



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE POSGRADO Y FORMACIÓN CONTINUA

**INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DE MAGISTER
EN AGROINDUSTRIA**

MODALIDAD:

Trabajo de Titulación

TEMA:

**EFFECTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE CASCARILLA DE ARROZ Y
DOSIS DE APLICACIÓN EN EL BLANQUEO DEL ACEITE DE
PALMA HÍBRIDA (*Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis*)**

AUTORES:

ING. JANDRY JAVIER PALACIOS ZAMBRANO

ING. ÁNGEL RICARDO VERA VERA

TUTOR:

ING. ELY FERNANDO SACÓN VERA Ph. D.

CALCETA, NOVIEMBRE 2021

DERECHOS DE AUTORÍA

JANDRY JAVIER PALACIOS ZAMBRANO Y ÁNGEL RICARDO VERA VERA declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, que se han respetado los derechos de autor de terceros, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido del mismo, así como ante la reclamación de terceros, conforme a los artículos 4,5 y 6 de la Ley de Propiedad Intelectual.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido en el artículo 46 de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.



JANDRY JAVIER PALACIOS ZAMBRANO



ÁNGEL RICARDO VERA VERA

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

PhD. ELY FERNANDO SACÓN VERA, certifica haber tutelado el trabajo de titulación efecto del carbón activado de cascarilla de arroz y dosis de aplicación en el blanqueo del aceite de palma híbrida (*Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis*), que ha sido desarrollado por **JANDRY JAVIER PALACIOS ZAMBRANO Y ÁNGEL RICARDO VERA VERA**, previo la obtención del título de Magister en Agroindustria, de acuerdo al Reglamento de unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ph. D. ELY FERNANDO SACÓN VERA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación efecto del carbón activado de cascarilla de arroz y dosis de aplicación en el blanqueo del aceite de palma híbrida (*Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis*), que ha sido propuesto, desarrollado y sustentado por **JANDRY JAVIER PALACIOS ZAMBRANO y ÁNGEL RICARDO VERA VERA**, previa la obtención del título de Magister en Agroindustria, de acuerdo al Reglamento de la unidad de titulación de los programas de Posgrado de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Mg. Francisco Manuel Demera Lucas

MIEMBRO DE TRIBUNAL

Mg. José Fernando Zambrano Ruedas

MIEMBRO DE TRIBUNAL

Ph. D. Julio Vinicio Saltos Solórzano

PRESIDENTE DE TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día;

A mis padres Isabelita y Lester por sus consejos, por motivarme a nunca desfallecer y alcanzar todas las metas que me he planteado en la vida.

A mi compañero Ángel porque sin el equipo que hemos formado, no habiéramos alcanzado tan importante logro.

A mis grandes amigos Raúl y Vicente que tuve la fortuna de conocer en esta etapa de mi vida profesional y que han sabido darme consejos oportunos para la vida.

Al Ing. Ely Fernando Sacón Vera PhD. por su ayuda, por guiarnos con sus conocimientos y experiencias en el desarrollo de este trabajo.

JANDRY JAVIER PALACIOS ZAMBRANO

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día;

A mi familia que me inculcó el camino de la preparación continua en mi enriquecimiento profesional, en especial a mi madre que ha estado siempre apoyándome desde mi infancia hasta ahora.

A mis amigos que han estado pendientes de mi para no perder el camino, con buen ejemplo, ellos han dado ánimos para cumplir este objetivo, en especial a mi compañero Jandry Palacios, que demostró su amistad y compañerismo en el desarrollo del programa.

ÁNGEL RICARDO VERA VERA

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, por obsequiarme el tesoro invaluable que es la vida por ser mi guía en este arduo camino siendo fuente de fortaleza, amor y sabiduría, dándome la oportunidad de conquistar una meta más para mi vida profesional.

A mis padres Isabelita y Lester por motivarme, por sus enseñanzas en el camino del bien por ser mi fuente de inspiración, a mis hermanas Dayana Melissa y Abigail Luciana por su apoyo constante y cariño.

A mi novia Vicky Alejandra a quien adoro y amo, la conocí en el trayecto de este camino, ha sido mi compañía, motivación e inspiración a lo largo de esta etapa, siempre dispuesta a escucharme y darme consejos en cualquier momento.

JANDRY JAVIER PALACIOS ZAMBRANO

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres que se merecen lo mejor, estoy seguro de lo felices que están por verme alcanzar esta meta, esperando algún día poder retribuirles todo lo que hacen por mí.

A mi hermano por apoyarme en todos mis proyectos, siempre preocupado por mi bienestar, demostrando ser un excelente hermano mayor. A mi hermana que a pesar de no estar físicamente entre nosotros siempre la recuerdo y dedico mis logros, recordando sus enseñanzas que hasta ahora me ayudan.

A mi novia que en el transcurso de esta experiencia me acompañó en todo momento, sé que también está feliz por esta meta cumplida.

