

DISMINUCIÓN DE CO MEDIANTE UN FILTRO DE MONOLITO DE CARBÓN DE LAS EMISIONES GENERADAS POR POLLERÍAS DEL CENTRO HISTÓRICO DE TRUJILLO

REDUCTION OF CO OF THE EMISSIONS GENERATED BY *POLLERÍAS* IN THE HISTORICAL CENTER OF TRUJILLO BY MEANS OF A CARBON MONOLITH FILTER

Kenny Cruz¹, Jhanny López¹, Kevin Saldaña¹, Isidoro Valderrama²

¹Universidad César Vallejo

²Universidad Nacional de Trujillo

kennycruz53@gmail.com, jhanny.lopezchavez@gmail.com,

kevinsalo22@gmail.com, ivrunt2010@hotmail.com

Recibido: 01 mayo 2019 - Aceptado: 21 junio 2019

DOI: <https://doi.org/10.18050/cientifi-k.v7i2.825>

RESUMEN

Las pollerías en la ciudad de Trujillo se han convertido en fuentes puntuales de contaminación del aire debido a las emisiones que generan; y al carecer de normativa que regule esta actividad no se evidencian medidas de mitigación para el problema; ante ello la presente investigación tuvo como finalidad disminuir la concentración de CO al usar un filtro de monolito de carbón activado, a base de cáscara de plátano, de las emisiones generadas por pollerías del Centro Histórico de Trujillo. Tuvo de un diseño bifactorial, en el cual se manipularon dos variables independientes aplicados en la elaboración de los monolitos de carbón: Concentración porcentual de ácido fosfórico (40%, 60% y 80%) y presión de compactación (300 psi y 600 psi). Los análisis estadísticos aplicados fueron la prueba de Wilk-Shapiro, ANOVA y la prueba Post Hoc Tukey. En la medición de las concentraciones de CO en la chimenea se usó el método establecido en la Norma Internacional de USEPA e-CFR Título 40, parte 60, Apéndice-1: Métodos 1 y el equipo de analizador de gases Testo 340-S. Finalmente se concluyó que el filtro de monolito de carbón, activado al 60% de ácido fosfórico y comprimido a 600 psi, es el que obtuvo una mejor disminución de CO (28.93%) al pasar de una concentración inicial de 877.50 ppm a 623.67 ppm de CO.

Palabras clave: Monolito de Carbón activado, monóxido de carbono, cáscara de plátano.

ABSTRACT

Pollerías (grilled chicken restaurants) in the city of Trujillo have become specific sources of air pollution due to the emissions they generate; and since there are no regulations regarding this activity, there is no evidence of mitigation measures for the problem. In view of this, the present investigation had the purpose of reducing the concentration of CO of the emissions generated by *pollerías* in the Historical Center of Trujillo by using an activated carbon monolith filter made from banana peel. It had a bifactorial design, in which two independent variables applied in the elaboration of the carbon monoliths were manipulated: Percentage concentration of phosphoric acid (40%, 60% and 80%) and compaction pressure (300 psi and 600 psi). The applied statistical analyses were the Wilk-Shapiro test, ANOVA and the Post Hoc Tukey test. The method established in the USEPA International Standard e-CFR Title 40, part 60, Appendix-1: Methods 1 and the Testo 340-S gas analyzer equipment was used in the measurement of CO concentrations in the chimney. Finally, it was concluded that the carbon monolith filter, activated at 60% phosphoric acid and compressed at 600 psi, is the one that obtained a better CO reduction (28.93%) from an initial concentration of 877.50 ppm to 623.67 ppm CO.

Keywords: Activated carbon monolith, carbon monoxide, banana peel.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación al recurso aire a causa del aumento anormal de emisiones atmosféricas es un problema que se ha ido agravando, principalmente en aquellos países y ciudades que están en vías de desarrollo y que presentan actividades industriales, comerciales y de servicio, como es el caso de la ciudad de Trujillo. Según menciona la Dirección General de Salud Ambiental [DIGESAS] (2005) el distrito de Trujillo tendría 25 fuentes puntuales, entre ellos principalmente el parque automotor y las industrias; y 1353 fuentes área de emisiones encontrándose dentro de ellas las actividades de servicio y comercio que dentro de sus procesos productivos se da la combustión; como por ejemplo las pollerías.

