

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS EN EFLUENTES DE
POLLERÍA POR EFECTO DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN CON
TUSA DE *Zea mays L.* (Maíz morado) A ESCALA DE LABORATORIO.**

Tesis

para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

VELA SANDOVAL MAYLI ANDREA

Asesor:

Ing. M.Sc. PAREDES SALAZAR JOSÉ LUIS

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°104-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 10 de julio de 2024, a horas 8:00 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS EN EFLUENTES DE POLLERÍA POR EFECTO DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN CON TUSA DE *Zea mays L.* (Maíz morado) A ESCALA DE LABORATORIO”


Presentado por el Bachiller: **VELA SANDOVAL, MAYLI ANDREA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“EXCELENTE”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 21 de octubre de 2024


Ing. MSc. **FRANKLIN DIONISIO MONTALVO**
PRESIDENTE


Ing. MSc. **SANDRA L. ZAVALA GUERRERO**
MIEMBRO


Ing. MSc. **ABBY S. DA CRUZ RODRIGUEZ**
MIEMBRO




Ing. MSc. **JOSE LUIS PAREDES SALAZAR**
ASESOR



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 353 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS EN EFLUENTES DE POLLERÍA POR EFECTO DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN CON TUSA DE Zea mays L. (Maíz morado) A ESCALA DE LABORATORIO.	VELA SANDOVAL MAYLI ANDREA	13 % Trece

Tingo María, 05 de diciembre de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Menacho Malqui
JEFE
C.C. Archivo

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISTA

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos Generales de Pregrado

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Facultad	:	Facultad de Recursos Naturales Renovables.
Título de tesis	:	Eficiencia de remoción de aceites y grasas en efluentes de pollería por efecto del diseño de un sistema de filtración con tusa de <i>Zea mays L.</i> (Maíz morado) a escala de laboratorio.
Autor	:	Vela Sandoval, Mayli Andrea.
Asesor de tesis	:	Paredes Salazar, José Luis.
Escuela Profesional	:	Ingeniería Ambiental.
Programa de investigación	:	Ciencia y Tecnología Ambientales.
Línea(s) de investigación	:	Tecnologías para reducir la contaminación.
Eje Temático	:	Reducción de la contaminación ambiental.
Lugar de ejecución	:	Tingo María, Huánuco.
Duración	:	Inicio : Abril 2023 Término : Abril 2024
Financiamiento	:	FEDU : S/0.00 Propio : S/ 3,658.50 Otros : S/.0.00

Tingo María, Perú, diciembre 2024.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mayli Andrea Vela Sandoval'.

Mayli Andrea Vela Sandoval

Tesista

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'José Luis Paredes Salazar'.

José Luis Paredes Salazar

Asesor

DEDICATORIA

A Dios, por sus bendiciones y por brindarme sabiduría, salud y fortaleza a lo largo de mi vida para superar los obstáculos presentados, por permitirme seguir adelante en mi formación académica y para continuar cada día con mis metas.

*A mis amados padres, **Juber Armando Vela Navarro** y **Estela Sandoval Salcedo**. Quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba, sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar.*

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater la **Universidad Nacional Agraria de la Selva** y a la **Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental** por la formación profesional que me brindó mediante sus docentes, personal de laboratorio y administrativos.

A mi asesor de tesis, el **Ing. M. Sc. José Luis Paredes Salazar** por sus recomendaciones, consejos, apoyo brindado y orientación con su conocimientos para el desarrollo de esta investigación.

A los miembros de jurado de tesis: **Ing. M. Sc. Franklin Dionisio Montalvo, Ing. M. Sc. Sandra Lorena Zavala Guerrero** y la **Ing. M. Sc. Abby Solange Da Cruz Rodriguez**; por contribuir en mi formación profesional y por sus sugerencias para la elaboración del presente trabajo de investigación

A toda mi familia, mi prima **Karen Tipismana**, mis tías **Juana Sandoval** y **Elena Lopez**, mis tíos **Arturo Cárdenas, Abelardo Tipismana, Diego Sandoval, Daniel Dávila**, por su apoyo incondicional y moral cada vez que lo necesitaba.

A **Romario Beltran Cruz Espinoza**, una persona muy importante para mi, especial, incondicional y con un gran corazón, por su complicidad y apoyo incondicional en todo momento. Gracias por el tiempo, la paciencia, los consejos, las risas y el cariño.

A mis mascotas **Tikki** y **Luana**, mis fieles compañeras, por su compañía en los momentos de estudio sin importar la hora y su amor incondicional .

ÍNDICE GENERAL

	Página
I.INTRODUCCIÓN	1
1.1.Objetivos	2
1.1.1.Objetivo General	2
1.1.2.Objetivos Específicos	2
II.REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.Antecedentes	3
2.2.Marco teórico	4
2.2.1.Aceites y Grasas	4
2.2.2.Aguas residuales comerciales	5
2.2.3.Valores Máximos Admisibles en aguas residuales comerciales.....	5
2.2.4.Tecnología para remoción de aceites y grasas.....	6
2.2.5.Aprovechamiento de los residuos del tratamiento de aguas residuales con aceites y grasas.	6
2.2.6.La filtración	6
2.2.7.La tusa del Zea Mays (Maíz): Descripción y Aprovechamiento.....	8
III.MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1.Lugar de ejecución	11
3.1.1.Ubicación de la zona de estudio	11
3.1.2.Clima.....	11
3.2.Materiales y métodos	11
3.2.1.Materiales y equipos	11
3.3.Metodología	12
3.3.1.Determinación del efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente de pollería y la posición del filtro de tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado)..	12

3.3.2.Determinación del efecto del diseño del sistema de filtración en función al volumen del medio filtrante y la posición del filtro de tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado).....	16
3.3.3.Determinación de las eficiencias de remoción de aceites y grasas en un efluente de pollería con un filtro de tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado), por efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente, y el diseño del sistema de filtración en función a la posición y volumen de un medio filtrante a escala de laboratorio	18
3.4.Criterios de estudio	18
3.4.1.Nivel de investigación	18
3.4.2.Tipo de investigación.....	18
3.4.3.Diseño de investigación.....	19
3.4.4.Variables de investigación.....	19
3.4.5.Análisis estadístico	21
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1.Determinación del efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente de pollería y la posición del filtro de tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado).....	22
4.2.Determinación del efecto del diseño del sistema de filtración en función al volumen del medio filtrante y la posición del filtro de tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado) ...	26
4.3.Determinación de las eficiencias de remoción de aceites y grasas en un efluente de pollería con un filtro de tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado), por efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente, y el diseño del sistema de filtración en función a la posición y volumen de un medio filtrante a escala de laboratorio.	28
4.4.Resultados del análisis estadístico	31
V.CONCLUSIONES	32
VI.PROPUUESTAS A FUTURO	33
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	35
VIII.ANEXOS	38
8.1.Datos experimentales de la investigación	38

8.2.Análisis estadístico de los resultados de la investigación con el software Infostat.....	44
8.3.Imágenes de la investigación	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1.Composición de la mazorca de <i>Z.mayz</i>	9
2.VARIABLES de investigación	19
3.Niveles para los factores de la investigación	20
4.Matriz de diseño de la investigación.....	20
5.Características fisicoquímicas básicas del efluente de la investigación	22
6.Concentración final de aceites y grasas del efluente de pollería después de la filtración vertical y horizontal con diferentes concentraciones iniciales de aceites y grasas.....	24
7.Eficiencia de remoción de aceites y grasas por efecto del tipo de filtro.....	24
8.Concentración final de aceites y grasas del efluente de pollería después de la filtración vertical y horizontal con diferentes volúmenes de lecho filtrante	26
9.Eficiencia de remoción de aceites y grasas del efluente de pollería después de la filtración vertical y horizontal con diferentes volúmenes de lecho filtrante.....	26
10.Eficiencia de remoción de aceites y grasas en un efluente de pollería con un filtro de tusa de <i>Zea mays</i> L. (maíz morado), por efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente, y el diseño del sistema de filtración en función a la posición y volumen del medio filtrante	30
11.Características fisicoquímicas básicas de las muestras de efluente de pollería para la investigación	38
12.Concentración final de aceites y grasas del efluente de pollería después de la filtración vertical y horizontal.	39
13.Concentración final de aceites y grasas del efluente de pollería después de la filtración vertical y horizontal, con diferente volumen de lecho filtrante	40
14.Concentración final de aceites y grasas del efluente de pollería por efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente, y el diseño del sistema de filtración en función a la posición y volumen de un medio filtrante.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.Rango de efectividad de los procesos de tratamiento (reelaborado usando los datos de Tebbutt, 1998).....	7
2.Mecanismos de transporte en la filtración de agua: (A), colado; (B), sedimentación; (C), intercepción;(D), difusión; (E), hidrodinámica (Cescon y Jia-Qian,2020).....	8
3.Tusa de <i>Z. mays</i> entera.....	10
4.Tusa de <i>Z. mays</i> molida	10
5.Ubicación política del lugar de ejecución.....	11
6.Detalle de las dimensiones de los filtros vertical y horizontal	15
7.Esquema experimental de los filtros verticales y horizontales	16
8.Esquema experimental de los filtros verticales y horizontales.....	17
9.Efluente muestreado y acondicionado para la investigación.....	23
10.Eficiencia de remoción de aceites y grasas por cada tipo de filtro del efluente	24
11.Eficiencia de remoción de aceites y grasas por cada tipo de filtro del efluente a diferentes volúmenes de lecho filtrante.....	28
12.Eficiencia de remoción de aceites y grasas de los tratamientos con diferentes porcentajes de dilución del efluente, sistema de filtración y volumen de lecho filtrante.....	31
13.Biomasa de maíz utilizada en la investigación	45
14.Secado de la tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado)	45
15.Triturado de la tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado) utilizando el mortero	46
16.Molido de la tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado).....	46
17.Tamizado de la tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado).....	47
18.Fases de acondicionamiento de la tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado).....	47
19.Instalación del sistema experimental en el laboratorio de Calidad del Agua.....	48
20.Colección del efluente de pollería	48
21.Homogenización del efluente de pollería	49

22.Determinación de las características fisicoquímicas básicas del efluente de la investigación (Sólidos Totales).....	49
23.Colocación de los crisoles en la estufa para la determinación de las características fisicoquímicas básicas del efluente de la investigación (Sólidos Totales)	50
24.Pesado de los crisoles en la estufa para la determinación de las características fisicoquímicas básicas del efluente de la investigación (Sólidos Totales)	50
25.Determinación de las características fisicoquímicas básicas del efluente de la investigación (pH, Temperatura, Solidos Totales)	51
26.Preparación del filtro vertical con el lecho filtrante	51
27.Preparación del filtro horizontal con el lecho filtrante	52
28.Preparación del efluente de pollería a diferentes diluciones.....	52
29.Sistema experimental con filtración vertical y horizontal	53
30.Efluente filtrado para analizar aceites y grasas.....	53
31.Muestras de efluente filtrado para análisis de laboratorio	54
32.Determinación de aceites y grasas en laboratorio.....	54
33.Determinación de aceites y grasas en laboratorio.....	55
34.Separación de aceites y grasas para inicio de formación de fases	55
35.Supervisión del jurado calificador	56
36.Supervisión del jurado calificador	56

RESUMEN

La investigación evaluó la eficiencia en la remoción de aceites y grasas de un efluente de pollería, mediante una filtración con tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado) a una escala de laboratorio en la ciudad de Tingo María-Huánuco, donde se determinó la concentración de aceites y grasas, por efecto de diseño de filtración, utilizando la tusa de *Z. mays* como filtro y siendo aplicada a los tratamientos con el efluente sin diluir, y diluida (50 y 25%), simulando efluentes a diferentes concentraciones, así también considerando el diseño del filtro en las posiciones vertical y horizontal y finalmente tres volúmenes de lecho filtrante: 300mL, 400mL y 500mL. En la fase inicial se realizaron ensayos para determinar la eficiencia de la tusa de maíz morado para filtrar los aceites y grasas de los efluentes de pollería simulados mediante dilución sin agitación, a diferentes posiciones de filtro y volumen de lecho filtrante. Finalmente se aplicaron los tratamientos mediante un diseño factorial 3k con tres factores: dos factores con tres niveles y un factor con 2 niveles, que fueron el tipo de efluente, el volumen de lecho filtrante y diseño del sistema de filtración respectivamente. En esta fase de la investigación los efluentes diluidos fueron previamente agitados. Los resultados obtenidos indican que la mayor remoción de aceites y grasas de un efluente de pollería fue 77.81% y se produce cuando el efluente fue sin diluir, con el filtro de mayor volumen que fue 500mL y en posición vertical. El análisis estadístico con intervalo de confianza de 95%, indica que existe diferencia significativa entre las eficiencias de remoción de aceites y grasas en un efluente de pollería, al realizar diferentes concentraciones de aceites y grasas del efluente, a diferentes posiciones de filtro y a diferentes volúmenes del lecho filtrante.

Palabras clave: Tusa de maíz morado, efluente de pollería, diseño del sistema de filtración, volumen del lecho filtrante, Aceites y grasas.

