

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i14.0214>

APLICACIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO DE CASCARILLA DE ARROZ EN EL BLANQUEO DEL ACEITE DE PALMA HÍBRIDA (*ELAEIS OLEÍFERA X ELAEIS GUINEENSIS*)

APPLICATION OF RICE HUSK ACTIVATED CARBON IN THE BLEACHING OF HYBRID PALM OIL (*ELAEIS OLEIFERA X ELAEIS GUINEENSIS*)

Palacios-Zambrano Jandry Javier¹; Zambrano-Nevarez Eddie Manuel²; Vera-Vera Ángel Ricardo¹; Rojas-Uribe Loguard Smith³; Díaz-Camposano Edison Geovanny^{3*}; Durazno-Delgado Leonilo Alfonso³

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón Km 11/2 vía la Pastora. Calceta, Manabí, Ecuador.

²Universidad de Guayaquil, Ciudadela Universitaria Av. Delta S/N y Av. Kennedy. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

³Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito Km 1 ½ vía Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

*Correo: ediazc2@uteq.edu.ec

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación carbón activado de cascarilla de arroz en el blanqueo del aceite de palma híbrida (*Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis*). Se aplicó un diseño experimental en DCA con arreglo bifactorial, las variables independientes estudiadas fueron: factor A el tipo de carbón activado con tres niveles; carbón activado con ácido fosfórico (CAAF), carbón activado físicamente (CAF) y carbón activado con ácido cítrico (CAAC); factor B fue porcentaje del carbón activado en peso con dos niveles, 1 y 2 %; los factores de respuesta fueron concentración de carotenos totales en ppm y la eficiencia en la remoción de los pigmentos. Los experimentos se realizaron por cuadruplicado, la unidad experimental fue 100g de aceite de palma híbrida pretratada. Los resultados probaron que el tipo de carbón activado fue significativo en el blanqueo del aceite, consiguiendo como mejor tratamiento el CAAF 2% con un porcentaje de remoción de carotenos de 32,25 %, concluyendo que este tipo de carbón activado genera una opción en la remoción de pigmentos en el blanqueo de aceite de palma híbrida.

Palabras clave: Adsorbente, ácido fosfórico, ácido cítrico, carotenos.

Abstract

This study aimed to determine the effect of the application of rice husk-activated carbon on the bleaching of hybrid palm oil (*Elaeis oleífera x Elaeis guineensis*). An experimental design was applied in DCA with a bifactorial arrangement, the independent variables studied were: factor A the type of activated carbon with three levels; activated carbon with phosphoric acid, physically activated carbon, and activated carbon with citric acid; factor B was the percentage of activated carbon in weight with two levels, 1 and 2 %; the response factors were concentration of total carotenoids in ppm and the efficiency in pigment removal. The experiments were conducted in quadruplicate, the experimental unit was 100 g of pretreated hybrid palm oil. The results proved that the type of activated carbon was significant in oil bleaching, achieving as the best treatment the CAAF 2% with a carotene removal percentage of 32.25 %, concluding that this type of activated carbon generates an option in pigment removal in hybrid palm oil bleaching.

Keywords: Adsorbent, phosphoric acid, citric acid, carotenoids.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 18 de abril de 2023.

Fecha de aceptación: 01 de junio de 2023.

Fecha de publicación: 10 de julio de 2024.



1. Introducción

Ecuador es muy diverso en términos de fuentes de alimentos (Díaz et al., 2024) y según Viteri y Zambrano (2016) el arroz forma parte de la dieta en todas las regiones del país. Tobar y Quijije (2017) aseveran que la elaboración de este producto agroindustrial ocasiona residuos, en especial su cascarilla, donde el 20% del peso total del grano corresponde a residuos.

Según los datos de producción nacional del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, MAGAP (2020), Ecuador produjo 1.668.523 toneladas de arroz, de las cuales alrededor de 333.704 toneladas fueron como desechos de cascarilla de arroz, convirtiéndolo en uno de los residuos más representativos de la producción de arroz (Naveda et al., 2019). Algunos de estos residuos se utilizan para fines específicos, como camas para cerdos, para reducir los olores en las pocilgas, no obstante, el excedente no utilizado y descartado genera contaminación ya que se descompone muy lentamente sin una disposición final adecuada (Hurtado, Cueva y Barba, 2021; Prada y Cortés, 2010).

