

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



**Adsorción de monóxido de carbono en emisiones de pollería
utilizando carbón activo a partir de cascara de naranja (*citrus
sinensis*) y coco (*cocos nucifera*)**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Margarita Sandy Coa Flores

Dania Yoselin Mamani Jove

Asesor:

Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani

Juliaca, agosto de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Veronika Haydeé Pari Mamani, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**ADSORCIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO EN EMISIONES DE POLLERÍA UTILIZANDO CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE CASCARA DE NARANJA (*CITRUS SINENSIS*) Y COCO (*COCOS NUCIFERA*)**” de los autores **Margarita Sandy Coa Flores** y **Dania Yoselin Mamani Jove**, tiene un índice de similitud de 15% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 21 días del mes de setiembre del año 2025.



Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani

Asesor



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 22 día(s) del mes de agosto del año 2020, siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Enrique Mamani Buena el (la) secretario(a): Msc. Rosa Adeline Gallata Ghura y los demás miembros: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera Msc. Janyda Abigail Condori Turpo y el (la) asesor(a) Ing. Veronica Haydee Pari Mamani con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

"Adsorción de monóxido de carbono en emisiones de pizzeria utilizando carbón activo a partir de cascara de naranja (Citrus sinensis) y coco (Cocos nucifera)"

del(los) bachiller(es): a) Margarita Sandy Goa Flores b) Dania Yoselin Mamani Jove c)

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Margarita Sandy Goa Flores

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

Bachiller (b): Dania Yoselin Mamani Jove

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

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

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

[Firma] Presidente/a

[Firma] Asesor/a

[Firma] Bachiller (a)

[Firma] Miembro

[Firma] Bachiller (b)

[Firma] Secretario/a

[Firma] Miembro

[Firma] Bachiller (c)

Tabla de contenido

Resumen	5
Abstract	6
1. Introducción	7
2. Metodología	9
2.1. Obtención de Carbón Activo	9
2.2. Diseño del filtro	11
2.3. Monitoreo de CO en los hornos	12
2.4. Monitoreo de temperatura del flujo gaseoso	12
2.5. Caracterización de carbón activo	13
2.6. Análisis estadístico	14
3. Resultados	14
3.1. Evaluación de la eficiencia del filtro en una pollería	16
3.2. Resultados del SEM	18
4. Discusión	19
5. Conclusión	26
6. Referencia bibliográfica	27
7. Figuras y tablas	32
8. Anexos	38

Adsorción de monóxido de carbono en emisiones de pollería utilizando carbón activo a partir de cascara de naranja (*Citrus sinensis*) y coco (*Cocos nucifera*)

Adsorption of Carbon Monoxide from Rotisserie Emissions Using Activated Carbon Derived from Orange (*Citrus sinensis*) and Coconut (*Cocos nucifera*) Shells

Resumen

Las actividades comerciales como las pollerías dedicadas a la cocción de pollos a la brasa constituyen una fuente significativa de emisiones atmosféricas. Durante este proceso, la combustión incompleta del carbón y leña utilizado como combustible genera una variedad de contaminantes, entre los cuales destaca el monóxido de carbono. El objetivo de la investigación fue evaluar la adsorción del monóxido de carbono en emisiones de pollerías utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja y coco. La metodología desarrollada para la fabricación del filtro inició con la recolección de la materia prima, seguida de la obtención del carbón y su posterior activación química mediante ácido fosfórico al 50% de concentración. Culminada la etapa de activación, el material fue lavado con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro, garantizando la eliminación de residuos ácidos. Luego, se incorporó el aglomerante alcohol polivinílico al 8% para mejorar la cohesión del material. La mezcla obtenida fue moldeada en forma esférica, generando un total de 75 esferas dispuestas en tres capas. Cada filtro presentó un peso promedio de 150 gramos. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con un solo factor (proporción de cáscara de coco y naranja), evaluado en cinco tratamientos (T1 a T5), con tres repeticiones por tratamiento, totalizando 15 unidades experimentales. Cada tratamiento fue aplicado en hornos con filtros de 12x12cm. Finalmente, el tratamiento T2 (25% coco – 75% naranja) presentó el mejor desempeño, alcanzando una eficacia de 91,9% en la adsorción de monóxido de carbono, validado en una pollería.

Palabras clave: monóxido de carbono, carbón activado, adsorción, pollería, filtro.

Abstract

Commercial activities such as rotisserie chicken farms constitute a significant source of atmospheric emissions. During this process, the incomplete combustion of the coal and firewood used as fuel generates a variety of pollutants, most notably carbon monoxide. The objective of the research was to evaluate the adsorption of carbon monoxide in poultry emissions using activated carbon from orange and coconut peels. The methodology developed for filter manufacturing began with the collection of the raw material, followed by obtaining the carbon and its subsequent chemical activation using 50% phosphoric acid. After the activation stage, the material was washed with distilled water until a neutral pH was reached, ensuring the elimination of acid residues. The binder, 8% polyvinyl alcohol, was then added to improve the material's cohesion. The resulting mixture was molded into a spherical shape, generating a total of 75 spheres arranged in three layers. Each filter had an average weight of 150 grams. A completely randomized experimental design with a single factor (ratio of coconut shell to orange) was used, evaluated in five treatments (T1 to T5), with three replicates per treatment, totaling 15 experimental units. Each treatment was applied in ovens with 12×12cm filters. Finally, treatment T2 (25% coconut - 75% orange) showed the best performance, reaching 91.9% carbon monoxide adsorption efficiency, validated in a poultry farm.

Keywords: carbon monoxide, activated carbon, adsorption, poultry farm, filter.

1. Introducción

A nivel mundial, la contaminación del aire se ha consolidado como una de las principales amenazas ambientales y de salud pública, especialmente por su estrecha relación con el cambio climático y esta problemática ha sido intensificada por la quema de combustibles fósiles, procesos industriales y actividades domésticas que liberan gases contaminantes a la atmósfera, donde el monóxido de carbono (CO) es uno de los contaminantes primarios más peligrosos, producto de la combustión incompleta, que no solo contribuye al deterioro de la calidad del aire, sino también al aumento del ozono troposférico y efectos negativos en la salud humana como hipoxia, cefaleas y complicaciones cardiovasculares (Zhang y Batterman 2013). Además, la exposición crónica incluso a concentraciones moderadas de CO ha sido vinculada con un aumento de mortalidad diaria por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (K. Chen et al., 2021). Estudios recientes muestran que la contaminación del aire incluido el CO provoca aproximadamente 4,2 millones de muertes prematuras cada año, siendo un reto global prioritario en salud pública y desarrollo sostenible (Li et al., 2023).

En el contexto latinoamericano, diversas ciudades enfrentan niveles alarmantes de monóxido de carbono y material particulado. En Lima, Perú, los estudios del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2024) reportan niveles de monóxido de carbono que superan los valores guía establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) en zonas de alta densidad vehicular e industrial. A esto se suma el crecimiento descontrolado de fuentes emisoras en el sector comercial. Además, estudios en Arequipa evidencian que hornos de pollería liberan concentraciones de CO y NO_x que superan los límites permisibles del ECA, representando un importante foco de contaminación urbana (Pretto García, 2024). En Huarmey se registraron niveles de CO de hasta 29,5 ppm en emitidas por pollerías, excediendo los 25 ppm permitidos (García León, 2022).

En el Perú, existe la presencia de actividades industriales, comerciales y de servicio que carecen de medidas de control ambiental, según la Asociación Peruana de Avicultura (APA, 2019), existe 13 mil locales que se dedican a la venta de pollos a la brasa. El problema surge durante el proceso de preparación del pollo a la brasa, consecuencia de una combustión incompleta, proveniente del carbón y leña que generan partículas contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NOx), los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y el CO, estos gases se emitidos sin ningún tratamiento, ni análisis preliminar. Además, el número de consumo aumenta en un 25% de lo normal, por consecuente genera externalidades negativas (LLamocca y Parian, 2021). Sin embargo, cabe mencionar que el monóxido de carbono puede ser nocivo si se emiten en grandes cantidades al medio ambiente. Además de ello no se han planteado parámetros exigibles para este tipo de actividades en el Perú, por ende, tomamos como referencia una normativa internacional Europea (LLamocca y Parian, 2021).

