEAM#v=onepage&q=biochar%20chemical%20activation&f=false
- Starr, K. (11 de Febrero de 2023). *Morfología y anatomía de la caña de azúcar*. Obtenido de Paleontological Research Institute: <https://evolution.earthathome.org/grasses/andropogoneae/sugarcane-morphology/>
- Subirós Ruiz, F. (2004). *Cultivo de la Caña de Azúcar*. Madrid: EUNED. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=2wpClj2AmkAC&pg=PA19&dq=ca%C3%B1a+de+azucar+morfologia&hl=es-419&newbks=1&newbks_redir=0&source=gb_mobile_search&sa=X&ved=2ahUKEwid6bOAm72RAxX5r5UCHYJdCHwQ6AF6BAgPEAM#v=onepage&q=ca%C3%B1a%20de%20azucar%20morfologia&f=false
- Valles Ramírez, A. K. (2009). *Comparativo del rendimiento y calidad de nuevos cultivares de Caña de Azúcar (Saccharum officinarum) en la Estación Experimental Agraria “El Porvenir” – Juan Guerra [Tesis para optar título, Universidad Nacional de San Martín]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11458/1173>
- Vargas Fonseca, E. (29 de Octubre de 2018). *Del problema a la solución: las naranjas lo tienen todo*. Obtenido de UNED: <https://www.uned.ac.cr/ecologiaurbana/notas-informativas/640-del-problema-a-la-solucion-las-naranjas-lo-tienen-todo>
- Villar García, J. (20 de Agosto de 2023). *Diagnóstico Económico del Lavado de Autos en Perú - Proyecto 2023*. Obtenido de Cibertec: <https://www.studocu.com/pe/document/cibertec/fundamentos-de-gestion-empresarial/borrador-diagnostico-informacion-de-proyecto/103109076>
- Zuta Dávila, L. (13 de Mayo de 2023). *Científicos desarrollan método para generar energía limpia con bagazo de caña*. Obtenido de Andina: <https://andina.pe/agencia/noticia-piura-cientificos-desarrollan-metodo-para-generar-energia-limpia-bagazo-cana-939874.aspx>

ANEXOS

 UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN			REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN BASE DE EFLUENTES DEL LAVADO VEHICULAR				Código: USCH-RCLV-001 Versión: 001	
Provincia:		Huaura	Distrito:		Huacho	DNI:		77676110
Realizador del muestreo:		Jose Rodolfo Canchari Rodriguez				Fecha:		05-03-2026
Tipo de agua residual:		Efluente del lavado vehicular						
Número de muestra:	Hora de muestreo:	Material del frasco:	Turbidez (UNT)	DQO (mg/L)	pH	Aceites y grasas (mg/L)	Coordenadas UTM:	
							Zona:	18 S
							Este	Norte
1	10:00 am	Plástico	427.15	458.56	8.13	17.38	216791.03	8769711.75
Características del lugar de muestreo:			La clientela empieza a aparecer desde las 9 de la mañana. Los efluentes son vertidos a un canal de regadío.					

Figura 40. Instrumento 1: Registro de caracterización base de efluentes del lavado vehicular. Fuente: Propia.

 UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN		REGISTRO DE TRATAMIENTOS CON BIOCHAR DE BAGAZO DE CAÑA		Código: USCH-RPLT-001 Versión: 001	
Responsable del experimento:		Jose Rodolfo Canchari Rodríguez Yaelin Yajaira Collazos Jara		Coordenadas UTM:	Este216791.03 Norte8769711.75
Fecha:	08-03-2026	Hora de inicio:	8:00 am	Hora de culminación:	18 00 pm
Parámetros:	Tratamientos				
	CONTROL	BC 1	BC 2	BC 3	
DQO (mg/L)	458.56	103.14 103.18	32.28 32.54	11.11 11.41	
pH	8.13	7.78 8.36	8.04 8.08	8.02 8.1	
Aceites y grasas (mg/L)	17.38	6.32 6.36	3.79 3.85	2.09 2.19	
Turbidez (UNT)	427.15	107.07 107.57	75.09 75.67	15.51 15.93	

Figura 41. Instrumento 2: Registro de tratamientos con biochar de bagazo de caña. Fuente: Propia.

 UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN		REGISTRO DE TRATAMIENTOS CON BIOCHAR DE CÁSCARA DE NARANJA		Código: USCH-RPLT-001	
				Versión: 001	
Responsable del experimento:	Jose Rodolfo Canchari Rodríguez Yoselin Yasaira Collazos Jara			Coordenadas UTM:	Este 216 791.03 Norte 8769711.75
Fecha:	08-03-2026	Hora de inicio:	8:00 am	Hora de culminación:	1800 Pm
Parámetros:	Tratamientos				
	CONTROL	CN 1	CN 2	CN 3	
DQO (mg/L)	458.56	208.07 208.11	83.04 83.2	13.53 13.71	
pH	8.13	8.09 8.25	8.06 8.3	8.17 8.27	
Aceites y grasas (mg/L)	17.38	4.39 4.75	1.55 1.69	1.03 1.29	
Turbidez (UNT)	427.15	62.38 62.48	26.89 27.11	5.99 6.05	

Figura 42. Instrumento 3: Registro de tratamientos con biochar de cáscara de naranja. Fuente: Propia.

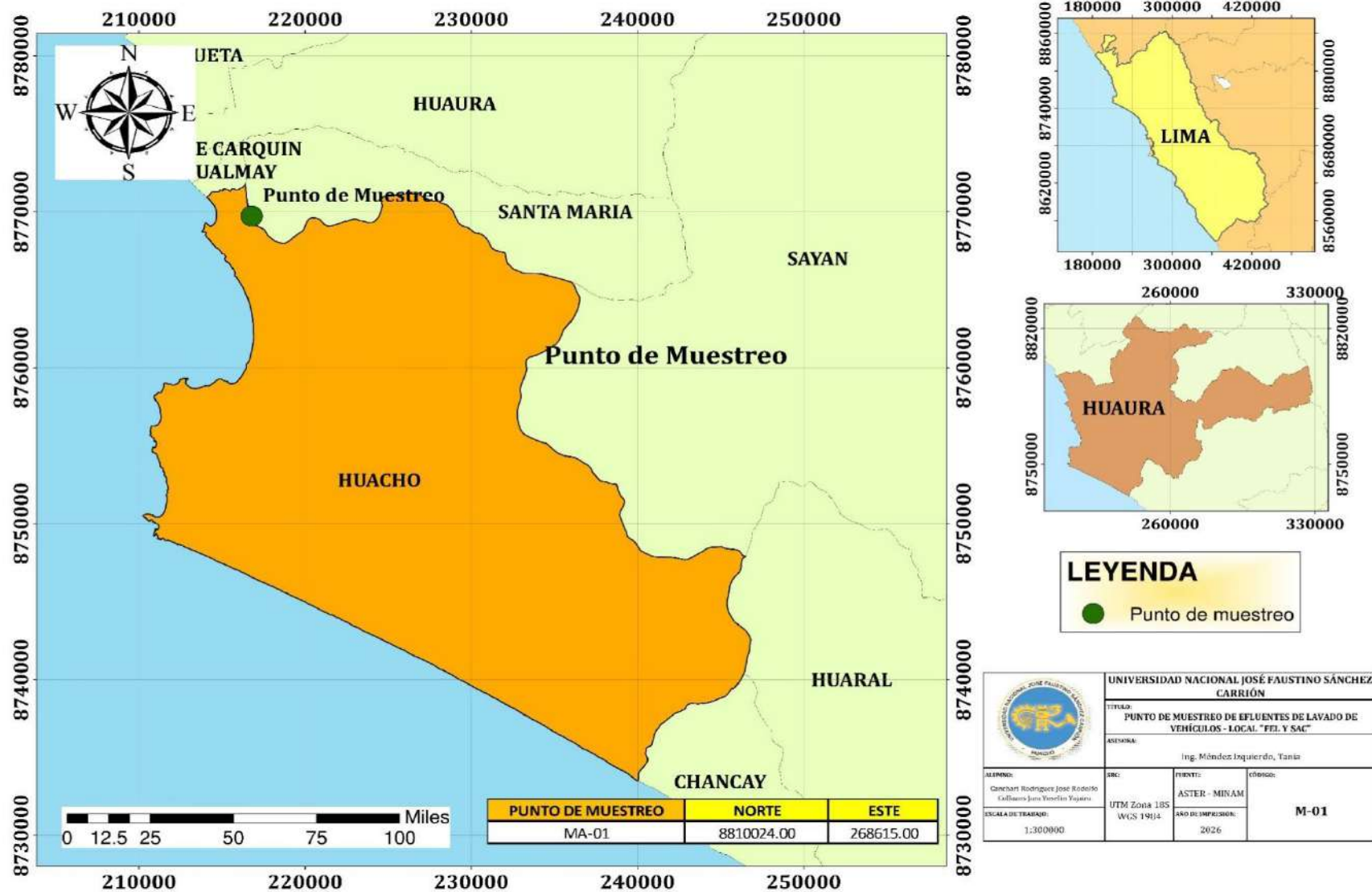


Figura 43. Mapa de la zona de muestreo de efluentes del lavado vehicular. Elaboración propia.