Actualmente, existen muchas alternativas en cuanto al aprovechamiento de residuos vegetales industriales como la cascarilla de arroz, de manera que se ha propuesto como biocombustible (Altamirano, 2021; Bástidas, 2021) o su transformación en carbón activado para una amplia gama de aplicaciones industriales y comerciales (Díaz et al., 2023; Mejía, 2018); como en el cultivo de palma híbrida que utiliza carbón activado para blanquear el aceite obtenido de plantas durante el procesamiento (Bockisch, 2015).

Según Parra et al. (2018) en cuanto al blanqueo de aceites, se lleva a cabo en diferentes procesos desde la extracción hasta el refinado, los métodos clásicos de purificación son alcalinos multietapa y físicos (Badui, 2016). Ambos refinamientos incluyen una etapa de blanqueo utilizando tierra mineral natural o activada con ácido clorhídrico y ácido fosfórico para absorber los pigmentos y descomponer los peróxidos (Esquivel et al., 2018).

Por otro lado, el aceite en la industria alimentaria se extrae de diferentes especies de palmeras, siendo las más importantes la palma de aceite

de *Elaeis guineensis* (Onoja et al., 2019) y los híbridos interespecies *E. oleífera x E. guineensis* (Melendez y Ponce, 2016), donde el segundo contiene mayor concentración de caroteno, lo que causa mayor uso de suelo mineral y mayor tiempo de retención de los blanqueadores para reducir la concentración de pigmentos (Muñoz, 2019).

Las empresas extractoras de aceites comestibles buscan optimizar el procesamiento del aceite de palma híbrido sin que repercuta en los costos (Zambrano, 2020). Prada y Cortés (2010) demostraron que la composición de la cascarilla de arroz contenía mayor contenido de SiO₂ como adsorbente en comparación con las arcillas comerciales utilizadas en la refinación.

En base a lo fundamentado, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la aplicación del carbón activado de cascarilla de arroz en el blanqueo de aceite híbrido de palma, como una alternativa a los procesos convencionales utilizados en la actualidad.

2. Metodología

Los análisis se elaboraron en el laboratorio de química de la empresa de Industrias Ales C. A, ubicada en la ciudad de Manta, provincia de Manabí de la República del Ecuador.

En el diseño experimental se aplicó un arreglo factorial A*B en Diseño Completamente al Azar (DCA) con seis tratamientos y cuatro réplicas, dando 24 unidades experimentales.

En la presente investigación se utilizaron dos variables independientes, donde la A fue tipo de carbón activado (tres niveles) y el factor B porcentajes de carbón activado (dos niveles). Los niveles de cada factor se establecen de acuerdo a los límites de control que hace referencia Oot et al. (1998), que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.

Niveles de los factores evaluados.

Factor a	Factor b
a1: Carbón mediante activación con Ácido fosfórico (CAAF)	b1:1% p/p
a2: Carbón mediante activación con Ácido cítrico (CAAC)	b2: 2% p/p
a3: Carbón mediante activación física (CAF)	

Las combinaciones de niveles de los factores estudiados se detallan en la tabla 2.

Tabla 2.
Niveles de los factores evaluados.

Tratamiento	Tipo de carbón activado	Porcentaje del adsorbente (%)
T1	CAAF	1
T2	CAAF	2
T3	CAAC	1
T4	CAAC	2
T5	CAF	1
T6	CAF	2

La unidad experimental consistió en 100 g de aceite de palma híbrido

pretratado (0,1 % p/p de adición de ácido fosfórico en relación con el caudal) (Giler, 2020) con las siguientes características: caroteno total 1155 ppm, índice de acidez 2,76 %, índice de peróxido 1,2 meqO₂ /Kg, Lovibond Red 20, la condición experimental estándar es de 100 °C y el tiempo de blanqueo es de 20 minutos.

2.1. Aplicación del método de blanqueo

En la figura 1 se detalla el diagrama del proceso de blanqueo de aceite con carbón activado.