Juliaca, enfrenta serios problemas de contaminación del aire, generando aproximadamente 4458.13 (t/año) de contaminantes, siendo el monóxido de carbono el más prevalente (61.52% del total) los cuales afecta al medio ambiente (Chuquija, 2021). Estudios previos han demostrado que los niveles de monóxido de carbono en Juliaca han alcanzado hasta 4.86ppm en zonas de alta circulación vehicular, superando los límites recomendados por la OMS, lo cual agrava la necesidad de implementar soluciones sostenibles para mitigar este contaminante (Diana, 2017).

Estudios recientes como Reza (2023), propone un diseño de filtro de carbón activado elaborado a partir de residuos orgánicos como una mejor alternativa de bajo costo. Uno de estos materiales que pudieran resultar de interés son las cáscaras de naranja, ya que debido a su abundancia en el país como producto de desecho de las industrias de alimentos tienen problemas para su disposición y no representan ningún valor económico (Romero Cano, 2013). Ante la necesidad de reducir la contaminación atmosférica generada por las pollerías, esta

investigación propuso el uso de filtros con carbón activado a base de cáscara de naranja y coco, materiales agroindustriales de bajo costo y alta capacidad adsorbente. El objetivo fue evaluar la absorción de monóxido de carbono en emisiones de pollería utilizando carbón activo a partir de cascara de naranja y coco. Desde el punto de vista técnica la presente propuesta de esta investigación permite acceder de manera sencilla a los procesos metodológicos y a las técnicas y métodos para realizar el diseño de los filtros en base a la aplicación de la materia orgánica referentes a su conversión para un carbón activado. La propuesta representa una alternativa técnica sostenible y accesible, que contribuye a mejorar la calidad del aire y promueve el aprovechamiento de residuos orgánicos bajo un enfoque de economía circular.

2. Metodología

La presente investigación se desarrolló en la Universidad Peruana Unión, ubicada en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, región Puno, Perú, a una altitud aproximada de 3850m s. n. m. La ejecución del estudio tuvo una duración de dos meses, abarcando los meses de febrero y marzo del año 2025. Durante este periodo se llevaron a cabo ensayos in vitro en el Laboratorio de Monitoreo Ambiental, donde se realizaron las pruebas experimentales correspondientes a la obtención del carbón activo, diseño del filtro y la evaluación de su eficiencia, para posteriormente implementarlo en una pollería ubicada en la Av. Huancané con AV. Virreyes de la misma ciudad de Juliaca. El proceso metodológico de la investigación consistió en los siguientes procedimientos.

2.1. Obtención de Carbón Activo

Para la obtención del carbón activado, se adoptó una metodología integrada basada en los estudios de (LLamocca y Parian, 2021)(García López & Granillo Oporta, 2017) titulado “Filtro de cáscara de naranja valencia para reducir el monóxido de carbono emitidas por pollerías.”, y

complementado con estudio Liliana y Moreno (2008), titulado “Monolitos de carbón activado a partir de cáscaras de coco e impregnación con níquel y cobre”, garantizando la comparabilidad de resultados y la eficiencia del proceso.

Para la elaboración del carbón activado, se emplearon cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) variedad Valencia y cáscaras de coco (*Cocos nucifera*) como materias primas. Se recolectaron aproximadamente 50kg de cáscara de naranja y 70kg de cáscara de coco en estado fresco, posteriormente, ambas cáscaras fueron sometidas a un proceso de lavado, seguido de la reducción de su tamaño hasta obtener fragmentos de aproximadamente 2cm; luego, las cáscaras se dejaron secar a temperatura ambiente durante tres días para reducir su humedad. Una vez semisecas, fueron sometidas a un proceso de secado térmico en una estufa marca Binder, a una temperatura constante de 80°C durante 24 horas para eliminar su totalidad de humedad mínimo adecuado para su procesamiento, con el objetivo de optimizar la superficie de contacto para su posterior activación.

Las muestras fueron sometidas a un proceso de carbonización térmica en una mufla de marca Enitherm mod DP30 a diferentes condiciones según el tipo de biomasa, la cáscara de naranja fue carbonizada a 300°C y la cáscara de coco a 275°C ambas durante 2 horas. Este proceso permitió obtener el carbón precursor, el cual posteriormente fue utilizado para su activación química.

Se seleccionaron 125g del carbón carbonizado y se impregnaron con ácido fosfórico (H_3PO_4) al 50% p/p (masa a masa), siguiendo las recomendaciones de estudios previos que emplean esta proporción para mejorar el desarrollo de la porosidad en materiales lignocelulósicos (Yuen y Hameed, 2009), utilizando una relación de impregnación 1:2 (peso: volumen) es decir, por cada gramo de carbón carbonizado se aplicaron dos mililitros de la solución ácida, siguiendo metodologías descritas en estudios sobre activación química de biomasa lignocelulósica

(Canales y Prieto, 2022). La mezcla fue colocada en vasos precipitados de 500ml, agitada manualmente con una varilla de vidrio y dejada en reposo durante 24 horas para permitir una adecuada impregnación. Finalizado este periodo, las muestras fueron lavadas con agua destilada caliente (80°C) para remover el exceso de ácido y neutralizar el pH del carbón activado. Se realizaron enjuagues sucesivos hasta alcanzar un pH neutro. Las muestras neutralizadas fueron nuevamente secadas en una estufa a 105°C durante 8 horas y luego molidas en mortero hasta obtener un polvo fino. Este polvo fue tamizado con un tamiz de malla 200 (75µm), obteniendo finalmente el carbón activado en fino.

2.2. Diseño del filtro

Para elaborar el diseño filtrante, se utilizó el carbón activado lo cual fue mezclado con un aglutinante de alcohol polivinílico (PVA) al 8% de concentración, en relación con el peso del carbón. La preparación del (PVA) se realizó en baño María con agitación magnética de marca VELP Scientifica a una temperatura de 250°C y una revolución de 700rpm constante hasta lograr una disolución homogénea. Una vez obtenida la mezcla, esta fue moldeada manualmente en forma de esferas, con un peso aproximado de 2 a 3 gramos por unidad. Para posteriormente, implementarlo en el prototipo filtrante considerando los cinco tratamientos (T1, T2, T3, T4 y T5). En cada nivel se colocaron 25 esferas, con un peso aproximado de 50g por compartimento, sumando un total de 75 esferas y un peso total de 150g por filtro. Se construyeron tres filtros en total, uno para cada repetición experimental.

Posteriormente, se construyó el prototipo del filtro en acero inoxidable, con forma prismática de base cuadrada y dimensiones de 12×12cm de lado y 15cm de altura, el filtro fue dividido en tres compartimentos mediante mallas metálicas, permitiendo alojar las tres capas de esferas activadas como se puede observar en la Figura 1. Los prototipos de filtro fueron implementados en un sistema simulado de emisiones de hornos de pollería, con el objetivo de

evaluar la eficiencia del carbón activado en la adsorción de CO particularmente derivados de la combustión incompleta de la leña.