El problema de contaminación surge al momento de obtener el producto (pollo a la brasa), debido a que el humo que emanan los hornos de pollería producto de la combustión de la grasa con el combustible (carbón vegetal, GLP, Kerosene o leña), provocan una serie de partículas contaminantes, como NO_x, CO y otros gases, que se emiten al aire directamente sin ningún tratamiento previo (Programa Aire Limpio, 2005). Esto se suscita debido a que no existen disposiciones legales por parte del gobierno local que regulen lo que se emite por las chimeneas de las pollerías o que propicien la utilización de métodos para purificar sus emisiones. De igual manera, a pesar de que se tiene conocimiento de los perjudicial que son estas emisiones para el ambiente e indirectamente a la salud de la población, no se han propuesto Límites Máximos Permisibles para este tipo de actividad en el Perú; y por ser una actividad peruana, no se puede tomar referencia de normas internacionales. Como no hay exigencia hacia las pollerías, los dueños de estos establecimientos pueden ver como un gasto innecesario la aplicación de tratamientos para sus efluentes gaseosos y también los costos altos de inversión en estos tratamientos pueden ser poco atractivos para ellos. Por ello también, se ha propuesto utilizar como materia de partida

para la elaboración del monolito de carbón a la cáscara de plátano, que tiene buen contenido de carbono y que difícilmente es reaprovechado; contribuyendo así a darle uso a este residuo agrícola.

Respecto al tema se han realizado investigaciones como la de López, Hoyos y Mondagrón (2011) quién desarrollaron un monolito de carbón activado de tipo celular para adsorber NO, para ello empleó carboximetilcelulosa y brea de alquitranes de carbón. Tuvo como resultados una capacidad de adsorción de hasta 1678.8 ug NO/g, con presencia de O₂ y una aplicación de 500 psi de presión, de 10% de carboximetilcelulosa y 20% de brea de alquitranes.

Por otro lado, Vargas, Gutiérrez y Moreno (2011) elaboraron monolitos de carbón activado mediante la activación química de cáscara de coco con cloruro de zinc y ácido fosfórico; obteniendo como resultados monolitos con un amplio desarrollo de porosidad, con volúmenes de microporos entre 0,38 y 0,81 cm³/g, área superficial aparente entre 832 y 1546 m²/g.

Por ello, ante la necesidad de buscar nuevas alternativas que contribuyan a reducir esta contaminación atmosférica, la presente investigación tuvo como objetivo principal determinar la disminución de la concentración de CO al usar un filtro de monolito de carbón de las emisiones generadas por pollerías del Centro Histórico de Trujillo; teniendo como variables de estudio la concentración porcentual de ácido fosfórico de 40%, 60% y 80%; y presión de compactación de 300 psi y 600 psi. Así mismo se evaluó el tamaño promedio de poro que presentan cada uno de los monolitos. Cabe mencionar que se utilizó como materia de partida para la elaboración del monolito de carbón a la cáscara de plátano, que tiene buen contenido de carbono y que difícilmente es reaprovechado; contribuyendo así a darle uso a este residuo agrícola.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Obtención del monolito de carbón

Primero se deshidrató la cascara de plátano a 60 °C por 1 hora; luego, se pasó a la mufla donde se incineró el material a 250 °C por un lapso de 2 horas; una vez llegado a la temperatura se dejó alrededor de 40 minutos. Después, todo lo carbonizado pasó a triturarse tratando de llegar a un tamaño de partícula menor. Culminado ello, se procedió a activar lo obtenido con la adición de ácido fosfórico (H_3PO_4) a concentraciones de 40%, 60% y 80%, respectivamente, teniendo 1:2 como relación (por cada gramo de carbón 2 mL de ácido fosfórico), tratando que todo este homogenizado. Posterior a ello, las mezclas obtenidas de carbón ingresaron a una mufla para ser nuevamente incineradas a 450 °C, en esta ocasión se dejó aproximadamente por 3 horas. Se procedió después a eliminar de lo obtenido, los residuos del agente activante y a obtener un pH neutro en las muestras a través del lavado con agua destilada y la neutralización con hidróxido de sodio. Pasó a secarse el carbón activado por 2 horas a una temperatura de 60 °C, para luego triturarlo, y finalmente tamizarlo en una malla de 250 μm (López y Granillo, 2017).