ÁNGEL RICARDO VERA VERA

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO GENERAL	ix
CONTENIDO DE TABLAS	xiii
CONTENIDO DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	16
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3. OBJETIVOS	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4. HIPÓTESIS	20
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	21
2.1. ACEITE DE PALMA	21
2.1.1. PRODUCCIÓN Y CONSUMO	21
2.1.2. VARIEDADES	22
2.1.3. REFINACIÓN DE ACEITES	23
2.2. CARBÓN ACTIVADO	24

	10
2.2.1 ADSORCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO	24
2.2.2. CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO	25
2.2.3. CARBÓN ACTIVADO DE CASCARILLA DE ARROZ	27
2.2.4. OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO	27
2.2.5. CASCARILLA DE ARROZ	28
2.2.6. GENERACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ	28
2.3. PROCESO DE BLANQUEO	28
2.4 CARACTERIZACIÓN DE GRASAS Y ACEITES	31
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	33
3.1. UBICACIÓN	33
3.2. DURACIÓN	33
3.3. FACTORES EN ESTUDIO	33
3.4. NIVELES DEL FACTOR	33
3.5. TRATAMIENTOS	33
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL	34
3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL	34
3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO	35
3.8.1. ELABORACIÓN DE LOS CARBONES A PARTIR DE LA CASCARILLA DE ARROZ	35
3.8.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBONES	38
3.8.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE BLANQUEO	40
3.8.4. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE	41
3.9. VARIABLES A MEDIR Y MÉTODO DE EVALUACIÓN	43

	11
3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	43
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS CARBONES	44
4.1.1 Granulometría por vía seca	44
4.1.2 Rendimiento	44
4.1.3 Acidez residual	44
4.1.4 Humedad	45
4.1.5 pH	45
4.1.6 Densidad de aparente	45
4.1.7 Adsorción de naranja de metilo	45
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS DEL ACEITE BLANQUEADO	46
4.2.1 CAROTENOS TOTALES	47
4.2.2 ÍNDICE DE ACIDEZ	49
4.2.3 ÍNDICE DE PERÓXIDOS	49
4.2.4 COLOR ROJO LOVIBOND	50
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1 CONCLUSIONES	51
5.2 RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de los factores	33
Tabla 2 Combinaciones de niveles de los factores	34
Tabla 3 Esquema de ANOVA DCA arreglo factorial AxB	34
Tabla 4 Medias de las características físico-químicas analizadas del aceite blanqueado de los tratamientos	47

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de proceso de activación física de carbón de cascarilla de arroz	35
Figura 2 Diagrama de proceso de activación química ácida de carbón de casacrilla de arroz	36
Figura 3 Diagrama de proceso de blanqueo de aceite con carbón activado	40
Figura 4 Curva de Adsorción de naranja de metilo de los carbones activados con respecto al tiempo	46
Figura 5 Remoción de carotenos totales de los tratamientos	48

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del uso de carbón activado de cascarilla de arroz y su dosis de aplicación en el blanqueo del aceite de palma híbrida (*Elaeis Oleífera x Elaeis Guineensis*). Se aplicó un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) con arreglo factorial AxB con cuatro réplicas por tratamiento, la unidad experimental fue de 100 g de aceite de palma híbrida pretratado, los factores estudiados fueron: factor A el tipo de carbón activado; carbón activado con ácido fosfórico (CAAF), carbón activado físicamente (CAF) y carbón activado con ácido cítrico (CAAC), factor B es el porcentaje del carbón activado en peso 1 y 2%, la variable respuesta fue concentración de carotenos totales en ppm y la eficiencia en la remoción de los pigmentos. Se empleó un análisis de varianza al 5% de significación. Los resultados mostraron que el tipo de carbón activado p -valor $<0,05$ tuvo influencia en el blanqueo del aceite, obteniéndose como mejor tratamiento el CAAF 2% con un porcentaje de remoción de carotenos totales de 32,25%. Se concluye que el carbón activado CAAF representa una alternativa importante en la remoción de pigmentos en el blanqueo de aceite de palma híbrida.

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

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the effect of the use of activated carbon from rice husks and its application dose in bleaching hybrid palm oil (*Elaeis Oleífera* x *Elaeis Guineensis*). A completely randomized experimental design (DCA) was applied with AxB factorial arrangement with four replications per treatment, the experimental unit was 100 g of pretreated hybrid palm oil, the studied factors were: factor A the type of activated carbon; activated carbon with phosphoric acid (CAAF), physically activated carbon (CAF) and activated carbon with citric acid (CAAC), factor B is the percentage of activated carbon in weight 1 and 2%, the response variable was concentration of total carotenes in ppm and efficiency in pigment removal. An analysis of variance was used at 5% significance. The results showed that the type of activated carbon p-value <0.05 had an influence on the bleaching of the oil, obtaining CAAF 2% as the best treatment with a total carotene removal percentage of 32.25%. It is concluded that the activated carbon CAAF represents an important alternative in the removal of pigments in the bleaching of hybrid palm oil.