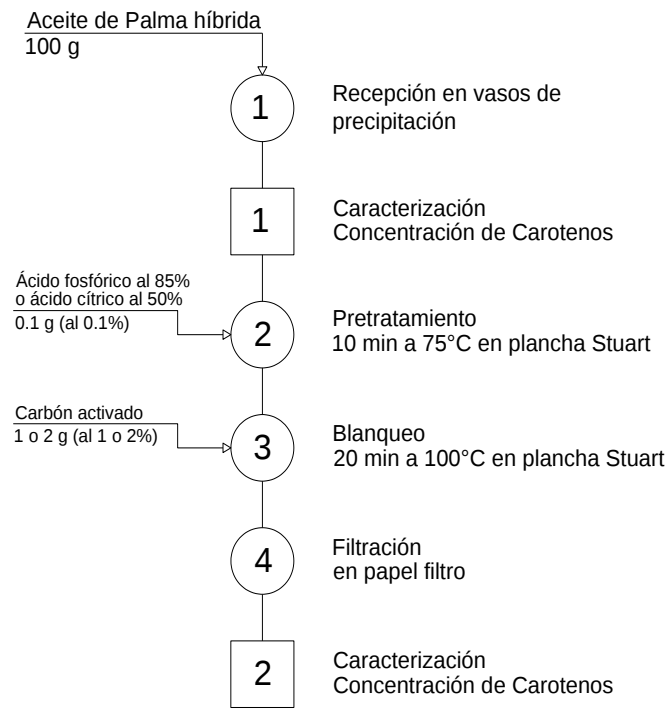


Figura 1. Diagrama de proceso de blanqueo de aceite con carbón activado.

El tratamiento previo a la activación consistió en secar en horno KOTTERMANN D3165 Hänigsen (220 Voltios, 925 Watts) a 105 °C durante aproximadamente una hora, donde se colocaron 500 g de cascarilla de arroz en un recipiente de porcelana para eliminar al máximo la cantidad de agua presente en el sustrato. El material fue reducido a aproximadamente 1-2 mm (malla 10-18 mesh) pasando a través de un tamiz Fisher Scientific Company (ASTM E-11) del tamaño de malla especificado anteriormente.

Para la activación física de carbones se extrajo una muestra de 25 g, se colocó en un mortero de 100 mm, se humedeció con agua destilada y se hirvió a una conductividad de 0,5 uS/cm, luego se colocó en una mufla Termolyne. FB1315M (rango de temperatura de 25 a 1125 °C) y se mantuvo a 400 °C durante 2 h, luego se enfrió en un horno de mufla durante 24 h hasta que alcanzó la temperatura ambiente y el material resultante se lavó con agua destilada a pH neutro. El pH se obtuvo mediante un pHMeter Oakion 35613-24 para la medición.

Para la activación química, el primer paso fue macerar 25 g de cascarilla

de arroz y 50 ml de ácido fosfórico al 40 % en un mortero de 100 mm durante 24 horas, seguido del secado de las muestras en un horno Kottermann a temperatura ambiente y después a 150 °C durante 2 horas. Luego se coloca en un horno de mufla Termolyne durante otras dos horas para la carbonización a 400°C. Luego se enfrió en una mufla durante 24 h, seguido de lavado con agua destilada caliente hasta que el material carbonoso alcanzó pH neutro, y el material se secó a 105 °C durante 24 h. Para la activación con ácido cítrico se procedió con la misma metodología utilizada anteriormente (Hidalgo y Rivera, 2017).

2.2. Contenido de carotenos

Se determinaron el contenido de carotenos del aceite de palma crudo y tratado. Para su determinación se pesó una muestra de 0,1 g del aceite en un matraz de 25 mL en la balanza MRC ASB220 C3 y se enrasó con iso-octano (trimetil pentano) ópticamente puro a 446 nm, la absorbancia se determinó mediante medición espectrofotométrica a 446 nm de absorbancia, mientras que la concentración se obtuvo por la

ecuación 6 (UNE-EN ISO 17932, 2012).

$$CT = \frac{25 * 383 * (As - Ab)}{100W}$$

Donde:

CT: Concentración de carotenos totales (ppm).