Para la conformación del monolito se usó como aglomerante al Polivinilalcohol (PVA) en un porcentaje de 10% respecto al peso del carbón; una vez adicionado el aglomerante, se procedió a calentar la mezcla de carbón activado con aglomerante en baño maría, aplicando una agitación de 1400 rpm, hasta que se logre evaporar toda el agua presente. Una vez obtenida la mezcla seca, se vació a los moldes para pasar al proceso de compactación, en donde con la ayuda de una prensa hidráulica, se aplicó dos diferentes presiones (300 psi y 600 psi) por alrededor de 20 minutos a temperatura ambiente y donde también se realizaron los canales paralelos en el monolito. Finalmente, ingresó a una mufla a una temperatura de 100 °C para evaporar el agua restante. Culminado ello, se envolvieron los monolitos y son guardados en cajas hasta su uso (Betancur, 2012).

2.2. Determinación del tamaño de poro en los monolitos

Se realizó mediante Microscopía Óptica de barrido SEM. Esta prueba se realizó con el objetivo de ver como el grado de activación según las concentraciones de ácido fosfórico y la

presión de compactación ejercida determinan la estructura porosa de los monolitos de carbón.

2.3. Diseño y construcción del filtro

a) El diseño del filtro contuvo las siguientes características:

- Monolito de carbón activado (4 unidades por filtro)
 - Material: monolito de carbón activado a base de cáscara de plátano.
 - Medidas (1 monolito): 5 cm de alto, 13 cm ancho, 13 cm de largo.
 - Área de celda: 1 cm^2 (16 por monolito).
- b) Características del filtro:
- Material: acero inoxidable.
 - Medidas de la caja: 10 cm de alto, 29 cm de ancho, 29 cm de largo.
 - Malla metálica de 5 cm.

2.4. Medición de las concentraciones de CO emitidas por las pollerías

Al inicio del monitoreo se tomaron las coordenadas UTM de los puntos con la ayuda de un GPS para una ubicación más exacta. Por otro lado, se revisó que el equipo de medición (TESTO 340-S) esté correctamente funcionando.

Para la determinación de puntos transversos del muestreo y la determinación de velocidad en fuentes estacionarias se utilizó el método establecido en la Norma Internacional de USEPA e-CFR Título 40, parte 60, Apéndice-1: Métodos 1, para medición de gases en fuentes fijas (EPA, 1971).

En la ubicación de los puntos de muestreo, se determinó el número de puntos transversales de muestreo para la medición de gases, para lo cual se hallaron las distancias A y B que son las distancias tomadas y medidas en la chimenea, estas distancias se hallaron mediante la división de estas con el diámetro general. Estos resultados de A y B son ubicados en un gráfico establecido internacionalmente por la EPA para la determinación de la cantidad de puntos de monitoreo en fuente fija.

Después se determinó el número mínimo de puntos transversales, determinando la configuración de la matriz, se dividió la sección transversal de la chimenea en tantas áreas elementales rectangulares iguales como puntos transversales, y luego se ubicó el punto

transversal en el centroide de cada área. Se consideró la ubicación de los nipples de muestreo para chimeneas rectangulares, las cuales deben ser establecidas en lado más corto de la chimenea.

Para el monitoreo de emisiones en la chimenea se utilizó el equipo denominado TESTO, el cual

cuenta con un sensor que se colocó en la salida de gas cuyos valores y composición desean medirse. Bajo cualquier circunstancia debe evitarse que el sensor toque las paredes del conducto de salida de gas pues las altas temperaturas pueden dañarlo e incluso fundirlo.

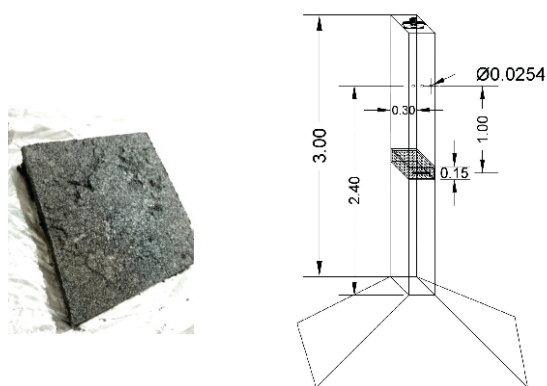


Figura 1: Esquema de la chimenea y el monolito de carbón

III. RESULTADOS

Tabla 1.