Key words: Adsorbent, phosphoric acid, citric acid, carotene.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Ecuador es un país muy diverso en cuanto a fuentes de alimentación, siendo el consumo de carbohidratos el más elevado a nivel territorial. El arroz, forma parte de la dieta alimenticia en todas las regiones naturales del país, es decir es un carbohidrato muy consumido, de acuerdo con Núñez (2020) después de la harina de trigo, la papa y el maíz, es el más producido y comercializado, los referentes a las provincias de Guayas, Los Ríos y Manabí. La producción de este producto agroindustrial genera desechos, específicamente su cascarilla, según Tobar y Quijije (2017) el 20% del peso total del grano corresponde al residuo mencionado.

Las cifras de producción a nivel nacional, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP (2020), Ecuador llegó a producir cerca de 1,668.523 toneladas de arroz, del cual se aproxima a una generación de 333.704 toneladas de residuos de cascarilla. Parte de este desecho es destinado a usos, como, por ejemplo, las camas de crianza de cerdos para disminuir los olores producidos en las porquerizas, el excedente que no se usa y es desechado, genera contaminación, ya que sin una disposición final adecuada su descomposición es muy lenta. En diferentes plantas procesadoras de arroz (piladoras), son abundantes los montículos de desperdicio de cascarilla.

En la provincia de Manabí, uno de los cantones que mayor arroz produce es el cantón Rocafuerte, en la zona del valle. Según Sánchez y Yugcha (2012) se cultivan 2.718,90 hectáreas de arroz en esta zona. De acuerdo con los autores antes mencionados, entre 125 sacos de 200 libras corresponden a 25 toneladas. Es decir que solamente en este cantón manabita se generan 5 toneladas de residuo por ciclo, un problema local que podría solucionarse con una adecuada disposición y aprovechamiento. Actualmente, existen diversas propuestas que podrían dar solución con los problemas que se generan por el residuo de cáscara de arroz, ya sea con fines veterinarios o agroindustriales; sin embargo, la falta de incentivos o de investigadores locales que se interesen por elaborar propuestas de aprovechamiento sostenible de este material son escasos en la provincia.

En la actualidad, son muchas las alternativas que existen con respecto al aprovechamiento de residuos industriales vegetales (como la cascarilla de arroz), para transformarlos en carbón activo, el cual es muy utilizado en diversas aplicaciones de carácter industrial y comercial. Cabe mencionar que los cultivos de palma híbrida, durante su procesamiento utilizan el carbón activo vegetal para blanquear el aceite que se extrae de estas dos plantas (Bockisch, 2015).

De acuerdo con Parra et al. (2018) con respecto al blanqueamiento de aceites, estos se realizan con varios procesos que van desde la extracción al refinado, el método clásico de refinado es el alcalino de diversas etapas, y el método físico que consta de tres (pre tratamiento, blanqueo y desodorización) (Badui 2016). En ambas refinaciones está incluida la etapa de blanqueo, esta operación se la realiza con tierras minerales naturales o activadas con ácidos (ácido clorhídrico y fosfórico) para adsorber pigmentos (carotenos) y descomponer peróxidos (Campos Grijalva, 2017; Páez Gil, 2019).

Por otra parte, el aceite en la industria alimenticia se extrae de diferentes variedades de palma, entre las más importantes tenemos: *Elaeis guineensis* y el híbrido interespecífico (*E. oleífera x E. guineensis*), siendo la segunda una especie híbrida que contiene mayor concentración de carotenos, a causa de esto en el proceso de blanqueo se generan problemas, que derivan en un alto costo y pérdida de materia prima debido a la elevación de la dosificación de tierras minerales y aumento de tiempos de retención en los blanqueadores para disminuir la concentración de los pigmentos.

En la provincia Manabí se encuentran empresas dedicadas a la actividad productiva de aceites comestibles, entre las más importantes se destaca Industrias Ales C.A., empresa que se dedica a la producción de aceites, grasas vegetales y otros productos alimenticios y no alimenticios, dicha industria refina aceites a partir de palma de las variedades *E. guineensis* y el híbrido interespecífico (*E. oleífera x E. guineensis*), puede procesar 270 toneladas de aceite al día y busca alternativas para mejorar el procesamiento del aceite de palma híbrido sin que repercutan en los costos operativos (Zambrano, 2020). Tal y como se mencionó anteriormente, esto conlleva a la búsqueda de nuevos materiales adsorbentes, a partir de subproductos agroindustriales con alto contenido celulósico. Por otra parte, las

industrias prefieren contar con materiales que permitan mayor adsorción para el blanqueo de sus aceites y que mejoren la relación costo-beneficio.

Considerando todo lo expuesto anteriormente, los desechos producidos por el pilado de arroz, como la cascarilla, se constituyen en un problema relevante de contaminación ambiental, ya que la mayor parte de este no posee una disposición adecuada, siendo una alternativa sostenible a este problema el aprovechamiento de este desecho mediante la transformación en carbón activado. Es así, que en base a la problemática expuesta se formula la siguiente interrogante:

¿Qué efecto tendrá la aplicación de carbón activado de cascarilla de arroz y su dosis en el proceso de blanqueamiento de aceite de palma híbrida?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de investigación está enfocado en la elaboración de un material adsorbente que busca una forma alternativa para el tratamiento y blanqueo del aceite de palma híbrida, mediante el aprovechamiento y transformación del residuo agroindustrial de cáscara de arroz en carbón activo. Este trabajo pretende ser un importante aporte al conocimiento teórico, metodológico y práctico de la agroindustria ecuatoriana como referente en futuras investigaciones que se desarrollen en este campo.