The Removal Efficiency of Oils and Fats in Effluents from a Chicken Restaurant Due to the Effect from a Filtration System Designed with *Zea mays L.* (Purple Corn) Husks on a Laboratory Scale

Abstract

[In] the research, the removal efficiency of oils and fats from effluent from chicken restaurants was evaluated using filtration with *Zea mays L.* (purple corn) husks, on a laboratory scale, in the city of Tingo Maria, Huánuco, [Peru], where the concentration of oils and fats was determined due to the effect of a filtration design using husks from *Z. mays* as the filter, and being applied to the treatments with the undiluted and diluted (50 and 25%) effluent; simulating effluents at different concentrations, as well as considering the design of the filter in vertical and horizontal positions, and finally [there were] three volumes [for the] filtration beds: 300 mL, 400 mL and 500 mL. During the initial phase trials were done to determine the efficiency of the purple corn husks in filtering the oils and fats from the effluents from the chicken restaurants, simulated through dilution without agitation, at different positions for the filter and [different] filter bed volumes. Finally, the treatments were applied using the 3k factorial design with three factors: two factors with three levels and one factor with two levels; which were the type of effluent, the volume of the filter bed and the design of the filtration system, respectively. During this phase of the research, the diluted effluents had been previously agitated. The results that were obtained indicate that the greatest removal of oils and fats from an effluent from a chicken restaurant was 77.81% and it was produced when the effluent was undiluted with the largest filter volume, which was 500 mL, and in a vertical position. The statistical analysis with a confidence interval of 95% indicated that a significant difference existed between the removal efficiencies of the oils and fats from the effluent from chicken restaurants when different concentrations of oils and fats from the effluent were used at different filter positions and at different volumes for the filter bed.

Keywords: purple corn husks, chicken restaurant effluent, filtration system design, volume of the filtration bed, oils, fats.

I. INTRODUCCIÓN

La presencia de aceites y grasas en las aguas residuales, que se generan en establecimientos comerciales tales como los negocios de preparación y consumo de pollo a la brasa y similares, al ser vertidos al alcantarillado sin un tratamiento previo, generan problemas de atascamientos, debido a la formación de bolas de grasa que se ven favorecidas por residuos de detergentes y jabones que pueden llegar a las redes, como contaminantes del agua residual doméstica. Habitualmente al usar sistemas de trampas de aceites y grasas se reduce la concentración de estas sustancias en las aguas residuales, sin embargo, con el volumen de agua residual generada por una población, los trabajos de mantenimiento/limpieza de las redes de alcantarillado se aprecia con más frecuencia, por ende, representan un gasto para las empresas prestadoras de servicios, a esto se suma el desprendimiento de olores fétidos emanados por el estado de anaerobiosis, durante estas labores.

La búsqueda de nuevas alternativas funcionales, económicas y amigables con el medio ambiente, continúan en constante investigación, cuya perspectiva es utilizar materiales que convencionalmente se desechan o se destinan a otros usos, donde su potencial no es aprovechado al máximo. El aprovechamiento de los residuos del *Zea mays* (Maíz), como el caso de la tusa, viene a ser una elección más para la conservación y protección del medio ambiente, aprovechando su área superficial y composición, podría eliminar no solo aceites y grasas si no otro tipo de contaminantes del agua.

Ante la problemática descrita, es importante la investigación respecto a la eficiencia para remover aceites y grasas de los efluentes generados por pollerías con una filtración utilizando la tusa del *Zea mays L.* (Maíz morado), a fin de reducir las obstrucciones de las redes de alcantarillado y aportar una alternativa óptima para la depuración de este tipo de efluente, para lo cual se formula la siguiente pregunta: ¿Cómo varía la eficiencia de remoción de aceites y grasas en efluentes de pollerías por efecto del diseño de un sistema de filtración con tusa de *Z. mays* a escala de laboratorio? Por consiguiente, la investigación tendría como hipótesis: La eficiencia de remoción de aceites y grasas en efluentes de pollería incrementa cuando el diseño del sistema de filtración con tusa de *Z. mays* a escala de laboratorio, presenta mayor volumen del medio filtrante y una posición horizontal.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de remoción de aceites y grasas en efluentes de pollería por efecto del diseño del sistema de filtración con tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado) a escala de laboratorio.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente de pollería y la posición del filtro de *Z. mays*.
- Determinar el efecto del diseño del sistema de filtración en función al volumen del medio filtrante y la posición del filtro de tusa de *Z. mays*.
- Determinar las eficiencias de remoción de aceites y grasas en un efluente de pollería con un filtro de tusa de *Z. mays*, por efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente, y el diseño del sistema de filtración en función a la posición y volumen de un medio filtrante a escala de laboratorio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Internacionales

Toapanta-Casco *et. al.*, (2021) investigaron el uso de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) en remoción de turbidez en aguas residuales con elevado porcentaje de grasas, en su investigación, ensayaron la coagulación – floculación a cuatro diferentes dosis de las sales mencionadas a una concentración de 35% p/v, controlando tres niveles de pH (4, 7 y 9), después de procesar los datos obtenidos los resultados evidencian que: El efecto de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ contiene coagulante superiores que el $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ favoreciendo el uso como agente coagulante en tratamientos del mismo tipo de agua residuales.

Marín & Villarroel, (2016) realizaron un estudio para determinar la eficiencia de un filtro a tres volúmenes del medio filtrante, compuesto de harina de tusa de *Zea mays* (Maíz) y carbón vegetal, en aguas contaminadas con petróleo a tres concentraciones diferentes y seguidamente evaluar si las aguas filtradas están en base a la norma ambiental vigente en Venezuela, en donde se llevó a cabo la investigación. Los autores reportaron que las variables de concentración en petróleo y volumen del medio filtrante significativamente no influenciaron sobre el valor de pH del agua, en cambio, si con la acumulación de sólidos suspendidos, aceites y grasas, cumpliendo reglamentariamente con la normativa ambiental de dicho país.

Fong *et. al.*, (2020) realizaron una investigación, en el cual utilizaron el carbón de mazorca de *Z. mays* como adsorbente natural para la remediación de aguas residuales de aceite emulsionado. Tres parámetros fueron estudiados y estos incluyen tiempo de contacto, dosis de carbón en la mazorca de *Z. mays* y concentración de aceite emulsionado de aguas residuales. Se realizó una caracterización fisicoquímica del carbón crudo y de la mazorca de maíz. El carbón de la mazorca de *Z. mays* mostró buena eficiencia en la remoción de aceite emulsionado con un porcentaje de 96% a las 2 horas de contacto tiempo, 1 g de carbón de mazorca de *Z. mays* y 5% de concentración de agua residual de aceite emulsionado. Los grupos funcionales de las muestras de mazorcas son C-H, $-\text{C}\equiv\text{C}-$, $\text{C}=\text{C}$, $-\text{C}-\text{H}$ y C-O. El análisis SEM mostró que se encontraron en los poros del carbón de la mazorca de maíz una capa de aceite presente en su superficie después del proceso de adsorción.

Nacionales

Carhuamaca & Mejía, (2020) investigaron el efecto del número de mamparas y el tiempo de contacto de efluentes residuales de pollerías con un interceptor para evaluar la suficiencia de eliminación de grasas y aceites. El estudio fue realizado en el departamento de

Huancayo, donde se monitoreó cuatro locales de pollerías, extrayendo un total de 12 muestras de agua residual, posteriormente se determinó el valor promedio de concentración de aceites y grasas (309 mg/L). Por otro lado, se preparó una muestra sintética con concentración de aceites y grasas (331,9 mg/L), seguidamente se experimentó en la trampa de grasas y aceites midiendo el tiempo que demora en pasar el agua desde el punto inicial hasta un punto final, combinando varias mamparas dentro del interceptor. Concluyendo que una mampara y tiempo de contacto de 0,42 min, removi6 las grasas y aceites alcanzando un porcentaje m6s elevado hasta un 80,10%.

Malqui, (2021) realiz6 una investigaci6n basada en implementaci6n para sistema de filtros y as6 remover aceites y grasas de aguas residuales dom6sticas provenientes de una asociaci6n “Caf6 Per6”, ubicado en el distrito de Puente Piedra, Lima - Lima, ya que estos efluentes son usados directamente en riegos por parte de los habitantes en la zona. Para el estudio utilizaron 1,2 litros de agua como muestras obtenidas de 26 efluentes (puntos de muestreos seleccionados aleatoriamente), determinando las condiciones iniciales tanto f6sicos como qu6micas, obteniendo 2186,5 mg/L de aceites y grasas de concentraci6n. Seguidamente, al dise1ar el sistema de filtraci6n, se implement6 en campo un filtro con capacidad de 30 litros de muestra, cuyos valores obtenidos es de 0,5 mg/L de aceites y grasas, llegando a una tasa de filtraci6n del 99,98%.

Zamora, (2022) desarroll6 un biofiltro de mesocarpio de coco para eliminar aceites y grasas de las aguas residuales de un establecimiento de comida de una empresa de menor envergadura, donde evalu6 la efectividad de 3 biofiltros con diferentes alturas de lecho filtrante de mesocarpio de coco de 5, 10 y 15 cm (5cm de grava 1/4” y 5cm de arena 1/8”). Los resultados muestran que el filtrante de 10 cm alcanz6 una eficiencia de 99,9% en la remoci6n de aceites y grasas. Por otra parte, se obtuvieron 75%; 94,9% y 78,7% en reducci6n para DBO₅, SST y DQO respectivamente. Adem6s, la investigaci6n demuestra la eficiencia de un sistema de filtros no convencionales, al aplicar el mesocarpio (residuos org6nicos) de coco en aguas residuales.

2.2. Marco te6rico

2.2.1. Aceites y Grasas

Estas sustancias son contaminantes, como compuestos biol6gicos en la naturaleza, de alta solubilidad en solventes no polares entre benceno, cloroformo y 6ter, pero insolubles en agua, y esta propiedad se encuentra afectada por su diversidad natural de estas mol6culas en su estructura qu6mica y su funcionalidad biol6gica. As6 podemos citar a los 6cidos grasos, las grasas, aceites, los jabones, etc. (Contreras, 2006).

Muchas veces se describen indistintamente las grasas y aceites, como un mismo compuesto, sin embargo, la diferencia se refiere a los diferentes estados que presenta (físico, sólido o líquido) de este tipo de lípidos y no son considerados como cambio en cualquier otra propiedad, lo que se entiende que su estructura química se mantiene estable. Son resultados de ésteres formados por condensación (combinación) de ácidos grasos más glicerol.

Los aceites llevan consigo un potencial de contaminación basados en que éstos no se diluyen con agua, tampoco son biodegradables, pero establecen películas impermeables que envuelven la superficie a la materia orgánica impidiendo el paso del oxígeno llegando afectar la vida tanto en un medio acuoso como en el terrestre. De igual manera, extienden productos tóxicos que pueden ser ingeridos por los humanos directa o indirectamente (Widman, 2009).

Los aceites y grasas comprenden de glicerol y ácidos grasos. Un triglicérido, por otro lado, es resultado de la combinación de una molécula de glicerol más 3 ácidos grasos. El glicerol es una molécula de alcohol orgánico con tres grupos hidroxilo (OH), tres carbonos y cinco hidrógenos (Sello, 2021).

El aceite y la grasa son químicamente homogéneos. Cuando las grasas y los aceites se hidrolizan, forman ácidos grasos libres. Cuántos ácidos grasos libres están presentes depende del tiempo, temperatura y porcentaje de humedad (Sello, 2021).

2.2.2. Aguas residuales comerciales

Son aquellas provenientes de centros de negocios/comerciales, como los efluentes de los comercios, restaurantes, cafeterías, lavanderías, servicio de hospedajes, locales turísticos, supermercados, mercados, centros de salud (hospitales, clínica, posta médica), cines, teatros, bares, servicio de lavado de vehículos, entre otros. Al contrario de las aguas domésticas estas presentan alta presencia de aguas grises, por ende, mayor contenido de grasas, aceites, jabones, detergentes y abundantes residuos sólidos (Tuesta, 2021).

2.2.3. Valores Máximos Admisibles en aguas residuales comerciales

Los valores máximos admisibles (VMA) son valores de concentración de elementos, sustancias, parámetros fisicoquímicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que son vertidos a la red de alcantarillado sanitario, que al exceder sus parámetros aprobados generan contaminación inmediata y/o progresivo en las instalaciones/infraestructuras sanitarias, plantas tratamiento para aguas residuales, influenciando negativamente en los procesos de tratamiento de aguas residuales. El VMA para aceites y grasas en aguas residuales comerciales vertidos al sistema de alcantarillado sanitario es 100 mg/L (D.S. N°010-2019-VIVIENDA).

2.2.4. Tecnología para remoción de aceites y grasas

La eliminación exitosa de grasas y aceites es muy importante porque la FOG mal eliminada, directamente afectan a las plantas de tratamiento de aguas residuales y al hábitat acuático donde son vertidos (Ahmad et al., 2020)

Hay diferentes tecnologías utilizadas para la eliminación de FOG, en el tratamiento de aguas residuales municipales en todo el mundo; métodos físicos, químicos como biológicos que incluyen tecnologías aeróbicas y anaeróbicas. El tratamiento aeróbico en aguas residuales es a través de bacterias que usan oxígeno para alimentación y otros microorganismos, mientras que el tratamiento anaeróbico es con bacterias que no utilizan oxígeno para la alimentación durante el proceso de purificación de aguas residuales. Por otro lado, el lodo activado y el filtro percolador son tecnologías ampliamente utilizadas bajo las tecnologías de tratamiento aeróbico de aguas residuales en los sistemas de tratamiento municipales que contienen aceites y grasas. Se ha demostrado que estas dos tecnologías eliminan aceites y grasas en grandes cantidades. Además, el reactor de filtro anaeróbico, reactores anaeróbicos con deflectores (ABR), lagunas anaeróbicas, lechos de lodos granulares expandidos (EGSB) y el manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente también se sabe que eliminan el FOG (Sello, 2021).