2.3. Monitoreo de CO en los hornos

Una vez obtenidos los filtros se procedió a implementarlos en los hornos para el monitoreo, realizando un total de 18 monitoreos, incluyendo el monitoreo inicial, cada uno con una duración de dos horas y con una frecuencia de monitoreo de 10 minutos, para dichos monitoreos de concentración de CO se realizó de acuerdo con los lineamientos establecidos del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire establecidos por (Ministerio del Ambiente del Perú, 2019). Para ello, se utilizó un analizador de gases de combustión marca TESTO 350, instrumento calibrado y ampliamente utilizado para la medición en campo de contaminantes atmosféricos. Una vez realizado la totalidad de monitores y obtenido el mejor tratamiento se efectuó un segundo monitoreo de monóxido de carbono en una pollería tradicional con una duración de dos horas y una frecuencia de monitoreo de 10 minutos con la finalidad de observar la eficiencia del filtro que fue aplicado. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis comparativo entre los resultados obtenidos sin la aplicación de filtro y aquellos correspondientes a cada tratamiento.

2.4. Monitoreo de temperatura del flujo gaseoso

Durante la ejecución de las pruebas experimentales, se monitoreó la temperatura mediante el equipo TESTO 350, registrándose dos parámetros clave: la temperatura ambiente (TA) y la temperatura del gas de combustión (TH). La TA se mantuvo en un rango de 18°C a 24°C, mientras que la TH, correspondiente a los gases emitidos por la chimenea durante la cocción, osciló entre 59°C y 75°C. Estas variaciones se consideraron dentro de un margen aceptable, dado que las pruebas se realizaron bajo condiciones controladas y replicables,

utilizando el mismo tipo y cantidad de combustible, así como tiempos de exposición uniformes. El monitoreo de estas temperaturas permitió garantizar que no existieran diferencias térmicas significativas entre tratamientos que pudieran afectar la eficiencia de adsorción. Cabe destacar que la temperatura del flujo gaseoso es un factor relevante en los procesos de adsorción, ya que puede influir en la cinética y capacidad de captura del monóxido de carbono (Smith, 2006).

2.5. Caracterización de carbón activo

Para la caracterización morfológica y análisis químico elemental del carbón activado de cáscara de naranja y coco, se enviaron cinco muestras en forma de partículas pulverizadas al Centro de Microscopía Electrónica de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (CME-UNSA), muestras ya mencionadas fueron preparadas colocándolas en posición superior sobre porta-muestras de aluminio (stubs), utilizando cinta de carbono de doble cara para su fijación. Luego, fueron recubiertas con una fina capa de oro mediante pulverización catódica (sputtering) en alto vacío, utilizando el equipo Quorum Q150R ES, a fin de mejorar la conductividad eléctrica de la superficie.

El análisis morfológico se realizó mediante un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) modelo Scios 2 Dual Beam, marca Thermo Scientific, operando en condiciones de alto vacío y con un voltaje de aceleración de 20 kV. Se utilizó un detector de electrones secundarios (ETD), el cual permitió obtener microfotografías de la topografía y textura superficial de las muestras, con diferentes niveles de aumento. Paralelamente, se llevó a cabo el análisis químico elemental por medio de espectroscopía de dispersión de energía de rayos X (EDS), utilizando el detector Ultra Dry. Los análisis se realizaron tanto por área como de forma puntual, según los requerimientos específicos, para determinar la composición elemental de las muestras.

2.6. Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue completamente aleatorizado con un solo factor, este factor fue evaluado en cinco tratamientos (T1: 100% naranja, T2: 25% coco - 75% naranja, T3: 50% coco- 50% naranja, T4: 75% coco - 25% naranja y T5: 100% coco), con tres repeticiones por tratamiento, totalizando 15 unidades experimentales. Para el tratamiento de los datos obtenidos en la presente investigación, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) con fines de interpretación estadística, a ello se le complementará con la prueba Post Hoc TUKEY, este método estadístico fue seleccionado debido a su capacidad para comparar las medias de múltiples grupos experimentales, y determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos en relación con la variable de respuesta: la concentración de monóxido de carbono en partes por millón (ppm). En método ayudo a evidenciar el mejor tratamiento de adsorción de CO respecto a los demás.

3. Resultados

En el Tabla 1 se presentan los tratamientos: T1: 100% cáscara de naranja, T2: 25% coco – 75% naranja, T3: 50% coco – 50% naranja, T4: 75% coco – 25% naranja y T5: 100% cáscara de coco. Cada uno de estos tratamientos fue aplicado en tres hornos independientes, lo que constituyó las tres repeticiones por tratamiento, asegurando una adecuada representatividad estadística. El estudio evaluó la eficacia de cinco tratamientos experimentales en los hornos con carbón activado, elaborados a partir de mezclas de cáscara de coco (*Cocos nucifera*) y cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), en comparación con un sistema sin tratamiento.

En el monitoreo inicial variaron 1115 y 1621ppm con un promedio general de 1394.3ppm valores tomados como referencia para calcular las reducciones obtenidas con los tratamientos.

En la Figura 3, se expresa los tratamientos aplicados para la reducción del monóxido de carbono (CO), respecto al valor promedio inicial de 1394ppm obtenidos en los hornos, muestran variaciones notables en su desempeño según el tipo de material adsorbente utilizado. El tratamiento T1 (100% cáscara de naranja) presentó concentraciones entre un máximo de 279,3ppm y un mínimo de 158,3ppm, con un promedio de 215,0ppm, lo que representa una reducción del 84,58% frente al valor inicial. El tratamiento T2 (25% coco- 75% naranja) destacó por ser el más eficiente, alcanzando un máximo de 121,0ppm y un mínimo de 99,3ppm, con un promedio de 113,5ppm, equivalente a una reducción del 91,90%. En cambio, el tratamiento T3 (50% coco – 50% naranja) mostró la menor eficacia, con valores entre 380,3 y 508,0ppm, un promedio de 437ppm y una reducción del 67,60%. Por su parte, el tratamiento T4 (75% coco – 25% naranja) evidenció una alta capacidad de remoción, con concentraciones entre 119,3 y 155,0ppm y un promedio de 134,4ppm, lo que correspondió a una reducción del 90,36%, destacando el rol predominante del coco en la mezcla. Finalmente, el tratamiento T5 (100% coco) registró un máximo de 352,1ppm y un mínimo de 107,0ppm, con un promedio de 112,7ppm, lo que representó una reducción del 74,75%. Estos resultados permiten concluir que los tratamientos con mayor reducción son los T2 y T4, son los más efectivos al superar el 90% de reducción, mientras que la combinación en partes iguales (T3) evidenció limitaciones en su capacidad de adsorción, así como muestra la tabla 2.

En ausencia de una normativa nacional que establezca límites máximos permisibles (LMP) para emisiones de CO en este tipo de actividad, se optó por utilizar como referencia un estándar internacional, para ello, se consideró la Directiva 91/646/CEE de la Comunidad Europea, que establece un LMP de 920mg/Nm³, equivalente a aproximadamente 805ppm de CO, valor que fue adoptado como entrada de referencia en el análisis comparativo. El sistema sin filtro (Inicial) presentó concentraciones elevadas y constantes de CO, con valores entre 1300

y 1500ppm durante todo el monitoreo, superando ampliamente el límite europeo. Esta condición refleja el alto nivel de contaminación generado por la combustión sin tratamiento.

El porcentaje de reducción de monóxido de carbono se calculó mediante la fórmula empleada por Metcalf Eddy (2014): $\text{Reducción (\%)} = [(\text{CO inicial} - \text{CO final}) / \text{CO inicial}] \times 100$, donde (CO) inicial es el valor promedio sin filtro (1394,3ppm) y CO final es el valor promedio registrado por tratamiento.

3.1. Evaluación de la eficiencia del filtro en una pollería

Para la evaluación se realizó un monitoreo experimental en un establecimiento de tipo pollería con el objetivo de evaluar el comportamiento del filtro en condiciones reales de operación. El monitoreo tuvo una duración de 2 horas, con registros cada 10 minutos, comparando las concentraciones de CO en dos escenarios: sin filtro (condición base) y con filtro adsorbente correspondiente al tratamiento T2. Los resultados obtenidos, presentados en la tabla 3.