El residuo de cascarilla de arroz en la elaboración de carbón activado, se utiliza internacionalmente como absorbente principalmente en el tratamiento de aguas residuales, fundamentado en el trabajo de investigación de Rodríguez et al. (2012) y evaluado como absorbente, sin embargo, sus características dan paso a otros usos en el campo industrial, como la operación de blanqueo de aceites comestibles.

En este marco se plantea realizar la activación de un carbón con una matriz vegetal que dé un buen rendimiento, que sea eficiente (retención de compuestos apolares) y que se encuentren disponibles en el medio, tal y como lo es la cascarilla de arroz. Es así, que, con el objeto de mejorar la operación de blanqueo en la refinación física de aceite de palma híbrida, existen varios estudios científicos sobre la activación de carbones como, por ejemplo: Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz Carrillo (2013).

En efecto, el carbón activado por su naturaleza apolar y por el tipo de fuerzas

implicadas en el proceso de adsorción retendrá preferentemente moléculas apolares y de alto volumen molecular como hidrocarburos, fenoles y colorantes (Sevilla, U. 2011). Según lo expuesto por Hernández et al. (2011) los carotenos propiamente dichos, son compuestos lipofílicos, solubles en aceites y solventes orgánicos, en otras palabras, esta propiedad de las moléculas indica que son altamente apolares. Por esta razón, el presente estudio de investigación propone la utilización del carbón activado, el cual tiene la capacidad de retener los carotenoides, moléculas apolares presentes en el aceite de palma híbrida.

Es importante analizar la capacidad de adsorción de carbones vegetales generados de cascarilla de arroz y su eficiencia en la remoción de pigmentos, ya que permitirá la posibilidad de generar aplicaciones tecnológicas para la producción a grandes volúmenes y fomentar el desarrollo agroindustrial. Por otra parte, mediante este trabajo de investigación se revalorizará el residuo de cascarilla de arroz obtenido por la gran actividad agrícola de la provincia de Manabí y el país, aprovechando este material vegetal en la elaboración de un adsorbente para su posterior aplicación en el campo de ingeniería de procesos en el refinamiento de aceites y grasas vegetales, generando valor económico, socio-ambiental y técnico de aplicación con metodologías alcanzables de acuerdo a la norma INEN.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de los tipos de carbón activado de cascarilla de arroz y dosis de aplicación para el proceso de blanqueo de aceite de palma híbrida.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar carbón de cascarilla de arroz mediante la activación física y química ácida para su aplicación en la operación de blanqueo.
- Caracterizar los carbones mediante análisis físico-químico para valorar su rendimiento y capacidad de adsorción.
- Determinar la eficiencia en la remoción de pigmentos de las dosis de carbones activados en el blanqueo del aceite crudo de palma híbrida a condiciones estándar de operación.

1.4. HIPÓTESIS

El tipo carbón activado de cascarilla de arroz y las dosis de aplicación influyen en la eficiencia de blanqueo del aceite crudo de palma híbrida.

CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ACEITE DE PALMA

En el caso de la palma africana, *E. guineensis*, y sus parientes han sido utilizadas por la humanidad como fuente de aceite y otros productos durante miles de años. En los últimos 50 años ha habido una expansión fenomenal en su cultivo a lo largo de los trópicos, de modo que el aceite de palma es ahora una de las principales materias primas del comercio mundial, a lo largo de su historia, la palma aceitera ha encontrado muchos usos, y estos continúan creciendo con los avances tecnológicos (Lai et al., 2012).

La palma aceitera es una planta tropical de climas cálidos, crece en suelos de zonas que no superan los 500 metros de altitud sobre el nivel del mar y se produce en zonas en suelos húmedos que suelen tener lluvias permanentes durante todo el año, el ciclo de producción comienza a los 3 años, aunque su tiempo óptimo de manufactura es a los 8 años (Cárdenas y Salinas, 2007; Sierra Soto, 2020).

2.1.1. PRODUCCIÓN Y CONSUMO

López et al. (2016) mencionan que el mercado mundial de aceite de palma está dominado por dos productores: Malasia e Indonesia. Estos autores expresan que es un mercado oligopólico, y lo que pasa con la producción de ambos países repercute de manera directa en el mercado mundial del mismo. Por otra parte, América se ha convertido en el segundo productor de aceites y grasas después de Asia con una participación en el mercado mundial del 23% (Carrasco, 2013; Cárdenas, 2016).