As= Absorbancia de la muestra.

Ab=Absorbancia del blanco.

W=Peso de la muestra (gramos).

2.3. Eficiencia de remoción de pigmentos

La eficiencia (%) de blanqueo se calculó por la eliminación de carotenos totales durante el proceso. Se efectuó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ remoción} = \frac{(Ci - Cf) * 100}{Ci}$$

Donde:

Ci= Concentración inicial de carotenos totales del aceite antes del tratamiento.

Cf= Concentración final de carotenos totales del aceite después del tratamiento.

3. Resultados

Se realizaron los supuestos de ANOVA en la prueba de normalidad

de (Shapiro-Wilk) ($p > 0,05$) (Gutiérrez y Vara, 2008; Montgomery, 2005) y la prueba de homogeneidad de Levene, cumpliéndose los dos supuestos para la variable carotenos totales.

En el análisis de varianza, se rechaza la hipótesis de igualdad de medias para la variable tipo de carbón y su interacción Tipo * % Peso, puesto que estas tuvieron influencia sobre la concentración final de carotenos totales p -valor $< 0,05$.

Según la tabla 3, el carbón activado de las mayores cualidades adsorbentes respecto a los carotenos totales fue carbón con ácido fosfórico (CAAF), en comparación a los otros dos tipos de carbones.

Tabla 3.

Medias de las características físico-químicas analizadas del aceite blanqueado en cada tratamiento.

Variable Tipo de carbón	
Tipo	Carotenos totales (ppm)
CAAF	851,25
CAF	1037,00
CAAC	1086,25
p-valor	$< 0,0001^*$

Variable Dosis	
1%	1007,42
2%	975,58
p-valor	0,1507 ^{NS}
Interacciones de tratamientos	
CAAF-1%	921,00
CAAF-2%	781,50
CAF-1%	1025,75
CAF-2%	1048,25
CAAC-1%	1075,50
CAAC-2%	1097,00

p-valor	0,0078*
CV	5,24%

Por su parte, en la figura 2 se muestra el porcentaje de remoción de los pigmentos carotenos con cada tratamiento propuesto. La eficiencia de eliminación global CAAF-2 % fue 32,25 % y CAAF-1 % de 20,26 %.

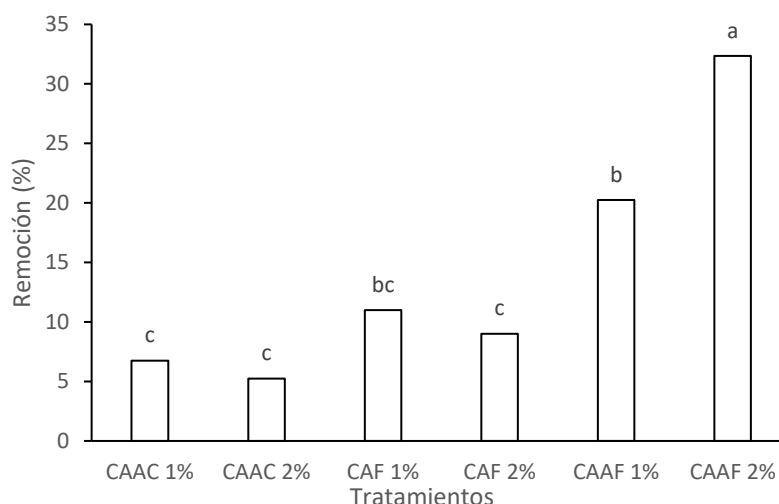


Figura 2. Remoción de carotenos totales en cada tratamiento.

3.1. Discusión

La capacidad de adsorción puede estar relacionada con la acidez residual y el pH del carbón activado (CAAF), respectivamente, pues como lo señalan Silva et al., (2013) los procesos de adsorción, como la fisisorción y la quimisorción, mejoran

a medida que aumenta la temperatura de la tierra blanqueadora activada por ácido.

Es importante señalar que Gibon et al. (2007) mencionaron que la eliminación completa del caroteno durante el blanqueo no es posible, y así mismo Maclellan (1983) indicó

que algunas refinerías solo eliminan el 20 % del pigmento caroteno del aceite crudo en esta etapa.