2.2.5. Aprovechamiento de los residuos del tratamiento de aguas residuales con aceites y grasas

En la investigación de Pineda & Guerrero (2011) para proponer el aprovechamiento de aceites y grasas removidas en efluentes por parte de establecimientos comerciales, plantearon 4 alternativas de aprovechamiento de los residuos generados en las trampas de grasas de los establecimientos comerciales de Pereira-Colombia, donde indican que fueron: Betún, Biodiesel, Cera para Muebles y Jabón.

2.2.6. La filtración

La filtración es uno de los tratamientos principales en el tratamiento del agua, el término se refiere a la eliminación, generada en primer lugar por acción física de los sólidos en suspensión a medida que la suspensión fluye a través de un lecho lleno de medios granulares. Esta filtración es centralizada por la turbidez, color, microorganismos y partículas, ya sea presente en el agua o formado a través de un pretratamiento (Cheremesinoff, 2002). Las partículas involucradas son considerablemente más pequeñas que el tamaño de grano, como se muestra en la parte derecha de la Figura 1.

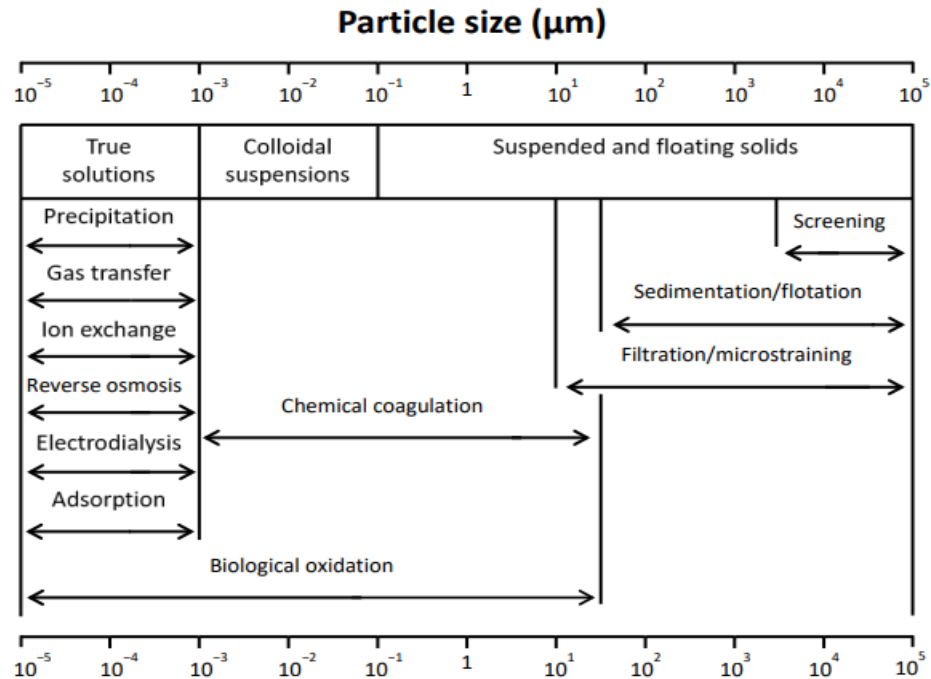


Figura 1. Rango de efectividad de los procesos de tratamiento (reelaborado usando los datos de Tebbutt, 1998).

La filtración generalmente ocurre de dos formas, como profundidad y de torta. En el primero, las partículas quedan atrapadas en el poro sistema del medio a través del apego, por otro lado, el segundo implica la creación de un "pastel" en la superficie del medio, eliminando a la mayoría de los sólidos por la parte superior (Cheremesinoff, 2002).

El transporte en soluciones acuosas involucra múltiples mecanismos tal como se representan en la Figura 2, en un flujo laminar. La ocurrencia de cada mecanismo depende de las dimensiones de partícula. Si el tamaño de partícula es superior al tamaño del vacío, entonces el esfuerzo está involucrado; para partículas más pequeñas, la sedimentación, la interceptación y la difusión son dominantes.

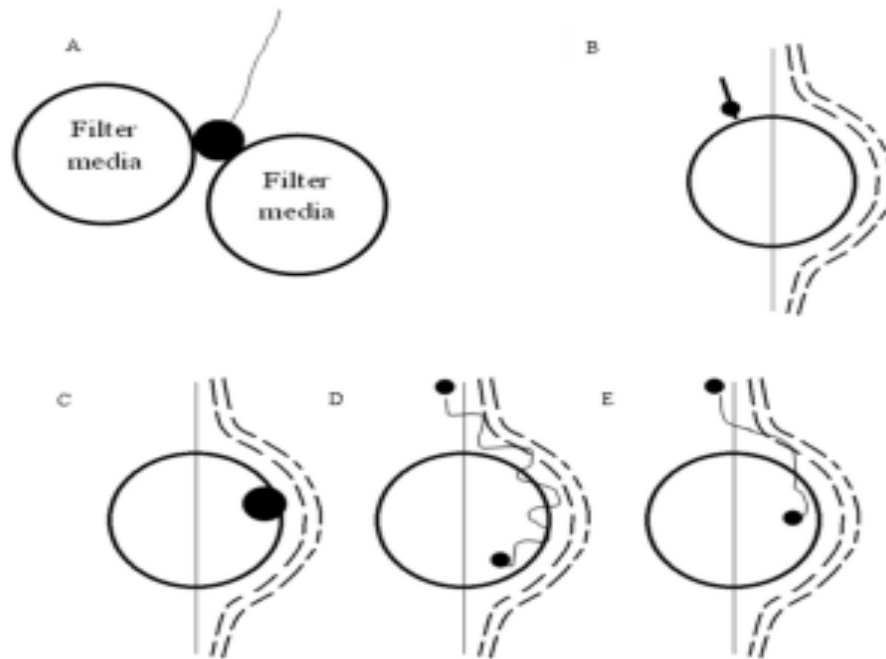


Figura 2. Mecanismos de transporte en la filtración de agua: (A), colado; (B), sedimentación; (C), intercepción; (D), difusión; (E), hidrodinámica (Cescon & Jia-Qian,2020).

Los medios filtrantes tradicionales son arena y antracita, que se han usado y se usan en una variedad de prácticas de filtración en las últimas décadas. El desarrollo de nuevos medios ha sido investigado y aplicado. En ocasiones diferentes, la atención se centró en los materiales disponibles de forma natural, en otros, se mejoraron los materiales naturales mediante la aplicación de recubrimientos o mediante procesos físicos los cuales han sido empleados con éxito en el proceso de filtración de agua potable y aguas residuales, por lo que es un candidato interesante (Cescon & Jia-Qian,2020).

2.2.7. La tusa de *Zea mays* (Maíz): Descripción y Aprovechamiento

Las mazorcas, hojas y tallos son residuos de mucha importancia en procesamiento y consumo de maíz. Por cada 1 kg de granos secos de *Z. mays* producidos, alrededor de 0,15 kg de mazorcas, se producen 0,22 kg de hojas y 0,50 kg de tallos (USDA, 2011). Este resulta la producción de alrededor de 130,13; 190,85 y 433,76 millones de toneladas de mazorcas, hojas y tallos en 2011, respectivamente.

Desde ya una década, los residuos del *Z. mays* tienen una variable sucesión de aplicaciones limitadas que incluyen: a) Manejo de mazorcas de *Z. mays* como material de construcción y carbón activado, b) Aprovechamiento de las hojas de *Z. mays* como materia prima para azúcares fermentables y fuente de fibra complementaria para papel pulpa, c) Y uso

de tallos del *Z. mays* como alimento para ganado vacuno y elaboración de biofertilizante (Zhang et al., 2012).

Las mazorcas de *Z. mays* son la biomasa agrícola que constituye una potencial fuente de materias prima para las industrias de energía renovable en los EE. UU. para reducir la energía actual y el fenómeno de gases efecto invernadero. Las mazorcas de *Z. mays* se pueden utilizar para producir calor, energía, combustibles gaseosos/líquidos y una amplia variedad de productos químicos como furfural, xilitol y carbón activado (Kalliyán & Morey, 2010).

Las mazorcas representan alrededor del 8 al 9% de la materia seca aérea (grano más residuos) en la madurez fisiológica del grano (Pordesimo et al., 2005). Actualmente, después la obtención del grano, los residuos se recogen como rastrojo de *Z. mays* embalado, que incluye mazorcas, cáscaras, hojas y tallos. Alrededor del 15 al 20% de los residuos de *Z. Mays* sobre el suelo (no en grano) son mazorcas de *Z. mays* (Sokhansanj et al., 2002).

Tabla 1. Composición de la mazorca de *Z. mays*.

Componente	% de materia seca en la mazorca de <i>Z. mays</i>
Celulosa	40,0
Hemicelulosa	41,4
Lignina	5,8
Proteína cruda	2,5
Almidón	2,1
Grasa cruda	0,7
Carbohidratos solubles en agua	1,1
Contenido de humedad	1,7
Cenizas	1,8

Fuente: Densification characteristics of corn cobs (Zhang et al., 2012).



Figura 3. Tusa de *Z. mays* entera

Fuente: Densification characteristics of corn cobs (Zhang *et al.*, 2012)



Figura 4. Tusa de *Z. mays* molida

Fuente: Densification characteristics of corn cobs (Zhang *et al.*, 2012)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación de la zona de estudio

La investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Calidad de Agua en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), políticamente pertenece al distrito de Rupa - Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. Con coordenadas UTM WGS 84: E: 390528 m y N: 8970354 m.

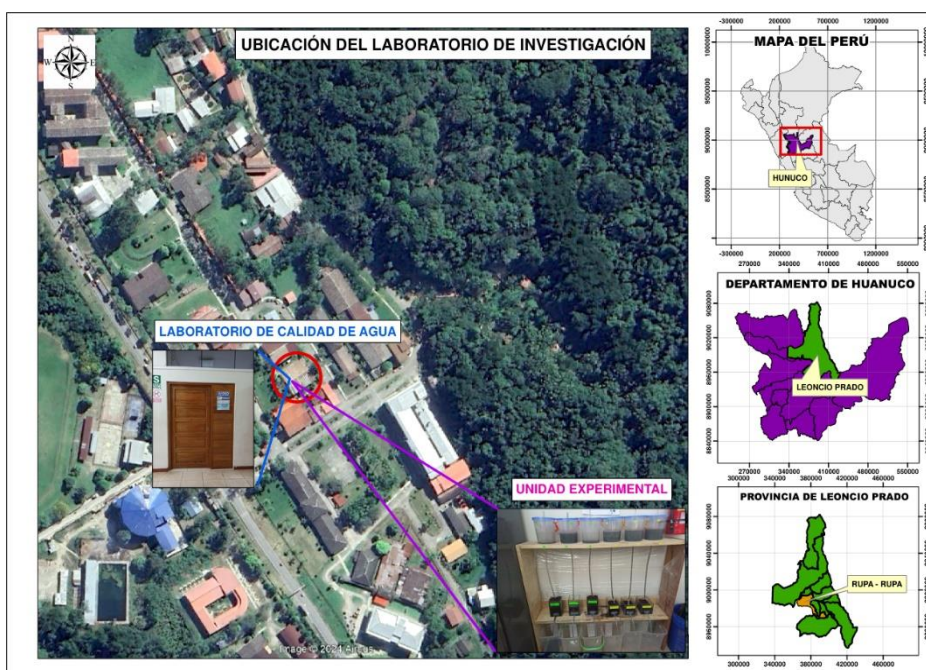


Figura 5. Ubicación política del lugar de ejecución.

3.1.2. Clima

El distrito de Rupa - Rupa, se encuentra a una altitud aproximada de relieve de 663 msnm, perteneciente de esta manera a la majestuosa Selva Alta. El clima que experimenta la zona es cálido y excesivamente lluvioso, con temperatura media anual de 25° C, alcanzando una temperatura máxima de 30,5° C y mínima de 18,5° C; además, presenta humedad relativa de 78,5%, como máxima 80% y 77,5% mínima y precipitación anual de 3352,9 mm.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Materiales

La investigación se desarrolló con los siguientes materiales como 5 kg de tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado), tamiz N°40 marca Belltoronic, manguera de PVC transparente

delgada con diámetro de 0,5 mm, un molino manual marca corona, cuatro tubos de silicona transparente para vidrio, medio metro cuadrado de vidrio transparente de 4 mm, un módulo de madera para montaje de filtros horizontales y verticales, un tanque tambor de plástico de 200L, dos baldes de plástico de 10L, seis baldes de plástico de 2L, seis baldes de plástico de 8L, una jarra de plástico de 4L, una jarra medidora de plástico de 300 mL, un colador de plástico con diámetro de 10 cm, diez barras de silicona, pistola para aplicar silicona, guantes quirúrgicos, mascarilla quirúrgica, gorro quirúrgico, guardapolvo, tijera, rotuladores, plumones, lapiceros, libreta de apuntes.

Materiales de laboratorio

Los instrumentos y utensilios utilizados en el laboratorio comprendían de vasos de precipitación de 500mL y 1000mL marca Pirex, peras de decantación marca Pirex de 1000mL, soporte metálico para embudos de decantación, probetas marca Pirex de 250mL, varillas de agitación de vidrio, matraz de Erlenmeyer, crisol, pinzas para crisol, mortero.

Equipos

Los equipos que se utilizaron son: una balanza analítica digital marca Ohaus modelo AX324/E con 0,001 g de precisión y un peso máximo de 320g, desecador, estufa, multiparámetro 3630 IDS marca WTW, turbidímetro marca Hach modelo CAT N° 2100Q01-LM, cocina calefactora multiusos marca Biobase modelo SSH-E450, laptop Legion 5 15 ACH6H y cámara fotográfica Redmi note 8 pro.