Así mismo destaca que la producción de aceite de palma en América la lidera Colombia, seguido de Ecuador, Honduras, Guatemala y Brasil, estos países aportan cerca del 84% de la producción de América (Aldana y Crespo, 2018). También se observa un crecimiento del 143,5% en el periodo 2001-2014, este incremento se encuentra en países como Honduras, Guatemala y Brasil, lo que ha permitido a la región mantener su participación en la producción mundial de aceite de palma (Dishington, 2013; Cárdenas, 2016).

Colombia y Ecuador en los últimos 40 años han venido desarrollando híbridos interespecíficos de palma de aceite como respuesta a problemas fitosanitarios que ha afectado a cultivos de palma tradicional, estos híbridos son producto de especies *E. guineensis* y *E. oleífera* y se denominan híbridos OxG (Ávalos, 2014; Batallas y Alfonso, 2015; Puentes et al., 2017).

El fruto de la palma forma parte integral de la dieta nativa africana y sudamericana (grasas, carbohidratos, proteínas, vitaminas). El interés colonial europeo (británico, holandés, francés, alemán, danés) en el aceite de palma para reemplazar el sebo en la producción de cera de velas, jabón y margarina resultó en el establecimiento de plantaciones de palma aceitera en sus colonias en el sureste de Asia, particularmente Malasia e Indonesia (Lai et al., 2012).

El aceite de palma refinado por sus características de consistencia, apariencia y olor, así como su estabilidad y resistencia a deteriorarse, lo hacen un componente ideal para la elaboración y procesamiento de productos comestibles, como: mezclas de aceites para consumo y cocción de alimentos, margarinas industriales y de mesa, mantecas, formulación de helados, cremas para café, salsas, aderezos, entre otros (Sierra, 2020).

2.1.2. VARIEDADES

Lai et al. (2012) indica que la palma africana de aceite (*E. guineensis*), que produce el aceite de palma para comercio, es endémica de África tropical, aunque sus centros de diversidad de origen se concentran en el oeste (por ejemplo, Nigeria, Ghana, Camerún) y centro África (por ejemplo, Congo, Zaire, Angola). Sin embargo, la palma de aceite americana (*E. oleífera*) es endémica de América Latina que se extiende desde el Amazonas hasta el norte de México. Adicionalmente Montoya et al. (2014) declara que ambas especies tienen 16 pares de cromosomas y pueden hibridar fácilmente entre sí.

Meunier (1975) menciona sobre la "palma americana" que es difícil hacer mención de su nombre botánico, en su artículo manifiesta que mediante recopilación bibliográfica ofrece cuatro nombres diferentes para citar la especie entre ellos *E. oleífera* y *E. melanococca*, la palma americana constituye una especie diferente *E. guineensis*, pero que pertenece al mismo género *Elaeis* por unas similitudes anatómicas.

La palma aceitera americana (*E. oleífera*), originaria de la Amazonía, es una fuente importante de variabilidad para el mejoramiento genético de la palma aceitera (*E. guineensis*) y ha sido incorporada a programas de mejoramiento, debido a la resistencia al amarillamiento fatal (FA) y otras plagas, obteniéndose un aceite con calidad diferenciada, incluyendo mayor cantidad de ácidos grasos oleicos, aceite con niveles más altos de carotenoides y baja actividad de lipasa pero su cultivo no es económicamente viable (Gomes et al., 2017).

Sin embargo, el cruce de *E. oleífera* con palma aceitera produce un híbrido interespecífico (HIE) viable en términos reproductivos y económicos. El HIE tiene un crecimiento vertical lento, calidad de aceite diferenciada y resistencia a la FA, y actualmente es la única alternativa de cultivo en áreas donde ocurre la FA (Gomes et al., 2017; Romero y Ayala, 2021).

En comparación con las especies africanas, los híbridos OxG o HIE, no solo tienen mayor resistencia a plagas y enfermedades, sino que también presentan importantes diferencias en la composición nutricional del aceite obtenido de sus frutos. Este aceite, llamado aceite de palma alto oleico, proporciona 33% de ácidos grasos saturados (AG) (aproximadamente 28% de ácido palmítico) y 66% de ácidos grasos insaturados (aproximadamente 54% de ácido oleico) (Serna y Betancourt, 2015).

2.1.3. REFINACIÓN DE ACEITES

Las grasas y los aceites provienen de diversas fuentes vegetales y animales; sin embargo, la soya es la oleaginosa que se produce en mayor cantidad en el mundo, seguida de la palma y de la canola en menor grado. Los aceites vegetales se obtienen a partir de semillas oleaginosas, presionando o con disolventes. La primera extracción de ambas fuentes, animal y vegetal, produce las denominadas grasas y aceites crudos que contienen impurezas que deben eliminarse, como: ácidos grasos libres, proteínas, pigmentos, carbohidratos, agua, fosfátidos, entre otros (Badui, 2016).

Visto que los compuestos antes mencionados contribuyen al color, sabor, olor, inestabilidad, formación de espuma y otras propiedades indeseables, deben ser parcialmente o totalmente eliminado para que sea aceptable para el consumo humano, sin embargo, algunas de estas sustancias son deseables, como la

lecitina y los tocoferoles, algunos de los cuales pueden recuperarse en refinación.