Los tipos de carbón activado químicamente con ácido fosfórico tienen una mayor actividad de adsorción. Farrera et al. (2017) y Taylor et al. (1989) demostraron que la acidez de un material adsorbente está relacionada con su capacidad para retener pigmentos en su matriz, ya que la activación ácida actúa como catalizador sólido ácido, adsorbente y auxiliar de filtración. Por otro lado, Márquez et al. (2012) en su estudio sobre el carbón activado utilizado para blanquear el aceite rojo de palma, indicaron una mayor remoción de caroteno en un 45,07 % utilizando carbón mineral; sin embargo, demostraron que la mezcla de carbón y arcilla era más eficiente en la adsorción de estos pigmentos.

4. Conclusión

Se pudo aplicar el carbón activado de cascarilla de arroz mediante activación física y química en la operación de blanqueo y remoción de los compuestos apolares de aceites de palma híbrida. La mayor eficacia fue el tratamiento del carbón CAAF y 2% de concentración,

obteniéndose la remoción de carotenos del 32,25%.

Se verificó que con el carbón activado de cascarilla de arroz se obtuvo una adsorción eficiente comparable a las arcillas diatomeas industriales reportadas en la literatura.

Bibliografía

- Altamirano, C. E. C., Calvopiña, F. G. L., Chicaiza, X. M. P., & Pilco, C. R. J. (2021). Potencialidad de Biocombustibles a partir de Residuos Orgánicos. *Revista Scientific*, 6(21), 40-57. <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2021.6.21.2.40-57>
- Badui Dergal, S. (2016). *Química de los alimentos*. Pearson Educación.
- Bastidas, J. V., & Vera, J. M. (2020). Biocombustible sólido a partir de residuos que generan los procesos agroindustriales del sector El Empalme. *Ingeniería e Innovación*, 8(22). <https://doi.org/10.21897/23460466.2333>
- Bockisch, M. (2015). *Fats and oils handbook (Nahrungsfette und Öle)*. Elsevier.
- Díaz-Campozano, E. G., Palacios-Zambrano, J. J., Proaño-Molina, I. E., Vera-Vera, Ángel R., Bosquez-Mestanza, A. L., & Mendoza-Pico, V. A. (2023).

- Remoción de jabones en aceites neutralizados con aplicación de cenizas de cáscara de arroz. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 7(13), 28–39.
<https://doi.org/10.46296/yc.v7i13.0352>
- Díaz-Campozano, E. G., Vilela-Sabando, J. R., Heredia-Delgado, J. B., Farías-Vera, J. P., Cevallos-Mendoza, A. N., & Cedeño-Moreira, Á. V. (2024). Características químicas y antioxidantes en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en la maduración de cosecha. *Dominio de las Ciencias*, 10(2), 44-59.
<https://doi.org/10.23857/dc.v10i2.3790>
- Esquivel-Paredes, L., Campos-Grijalva, A., & Castillo-Martínez, W. E. (2018). Optimización de la temperatura de secado y presión de vacío en la decoloración y composición del aceite crudo de pescado. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 61-72.
<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.330>
- Farrera, R., Marroquín, C. A., Cid, M., Dávila, E., García, H., & Méndez, M. A. (2017). Producción de carbón activado a escala de laboratorio a partir de residuos de café. *Revista Pakbal*, 40, 40-44.
https://www.ingenieria.unach.mx/images/Articulos_revista/revistapakbal_40_pag40-44.pdf
- Gibon, V., De Greyt, W., y Kellens, M. (2007). Palm oil refining. *European journal of lipid science and technology*, 109(4), 315-335.
<https://doi.org/10.1002/ejlt.200600307>
- Giler, A. (19 de octubre de 2020). Entrevista de J.J. Palacios. Refinación de palma híbrida Industrias Ales. Manta.
- Gutiérrez, H y Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill.
- Hidalgo, C & Rivera, S. (2017). Obtención de carbón activado a partir del bagazo del café como una propuesta de utilización del residuo de una industria. ESPOL.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/102854/D-CD102896.pdf>
- Hurtado, E. A., Cueva-Navia, T., & Barba-Capote, C. (2021). La modelización del crecimiento de los cerdos bajo un sistema de cama profunda. *CIENCIA UNEMI*, 14(36), 1-11.
<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss36.2021pp1-11p>
- Maclellan, M. (1983). Palm oil [Processing, fatty acid composition, phospholipids, carotenoids, Malaysia].