Reactivos

Se utilizó agua destilada, hidróxido de sodio - NaOH, ácido clorhídrico al 37% - HCl y éter de petróleo.

3.3. Metodología

3.3.1. Determinación del efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente de pollería y la posición del filtro de tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado)

a. Colección del efluente de pollería

Se visitaron tres pollerías de gran concurrencia y se evaluaron las facilidades que presentaron para obtener muestras y se seleccionó una pollería donde se colectaron por 15 días seguidos, muestras de volúmenes de 10 L, los cuales utilizando guantes de látex y tapabocas fueron acondicionadas mediante el despojo de sólidos suspendidos de gran tamaño para luego homogenizar el efluente. A partir de este efluente, se prepararon mediante dilución con agua destilada, efluentes diluidos al 50% y 25% de porcentaje en peso, de esta manera

considerando el efluente sin diluir se obtuvieron 3 efluentes con diferentes concentraciones de aceites y grasas. Posteriormente se determinaron las concentraciones de aceites y grasas en cada efluente. El método de muestreo del efluente fue realizado según el conocimiento y experiencia del ejecutor y asesor de la investigación.

b. Determinación de los parámetros fisicoquímicos

Temperatura

Para la determinación de temperatura de las muestras del efluente de pollería se utilizó el Multiparámetro (3630 IDS marca WTW). Según Romero (2010) la temperatura es un parámetro relevante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, del mismo sobre el método de disposición final.

pH

Para la determinación de pH (potencial de Hidrógeno) de las muestras del efluente de pollería se utilizó el Multiparámetro (3630 IDS marca WTW). Romero (2010) menciona que el pH es la concentración de ion hidrógeno en el agua, siendo expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno.

Concentración de Sólidos Totales

Para la determinación de Sólidos Totales de las muestras del efluente de pollería se calentó el recipiente limpio a 103 - 105°C durante 1 hora. Se guardó y enfrió el recipiente en un desecador hasta ser necesario. Se pesó inmediatamente antes de usar. Luego se eligió un volumen de muestra, y se realizó el pipeteo de un volumen medido de muestra bien mezclada, durante la mezcla, en un recipiente anticipadamente pesado. Para muestras homogéneas, se debe pipetear desde el punto medio aproximado del recipiente, pero no en el vórtice. Después, se evaporó hasta sequedad en un baño de vapor o en un horno de secado. En esta investigación se evaporó en un horno de secado, bajando la temperatura aproximadamente a 2°C por debajo del punto de ebullición para evitar salpicaduras. Se secó la muestra evaporada durante al menos 1 h en un horno a 103 - 105°C, posteriormente se enfrió el recipiente en un desecador para equilibrar la temperatura y consecutivamente se pesó (APPA, 2015).

$$\text{Sólidos Totales}_{mg} = \left[\frac{(A-B) \times 1000}{Vm_{mL}} \right] \quad (1)$$

Donde:

A = Peso del residuo seco + recipiente en mg

B = Peso del recipiente en mg

V_m = Volumen de muestra en mL

Concentración de Aceites y Grasas

Para la determinación de aceites y grasas existen dos métodos, entre ellos por extracción en caliente o con un solvente orgánico no miscible con el agua. En esta investigación, el método que se utilizó es la extracción de la grasa y el aceite del agua por íntimo contacto con el solvente éter de petróleo y su determinación se realizó gravimétricamente mediante recuperación del solvente. Se aplica para aguas residuales superficiales, domésticas e industriales. Las grasas y aceites no son medidas en cantidad absoluta de sustancia específica; se determinan grupos de sustancias con características físicas similares con base en su solubilidad en el solvente. Así, el término "grasas y aceites" comprende cualquier material recuperado como una sustancia soluble en el solvente. Esto incluye otros materiales extraídos por el solvente de la muestra acidificada, tales como compuestos azufrados, algunos colorantes orgánicos y clorofila, no volatilizados durante el ensayo (APPA, 2015).

$$AyG_{mg/L} = \left[\frac{WT_{mg} - WR_{mg}}{Vm_L} \right] \quad (2)$$

Donde:

AyG = Concentración de Aceites y Grasas en mg/L

WT = Peso total en mg

WR = Peso del recipiente en mg

V_m = Volumen de muestra en L

c. Acondicionamiento de la tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado)

Para obtener el lecho filtrante se partió de 5 Kg de tusa proveniente del *Z. mays* que se comercializa en el mercado, siendo secado, triturado, molido y tamizado en malla N°40, lo que significa un tamaño de partícula de 0,425mm a fin de homogenizar el tamaño de partícula. (Zhang et al., 2012).

d. Preparación de los tanques de alimentación de efluente de pollería y de los recipientes colector del efluente filtrado

Para la preparación de los tanques de alimentación de efluente de pollería, teniendo en cuenta que se cargarán con el efluente a diferentes diluciones, se utilizó 6 baldes de 2L de capacidad, se realizó un orificio en la base del balde, determinado por el diámetro (0,5

mm) de manguera utilizada, luego de colocar la manguera se procedió a sellar con silicona el empalme para evitar filtraciones. Y para los recipientes donde se colectará el efluente filtrado se utilizó 6 baldes de 8L de capacidad.

e. Preparación de los filtros

Para la preparación de los filtros se construyó 6 contenedores vidrio de 4mm de espesor y 1,5 L de capacidad (15cmx10cmx10cm), donde se colocó en la base un nivel de 2 cm de grava de 5mm de diámetro y luego se cargó la tusa de maíz morado en un volumen de 500mL (Marín y Villarroel, 2016).

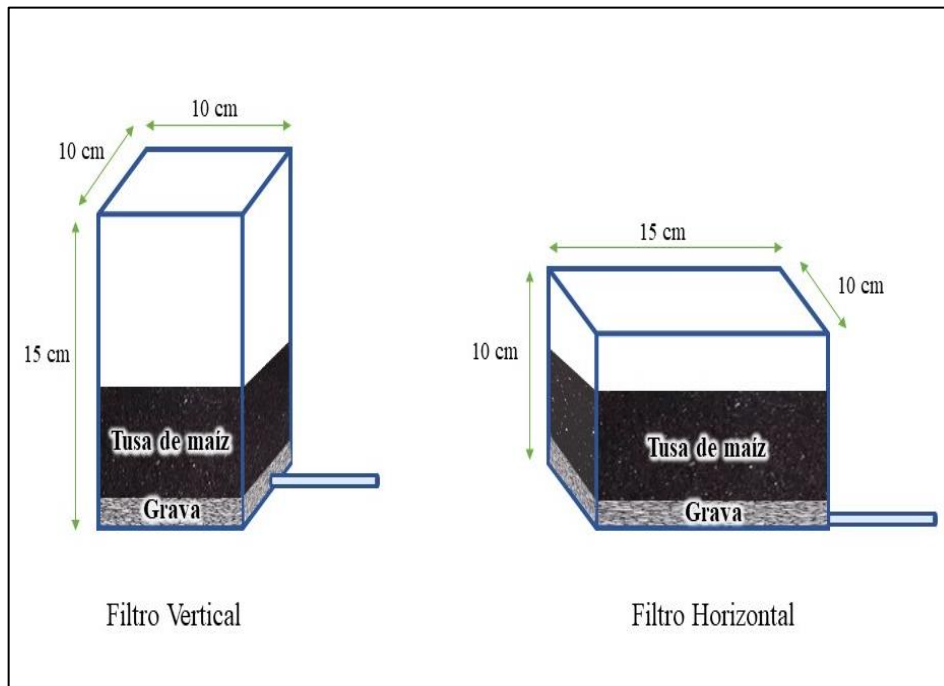


Figura 6. Detalle de las dimensiones de los filtros vertical y horizontal

Fuente: Elaboración propia

f. Operatividad del filtro

El efluente de pollería a diferentes diluciones, con su respectiva concentración de aceites y grasas inicial, se cargó a cada filtro con un caudal constante determinado por el diámetro de manguera utilizada 0,5 mm, se filtró 1L de agua distribuida en forma homogénea, a la salida del filtro se colectó el efluente filtrado y se analizó la concentración de aceites y grasas final.

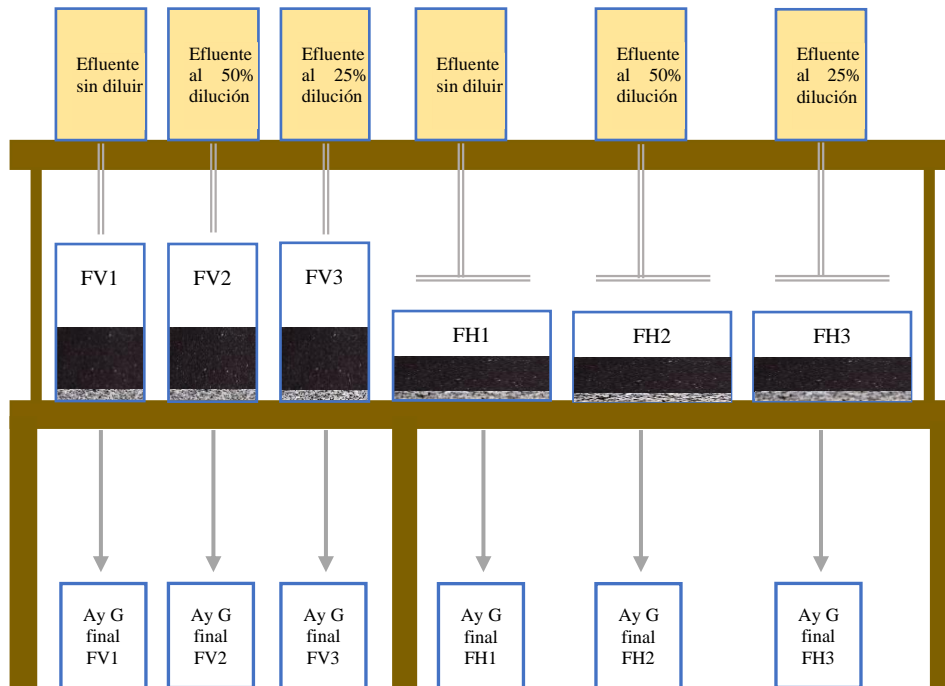


Figura 7. Esquema experimental de los filtros verticales y horizontales

Fuente: Elaboración propia

Donde:

FV1: Es Filtro vertical1 con 500 mL de filtro de tusa de maíz morado.

FV2: Es Filtro vertical1 con 500 mL de filtro de tusa de maíz morado.

FV3: Es Filtro vertical1 con 500 mL de filtro de tusa de maíz morado.

FH1: Es Filtro horizontal con 500 mL de filtro de tusa de maíz morado.

FH2: Es Filtro horizontal con 500 mL de filtro de tusa de maíz morado.

FH3: Es Filtro horizontal con 500 mL de filtro de tusa de maíz morado.

3.3.2. Determinación del efecto del diseño del sistema de filtración en función al volumen del medio filtrante y la posición del filtro de tusa de *Zea mays L.* (Maíz morado)

Se trabajó con el efluente sin diluir, del mismo modo se obtuvo la composición del filtro a base de las partículas de tusa de *Z. mays*. El ensayo experimental es en filtros verticales y horizontales, con volumen de lecho filtrante de 300mL, 400mL y 500mL. El lecho filtrante se implementó con las partículas de tusa de maíz morado de 0,425mm de diámetro, obtenidas según se detalló en el objetivo anterior.

a. Preparación de los tanques de alimentación de efluente de pollería y del recipiente colector del efluente filtrado

Para la preparación de los tanques de alimentación de efluente de pollería, teniendo en cuenta que se cargarán con el efluente de pollería sin diluir, se utilizó 6 baldes de 2L de capacidad, se realizó un orificio en la base del balde, determinado por el diámetro (0,5 mm) de manguera utilizada, luego de colocar la manguera se procedió a sellar con silicona el empalme para evitar filtraciones. Y para los recipientes donde se colectará el efluente filtrado se utilizó 6 baldes de 8L de capacidad.

b. Preparación de los filtros

Para la preparación de los filtros se construyó 6 contenedores vidrio de 4mm de espesor y 1,5 L de capacidad (15cmx10cmx10cm), donde se colocó en la base un nivel de 2 cm de grava de 5mm de diámetro y luego se cargó la tusa de maíz morado en tres volúmenes diferentes de 300mL, 400mL y 500mL (Marín y Villarroel, 2016).

c. Operatividad del filtro

El efluente de pollería sin diluir, con su respectiva concentración de aceites y grasas, se cargó en el contenedor de alimentación y con un caudal constante determinado por el diámetro (0,5 mm) de manguera utilizada, se filtró 1L de agua distribuida en forma homogénea, a la salida del filtro se colectó el agua filtrada y se analizó la concentración de aceites y grasas final.