Disminución de la concentración de CO tras el uso de los filtros de monolito de carbón

MONOLITO DE CARBÓN	CONCENTRACIONES PROMEDIO DE CO (ppm)			
	CODIGO	PRETRATAMIENTO	POSTRATAMIENTO	DISMINUCIÓN (%)
MCP40-300		871.15	726.88	16.56
MCP60-300		1048.98	887.33	15.41
MCP80-300		1129.19	962.73	14.74
MCP40-600		985.75	799.53	18.89
MCP60-600		877.50	623.67	28.93
MCP80-600		1113.98	963.43	13.51

Fuente: Propia

Tabla 2.

Evaluación del tamaño de poro promedio de los monolitos de carbón evaluados.

MONOLITO DE CARBÓN	POROSIDAD		
	TAMAÑO PROMEDIO (nm)	TIPO (Micro, meso y macro poro)	OBS.
MCP40300	37.5	Mesoporo	-
MCP60300	40.6	Mesoporo	-
MCP80300	22.2	Mesoporo	-
MCP40600	26.4	Mesoporo	-
MCP60600	35.0	Mesoporo	-
MCP80600	71.4	Macroporo	Obstrucción

Fuente: Propia

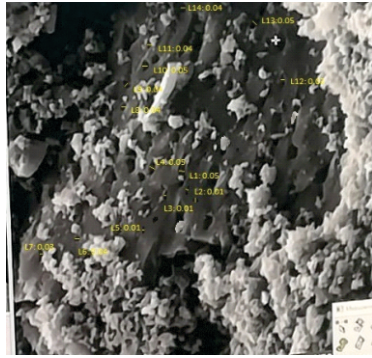


Figura 2: Estructura porosa del monolito MCP60-600

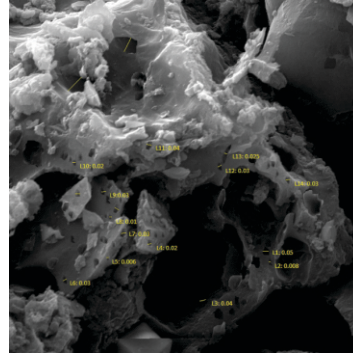


Figura 3: Estructura porosa del monolito MCP40-600

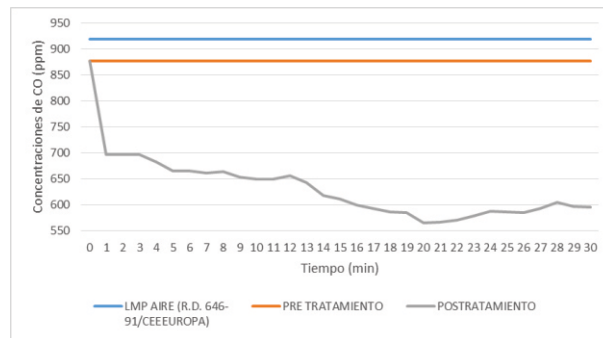


Figura 4: Variación de la concentración de CO respecto al tiempo al aplicar el filtro MCP60-600.

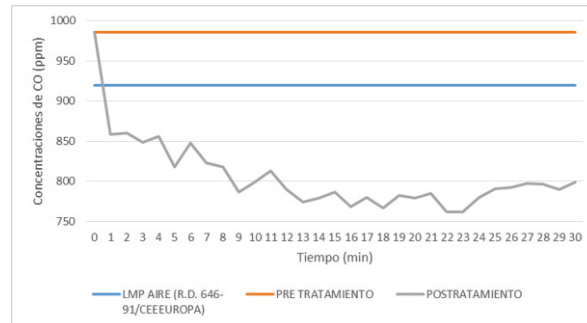


Figura 5: Variación de la concentración de CO respecto al tiempo al aplicar el filtro MCP40-600.

IV. DISCUSIÓN

En la tabla 1 se observa que es el filtro MCP60-600 el que presenta una mayor disminución de la concentración de CO, con un 28.93%; a ello le sigue el filtro MCP40-600 con un 18.89% de disminución de este contaminante. Los resultados obtenidos concuerdan con lo mencionado por Vargas *et al.* (2011), quien obtuvo mejor área específica, volumen poroso y capacidad de adsorción con sus monolitos de carbón a base de cuesco de palma al activarlo con un 48% de ácido fosfórico, considerando

que son óptimos los valores que oscilen cercanos a esta concentración.