En la Tabla 3 se presentaron los resultados del monitoreo ambiental de CO realizado en una pollería, con un total de 12 mediciones. En el monitoreo inicial sin filtro, se obtuvo una concentración media de 1352,17ppm que sirvió como valor de referencia comparativa y con un valor máximo registrado de 1711ppm y un mínimo de 983ppm. Tras la aplicación del tratamiento T2, las concentraciones de CO se redujeron de manera significativa, registrándose una media de 104,29ppm, con un rango comprendido entre 83 y 155ppm.

En la Tabla 4 se muestra el peso de los filtros antes del monitoreo y después, tras la exposición a gases contaminante se observó un incremento de peso en los cinco tratamientos, partiendo de un valor inicial promedio de 150g para los 5 tratamientos, donde el T1 tuvo un incremento de peso con un (33,3%) después del monitoreo y en el T2 un (35,5%) representando el mayor incremento, lo que sugiere una mayor capacidad de absorción o retención. En contraste,

el T3 obtuvo un incremento de (19,2%), T4 un (22%) y el T5 obtuvo un (20,7%) mostraron incrementos menores, indicando una eficiencia reducida en comparación con T1 y T2. Los valores se expresan en gramos (g), e incluyen el promedio final y el porcentaje de variación.

En la Tabla 4 se observó que en los resultados del ANOVA se presentan que el valor de p fue menor a 0.05 ($p = 0.000$), lo cual indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El valor F (231.51) fue calculado como el cociente entre el cuadrado medio del factor ($MC = 227751$) y el cuadrado medio del error ($MC = 983.78$), de acuerdo con la fórmula del análisis de varianza. Esto implica que la proporción del carbón activado influye directamente en la eficiencia del filtro para adsorber monóxido de carbono. El análisis de varianza (Tabla 4) se realizó sobre los valores promedio de concentración final de CO en ppm obtenidos en cada tratamiento. Este análisis permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos, que luego fueron analizadas con la prueba de Tukey para determinar agrupaciones estadísticamente diferentes.

En la Tabla 6, el test de Tukey (95% de confianza) mostró diferencias significativas entre tratamientos. T3 obtuvo la media más alta (437ppm) y fue estadísticamente diferente de todos los demás (grupo A). T1 (214,97) se ubicó en un grupo separado (B), indicando diferencia significativa respecto a T3 y los tratamientos con menores medias. T5 (112,7), T4 (134,42) y T2 (112,69) no difirieron significativamente entre sí, al compartir letras en la agrupación (grupos C y D). por lo tanto, T3 y T1 generaron efectos distintos, mientras que T5, T4 y T2 forman un grupo estadísticamente homogéneo. El tratamiento T4 fue asignado a los grupos C y D simultáneamente, indicando una posición intermedia entre T5 y T2, sin diferencias significativas con ninguno de ellos según el test de Tukey ($p > 0.05$).

3.2. Resultados del SEM.

En los resultados presentados en la Figura 4 muestra la caracterización SEM, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), realizada en el Centro de Microscopía Electrónica de la Universidad Nacional de San Agustín (CME-UNSA), que el carbón activado presentó poros con diámetros entre $1,684\mu\text{m}$ a $45,46\mu\text{m}$ y mostró presencia de partículas con diámetro de 1.8 a $35.5\mu\text{m}$. según el análisis morfométrico incluido en el informe del laboratorio.

Según la IUPAC, este rango ubica al material en la categoría de macroporoso, lo cual puede ser ventajoso para la adsorción de contaminantes gaseosos como el monóxido de carbono. La presencia de estas estructuras abiertas y profundas favorece el contacto con el flujo gaseoso, aumentando la capacidad de captura del CO. El análisis químico elemental realizado en el (Centro de Microscopía Electrónica (UNAS 2025), mediante espectroscopía EDS de carbón activado de cáscara de coco (izquierda) y cáscara de naranja (derecha), se muestra el análisis químico del material adsorbente, donde se identificaron elementos clave como carbono (C), nitrógeno (N), oxígeno (O), potasio (K) y calcio (Ca), que contribuyen a la formación de grupos funcionales y a la estructura porosa del filtro.

Estos elementos potencian las interacciones químicas y físicas con los contaminantes, incrementando la capacidad adsorbente. Asimismo, se observaron residuos de CO impregnados en los poros del material, lo que confirma su eficacia para retener gases contaminantes a nivel molecular. La reducción del tamaño de partícula aumenta la superficie específica y la cantidad de sitios activos disponibles, mejorando significativamente la adsorción. De esta forma, la composición química y las características físicas del material actúan en conjunto para optimizar la eficiencia del filtro en la captura y retención de CO.

4. Discusión

En la Figura 3 se muestra que el filtro de T2 la cual presenta baja concentración de monóxido de carbono, evidenciando que dicho filtro es eficiente ya que pudo reducir las altas concentraciones de monóxido de carbono. Por su parte, el autor Cruz et al. (2018) en su trabajo de “ Disminución de CO mediante un filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo”, obtuvo una mayor reducción de monóxido de carbono con el filtro de 40% con una disminución de 98.93% para el carbón activado a base de cascara de plátano, mientras que López (2023) señala en su investigación de “Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir de cáscara de naranja (*Citrus x sinensis*), a escala laboratorio, por medio de la adsorción de cloruro de metiltionina en solución acuosa y su comparación con el carbón obtenido, menciona que la cascara de coco” presenta mayor capacidad adsorptiva que la cascara de naranja, por lo que es una buena alternativa para adsorción de CO.

Por otro lado, el tratamiento T3 (50% coco – 50% naranja) registró la menor eficiencia adsorbente, esta proporción equitativa combina materiales con propiedades térmicas y composición química, lo que puede haber generado una estructura porosa inestable o desequilibrada. La cáscara de coco, rica en lignina, resiste más la degradación térmica, mientras que la cáscara de naranja, con alto contenido de celulosa y volátiles, libera compuestos fácilmente bajo calor según Sandoval y Yupanqui (2022).

Chen et al. (2024), menciona que tanto la funcionalización superficial como la uniformidad de poros afectan directamente la captación de gases polares como el CO. Además, los análisis SEM realizados en este estudio confirmaron que los biocarbones de coco y naranja generan morfologías distintas: el coco exhibe estructuras más densas y definidas, mientras que la naranja presenta cavidades más irregulares. Por lo tanto, la mezcla 1:1 no garantizó sinergia,

sino posible incompatibilidad en la formación del entramado poroso. Esto coincide con reportes como el de Tao et al. (2023), donde mezclas heterogéneas no controladas reducen la superficie específica y disminuyen la afinidad química del adsorbente. La baja eficiencia de T3, entonces, no es anómala, sino el resultado lógico de una interacción estructural desfavorable entre dos biomásas con comportamiento térmico divergente.

Para la obtención del carbón activado, se adoptó una metodología integrada basada en los estudios de LLamocca y Parian (2021) titulado “Filtro de cáscara de naranja valencia para reducir el monóxido de carbono emitidas por pollerías y como complemento la metodología de Liliana y Moreno (2008), titulada “Monolitos de carbón activado a partir de cáscaras de coco e impregnación con níquel y cobre”, garantizando la comparabilidad de resultados y la eficiencia del proceso.

La elección de una temperatura de carbonización bajo (275°C para cáscara de coco y 300°C para cáscara de naranja) se sustenta en evidencia científica que respalda la preservación de propiedades fisicoquímicas claves para la adsorción. Procesos térmicos a temperaturas moderadas permiten mantener grupos funcionales oxigenados como hidroxilos (–OH), carbonilos (C=O) y carboxilos (–COOH), los cuales son esenciales para la interacción química con contaminantes gaseosos como el CO. Estos grupos funcionales actúan como sitios activos de adsorción, facilitando mecanismos de retención por fuerzas de Van der Waals, enlaces de hidrógeno o atracción electrostática (Chen et al. 2024). Estudios muestran que, a temperaturas superiores a los 600°C, como las utilizadas en procesos de pirolisis intensiva, estos grupos tienden a degradarse o volatilizarse, resultando en una superficie carbonosa más estable pero químicamente menos activa. En otras palabras, si bien se puede obtener una mayor superficie específica, se pierde parte de la funcionalidad superficial que favorece la adsorción de gases polares o parcialmente ionizados, como el CO (Ramos et al., 2016).