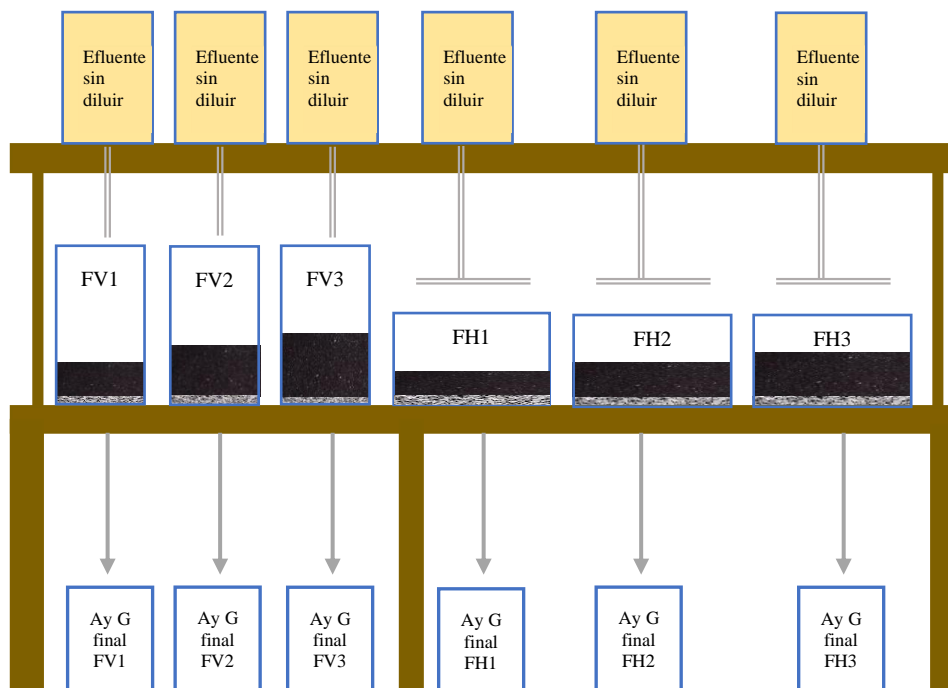


Figura 8. Esquema experimental de los filtros verticales y horizontales

Fuente: Elaboración propia

Donde:

FV1: Es Filtro vertical con 300 mL de filtro de tusa de maíz morado.

FV2: Es Filtro vertical con 400 mL de filtro de tusa de maíz morado.

FV3: Es Filtro vertical con 500 mL de filtro de tusa de maíz morado.

FH1: Es Filtro horizontal con 300 mL de filtro de tusa de maíz morado.

FH2: Es Filtro horizontal con 400 mL de filtro de tusa de maíz morado.

FH3: Es Filtro horizontal con 500 mL de filtro de tusa de maíz morado.

d. Determinación de Aceites y Grasas

La determinación de la concentración de aceites y grasas final se realizó como se mencionó en el objetivo anterior, siguiendo la metodología de APPA (2015).

3.3.3. Determinación de las eficiencias de remoción de aceites y grasas en un efluente de pollería con un filtro de tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado), por efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente, y el diseño del sistema de filtración en función a la posición y volumen de un medio filtrante a escala de laboratorio

Con los resultados obtenidos en los objetivos anteriores, considerando la interacción de las variables de la investigación, como: concentración inicial de aceites y grasas en el efluente, posición del filtro y volumen del medio filtrante, se determinó para cada tratamiento la eficiencia de remoción utilizando la siguiente fórmula:

$$Efic. remoción de AyG = \left[\left(\frac{AyG_{inicial} - AyG_{final}}{AyG_{inicial}} \right) \times 100 \right] \quad (3)$$

3.4. Criterios de estudio

3.4.1. Nivel de investigación

Para esta investigación se considera que tuvo un nivel explicativo ya que fue más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, es una investigación dirigida a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Se centró en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández et al., 2014).

3.4.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicativo, porque tuvo como objetivo resolver problemas prácticos para satisfacer las necesidades de la sociedad. Asimismo, estudia hechos o

fenómenos de posible utilidad práctica. Además, utiliza conocimientos obtenidos en las investigaciones básicas, pero utilizando estos conocimientos no se limita, por el contrario, encuentra nuevos conocimientos especiales de posibles aplicaciones prácticas. Estudia problemas de interés social (Gomero y Moreno, 1997).

3.4.3. Diseño de investigación

Al considerar y manipular las variables independientes, el diseño es experimental y factorial con 3 factores (2 factores con tres niveles y 1 factor con 2 niveles (Hernández *et al.*, 2010).

3.4.4. Variables de investigación

VARIABLES INDEPENDIENTES

- Las concentraciones del efluente de pollería
- Diseño del sistema de filtración mediante tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado).

VARIABLE DEPENDIENTE

- La eficiencia remoción de Aceites y Grasas.

Tabla 2. Variables de investigación

Tipos de variable	Descripción de la variable	Dimensiones	Indicadores
Independientes	Las concentraciones del efluente de pollería.	El porcentaje de dilución del efluente de pollería.	La dilución del efluente: sin diluir 0% p/p, 50% p/p, 25% p/p.
	Diseño del sistema de filtración mediante tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado).	El volumen del medio filtrante de tusa de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado).	Volumen que ocupa el medio filtrante de <i>Zea mays</i> L. (Maíz morado): 300mL, 400mL, 500mL.
		El tipo de filtro	Filtro vertical y filtro horizontal.
Dependiente	La eficiencia remoción de Aceites y Grasas.	Filtración de Aceites y Grasas del efluente de pollería.	La concentración final de aceites y grasas en el efluente de pollería en cada tratamiento.

Tabla 3. Niveles para los factores de la investigación

Factores	Niveles		
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
A	A1	A2	A3
B	B1	B2	B3
C	C1	C2	

Donde: Porcentaje en peso para dilución del efluente de pollería (A: 1 – Sin dilución, 2 – Al 50% de dilución, 3 – Al 25% de dilución), Volumen del medio filtrante (B: 1 – 300mL, 2 – 400mL, 3 – 500mL), Tipo de filtro (C: 1 – Vertical, 2 – Horizontal).

Tabla 4. Matriz de diseño de la investigación

Nº	A (%p/p)	B (mL)	C	Eficiencia de filtración (%)
1	1	1	1	-
2	1	2	1	-
3	1	3	1	-
4	1	1	2	-
5	1	2	2	-
6	1	3	2	-
7	2	1	1	-
8	2	2	1	-
9	2	3	1	-
10	2	1	2	-
11	2	2	2	-
12	2	3	2	-
13	3	1	1	-
14	3	2	1	-
15	3	3	1	-
16	3	1	2	-
17	3	2	2	-
18	3	3	2	-

Donde: Porcentaje en peso para dilución del efluente de pollería (A: 1 – Sin dilución, 2 – Al 50% de dilución, 3 – Al 25% de dilución), Volumen del medio filtrante (B: 1 – 300mL, 2 – 400mL, 3 – 500mL), Tipo de filtro (C: 1 – Vertical, 2 – Horizontal).

A cada tratamiento se le realizó tres réplicas.

3.4.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software Infostat con el cual se realizó el análisis de varianza para probar la igualdad de medias entre los tratamientos y la prueba de medias de Duncan para determinar la diferencia entre tratamiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente de pollería y la posición del filtro de tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado)

Tabla 5. Características fisicoquímicas básicas del efluente de la investigación

Parámetro fisicoquímico	Unidad	Tipo de efluente de pollería		
		Sin dilución	Al 50% de dilución	Al 25% de dilución
pH	Unidades de pH	6,43	6,30	6,27
Temperatura	°C	25,37	24,60	25,10
Sólidos totales	mg/L	2366,00	1109,67	604,67
Aceites y grasas	mg/L	244,00	115,33	63,33

En la Tabla 5, se puede observar que el efluente de pollería, utilizada en la investigación, contiene una moderada concentración de aceites y grasas y elevada concentración de sólidos totales. Esta concentración varió según el porcentaje de dilución ya que el agua adicionada para acondicionamiento del efluente disminuyó la concentración de aceites y grasas y de sólidos totales en forma directamente proporcional al grado de dilución.

La caracterización de las aguas residuales de los restaurantes suele variar según el momento y el tipo de comida, mientras que la categoría del restaurante también juega un papel importante. Es crucial comprender la composición de las aguas residuales de los restaurantes para proponer un tratamiento eficiente estos efluentes (Inram et al.,2023).

Es importante hacer referencia que las aguas residuales con aceites y grasas provenientes de restaurantes o estaciones de servicio de comida difieren en su composición según el tipo de preparación de los alimentos ya que los cambios fisicoquímicos del medio de fritura y del producto frito tienen influencia de factores del proceso, como el tiempo de fritura, la temperatura del aceite de fritura y la naturaleza de los productos fritos: es decir, características térmicas y contenido de humedad (Asokapandian et al.,2020).

Se sabe que las descargas de los establecimientos de servicio de comida representan una fuente importante de depósitos de aceites y grasas en las alcantarillas y, por lo tanto, es un área de enfoque para gestionar sus descargas. Las prácticas actuales de gestión de aguas residuales de los establecimientos de servicio de comida incluyen el tratamiento en forma de aditivos biológicos para procesar los aceites y grasas y convertirlo en productos finales

benignos; o separadores pasivos para recogerlo. Los desafíos actuales asociados con el costo y la complejidad de la medición de aceites y grasas suspendida y emulsionada significan que a menudo se prefieren sustitutos al seleccionar, diseñar y confirmar el rendimiento (Gurd et al., 2018).

Adetunji y Olaniran (2021) mencionan que las aguas residuales consideradas oleosas debido a su procedencia; en su composición no solo están presentes grasas, aceites y grasas si no también una amplia gama de sustancias orgánicas y/o inorgánicas disueltas y en suspensión. Son considerados efluentes de alta peligrosidad, porque sus vertimientos representan una grave amenaza a los ecosistemas, la flora y la fauna.



Figura 9. Efluente muestreado y acondicionado para la investigación

Tabla 6. Concentración final de aceites y grasas del efluente de pollería después de la filtración vertical y horizontal con diferentes concentraciones iniciales de aceites y grasas

Tipo de efluente	Concentración Inicial de Ay G (mg/L)	Concentración Final de A y G por tipo de filtración (mg/L)	
		Filtro Vertical	Filtro Horizontal
Sin dilución	244,00	46,80	90,03
Al 50% de dilución	115,33	37,00	57,80
Al 25% de dilución	63,33	21,63	35,67

Tabla 7. Eficiencia de remoción de aceites y grasas por efecto del tipo de filtro

Tipo de efluente	Concentración Inicial de Ay G (mg/L)	Porcentaje de A y G removido por tipo de filtración	
		Filtro Vertical	Filtro Horizontal
Sin dilución	244,00	80,82	63,10
Al 50% de dilución	115,33	67,92	49,88
Al 25% de dilución	63,33	65,84	43,68

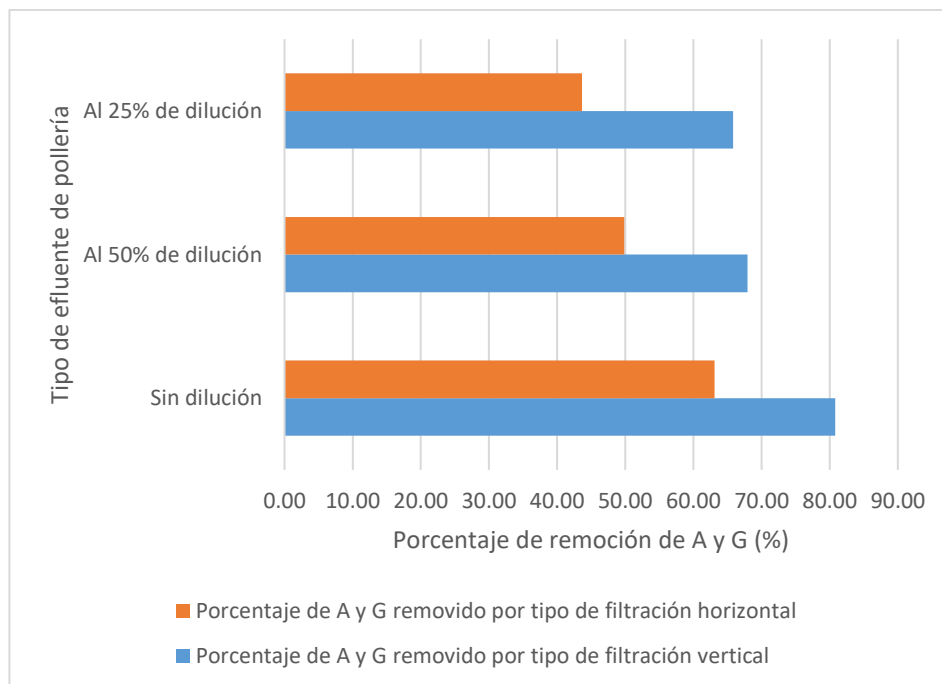


Figura 10. Eficiencia de remoción de aceites y grasas por cada tipo de filtro del efluente

En las Tablas 6 y 7, se puede observar que la remoción de aceites y grasas se ve influenciada tanto por la dilución del efluente como por el diseño del sistema de filtración. Respecto a la dilución del efluente, este efecto podría estar relacionado a la formación de micelas de aceites de mayor tamaño que tienen más probabilidad de formar una capa oleosa que atrapan las pequeñas micelas de aceite conforme atraviesan el filtro. La disposición del lecho filtrante influye en la remoción de aceites y grasas, aquí se pueden mencionar dos factores importantes, la naturaleza del medio filtrante y la profundidad del filtro, por un lado, el material utilizado que es tusa de *Zea mays L.* (Maíz morado) molido, donde la magnitud de su área superficial es significativa, formando intersticios que atrapan aceites y grasas.

Calvo et al. (2019) mencionan que la coalescencia de gotas es un proceso en el que dos gotas se fusionan para formar una gota más grande. Para que dos gotas de aceite se fusionen en una gota más grande, la película de líquido atrapada entre ellos debe escurrirse. A medida que avanza el drenaje, la película entre las gotas se vuelve lo suficientemente delgada como para que dominen y se formen las fuerzas de atracción entre las gotas, un fino enlace capilar entre las gotitas. Este vínculo crece y las gotas se fusionan. Sin la influencia de fuerzas emulsionantes adicionales, se puede considerar la coalescencia como un proceso irreversible, que se ve reforzado por una alta tasa de floculación.