Los principales métodos de procesamiento, conocidos como refinamiento químico y físico, en el refinamiento químico, los ácidos grasos libres y la mayoría de los fosfátidos se eliminan en la neutralización alcalina, y durante el refinado físico los ácidos grasos libres se destilan en la desodorización (Lai et al., 2012).

La refinación de aceites vegetales está constituida por diversas etapas (desgomado, neutralización, decoloración o blanqueo y desodorización) dichos procesos provocan grandes cambios en la composición del aceite crudo al eliminar o reducir impurezas (Badui, 2016).

2.2. CARBÓN ACTIVADO

Es un producto obtenido a partir del carbón amorfo, el cual se ha sometido a un tratamiento de activación con el fin de incrementar su área superficial hasta 300 veces debido a la formación de poros internos, el área de la mayoría de los carbones activados comerciales está entre 500-1500 m²/g (Sevilla, 2011).

Según López et al. (2020) debido a su estructura porosa interna altamente desarrollada el carbón activado tiene la capacidad de adsorber olores y gases tóxicos generando también eficacia en la remoción de sabores, colores, contaminantes, compuestos orgánicos entre otros.

El carbón activado es ampliamente utilizado como absorbente y soporte catalítico, también utilizado para la eliminación de olor y sabor de aguas contaminadas, la remoción de una gran variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos en medio acuoso o gaseoso, como adsorbentes industriales para procesos de recuperación, purificación, separación y como soportes catalíticos de columnas de cromatografía (Quijano, 2013).

De acuerdo a lo descrito sobre los usos carbón activado se demuestra la versatilidad como absorbente, propiedad fundamental para las diferentes aplicaciones que tiene en la industria.

2.2.1 ADSORCIÓN DEL CARBÓN ACTIVADO

En términos generales el proceso de adsorción consiste en la captación de

sustancias solubles presentes en la interfase de una solución, pudiendo constituirse dicha interfase entre un líquido y un gas, un sólido o entre dos líquidos diferentes (Sevilla, 2011).

De acuerdo a Espinoza (2019) existen dos tipos de fenómenos de adsorción:

Fisisorción: Ésta es la más común para el caso de carbón activado, en este tipo de adsorción no existe intercambio de electrones entre adsorbente y adsorbato, lo que permite que el proceso sea reversible (Espinoza, 2019)

Quimisorción: Ésta es menos frecuente, este tipo de adsorción suele ser irreversible debido a que ocurren modificaciones de las estructuras químicas del adsorbato y del adsorbente (Espinoza, 2019).

La cantidad de adsorbato que puede retener un adsorbente es función de las características y de la concentración del adsorbato y de la temperatura. En general, la cantidad de materia adsorbida se determina como función de la concentración a temperatura constante, y la función resultante se conoce con el nombre de isoterma de adsorción (Sevilla, 2011).

Cabe destacar que la etapa de blanqueo se efectúa mediante un fenómeno de adsorción en el que la remoción de pigmentos, gomas o impurezas disueltos en el aceite, son adsorbidos sobre superficies de partículas de un material adsorbente (Márquez et al., 2012).

Sin embargo, el adsorbente de mayor utilización en el blanqueo de aceites es la arcilla activada ácida, que por sus propiedades fisicoquímicas ha aportado los mayores beneficios en esta etapa; no obstante, el adsorbente empleado en cierta extensión con los aceites grasos es el carbón activado.

2.2.2. CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO

Se presentan varios parámetros de caracterización de carbón activado, dando a conocer el método que se determinan dichas características, a continuación, tenemos:

- **Granulometría.** Una muestra seca de masa conocida se separa a través de una serie de tamices con aberturas progresivamente más pequeñas para determinar la distribución del tamaño de partículas (American Society

for Testing and Materials, 2003).

- **Rendimiento.** Se determina mediante la razón carbón activado obtenido y el peso inicial de la cascarilla de arroz seca (Navarrete y Vélez, 2015), mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento}\% = \frac{\text{peso del carbón activado} \cdot 100}{\text{peso de la cascarilla de arroz}} \quad [1]$$

- **Acidez residual (%).** Se define como la cantidad de miligramos de hidróxido de potasio necesario para neutralizar los ácidos libres presentes en un gramo de muestra, constituye una medida del grado de acidez libre después de la activación del carbón, se toma como referencia la norma (INEN-ISO 660, 2013).
- **Humedad (%).** Cuando un producto es sometido a secado a una temperatura adecuada, presenta una pérdida de masa, debido a la evaporación del agua. Esta pérdida de agua se mide analíticamente reportándose como humedad. Se toma como referencia la norma (INEN-ISO 49, 2015).
- **pH (10%).** El principio consiste en preparar una suspensión de muestra con cinco veces su volumen de una de las siguientes sustancias; agua, disolución de cloruro de potasio (KCL) en agua 1 mol/L o disolución de cloruro de calcio (CaCl₂) en agua 0,01 mol/L, el pH de la solución se mide con un pH-metro. (INEN-ISO 10390, 2014).
- **Densidad aparente (g/cm³).** Es un método para la determinación de la densidad aparente sin compactar de muestras de grano fino. El método es aplicable a partículas con diámetros inferiores a 0,5 mm. En la Norma ISO 3944 se especifica un método para muestras que contengan una gran proporción de partículas de diámetros comprendidos entre 0,5 y 5 mm. El método es aplicable sólo a muestras secas. Si la muestra ha absorbido humedad durante su transporte o almacenamiento, es necesario secarlo en una cámara con una humedad baja constante antes de la determinación. Se toma como referencia (INEN-ISO 11508, 2014).
- **Adsorción de naranja de metilo.** Se basa en la adsorción del naranja de metilo a 465 nm, para realizar dicho método se agrega carbón activado a