Además, estudios comparativos de Plavniece et al. (2022), muestran que materiales carbonizados a temperaturas en el rango de 250–300°C conservan una estructura porosa más equilibrada, predominando microporos y mesoporos interconectados. Estos poros, con un rango de diámetro adecuado, aumentan la accesibilidad del gas a los sitios activos, logrando una mayor eficiencia en procesos de filtrado en fase gaseosa. En contraste, la carbonización convencional a temperaturas más altas tiende a colapsar o sellar parte de esta estructura porosa, reduciendo el volumen total de adsorción efectiva.

Se eligió ácido fosfórico al 50% como agente activante por su capacidad para generar una estructura porosa rica en grupos funcionales oxigenados, sin requerir temperaturas elevadas ni generar residuos altamente tóxicos, a diferencia de otros agentes como el $ZnCl_2$. Además, estudios previos como el de Liliana y Moreno (2008) demostraron su eficacia en biomasa lignocelulósica, por otro lado, según el autor Cruz et al. (2018) menciona que el ácido fosfórico para la activación química con una concentración de 0.6g de (H_3PO_4) /g/ coco es una alternativa de mejor función para materiales prima, como carbón de cascara de coco. utilizo una concentración de 60% de ácido fosfórico para lograr la reducción de 28.93% de monóxido de carbono, desde una concentración inicial de 877.50ppm a 623.67ppm de CO. Mientras LLamocca y Parian (2021) en su investigación utilizo una proporción de 1:2 (muestra: solución), usaron una concentración de ácido fosfórico a 50%, reduciendo de 416ppm a 114ppm de los gases, con un peso inicial de 100 a 36g el filtro, con una eficiencia del 71% de reducción de CO. Además, los autores Liliana y Moreno (2008) señalan que en su trabajo acerca de monolitos de carbón activado a partir de cascara de coco utilizaron como activante el Niquel y Cobre , obtuvieron una porosidad de 0.39cm³/g a 0.81cm³/g en una forma de tipo disco, mientras que en la presente investigación la capacidad de adsorción de los filtros, se observó tamaño de poro entre 1.684 a 45.46µm.

Las esferas del carbón activado se obtuvieron con la mezcla del aglomerante, la cual se preparó a baño maría en un agitador con una concentración de 8% en función al peso de carbón activado y luego se combinó con el carbón activo. El uso de alcohol polivinílico al 8% permitió obtener esferas con buena cohesión mecánica, facilitando su manipulación y resistencia al flujo de gases. Aunque no se midió directamente su impacto sobre la adsorción, En cambio, LLamocca y Parian (2021) prepararon el carbón con alcohol polivinílico al 20% y con ácido fosfórico como activador para la reducción de monóxido de carbono podría alterar la porosidad del filtro. Futuras investigaciones deberían evaluar cómo la concentración y el tipo de aglomerante afectan la eficiencia adsorbente o tomar de referencia los aglomerantes naturales.

Estas investigaciones destacan las propiedades adhesivas del (PVA), su solubilidad en agua, baja toxicidad y capacidad para generar una matriz estable sin interferir significativamente en la capacidad adsorbente del material. Por ello, su uso en la presente investigación está técnicamente fundamentado y se alinea con antecedentes científicos validados.

A diferencia del carbón activado en polvo, como el reportado por Liliana y Moreno (2008) que fue obtenido a partir de 260g de cáscara de coco con un rendimiento de 114g, las esferas presentan ventajas significativas. Su estructura compacta y porosa permite una mayor resistencia mecánica, facilitando la manipulación y el mantenimiento de los filtros sin riesgo de pérdida de material. Además, el uso de esferas reduce la caída de presión dentro del sistema, permitiendo un flujo continuo y controlado de gases a través del medio filtrante mencionado por Lozano et al. (2024). El tamaño de las esferas también influye directamente en el rendimiento del tratamiento considerando la relación óptima entre área superficial y volumen, lo que incrementa la eficiencia de adsorción. Un tamaño excesivamente pequeño puede generar compactación, dificultando el paso del gas y reduciendo la eficiencia del filtro; por el contrario, esferas demasiado grandes disminuyen la superficie activa disponible para la adsorción. Por tanto, el equilibrio en el tamaño garantiza una alta capacidad adsorbente y una adecuada cinética de transferencia de masa.

En el estudio se utilizó un horno estándar con chimenea de 12×12cm, empleando 3kg de leña de eucalipto durante 2 horas por ensayo. La estandarización de estas condiciones permitió asumir un caudal gaseoso constante en los tres filtros experimentales, garantizando que las variaciones en la eficiencia de adsorción fueran atribuibles únicamente a las proporciones de cáscara de coco y naranja. Este enfoque es consistente con la metodología descrita por Iparraguirre Lozano (2016), quien, utilizando condiciones fijas de flujo para evaluaciones comparables de eficiencia en lavado de gases en chimeneas de pollerías, logró resultados fiables.

Pérez y Buitrago (2024) afirman que el monitoreo ambiental en tiempo real constituye una herramienta clave para preservar la seguridad y permite tomar decisiones inmediatas frente a variaciones no deseadas en temperatura, humedad o calidad del aire. El caudal del flujo gaseoso influye directamente en el tiempo de contacto entre el gas contaminante y el carbón activado, lo cual es fundamental para la eficiencia de adsorción. Un estudio realizado en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (Perú), por Salvador Julca (2025), demostró que a caudales de 12mL/min se alcanzó una eficiencia de adsorción del 99,42%, mientras que a 36mL/min bajó ligeramente a 99,60% en la remoción de azul de metileno en lechos fijos. Este halla

El incremento de peso observado tras la exposición al flujo de gases contaminantes sugiere una posible retención de compuestos adsorbidos en la superficie del filtro. Este aumento es un indicador indirecto de la carga adsorbida, principalmente monóxido de carbono y otros compuestos presentes en menor proporción Wang et al. (2016). Diversos estudios han demostrado que los materiales porosos, como carbones activados o biocarbones, adsorben partículas suspendidas del aire, especialmente cuando se encuentran cerca de fuentes emisoras. Por otro lado, Ioannidou y Zabaniotou (2007), señalan que la acumulación de cenizas y compuestos inorgánicos en materiales adsorbentes es común tras su exposición a gases de combustión, lo cual puede alterar significativamente su masa. Además, Gupta et al. (2009),

afirman que los adsorbentes de bajo costo pueden retener físicamente material particulado atmosférico, lo cual genera un aumento en el peso seco del material tras la exposición.

Asimismo, Mohan et al. (2014) mencionan que la presencia de metales, carbonilla y cenizas finas provenientes de combustión pueden quedar adheridas en la superficie del biochar tras procesos térmicos o contacto con gases contaminantes, ocasionando un aumento de peso detectable en el análisis gravimétrico.