- Journal of the American Oil Chemists' Society*, 368-373.
<https://doi.org/10.1007/BF02543520>
- Márquez, M, Rodríguez, K., Polo, Á., Díaz, L, Brochero, C., Bastidas, M. y Moreno, J. (2012). Evaluación del comportamiento de materiales adsorbentes en la etapa de blanqueo del aceite crudo de palma. *Revista Palmas*, 33(1), 63-73.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10775>
- Mejía, M. V. V. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de carbón activado: una revisión. *Scientia et technica*, 23(3), 411-419.
- Meléndez, M. R., & Ponce, W. P. (2016). Pollination in the oil palms *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and their hybrids (OxG), in tropical America. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46, 102-110.
<https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4638196>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP) (2020). Panorama agro-estadístico de agosto 2020. Recuperado el 18 de septiembre de 2020 de http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/panorama_estadistico/panorama_estadistico.pdf
- Montgomery, D. C. (2005). Análisis y diseño de experimentos. Grupo Editor-Iberoam.
- Muñoz, J. F. (2019). El aceite híbrido Sioma-Características y aplicaciones. *Palmas*, 40(Especial T), 145-153.
<https://doi.org/10.56866/issn.0121-2923>
- Naveda Rengifo, R. A., Jorge Montalvo, P. A., Flores del Pino, L., & Visitación Figueroa, L. (2019). Remoción de lignina en el pretratamiento de cascarilla de arroz por explosión con vapor. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 352-361.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a07v85n3.pdf>
- Onoja, E., Chandren, S., Abdul Razak, F. I., Mahat, N. A., & Wahab, R. A. (2019). Oil palm (*Elaeis guineensis*) biomass in Malaysia: the present and future prospects. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2099-2117.
<https://doi.org/10.1007/s12649-018-0258-1>
- Oot, C. K., Choo, Y. M., Yap, S. C., & Ma, A. N. (1998). Refinación del aceite rojo de palma. *Palmas*, 19(1), 61-66.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/611>
- Parra, T., Marín, F., Jácome, G., y Sinche, M. (2018). Clarificación de aceite de cocina usado y decoloración de aceite rojo de palma con el uso de ozono, carbón activado y peróxido de

- hidrógeno. *Enfoque UTE*, 9(2), 77-88.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.192>
- Prada, A., & Cortés, C. E. (2010). La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. *Orinoquia*, 14, 155-170.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092010000300013
- Silva, S. M., Sampaio, K. A., Ceriani, R., Verhé, R., Stevens, C., Greyt, W. D., & Meirelles, A. J. A. (2013). Adsorption of carotenes and phosphorus from palm oil onto acid activated bleaching earth: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Journal of Food Engineering*, 118(4), 341-349.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.026>
- Taylor, D. R., Jenkins, D. B., y Ungermann, C. B. (1989). Bleaching with alternative layered minerals: A comparison with acid-activated montmorillonite for bleaching soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 66(3), 334-341.
<https://doi.org/10.1007/BF02653285>
- Tobar, E. y Quijije, K. (2017). Estudio de factibilidad en la implementación de una empresa de reciclaje a base de cáscara de arroz en el cantón Daule, provincia del Guayas, con el fin de abastecer a plantas industriales de paneles solares. (Bachelor's thesis, Universidad Estatal de Guayaquil). Archivo digital. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20191>
- UNE-EN, I.S.O 17932:2012. (2012). Determinación del deterioro del índice de blanqueamiento (DOBI) y el contenido de carotenos. Normalización Española.
- Viteri, G. I. V., & Zambrano, C. E. (2016). Comercialización de arroz en Ecuador: Análisis de la evolución de precios en el eslabón productor-consumidor. *Revista Ciencia y Tecnología*, 9(2), 11-17.