una solución acuosa de naranja de metilo se agita por un tiempo determinado y se determina la absorbancia por espectrofotometría UV-visible, previo a las lecturas se debe realizar una curva estándar de (absorción versus concentración) (Lehner, 2010).

2.2.3. CARBÓN ACTIVADO DE CASCARILLA DE ARROZ

Dos productos pueden ser obtenidos a partir de la cascarilla de arroz como el carbón activado y la sílice. Ambos productos son muy utilizados como materia prima en otros procesos. El carbón activado ha sido ampliamente utilizado como absorbente y soporte catalítico, gracias a su alta porosidad y área superficial (Quijano, 2013).

2.2.4. OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO

Pueden obtenerse a partir de diversos precursores carbonosos, usualmente se utilizan maderas, carbón mineral o cáscaras de coco. Además de otros desechos entre ellos se destacan las cáscaras de nueces, carozos de frutas, aserrín, cortezas de algunas especies de crecimiento rápido y algunos residuos agroindustriales como el bagazo de caña de azúcar (Prieto et al., 2020).

Según Quijano (2013) la producción de carbón activado se basa en la activación de estos materiales carbonáceos, de acuerdo al agente activante empleado en el proceso se distinguen dos tipos: activación física y activación química.

El proceso de activación física presenta ciertas ventajas sobre la activación química, la activación física no requiere una etapa de lavado ni tratamiento de efluentes, también el uso de agentes químicos genera impactos negativos debido a la generación de desechos (López et al., 2020).

Para la preparación de carbones activados de acuerdo a Carriazo et al, (2010) el material es calcinado (carbonización) y luego inducido al proceso de activación, lo cual conduce a incrementar la porosidad y la capacidad de adsorción del material carbonizado mediante la oxidación de los grupos funcionales de la superficie del sólido.

Activación Química: Este método consiste en llevar a cabo la activación por medio de una reacción química con un reactivo que puede ser $ZnCl_2$, $NaOH$, KOH ,

H₃PO₄, o Na₂CO₃, para posteriormente realizar la carbonización. En esta es posible modificar un mayor número de variables para obtener mejores resultados en la obtención del carbón activado. Activación física: consiste en someter a fuerte calentamiento el material precursor, teniendo en cuenta no sobrepasar la temperatura de gasificación de éste (Quijano, 2013).

2.2.5. CASCARILLA DE ARROZ

El arroz es sin duda el principal producto alimenticio del mundo para más de 1000 millones de personas, éste se cultiva en terrenos pantanosos, montañas y tierras bajas, del proceso de molienda del grano de arroz genera como subproducto agroindustrial la cascarilla de arroz (Demera y Romero, 2018).

2.2.6. GENERACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ

Para la estimar la cantidad de cascarilla de arroz que se genera en el territorio nacional se puede evaluar mediante datos de la producción, la cual según el MAGAP (2020) en el año 2019 se sembraron 288.797 hectáreas de arroz con una producción de peso en cáscara de 1668.523 toneladas métricas.

Urquizo et al. (2011) menciona que las variedades foráneas y criollas en el Ecuador resulta difícil establecer un solo tipo predominante, por lo que el MAGAP estimó apropiadamente tomar un promedio de los porcentajes por unidad de peso en el rendimiento del pilado de arroz, en el cual el porcentaje del desecho de cascarilla de arroz corresponde al 22%.

De modo que, de acuerdo a los datos de producción de arroz y porcentaje de desecho se estima que se generó alrededor de 367.075 toneladas de cascarilla de arroz en el año 2019 en el territorio ecuatoriano, por lo cual queda abierta la posibilidad de su aprovechamiento.

2.3. PROCESO DE BLANQUEO

“Giler, analista del área de control de calidad de industrias Ales, describe de manera general el proceso previo al blanqueo de aceites de palma, este consta de la succión de la materia prima de sus tanques de almacenamiento hacia uno de pretratamiento, donde se dosifica una cantidad no mayor a 0,1% (porcentaje

en peso frente al flujo) de ácido fosfórico o cítrico, ambos de grado alimenticio, luego de esto pasa a los blanqueadores donde se adicionan las arcillas neutras manteniendo condiciones estándar de operación descritas en los manuales de operacionales de la fábrica” (Giler, 2020).