Una vez realizado la comparación de los tratamientos, donde T2 (25% cáscara de coco y 75% cáscara de naranja) destacó por su mayor eficiencia en adsorción, esta se replicó en una pollería bajo condiciones reales de operación. Se consideraron variables operativas como el tiempo de cocción del pollo (2 horas continuas), el uso constante del horno durante el monitoreo y el empleo de leña de eucalipto como combustible. El diseño del filtro con carbón activado en forma de esferas distribuidas en tres capas, cada una con 100 esferas, y un total de 300 esferas por cada filtro con un peso promedio total de 600g, responde a criterios de eficiencia en la adsorción de contaminantes gaseosos, particularmente CO. La configuración por capas no solo permite una distribución homogénea del flujo gaseoso, sino que también maximiza el tiempo de contacto entre el gas y el material adsorbente. La estructura de la chimenea (24x24cm), donde el monitoreo durante el horario de mayor actividad (04:40p. m. a 06:35p. m.) permitieron simular de forma representativa las emisiones habituales del establecimiento. Si bien no se controlaron formalmente variables como humedad o velocidad de flujo de gases, el régimen operativo fue consistente con el funcionamiento típico de una pollería. Según Thamiris et al. (2024), para validar tecnologías adsorbentes en campo “es crucial considerar el tipo de combustible, frecuencia de uso y duración de operación como parámetros que influyen en la eficiencia de remoción” (p. 3). Por ello, se considera que la implementación en este entorno permitió una evaluación válida y contextualizada de la eficiencia del filtro.

En la caracterización morfológica de la muestra de carbón activado elaborada a partir de cáscara de naranja y coco, se observaron poros con diámetros comprendidos entre $1.684\mu\text{m}$ y $45.46\mu\text{m}$, de acuerdo con el análisis realizado mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), además, mostró estructuras porosas en el carbón activado, con partículas de 1.8 a $35.5\mu\text{m}$. El EDS identificó C, N, O, K y Ca, elementos que favorecen grupos funcionales y la estructura porosa del filtro. Estos valores ubican al material dentro de la categoría de macroporoso, según la clasificación de la Unión Internacional de Química Pura (IUPAC), la cual establece que los macroporos son aquellos con un diámetro superior a 50nm (Everett. 2001). Este método es adecuado para caracterizar materiales con micro y mesoporos ($2\text{--}50\text{nm}$), pero resulta ineficaz ante macroporos ($>50\text{nm}$), ya que el nitrógeno no forma capas de adsorción controladas, lo que subestima el área superficial (Thommes et al., 2015). En estudios similares, se ha reportado que la caracterización BET no es representativa en carbones activados con estructura abierta (Rodríguez y Marsh., 2006), siendo más útil evaluar el desempeño real frente a gases como el CO. El proceso de activación y carbonización empleado en este estudio, junto con las características fisicoquímicas de la biomasa utilizada, han favorecido la formación de una estructura. Esta configuración puede optimizar la captación dinámica del CO en emisiones de chimenea, como las generadas en una pollería (Changxing et al. 2025). Por tanto, a pesar de que los poros observados son predominantemente macroporosos, esta estructura podría resultar funcional y eficiente para la adsorción de CO en condiciones reales de operación, especialmente si el carbón activado presenta grupos funcionales en su superficie que favorezcan la interacción con moléculas polares o ligeramente reactivas como el monóxido de carbono (Tao et al., 2023).

5. Conclusión

En la investigación se demostró la viabilidad de obtener un carbón activado eficiente a partir de residuos agroindustriales, específicamente cáscara de coco (*Cocos nucifera*) y cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), mediante un proceso de carbonización a temperaturas controladas (275°C para el coco y 300°C para la naranja) y activación química con ácido fosfórico al 50%. El análisis morfológico, realizado mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), evidenció una estructura macroporosa con tamaños de poro que oscilaron entre 1.684 y 45.46µm. Asimismo, el análisis elemental reveló la presencia de carbono (C), oxígeno (O), nitrógeno (N), potasio (K) y calcio (Ca), elementos que favorecen la formación de grupos funcionales superficiales, mejorando así la capacidad adsorbente del material.

En cuanto a la evaluación de la eficiencia de adsorción de CO, se analizaron cinco tratamientos experimentales aplicados a emisiones generadas por pollerías. El tratamiento T2, correspondiente a una proporción de 25% cáscara de coco y 75% cáscara de naranja, presentó el mayor porcentaje de adsorción de CO, alcanzando una eficiencia de 91.90% bajo condiciones controladas de laboratorio. En contraste, el tratamiento T3 (50% coco y 50% naranja) mostró la menor eficiencia de adsorción (67.60%). Esta eficacia fue corroborada en una pollería a condiciones reales en operación, registrándose un monitoreo inicial de 1352.17ppm, mientras que en el monitoreo final se obtuvo un valor promedio reducido de 104.29ppm con una reducción de 92%.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que el uso de carbón activado elaborado a partir de residuos agroindustriales como cáscara de coco y naranja representa una alternativa técnica, económica y ambientalmente viable para la mitigación de emisiones de monóxido de carbono en establecimientos comerciales como las pollerías.

6. Referencia bibliográfica

- Canales-Flores, R. A., & Prieto-García, F. (2022). Obtención de carbones activados a partir de residuos agroindustriales mediante activación química con ácido fosfórico para la adsorción de azul de metileno. *Tendencias En Energías Renovables y Sustentabilidad*, 1(1), 527–551. <https://doi.org/10.56845/terys.v1i1.250>
- Centro de Microscopía Electrónica – UNSA. (2025). Informe de caracterización morfológica y análisis químico de carbón activado de cáscara de coco y naranja. In *Universidad Nacional San Agustín* (Vol. 1).
- Chen, J., Zhou, J., Zheng, W., Leng, S., Ai, Z., Zhang, W., Yang, Z., Yang, J., Xu, Z., Cao, J., Zhang, M., Leng, L., & Li, H. (2024). A complete review on the oxygen-containing functional groups of biochar: Formation mechanisms, detection methods, engineering, and applications. *Science of The Total Environment*, 946, 174081. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174081>
- Chen, K., Breitner, S., Wolf, K., Stafoggia, M., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Guo, Y., Tong, S., Lavigne, E., Matus, P., Valdés, N., Kan, H., Jaakkola, J. J. K., Rytí, N. R. I., Huber, V., Scortichini, M., Hashizume, M., Honda, Y., Nunes, B., ... Schneider, A. (2021). Ambient carbon monoxide and daily mortality: a global time-series study in 337 cities. *The Lancet Planetary Health*, 5(4), e191–e199. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00026-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00026-7)
- Cruz López, K. R., López Chavez, J. L., & Anthony, S. L. K. (2018). “Disminución de CO mediante un filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo” [Universidad César Vallejo]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3203198>
- Diana Zolangie Garay Velasquez. (2017). *Contaminación Atmosférica Por Monóxido De Carbono Vehicular, Juliaca 2015* [Universidad Nacional del Altiplano].

- <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19632>
- Everett, D. H. (1971). *International union of pure and applied chemistry*.
https://media.iupac.org/reports/2001/colloid_2001/manual_of_s_and_t.pdf
- García León, S. K. (2022). *Emisiones de monóxido de carbono y dióxido de nitrógeno en las pollerías de la ciudad de Huarmey, Áncash - 2022*. [Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/91714>
- García López, R. A., & Granillo Oporta, Y. A. (2017). Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activado de cáscara de naranja valencia (*Citrus sinensis* linn osbeck) laboratorio de química UNAN-MANAGUA, II semestre 2016 [Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-MANAGUA]. In *Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua*.
<http://repositorio.unan.edu.ni/4275/1/96798.pdf>
- Gupta, V. K., & Suhas. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313–2342.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>
- Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(9), 1966–2005.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.03.013>
- Iparraguirre Lozano, A. (2016). *Formulación de propuesta de lavado de gases de combustión en las emisiones de las chimeneas de pollerías de la ciudad de Trujillo, Perú* [Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/7847>
- K.R. Smith. (2006). El uso doméstico de leña en los países en desarrollo y sus repercusiones en la salud. *Unasyva*, 57(224), 41–44.
<https://doi.org/https://catalogosiidca.csuca.org/Record/CR.UNA01000130656/Details>
- Li, C., Xu, G., Yao, H., Xin, C., & 3, and F. L. (2025). Changes in Pore Structure and Gas Adsorption–Desorption Characteristics of Coal Under High-Voltage Electric Pulses.