Por otro lado, se observa que los monolitos de carbón activados con una concentración de ácido fosfórico al 80% presentaron los valores más bajos, reportando el filtro MCP80-300 un 14.82% de disminución de CO y el filtro MCP80-600 un 13.51%; Vargas *et al.* (2011) sustenta que trabajar con concentración de ácido fosfórico altas ocasiona que se dé una disminución del área superficial de los

monolitos, esto se debe a dos razones, primero a que si no se realiza una correcta eliminación del agente activante durante el lavado del carbón, los metafosfatos que quedan como residuos tienden a obstruir la matriz carbonosa responsable de la adsorción, disminuyendo así su capacidad; pero también menciona que puede deberse a un mayor desprendimiento del material volátil del monolito, ocasionando por el constante lavado que realiza al carbón. Así mismo, los filtros con mejores resultados (MCP40-600 y MCP60-600) fueron comprimidos a 600 psi, por lo que este sería nuestra presión de compactación más óptima; esto concuerda con los resultados de López *et al.* (2011) quien trabajó la conformación de sus monolitos con presiones de 500, 1000 y 2000 psi, obteniendo mayor capacidad de absorción a 500 psi, valor cercano al evaluado (600 psi). El investigador atribuye la capacidad de absorción a la porosidad que obtuvo con estos monolitos, mencionando que a 1000 y 2000 no obtuvo buenos resultados ya que al emplear elevadas presiones de compactación los espacios entre las partículas del carbón activado se tienden a reducir a tal punto que no permiten el fluido normal del contaminante; así mismo, el correcto prensado ayuda a reducir la pérdida del material volátil, haciendo resistente al monolito de carbón. Con respecto al proceso de adsorción, Álvarez y Carrasco (2016) mencionan que la porosidad es importante, en especial la microporosidad ya que contribuiría a una mayor capacidad de adsorción; sin embargo la formación de mesoporos es relevante debido a que permiten ser canales de transporte de las moléculas del contaminante a las paredes internas del carbón. En las figuras 2 y 3 se observa la estructura porosa de los filtros MCP60-600 y MCP40-600 donde se puede evidenciar la presencia de poros de tipo Mesoporo. Así mismo, en la Tabla 2, se observa que todos los monolitos de carbón evaluados, a excepción del MCP80-600, presentan porosidad de tipo mesoporo, por lo que sería buen indicativo de adsorción. Si no existe una modificación en la química superficial del adsorbente, se podría presentar una adsorción de tipo física en la cual intervienen unas fuerzas de interacción débiles, que ocasionarían que las moléculas de gas adsorbidas se liberen de la superficie del sólido con facilidad; ello podría

ser una de las causas de la obtención de bajos porcentajes de disminución de CO. Adicionalmente, se realizó una evaluación de la variabilidad de las concentraciones de CO (ppm) en las emisiones de la pollería al aplicar los filtros de monolito de carbón durante 30 minutos continuos. En las figuras 4 y 5, se observa que los filtros más eficientes obtenidos evidencian un buen funcionamiento ya que los valores que reportan cada minuto se mantienen por debajo de las concentraciones iniciales de CO. López *et al.* (2011) también evaluó la adsorción con respecto al tiempo, en este caso de NO, con cada uno de sus monolitos obteniendo que todos muestran un comportamiento que pasa por tres etapas de adsorción. Primero, se da la distribución y la adsorción del contaminante en las zonas activas de la superficie interna del monolito de carbón; segundo, por el minuto 20 se da la mayor adsorción para luego empezar a bajar, en esta parte la adsorción se da en las zonas activas de la superficie externa de los monolitos y se termina de llenar los poros y, tercero, la concentración final empieza a darse de manera constante indicando un proceso de saturación. Por último, los filtros MCP40-300, MCP60-300, MCP40-600 y MCP60-600 reportan valores que serían aceptables, principalmente este último debido a que cumplen con el Límite Máximo Permissible para aire con respecto al parámetro Monóxido de Carbono (CO) dado por R.D. 646-91/CEEEUROPA para actividades con emisiones de combustión, que es de una referencia de 920 ppm de CO (1000 mg/m³ sin conversión). Sin embargo, pasaría todo lo contrario con los filtros MCP80-300 y MCP80-600 debido a que si bien logran disminuir de manera mínima la concentración de CO (ppm) de las emisiones inicialmente medidas, no llegan a cumplir con el Límite Máximo Permissible antes citado. En el Perú no se cuenta con normativa que regule LMP para este tipo de actividad o sector y menos para el parámetro medido, por esa razón se comparó con normativa internacional. La R.D. 646-91/CEEEUROPA.