Ahmed *et al.*, (2022) realizaron una interesante investigación en la regeneración de aceites de freír usados, mediante filtración con bagazo de la caña de azúcar, el tallo de la planta y con la tusa de *Zea mays* (Maíz), estos materiales están compuestos de biomasa celulósica. La filtración utilizando estos materiales mejora la calidad del aceite usado, y esto se debe al desarrollo de una filtración activa a través de las propiedades adsorbentes de adsorbentes naturales y sintéticos que elimina sustancias químicas, incluidos ácidos grasos libres, peróxidos, dímeros, materias de color oscuro y aldehídos. Las mazorcas de *Z. mays* son residuos sólidos de la producción de *Z. mays*; contienen lignina (20,3%), hemicelulosa (48,7%), celulosa (32%) y grupos acetilo (3,40%). Varios estudios utilizaron mazorca de *Z. mays* como un adsorbente eficaz en diferentes aplicaciones. Estos investigadores mencionan que los materiales lignocelulósicos podrían restaurar algunos atributos originales de los aceites para freír usados debido a sus propiedades morfológicas, como las esporas en la superficie de sus partículas. Además, estos materiales podrían tener grupos funcionales que actúan como sitios activos para adsorber algunos residuos químicos.

Cuando se realizó un análisis de la microestructura de la biomasa de tusa del *Z. mays* su superficie era irregular con una estructura tubular hueca de diferentes tamaños y formas de partículas (Ahmed et al., 2022).

4.2. Determinación del efecto del diseño del sistema de filtración en función al volumen del medio filtrante y la posición del filtro de tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado)

Tabla 8. Concentración final de aceites y grasas del efluente de pollería después de la filtración vertical y horizontal con diferentes volúmenes de lecho filtrante

Volumen de lecho filtrante	Concentración Inicial de A y G (mg/L)	Concentración Final de A y G por tipo de filtración(mg/L)	
		Filtro Vertical	Filtro Horizontal
V1=300 mL	244,00	79,70	91,83
V2=400 mL	244,00	64,80	76,50
V3=500 mL	244,00	52,60	70,17

Tabla 9. Eficiencia de remoción de aceites y grasas del efluente de pollería después de la filtración vertical y horizontal con diferentes volúmenes de lecho filtrante

Volumen de lecho filtrante	Concentración Inicial de A y G (mg/L)	Porcentaje de remoción de A y G por tipo de filtración (%)	
		Filtro Vertical	Filtro Horizontal
V1=300 mL	244,00	67,34	62,36
V2=400 mL	244,00	73,44	68,65
V3=500 mL	244,00	78,44	71,24

En las Tablas 8 y 9 se observa el volumen de lecho filtrante es directamente proporcional a la eficiencia de remoción de aceites y grasas, así también el diseño del filtro en función a la posición en la cual la filtración vertical presenta mayor eficiencia; este resultado es por la profundidad del filtro que se logra tanto con el volumen y la posición, ya que éste es un factor muy importante en la depuración de un efluente porque incrementa el tiempo de contacto y en algunos casos la adsorción de contaminantes, por la naturaleza del material del filtro.

Freitas *et al.*, (2021) realizaron un estudio para evaluar el impacto de la profundidad del filtro la eficiencia de depuración, aquí se utilizaron filtros de arena domésticos, en su investigación parten de lo que mencionan otras investigaciones, sobre la eficiencia de los filtros lentos de arena, en la cual se ha confirmado que una de las principales desventajas es la tasa de filtración, ya que los sólidos suspendidos van obstruyendo los espacios intergranulares. Esta investigación realizó pruebas con filtros continuos y reduciendo la profundidad del lecho

filtrante, de aquí concluyen que la eficiencia en reducción de valores de parámetros fisicoquímicos tales como la turbidez, es buena, sin embargo, la calidad microbiológica es un riesgo ya que es una de las muestras de filtrado se encontró *Giardia*.

Mkilima *et al.*, (2021) investigaron la influencia de la profundidad de un filtro de zeolita natural en la depuración de un efluente de la industria textil, en su publicación, mencionan que la eficiencia de la filtración está en función de las características del agua residual y de la profundidad del filtro. Los resultados reportados fueron que la zeolita tiene una baja eficiencia sobre la mejora de la calidad fisicoquímica del efluente textil, sin embargo, con las tres profundidades de filtro que experimentaron que fueron 0,5 m; 0,75 m y 1 m pudieron evidenciar que la profundidad influye en forma directamente proporcional a la remoción de color y sólidos suspendidos totales del efluente, con eficiencias de remoción que van de 93,8% a 99,4% para los sólidos suspendidos totales.

Bhutiani *et al.*, (2021) mencionan que la composición y la profundidad del medio filtrante, influyen en la eficiencia de depuración de un agua residual industrial, ya que cuando investigaron la depuración de un efluente industrial, utilizando las profundidades filtro de 10 cm, 15 cm y 30 cm, en filtros compuestos por arena y grava, en tres proporciones diferentes que fueron 1:1, 1:2 y 2:1, el tratamiento de un filtro de 30cm de profundidad y un lecho compuesto por dos partes de arena y una de grava, fue el que presentó, mayor eficiencia en la depuración del efluente, cabe mencionar que de los parámetros evaluados la mayor eficiencia fue en la turbidez con un porcentaje de remoción de 67,36%.

Eka *et al.*, (2022) investigaron el efecto del carbón activado obtenido a partir de lodos de agua residual para remover aceites y grasas de aguas residuales de los restaurantes. Los estudios experimentales fueron realizados en tratamientos por lotes, con dosis de adsorbente que osciló entre 2 y 6 g/L, con un intervalo de tiempo de contacto de 5 a 45 minutos. Los lodos de depuradora fueron activados químicamente usando KOH 4M y activado físicamente a una temperatura de 700°C durante 60 minutos. El resultado muestra que la dosis óptima de adsorbente y el tiempo de contacto son 4 g/L y 25 minutos, respectivamente. La mayor capacidad de adsorción de lodos de depuradora para eliminar aceite y la grasa fue 63,75 mg/g.

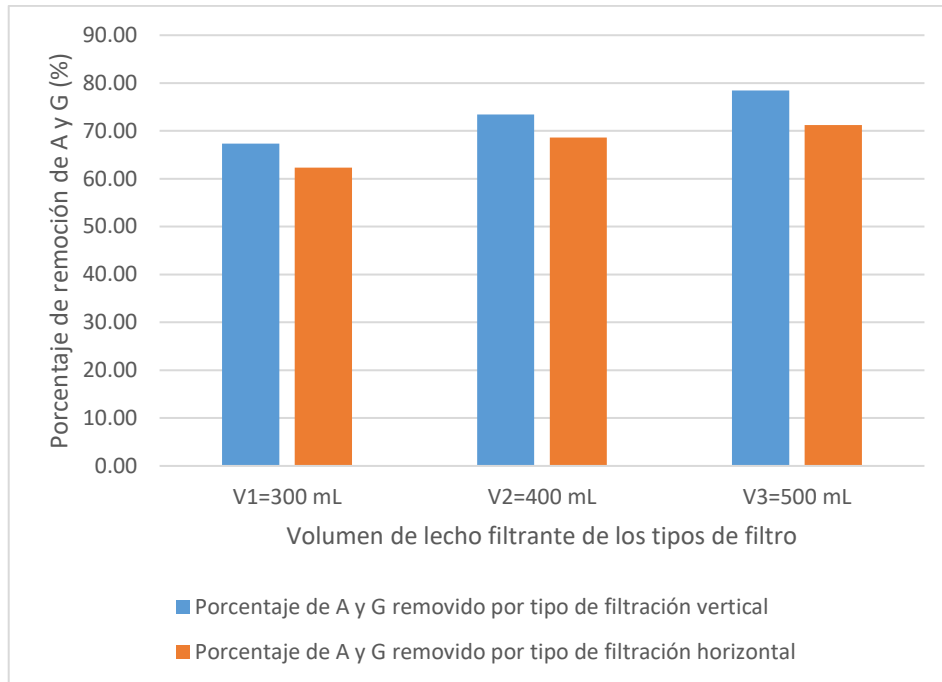


Figura 11. Eficiencia de remoción de aceites y grasas por cada tipo de filtro del efluente a diferentes volúmenes de lecho filtrante.

4.3. Determinación de las eficiencias de remoción de aceites y grasas en un efluente de pollería con un filtro de tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado), por efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente, y el diseño del sistema de filtración en función a la posición y volumen de un medio filtrante a escala de laboratorio

En la Tabla 10, se puede observar que, en los tratamientos con un efluente sin dilución y el filtro en posición vertical, se obtuvo la mayor de remoción de aceites y grasas del efluente, donde la eficiencia es directamente proporcional al volumen de lecho filtrante utilizado. Este resultado podría indicar que más que una filtración del agua residual de pollería, lo que se desarrolla sería una adsorción de las partículas emulsionadas, que encuentran un mayor contacto con el material filtrante en posición vertical, la cual favorece el contacto con el área superficial y por ende a la adsorción de diversas sustancias presentes en el efluente.

Zizeng *et al.*, (2020) evaluaron la depuración de escorrentías procedentes de aguas pluviales, mediante el uso de ladrillos filtrantes, en la parte introductoria de su publicación estos investigadores mencionan que la composición química y la porosidad de los ladrillos influyen en la eliminación de contaminantes, adicionalmente hacen mención que la capa superficial del ladrillo ejerce una remoción de sólidos suspendidos, sin embargo la estructura interior del ladrillo remueve contaminantes disueltos e incluso modifica las

condiciones fisicoquímicas de la esorrentía. Por otro lado, también se hace referencia que estos mecanismos de eliminación de contaminantes de esorrentía por la superficie permeable de los ladrillos, incluye principalmente interceptación física y adsorción.

Azis *et al.*, (2021) desarrollaron un estudio para comparar la eficiencia de la filtración y la adsorción en la remoción de un fungicida de un efluente agroindustrial tratado biológicamente, estos investigadores reportan como conclusión que el tratamiento compuesto por filtración y adsorción mostró mayor eficiencia que utilizar la filtración como único tratamiento, para la remoción de macronutrientes, biosólidos y pesticidas del efluente de la investigación.

Fong *et al.*, (2020) utilizaron la tusa de *Zea mays* (Maíz), para producir carbón activado y realizaron pruebas de adsorción de aceite emulsionado de un efluente de una fábrica de aceite de pescado en Malasia, los resultados que obtuvieron demostraron que el carbón de tusa de maíz presenta buena eficiencia en la eliminación de aceite emulsionado con un porcentaje del 96% a las 2 horas de contacto tiempo, utilizando 1 g de carbón de tusa de *Z. mays* y 5% de concentración de aceite emulsionado en el agua residual. La porosidad aparente del carbón de la tusa de *Z. mays* fue la razón del hundimiento de las partículas de aceite emulsionadas absorbidas en la superficie del carbono de la mazorca de *Z. mays*. Las descripciones de las estructuras químicas del carbono de la tusa de *Z. mays* antes y después de la adsorción verificaron los posibles grupos funcionales en su mecanismo de unión.

Igwegbe *et al.*, (2020) en su estudio de adsorción de aceites y grasas con carbón activado de tusa de *Z. mays*, menciona que el tiempo de penetración y el porcentaje de eliminación de aceites y grasas disminuye al aumentar el tamaño de las partículas de carbón activado de tusa de *Z. mays* y la concentración de alimentación y mejora con el aumento de la altura de la cama. El tiempo de residencia ideal (t_R) fue de 4,49 min.

La tusa de *Z. mays* es un residuo agroindustrial que puede ser aprovechado en la adsorción de petróleo crudo derramado en un medio acuoso, donde la eficiencia esta influenciada por el tamaño de partícula y la temperatura. Las partículas de mazorcas de *Z. mays* con malla, especialmente de 80 μm , exhiben una alta afinidad por la adsorción de aceite con el tiempo y se debe a la presencia de superficies más grandes. La adsorción fue evaluada en un rango de temperatura entre 15 y 60 °C, observándose la máxima adsorción a 15 °C. El coeficiente de correlación indicó que el proceso de sorción estuvo dominado por el proceso de adsorción, basado en la alta afinidad por el aceite con baja absorción de agua, mallas de las mazorcas de *Z. mays* utilizadas como adsorbente podrían considerarse expresamente como un oleófilo o sustancia hidrófoba (Olufemi *et al.*, 2014).