- Processes*, 13(6), 1–16. <https://doi.org/10.3390/pr13061662>
- Li, M., Shan, B., Peng, X., Chang, H., & Cui, L. (2023). An urgent health problem of indoor air pollution: results from a 15-years carbon monoxide poisoning observed study in Jinan City. *Scientific Reports*, 13(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28683-0>
- Liliana Giraldo, J. C. M.-P. (2008). Monolitos de Carbón Activado a partir de Cáscara de Coco e Impregnación con Níquel y Cobre. *Revista Colombiana de Química*, 37(3), 355–371. <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309026679010.pdf>
- LLamocca Mendoza Jhan Carlos, P. B. M. R. (2021). Filtro de cáscara de naranja valencia para reducir el monóxido de carbono emitidas por pollerías. [Universidad Andina del Cusco]. In *Universidad Andina del Cusco*. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lozano-Rios, K., Mego-Flores, G. J., Ordoñez-Sánchez, L. A., & Lozano-Chung, A. (2024). Eficiencia de filtros de carbón activado a base de capirona, bambú y cáscara de coco en la remoción de contaminantes del agua. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 3(2), e841. <https://doi.org/10.51252/reacae.v3i2.841>
- Metcalf Eddy, George Tchobanoglous, H. David Stensel, Ryujiro Tsuchihashi, F. B. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5ª edición. In *Bulletin of the International Union Against Tuberculosis and Lung Disease* (Vol. 65, Issues 2–3, pp. 7–9).
- MINAM, M. del A. (2019). Protocolo Nacional De Monitoreo De La Calidad Ambiental Del Aire. In *Ministerio del Ambiente - Perú* (p. 102). https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/434320/PROTOCOLO_MONITOREO_AIRE_compressed.pdf?v=1576091721
- Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S., & Pittman, C. U. (2014). Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent - A

- critical review. *Bioresource Technology*, 160, 191–202.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.120>
- Pérez, J. S., & Buitrago, J. E. M. (2024). *Implementación de un sistema de monitoreo de temperatura ambiente, humedad relativa y calidad del ambiente en áreas críticas de una IPS* (Issue Table 10) [Universidad Nacional Abierta y a Distancia].
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/63381>
- Plavniece, A., Dobeles, G., Volperts, A., & Zhurins, A. (2022). Hydrothermal Carbonization vs . Pyrolysis : Effect on the Porosity of the Activated Carbon Materials. *Sustainability*, 13.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su142315982>
- Pretto García, F. D. (2024). *Evaluación de Emisiones de Gases (CO, NOx) generados por Hornos de Pólvora para formular una Propuesta de Plan de Mitigación, ubicados en la Avenida Lima, Distrito de Mariano Melgar, Arequipa 2022*.
- Ramos, V., Aguilera, A., & Ochoa, E. (2016). Residuos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para obtener pectinas útiles en la industria alimentaria. *Ecofan*, 3(9), 22–29.
- Rodríguez Reinoso, F., & Marsh, H. (2006). Activated Carbon (Origins). *Activated Carbon*, 1997, 30–33.
- Salvador Julca, F. A. (2025). *Parámetros de operación de adsorción de carbón activado lecho fijo en la decoloración de aguas con azul de metileno* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/2af76d20-b33b-4ab7-a7f9-dbe27ca4006c>
- Senamhi. (2024). Informe técnico de calidad del aire en Lima Metropolitana. Ministerio del Ambiente – Perú. *Problemas de Pronóstico*, No 1, 2024, 1–18.
<https://doi.org/10.47711/0868-6351-202>
- Tao, W., Fenghua, T., Deng, Z., & Hu, H. (2023). The Characteristic Development of Micropores in Deep Coal and Its Relationship with Adsorption Capacity on the Eastern Margin of the Ordos Basin, China. *Minerals*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/min13030302>

- Thamiris Ferreira, Max, G., & Ferreira, D. (2024). Biochars as Adsorbents of Pesticides : Laboratory-Scale Performances and Biochars as Adsorbents of Pesticides : Laboratory-Scale Performances and Real-World Contexts , Challenges , and Prospects. *Pubs.Acs.Org/Estwater This, September*. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00399>
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9–10), 1051–1069. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>
- Wang, Q., Wang, Z., & Zhao, Z. (2016). Modeling the Adsorption Kinetics of Activated Carbon for Oil Vapor Recovery and Applications. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 06(02), 80–88. <https://doi.org/10.4236/jsemat.2016.62008>
- Yuen, F. K., & Hameed, B. H. (2009). Recent developments in the preparation and regeneration of activated carbons by microwaves. *Advances in Colloid and Interface Science*, 149(1–2), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.12.005>
- Zhang, K., & Batterman, S. (2013). Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Science of The Total Environment*, 450–451, 307–316. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2013.01.074>

7. Figuras y tablas

Figura 1

Filtros metálicos con esferas de carbón activado dispuestos en compartimentos.



Nota: En la figura 1 se puede observar los prototipos de filtros fabricados en acero inoxidable, rotulados como "FILTRO-01", "FILTRO-02" y "FILTRO-03", cada uno relleno con esferas negras de carbón activado. Estas esferas, distribuidas en tres compartimentos internos divididos por mallas metálicas, forman parte del sistema experimental para la adsorción de contaminantes gaseosos. Al fondo, se observan esferas organizadas por lotes.

Figura 2

Prototipos de hornos con filtros instalados durante la fase experimental en campo.



Nota: Fotografía propia (2025).

Tabla 1

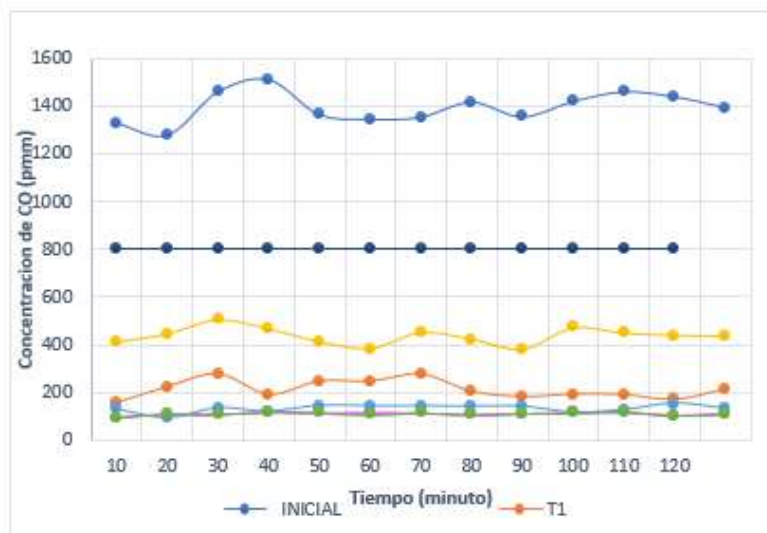
Combinaciones de cáscara de coco y naranja en los tratamientos

N° Tratamientos	combinaciones	
	Cáscara de coco (%)	Cáscara de naranja (%)
T1	0%	100%
T2	25%	75%
T3	50%	50%
T4	75%	25%
T5	100%	0%

Nota. La tabla presenta las proporciones de cáscara de coco y de cáscara de naranja empleadas en los tratamientos T1 a T5 para la preparación del carbón activado.

Figura 3

Monitoreo de la concentración de monóxido de carbono en hornos durante 120 minutos para los tratamientos T1–T5 en comparación con el (R.D. N.º 646-2005-SA/DM).



Nota. La figura muestra la concentración de CO en hornos durante 120 minutos, comparada con el LMP de la normativa peruana (R.D. N.º 646-2005-SA/DM). El carbón inicial supera el límite en todo momento, mientras que los tratamientos, especialmente T2 y T3, mantienen valores inferiores al LMP durante el monitoreo, evidenciando mayor eficacia adsorbente. Fuente: Elaboración propia (2025).