Casado (2010) en su propuesta de LMP para la industria ladrillera en el Perú, hace referencia a la normativa Europea antes citada y menciona que son pocos los países que regulan el CO, aun cuando se sabe que es un contaminante que

afecta la salud de la población y el medio ambiente. Así mismo, menciona que los valores que emiten las chimeneas pueden ir desde 77 hasta 8000 mg/m³, esto dependería de las

deficiencias operativas que se dan durante la producción, considerando que buenas prácticas lograrían reducir los valores de CO emitidos por chimeneas.

V. CONCLUSIONES

1. Al evaluar la disminución de las concentraciones de CO en las emisiones generadas por pollerías al usar filtros de monolito de carbón obtenido a diferentes concentraciones de ácido fosfórico (40%, 60% y 80%) y a una presión de compactación de 300 psi; se concluye que es el filtro MCP40-300 el que obtuvo una mejor disminución de CO con un 16.56%, reduciendo de una concentración inicial de 871.15 ppm a 726.88 ppm de este contaminante.
2. Al evaluar las concentraciones de CO en las emisiones generadas por pollerías del centro histórico de Trujillo al usar filtros de monolito de carbón obtenido a diferentes concentraciones de ácido fosfórico (40%, 60% y 80%) y a una presión de 600 psi; se concluye que es el filtro MCP60-600 el que obtuvo una mejor disminución de CO con un 28.93%, reduciendo de una concentración

inicial de 877.50 ppm a 623.67 ppm de este contaminante. De igual forma este sería el filtro de monolito de carbón con mejor disminución de CO, de los 6 filtros antes evaluados.

3. Se concluye que los monolitos de carbón caracterizados como MCP40-300, MCP60-300, MCP80-300, MCP40-600 y MCP60-600 presentan un tamaño de poro de tipo mesoporoso; lo cual contribuye a generar un medio de transporte del contaminante hacia superficies de contacto internas del carbón que favorece la adsorción; solo el MCP80-600 presentó uno de tipo macroporoso. Así mismo, el no identificar predominancia de microporosidad pudo ser la causa de no obtener altos valores de disminución de CO en la investigación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, M. y Carrasco, F. (2016). *Aplicaciones de adsorbentes y catalizadores en procesos medioambientales y energéticos*. Andalucía: Universidad Internacional de Andalucía.
- Betancur, A. (2012). Fabricación de monolitos de carbón activado para captura de gases contaminantes. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Casado, M. (2010). Elaboración de Límites Máximos Permisibles de emisiones para la industria ladrillera. Recuperado de <http://www.redladrilleras.net/assets/files/a8832ab5c8e44f4b8bb1d3250fdf2d45.pdf>
- Dirección General de Salud Ambiental (2005). Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la Cuenca Atmosférica de la ciudad de Trujillo. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/inventario_aire/fuentes_fijas/Informe%20Inventario%20Trujillo-Final.pdf
- EPA (1971). Norma Internacional de USEPA, método 1 - medición de gases en fuentes fijas. Recuperado de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/set/eoi:45771/componente45769.pdf
- López, D., Hoyos, J. y Mondagrón, F. (2011). Adsorción catalítica de NO a baja temperatura sobre monolitos de carbón activado. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 47, pp. 75-84.
- López, R. y Granillo, Y. (2017). Evaluación de las condiciones operacionales en el proceso de preparación de carbón activo de cáscara de naranja valencia (*Citrus Sinensis Linn Osbeck*). (Tesis de Titulación). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- Programa Aire Limpio (2005). Guía de buenas prácticas ambientales para la producción de pollos a la brasa. Recuperado de <https://www.swisscontact.org/fileadmin/u>

[ser_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/guia_de_buenas_practicas_ambientales_para_la_produccion_de_polos_a_la_brasa.pdf](#)

Vargas, D., Gutiérrez, L. y Moreno, J. (2011). Síntesis de Monolitos de Carbón activado:

análisis comparativo entre las características texturales y energéticas determinadas mediante calorimetría de inmersión. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 68 (553), pp. 215-220.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad César Vallejo y a la Unidad de Fiscalización y Control Ambiental del SEGAT por las gestiones y

permisos otorgados para la realización de esta investigación.