Tabla 10. Eficiencias de remoción de aceites y grasas en un efluente de pollería con un filtro de tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado), por efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente, y el diseño del sistema de filtración en función a la posición y volumen de un medio filtrante

Tratamiento	Tipo de efluente	Diseño de sistema	Volumen del lecho filtrante	Eficiencia de remoción de A y G (%)
T1	Sin dilución	FV	V1	67,21
T2	Sin dilución	FV	V2	73,62
T3	Sin dilución	FV	V3	77,81
T4	Sin dilución	FH	V1	62,75
T5	Sin dilución	FH	V2	68,73
T6	Sin dilución	FH	V3	71,48
T7	Al 50% de dilución	FV	V1	61,24
T8	Al 50% de dilución	FV	V2	64,16
T9	Al 50% de dilución	FV	V3	67,92
T10	Al 50% de dilución	FH	V1	43,01
T11	Al 50% de dilución	FH	V2	46,07
T12	Al 50% de dilución	FH	V3	50,29
T13	Al 25% de dilución	FV	V1	58,21
T14	Al 25% de dilución	FV	V2	63,26
T15	Al 25% de dilución	FV	V3	65,89
T16	Al 25% de dilución	FH	V1	29,68
T17	Al 25% de dilución	FH	V2	34,16
T18	Al 25% de dilución	FH	V3	43,68

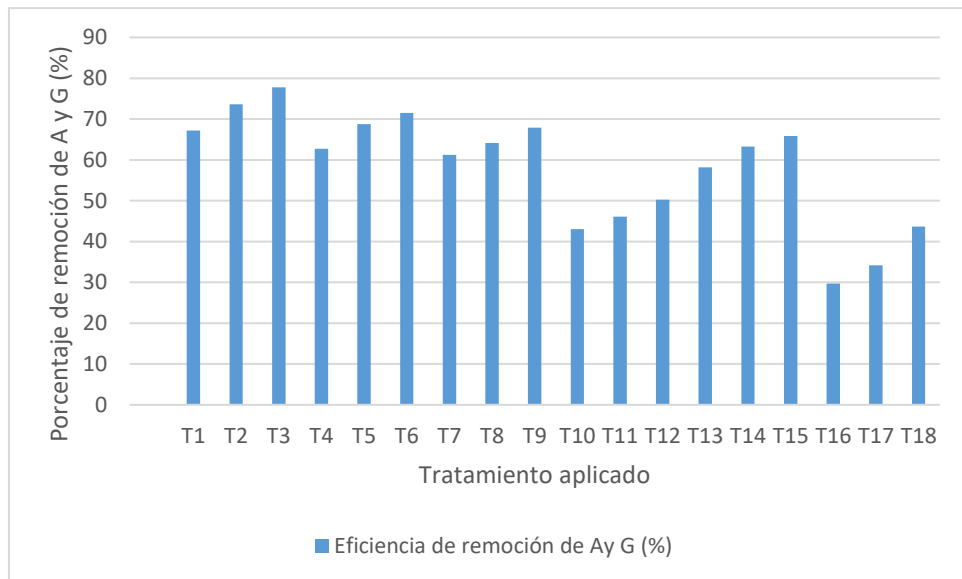


Figura 12. Eficiencia de remoción de aceites y grasas de los tratamientos con diferentes porcentajes de dilución del efluente, sistema de filtración y volumen de lecho filtrante

4.4. Resultados del análisis estadístico

De los resultados del análisis estadístico, podemos resaltar el valor de coeficiente de variabilidad de 8,62; el cual es un valor relativamente bajo, por tanto, indica que el conjunto de datos de la muestra es homogéneo. Por otro lado, según el resultado de análisis de varianza, para los factores: tipo de efluente, diseño del sistema de filtración y volumen del lecho filtrante el p-valor de cada factor es menor que 0,0001; lo que indica que para los tres casos se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna es decir que la eficiencia de remoción de aceites y grasas de un efluente de pollería mediante una filtración con tusa de maíz morado es diferente cuando se realiza con efluente sin diluir, diluida al 50% y diluida al 25%, así también es diferente cuando se realiza con un sistema de filtración vertical y un horizontal y finalmente es también diferente cuando se realiza con volúmenes del lecho filtrante de 300mL, 400mL y 500mL.(Ver anexo 8.2)

V. CONCLUSIONES

1. La mayor concentración de aceites y grasas y la posición vertical del filtro favorece la filtración de aceites y grasas de un efluente de pollería con un lecho filtrante de tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado).
2. A mayor volumen de lecho filtrante y posición vertical del filtro se obtiene una mayor remoción de aceites y grasas de un efluente de pollería con un lecho filtrante de tusa de *Z. mays*.
3. Cuando el efluente de pollería está sin diluir, el sistema de filtración vertical y el mayor volumen de lecho filtrante permite obtener una mayor eficiencia de remoción de aceites y grasas.
4. En la remoción de aceites y grasas de un efluente de pollería, la tusa de *Z. mays* ejerce no solo un mecanismo de filtración sino también de adsorción.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar una investigación, para determinar la capacidad de adsorción que posee la tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado), para remover contaminantes diversos en el agua.
2. Realizar una investigación para evaluar la influencia del tamaño de partícula de la tusa de *Z. mays* en la eficiencia de remoción de aceites y grasas.
3. Realizar pruebas para evaluar la capacidad de adsorción de la tusa de *Z. mays* en un lecho fluidizado.
4. Evaluar la especificidad de la tusa de *Z. mays* para disminuir los diferentes tipos de contaminantes y las condiciones de operación en la que producen.
5. Evaluar la capacidad del filtro de tusa de *Z. mays* en función a su tiempo de operatividad.
6. Investigar la capacidad potencial que tiene la tusa de *Z. mays* para remover contaminantes del agua, mediante la aplicación de carbón activado obtenido con este recurso y contrastarlo con su capacidad como un adsorbente cuando se aplica como biomasa lignocelulósica.
7. Investigar sobre la revalorización de la tusa de *Z. mays* utilizada como filtro para remover aceites y grasas con un enfoque a la economía circular.
8. Investigar sobre la influencia del color que adiciona la tusa de *Z. mays* al efluente tratado, y los tratamientos para ello.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Adetunji, AI, Olaniran, AO (2021). Tratamiento de aguas residuales oleosas industriales mediante tecnologías avanzadas: una revisión. *Appl Water Sci* 11, 98. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01430-4>.
2. Ahmad T, Belwal T, Li L, et al (2020). Utilization of wastewater from edible oil industry, turning waste into valuable products: A review. *Trends Food Sci Technol*, 99, 21-33.
3. Ahmed, E., Zeitoun, A., Hamad, G., Zeitoun, MAM, Taha, A., Korma, SA y Esatbeyoglu, T. (2022). Las biomásas lignocelulósicas de desechos agrícolas mejoraron la calidad y las propiedades fisicoquímicas de los aceites para freír. *Alimentos*, 11 (19), 3149. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11193149>.
4. APPA y AWWA (2015). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22.^a ed.). American Water Works Association.
5. Asokapandian, S., Swamy, GJ, Hajjul, H.(2020). Freír alimentos con grasa profunda: una revisión crítica de los parámetros del proceso y del producto. *Crítico. Rev. Ciencia de los alimentos. Nutrición*.60, 3400–3413.
6. Azis, K., Mavriou, Z., Karpouzas, D. G., Ntougias, S., & Melidis, P. (2021). Evaluation of Sand Filtration and Activated Carbon Adsorption for the Post-Treatment of a Secondary Biologically-Treated Fungicide-Containing Wastewater from Fruit-Packing Industries. *Processes*, 9(7), 1223. <http://dx.doi.org/10.3390/pr9071223>
7. Bhutiani, R., Ahamad, F., & Ruhela, M. (2021). Effect of composition and depth of filter-bed on the efficiency of Sand-intermittent-filter treating the Industrial wastewater at Haridwar, India. *Journal of Applied and Natural Science*, 13, 88-94. <https://doi.org/10.31018/jans.v13i1.2421>.
8. Calvo, Esteban and de Malmazet, Erik and Risso, Frédéric and Masbernat, Olivier. (2019) Coalescence of Water Drops at an Oil–Water Interface Loaded with Microparticles and Surfactants. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58 (34). <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b02524>

9. Carhuamaca, C., Mejía, J. (2020). Efecto del número de mamparas y el tiempo de contacto en la trampa de grasas para evaluar su capacidad de remoción. [Tesis de pregrado para optar el título de ingeniero químico, Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6115/T010_48179929_T_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
10. Cescon A., and Jia-Qian J., (2020). Filtration Process and Alternative Filter Media Material in Water Treatment, *Water* ,12, 3377; doi:10.3390/w1212337.
11. Cheremisinoff, N.P. Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies; Butterworth-Heinemann: Oxford, UK, 2002
12. Contreras, J. (2006). Recuperación y Tratamiento de Hidrocarburos Líquidos de Trampas de Aceite y Grasas de Estaciones de Servicio de Combustible. Tesis (Ingeniero Petroquímico). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
13. D.S. N°010-2019-VIVIENDA. (2019). Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas Residuales No domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Diario oficial El Peruano. Lima - Perú.
14. Eka, M., Anifah, I., Khairunnissa, A., Rina, N., Satria, A. (2022). Adsorption of Oil and Grease in Wastewater using Activated Carbon Derived from Sewage Sludge. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1098 012043. doi:10.1088/1755-1315/1098/1/012043z.
15. Fong, Y., Rozidaini, M., Mohd, Z., Mohd, A. (2020). Removal of Emulsified Oil in Wastewater by Corn Cob Carbon. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 549 012065. Doi: 10.1088/1755-1315/549/1/012065.
16. Freitas, B. L. S., Terin, U. C., Fava, N. de M. N., & Sabogal-Paz, L. P. (2021). Filter media depth and its effect on the efficiency of Household Slow Sand Filter in continuous flow. *Journal of Environmental Management*, 288, 112412. Doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112412.
17. Gurd, C., Jefferson, B., Villa, R., De Castro Rodriguez, C. (2018). Determination of fats, oils and greases in food service establishment wastewater using a modification of the Gerber method, *Water and Environment Journal* 34(1) Pages 5-13. <https://doi.org/10.1111/wej.12431>.
18. Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2010). Metodología de la Investigación, Mcgraw-Hill / Interamericana editores, S.A. de C.V. Quinta Edición.

19. Igwegbe, Ch., Umembamalu, Ch., Osuagwu, E., Oba, S., Emembolu, L. (2020). Studies on Adsorption Characteristics of Corn Cobs Activated Carbon for the Removal of Oil and Grease from Oil Refinery Desalter Effluent in a Downflow Fixed Bed Adsorption Equipment. *European Journal of Sustainable Development Research*, 5(1). <https://doi.org/10.29333/ejosdr/9285>.
20. Imran Ahmad, Norhayati Abdullah, Iwamoto Koji, Ali Yuzir, Mohd Danish Ahmad, Nova Rachmadona, Anas Al-Dailami, Pau Loke Show, Kuan Shiong Khoo (2023). Micro and macro analysis of restaurant wastewater containing fat, oil, grease (FOG): An approach based on prevention, control, and sustainable management, *Chemosphere*,325. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138236>.
21. Kaliyan, N., Morey R (2010). Fuel Processing, *Technology*,91,559–565. Doi: 10.1016/j.fuproc.2010.01.001
22. Malqui, S. P. (2021). Implementación de un sistema de filtros para la remoción de aceites y grasas de aguas residuales domésticas en la Asociación Café Perú, Puente Piedra, 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/29220>
23. Marin T., Villarroel W. (2016). Evaluación de un filtro a base de harina de tusa de maíz (*Zea mays*) y carbón vegetal para el tratamiento de agua contaminada con petróleo, *Geominas*, 44, 70.
24. Mkilima T, Meiramkulova K, Nurbala U, Zandybay A, Khusainov M, Nurmukhanbetova N, Tastanova L, Mashan T, Meirbekov A. (2021) Investigating the Influence of Column Depth on the Treatment of Textile Wastewater Using Natural Zeolite. *Molecules*. 26(22):7030. doi: 10.3390/molecules26227030.
25. Olufemi, B., Jimoda, L., Agbodike, N. (2014). Adsorption of Crude Oil using Meshed Corncobs. *Asian Journal of Applied Science and Engineering*, 3 (2).
26. Pineda, C., Guerrero J. (2011) Aprovechamiento de los residuos grasos generados en los restaurantes y comidas rápidas de Pereira. *Scientia Et Technica*, 27(47)264-269. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327053>.
27. Pordesimo, L., Hames, B., Sokhansanj S., Edens, W. (2005). Variation in corn stover composition and energy content with crop maturity, *Biomass Bioenergy* 28,366–374.
28. Romero, J. (2010). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño (3.ª ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería

29. Sello, M. (2021). Wastewater fats oils and grease characterisation, removal and uses. A Review. *Environ Sci Ind J.* 17(10):200.
30. Sokhansanj S., Turhollow, A., Cushman, J., Cundiff, J. (2002) Engineering aspects of collecting corn stover for bioenergy, *Biomass Bioenergy* (23),347–355.
31. Tebbutt, T.H.Y. Principles of Water Quality Control, 5th ed.; Butterworth-Heinemann: Oxford, UK, 1998.
32. Toapanta-Casco M., Roldan-Muentes M., Cisneros-Pérez N. o Moreira-Mendoza C. (2021). Aplicación de sales inorgánicas en el tratamiento de aguas residuales industriales procedente de la refinación de aceites y grasas. *Dom. Cien.* 7 (1), 632-647. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i1.1667>.
33. Tuesta, J. (2021). Diseño de un proceso físico para la reducción de contaminantes generados por aguas residuales de los usuarios no domésticos en la ciudad de Moyobamba, Código: 6054019 [Tesis de pregrado para optar el título de ingeniero sanitario, de la Universidad Nacional de San Martín]. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4189/1/ING.%20SANITARIA%20-%20Julio%20C%3%A9sar%20Tuesta%20Ramos.pdf>.
34. USDA, 2011. World agricultural production archives. United States Department of Agriculture.
35. Widman, R. (2009). La Selección y Diagnóstico de Grasa. *Mantenimiento mundial* (67), 2 - 3. Obtenido de <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/w67.pdf>.
36. Zamora, H. (2022). Remoción de aceites y grasas de aguas residuales mediante la aplicación de biofiltro de mesocarpio de coco (*Coc nucifera L.*) [Tesis de pregrado para optar el título de ingeniera ambiental, Universidad Científica del Sur], Repositorio de la Universidad Científica del Sur, <https://hdl.handle.net/20.500.12805/2813>
37. Zhang Y., Ghaly A., Bingxi L. (2012). Physical Properties of Corn Residues, *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 2012, 8(2), 44-53, doi:10.3844/ajbb.2012.44.53.
38. Zizeng, L., Hai, Y., Huiming, Ch., Xinyu, O., Zhaoqin, L. (2020). Comparison of the Decontamination Performance of Three Permeable Bricks: Adsorption and Filtration Experiments. *Pol. J. Environ. Stud.* 29(5), pag:3225-3233. doi: 10.15244/pjoes/114262.