Tabla 2

Concentración inicial y final de monóxido de carbono en hornos con carbón activado de cáscara de coco y naranja, y porcentaje de reducción alcanzado

Monitoreo	N° de Tratamiento	Monitoreo Inicial en los hornos CO (ppm)	Monitoreo final en los hornos CO (ppm)	(%) Reducción
1	---	1394,3	---	—
2	T1	1279,7	215.0	84.58 %
3	T2	1459,0	112.7	91.90 %
4	T3	1509,0	438	67.60 %
5	T4	1364,7	134.4	90.36 %
6	T5	1345,3	112.7	74.75 %

Nota. La tabla presenta los valores iniciales y finales de concentración de monóxido de carbono (CO) en hornos, expresados en ppm, para cada tratamiento (T1–T5). El cálculo del porcentaje de reducción se realizó comparando los valores iniciales y finales de cada caso.

Tabla 3

Monitoreo de monóxido de carbono (CO) en una pollería aplicando el tratamiento T2 durante el monitoreo en intervalos de 10 minutos

N°	Hora	Monitoreo De T2	Monitoreo De T2
		Inicial CO (Ppm)	Final CO (Ppm)
1	04.40 pm	1446	90
2	04.50 pm	983	94
3	05.00 pm	1073	126
4	05.10 pm	1295	103
5	05.20 pm	1573	85
6	05.30 pm	1711	102
7	05.40 pm	1301	102
8	05.50 pm	1071	104
9	06.00 pm	1536	102
10	06.10 pm	1303	104
11	06.20 pm	1524	109
12	06.30 pm	1414	108

Nota. La tabla presenta los valores de concentración inicial y final de monóxido de carbono (CO), en ppm, obtenidos durante el tratamiento T2 aplicado en una pollería. El monitoreo se realizó en un periodo de 120 minutos con intervalos de 10 minutos, observándose una reducción significativa del contaminante respecto a los valores iniciales en cada intervalo. Elaboración propia (2025).

Tabla 4

Peso inicial y final de los filtros en los tratamientos T1–T5 y porcentaje de incremento

Tratamientos	Peso Inicial Del Filtro (g)	Peso Final Del Filtro (g)	Incremento Peso (%)
T1	150,5	200.5	33.6
T2	150,4	203.7	35.8
T3	149,5	178.2	19.2
T4	151,6	182.9	22
T5	156.7	181.0	20.7

Nota. Los datos muestran el peso inicial y final de los filtros en cada tratamiento, evidenciando la retención de material particulado. El incremento porcentual refleja la eficiencia de captura, siendo T2 el más efectivo con 35,4 % de aumento de masa. Elaboración propia (2025).

Tabla 5

Análisis de varianza

fuelle	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Factor	4	911004	227751	231.51	0.000
Error	55	54108	983.78		
Total	59	965111	16357.81		

Fuente: Elaboración propia (2025).

Tabla 6

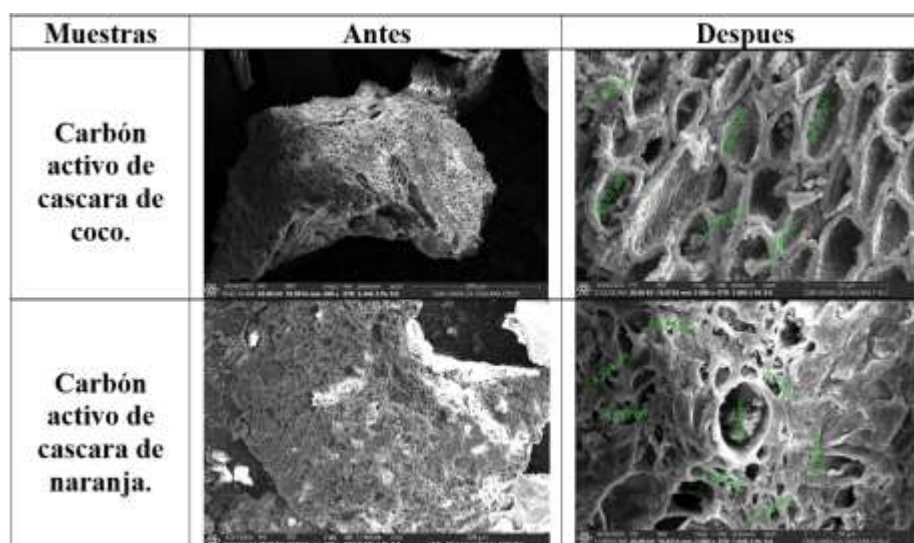
Comparación De Medias Entre Tratamientos Según El Test De Tukey (95 % De Confianza)

Factor	N	Media	Agrupación
T3	3	437,8	A
T1	3	214,97	B
T5	3	112,6	C
T4	3	134,42	C D
T2	3	112,69	D

Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 4

Micrografías SEM del tratamiento T2 (carbón activado de cáscara de coco y naranja) antes y después de la activación térmica.



Nota: Las micrografías SEM muestran el carbón activado de coco y naranja en su estado inicial, con una superficie porosa característica, y luego de su uso en la chimenea de una pollería, donde se observan modificaciones morfológicas y la presencia de partículas adheridas como resultado de la exposición a los gases emitidos en la combustión. Centro de Microscopía Electrónica – UNSA (2025).

8. Anexos

Anexo 1, Evidencia de sumisión en una revista de prestigio

▼ Ocultar historial de mensajes

De: Claudio M. Amescua Garcia via Revista Internacional de Contaminación Ambiental <rica@atmosfera.unam.mx>

Enviado: jueves, 17 de julio de 2025 12:26

Para: Juan Eduardo Vigo Rivera <eduardo.vigo@upeu.edu.pe>

Asunto: [RICA] Envío recibido

vigo.rivera:

Gracias por enviarnos su manuscrito "Adsorción de monóxido de carbono en emisiones de pollería utilizando carbón activo a partir de cascara de naranja (*Citrus sinensis*) y coco (*Cocos nucifera*)" a Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/authorDashboard/submission/55666>

Nombre de usuario/o: jevr72

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Claudio M. Amescua Garcia

Revista Internacional de Contaminación Ambiental <https://www.revistascca.unam.mx/rica>

Anexo 2, Copia de la resolución de inscripción de perfil del proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de la facultad correspondiente



"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

RESOLUCIÓN N° 0298-2025/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 24 de junio de 2025

VISTO:

El expediente de **Margarita Sandy Coa Flores**, identificado(a) con código universitario N° 201920280 y **Dania Yoselin Mamani Jove**, identificado(a) con código universitario N° 202012619, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la designación del Comité Dictaminador del proyecto de tesis;

Que **Margarita Sandy Coa Flores** y **Dania Yoselin Mamani Jove**, han concluido el desarrollo de la tesis en formato artículo y con la opinión favorable de su asesor, solicitan la designación del Comité Dictaminador respectivo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 24 de junio de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Designar el Comité Dictaminador encargado de administrar el proceso de dictamen correspondiente a la tesis en formato artículo, titulada "Adsorción de monóxido de carbono en emisiones de pollería utilizando carbón activo a partir de cascara de naranja (*Citrus sinensis*) y coco (*Cocos nucifera*)", presentado por **Margarita Sandy Coa Flores** y **Dania Yoselin Mamani Jove**, otorgándoles un plazo máximo de diez (10) hábiles, posterior a la fecha de recepción de la presente resolución, para emitir el dictamen respectivo a través de la plataforma oficial.

Dictaminador 1: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Dictaminador 2: MSc. Loayda Abigail Condori Turpo

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA

202
-Interesado
-Interesado (R)
-Archivo




Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

Anexo 3, Fotografías del proceso



Nota: Secado de la materia prima



Nota: Activación del carbón



Nota: Filtros de carbón activado



Nota: Etapa final, carbón activo pesado y rotulado