VIII.

IX. Anexos

9.1. Datos experimentales de la investigación

Tabla 11. Características fisicoquímicas básicas de las muestras de efluente de pollería para la investigación

Tipo de efluente	Parámetro fisicoquímico	Unidad	Muestra de efluente de pollería			
			primera	segunda	tercera	Promedio
Sin dilución	pH	Unidades de pH	6.3	6.5	6.5	6.43
	Temperatura	°C	25.5	25.6	25	25.37
	Sólidos totales	mg/L	2323	2530	2245	2366.00
	Aceites y grasas	mg/L	281	245	206	244.00
Al 50% de dilución	pH	Unidades de pH	6.5	6.1	6.3	6.30
	Temperatura	°C	24.8	24.6	24.4	24.60
	Sólidos totales	mg/L	1132	1108	1089	1109.67
	Aceites y grasas	mg/L	125	118	103	115.33
Al 25% de dilución	pH	Unidades de pH	6.3	6.2	6.3	6.27
	Temperatura	°C	24.9	25.2	25.2	25.10
	Sólidos totales	mg/L	589	604	621	604.67
	Aceites y grasas	mg/L	68	59	63	63.33

Tabla 12. Concentración final de aceites y grasas del efluente de pollería después de la filtración vertical y horizontal

Tipo de efluente	Repeticiones	Concentración Inicial de A y G (mg/L)	Concentración Final de A y G por tipo de filtración (mg/L)	
			Filtro Vertical	Filtro Horizontal
Sin dilución	1R	244.00	46.70	98.10
Sin dilución	2R	244.00	45.90	89.60
Sin dilución	3R	244.00	47.80	82.40
Sin dilución	promedio	244.00	46.80	90.03
Al 50% de dilución	1R	115.33	38.40	59.40
Al 50% de dilución	2R	115.33	37.20	52.60
Al 50% de dilución	3R	115.33	35.40	61.40
Al 50% de dilución	promedio	115.33	37.00	57.80
Al 25% de dilución	1R	63.33	21.60	38.40
Al 25% de dilución	2R	63.33	22.60	35.70
Al 25% de dilución	3R	63.33	20.70	32.90
Al 25% de dilución	promedio	63.33	21.63	35.67

Tabla 13. Concentración final de aceites y grasas del efluente de pollería después de la filtración vertical y horizontal, con diferente volumen de lecho filtrante

Volumen de lecho filtrante	Repeticiones	Concentración Inicial de A y G (mg/L)	Concentración Final de Ay G por tipo de filtración (mg/L)	
			Filtro Vertical	Filtro Horizontal
V1=300 mL	1R	244.00	81.40	92.40
V1=300 mL	2R	244.00	79.50	93.60
V1=300 mL	3R	244.00	78.20	89.50
V1=300 mL	promedio	244.00	79.70	91.83
V2=400 mL	1R	244.00	63.50	74.20
V2=400 mL	2R	244.00	61.80	76.20
V2=400 mL	3R	244.00	69.10	79.10
V2=400 mL	promedio	244.00	64.80	76.50
V3=500 mL	1R	244.00	52.40	68.30
V3=500 mL	2R	244.00	54.10	69.80
V3=500 mL	3R	244.00	51.30	72.40
V3=500 mL	promedio	244.00	52.60	70.17

Tabla 14. Concentración final de aceites y grasas del efluente de pollería por efecto de la concentración inicial de aceites y grasas del efluente, y el diseño del sistema de filtración en función a la posición y volumen de un medio filtrante.

Tto	Tipo de efluente	Diseño	Volumen	Repet.	Inicial de A y G (mg/L)	Final de A y G (mg/L)	Efic. de remoción (%)	Remoción promedio A y G (%)
	Sin dilución	FV	V1	1R	244.00	80.70	66.93	
T1	Sin dilución	FV	V1	2R	244.00	80.10	67.17	67.21
	Sin dilución	FV	V1	3R	244.00	79.20	67.54	
	Sin dilución	FV	V2	1R	244.00	64.20	73.69	
T2	Sin dilución	FV	V2	2R	244.00	62.50	74.39	73.62
	Sin dilución	FV	V2	3R	244.00	66.40	72.79	
	Sin dilución	FV	V3	1R	244.00	56.10	77.01	
T3	Sin dilución	FV	V3	2R	244.00	53.70	77.99	77.81
	Sin dilución	FV	V3	3R	244.00	52.60	78.44	
	Sin dilución	FH	V1	1R	244.00	90.80	62.79	
T4	Sin dilución	FH	V1	2R	244.00	92.50	62.09	62.75
	Sin dilución	FH	V1	3R	244.00	89.40	63.36	
	Sin dilución	FH	V2	1R	244.00	76.20	68.77	
T5	Sin dilución	FH	V2	2R	244.00	76.20	68.77	68.73
	Sin dilución	FH	V2	3R	244.00	76.50	68.65	
	Sin dilución	FH	V3	1R	244.00	69.10	71.68	
T6	Sin dilución	FH	V3	2R	244.00	68.20	72.05	71.48
	Sin dilución	FH	V3	3R	244.00	71.50	70.70	
T7	Al 50% de dilución	FV	V1	1R	115.33	44.80	61.16	61.24

	Al 50% de dilución	FV	V1	2R	115.33	45.20	60.81	
	Al 50% de dilución	FV	V1	3R	115.33	44.10	61.76	
	Al 50% de dilución	FV	V2	1R	115.33	41.30	64.19	
T8	Al 50% de dilución	FV	V2	2R	115.33	40.50	64.88	64.16
	Al 50% de dilución	FV	V2	3R	115.33	42.20	63.41	
	Al 50% de dilución	FV	V3	1R	115.33	38.40	66.71	
T9	Al 50% de dilución	FV	V3	2R	115.33	37.20	67.75	67.92
	Al 50% de dilución	FV	V3	3R	115.33	35.40	69.31	
	Al 50% de dilución	FH	V1	1R	115.33	65.10	43.55	
T10	Al 50% de dilución	FH	V1	2R	115.33	65.90	42.86	43.01
	Al 50% de dilución	FH	V1	3R	115.33	66.20	42.60	
	Al 50% de dilución	FH	V2	1R	115.33	62.40	45.90	
T11	Al 50% de dilución	FH	V2	2R	115.33	61.80	46.42	46.07
	Al 50% de dilución	FH	V2	3R	115.33	62.40	45.90	
	Al 50% de dilución	FH	V3	1R	115.33	58.40	49.36	
T12	Al 50% de dilución	FH	V3	2R	115.33	54.10	53.09	50.29
	Al 50% de dilución	FH	V3	3R	115.33	59.50	48.41	
	Al 25% de dilución	FV	V1	1R	63.33	26.70	57.84	
T13	Al 25% de dilución	FV	V1	2R	63.33	25.40	59.89	58.21
	Al 25% de dilución	FV	V1	3R	63.33	27.30	56.89	
	Al 25% de dilución	FV	V2	1R	63.33	23.80	62.42	
T14	Al 25% de dilución	FV	V2	2R	63.33	23.10	63.53	63.26
	Al 25% de dilución	FV	V2	3R	63.33	22.90	63.84	

	Al 25% de dilución	FV	V3	1R	63.33	20.80	67.16	
T15	Al 25% de dilución	FV	V3	2R	63.33	22.30	64.79	65.89
	Al 25% de dilución	FV	V3	3R	63.33	21.70	65.74	
	Al 25% de dilución	FH	V1	1R	63.33	46.60	26.42	
T16	Al 25% de dilución	FH	V1	2R	63.33	44.10	30.37	29.68
	Al 25% de dilución	FH	V1	3R	63.33	42.90	32.26	
	Al 25% de dilución	FH	V2	1R	63.33	40.80	35.58	
T17	Al 25% de dilución	FH	V2	2R	63.33	41.90	33.84	34.16
	Al 25% de dilución	FH	V2	3R	63.33	42.40	33.05	
	Al 25% de dilución	FH	V3	1R	63.33	38.40	39.37	
T18	Al 25% de dilución	FH	V3	2R	63.33	35.70	43.63	43.68
	Al 25% de dilución	FH	V3	3R	63.33	32.90	48.05	

9.2. Análisis estadístico de los resultados de la investigación con el software Infostat

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Eficiencia de remoción de..	54	0.88	0.87	8.62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8712.84	5	1742.57	69.03	<0.0001
Tipo de efluente	4231.78	2	2115.89	83.81	<0.0001
Diseño de sistema	3725.21	1	3725.21	147.56	<0.0001
Volumen del lecho filtrant..	755.85	2	377.93	14.97	<0.0001
Error	1211.78	48	25.25		
Total	9924.62	53			

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 25.2453 gl: 48

Tipo de efluente	Medias	n	E.E.	
Al 25% de dilución	49.15	18	1.18	A
Al 50% de dilución	55.45	18	1.18	B
Sin dilución	70.27	18	1.18	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 25.2453 gl: 48

Diseño de sistema	Medias	n	E.E.	
FH	49.98	27	0.97	A
FV	66.59	27	0.97	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 25.2453 gl: 48

Volumen del lecho filtrant..	Medias	n	E.E.	
V1	53.68	18	1.18	A
V2	58.33	18	1.18	B
V3	62.85	18	1.18	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

9.3. Imágenes de la investigación



Figura 13. Biomasa de *Zea mays* L. (Maíz morado) utilizada en la investigación



Figura 14. Secado de la tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado).



Figura 15. Triturado de la tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado) utilizando el mortero



Figura 16. Molido de la tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado)



Figura 17. Tamizado de la tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado)



Figura 18. Fases de acondicionamiento de la tusa de *Zea mays* L. (Maíz morado)



Figura 19. Instalación del sistema experimental en el laboratorio de Calidad del Agua



Figura 20. Colección del efluente de pollería



Figura 21. Homogenización del efluente de pollería



Figura 22. Determinación de las características fisicoquímicas básicas del efluente de la investigación (Sólidos Totales)



Figura 23. Colocación de los crisoles en la estufa para la determinación de las características fisicoquímicas básicas del efluente de la investigación (Sólidos Totales)



Figura 24. Pesado de los crisoles en la estufa para la determinación de las características fisicoquímicas básicas del efluente de la investigación (Sólidos Totales)



Figura 25. Determinación de las características fisicoquímicas básicas del efluente de la investigación (pH, Temperatura, Sólidos Totales)

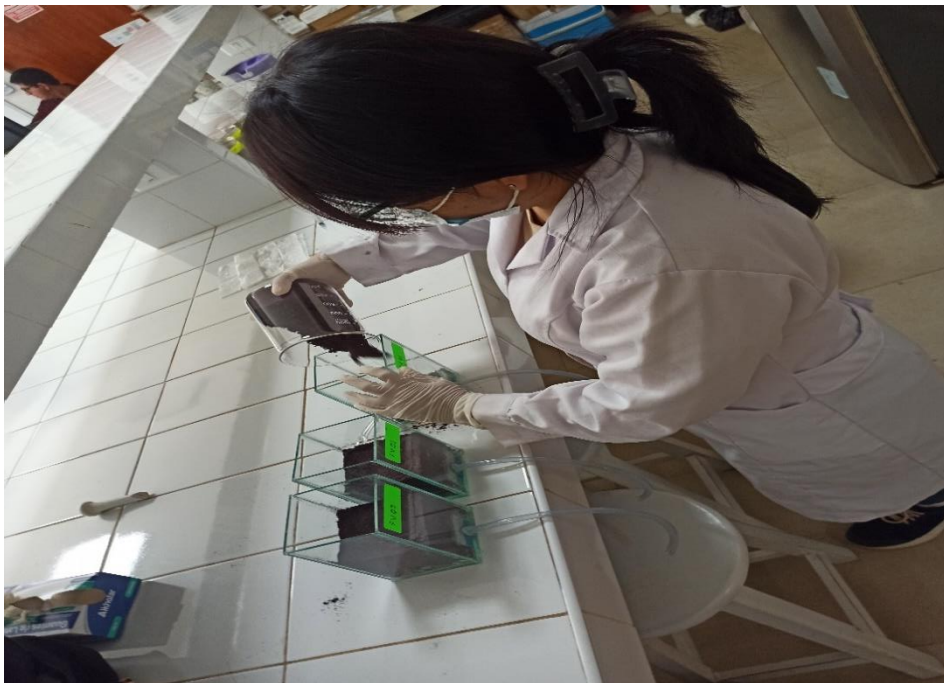


Figura 26. Preparación del filtro vertical con el lecho filtrante



Figura 27. Preparación del filtro horizontal con el lecho filtrante



Figura 28. Preparación del efluente de poltería a diferentes diluciones



Figura 29. Sistema experimental con filtración vertical y horizontal



Figura 30. Efluente filtrado para analizar aceites y grasas



Figura 31. Muestras de efluente filtrado para análisis de laboratorio



Figura 32. Determinación de aceites y grasas en laboratorio



Figura 33. Determinación de aceites y grasas en laboratorio



Figura 34. Separación de aceites y grasas para inicio de formación de fases



Figura 35. Supervisión del jurado calificador.



Figura 36. Supervisión del jurado calificador.