Mediante este proceso se eliminan pigmentos (carotenoides, clorofila, y luteína), aunque muchos de ellos fueron extraídos en pasos anteriores. Es una operación que utiliza adsorbentes como tierra de diatomeas, arcillas neutras de bentonita, arcillas ácidas activadas o carbón activado. Este último es el más efectivo, pero es muy caro y, al retener mucho aceite, aumenta las mermas; para lograr mejores resultados se mezclan arcillas neutras con 5-10% de carbón activado (Badui, 2016).

Dicho de otro modo, este es un proceso físico donde se eliminan las impurezas del aceite como fosfolípidos, metales traza, cuerpos de color, productos de descomposición del aceite con la ayuda de un adsorbente, las impurezas y los sitios activos en el adsorbente se atraen entre sí, por la fuerza de atracción de Van der Waal, es decir, la cantidad de atracción depende de varios factores de la siguiente manera: fuerza electrostática sobre cada una de las impurezas y el adsorbente, el tamaño de cada uno de los componentes, porosidad de las partículas adsorbentes, entre otros (Bockisch, 2015).

Las arcillas activadas con ácido son más eficientes que las arcillas naturales para la eliminación de pigmentos carotenos, así mismo; los autores indican que el aumento de la concentración de las arcillas influye en la retención de dichos pigmentos mejorando el estado oxidativo y el color (Rossi et al., 2003; Silva et al., 2014; Sulihatimarsyila et al., 2019).

Silva et al. (2014) indican que tanto las arcillas naturales y las activadas con ácidos pueden descomponer peróxidos, sin embargo, un sistema de desodorizado eficiente después del blanqueo puede asegurar la calidad del aceite final, pueden utilizarse arcillas menos activas y más económicas en pequeñas concentraciones para el proceso de blanqueo sin reducir la calidad del aceite terminado, por la acción sinérgica que presentan pueden ser utilizadas con sílice sintética.

Ribeiro et al. (2018) especifica que los híbridos interespecíficos presentan dos

veces más carotenos totales que los de palma africana nativos (1857 y 988 mg / kg, respectivamente), estos carotenoides son susceptibles a reacciones de oxidación e isomerización, el color de estos carotenoides pasa del rojo a amarillo cuando los valores disminuyen en este sentido, el beta caroteno presenta un color más oscuro que el alfa caroteno.

La eliminación completa de los carotenos durante el proceso de blanqueo no es posible y tampoco necesaria, ya que estos compuestos son degradados durante la desodorización a alta temperatura porque no son termoestables (Gibon et al., 2007). Hay que destacar que algunas refinerías solo eliminan el 20-25% del contenido de carotenoides de aceite de palma crudo en la etapa de blanqueo y después de 20 minutos a 240°C en la etapa de desodorizado se han desintegrado más de 98% del total de carotenoides (Maclellan, 1983; Zambrano, 2020).

Los pigmentos de color son adsorbidos físicamente por las arcillas, otros componentes se unen químicamente a la tierras decolorantes mediante enlaces covalentes o iónicos (Gibon et al., 2007; Taylor et al., 1989), la acidez de la tierra blanqueadora está relacionada con la capacidad de adsorción del pigmento gracias a que la activación con ácidos actúa simultáneamente como catalizador ácido-sólido, agente adsorbente, intercambiador de cationes y coadyuvante de filtración, mientras que la tierra blanqueadora neutra actúa básicamente solo como material adsorbente (Taylor et al., 1989).

Tian et al. (2015) fabricaron una serie de compuestos de carbono/atapulgita (ATP), calcinado el compuesto de quitosano/ATP y se evaluaron como adsorbentes para el blanqueo de aceite de palma, la distribución de del tamaño de los poros y la morfología de la superficie de los compuestos de carbón/ATP se vieron afectadas por el proceso de calcinación, temperaturas mayores de 280°C lo que facilitó agrandar el tamaño de los poros del compuesto y generar sitios de adsorción activos, la eficacia de blanqueo del adsorbente generado para el aceite mejoró, obteniendo valores de valor de rojo contenido de peróxido y fosfolípidos de 57,36, 76,34 y 43,11%, respectivamente en contraste con la tierra comercial cuyos valores fueron de 38,76, 71,59 y 10,15%.

Márquez et al. (2012) evaluaron la propiedades de adsorción de distintos materiales

adsorbentes entre ellos una arcilla activada-ácida comercial (Tonsil) y carbones activados de distintos orígenes, estos carbones activados de naturaleza básicos y microporos en su mayoría, de los cuales el carbón mineral C1 mostró los resultados más altos de remoción de caroteno de 45,07% y fósforo 82,20% respectivamente a su vez los resultados muestran que una mezcla entre el carbón y la arcilla resulta ser más eficiente en la adsorción de pigmentos carotenoides y fósforo.

Oot et al. (1998) explican el proceso de refinación física con límites de control para la operación general son los siguientes: el aceite de palma crudo se desgoma con ácido fosfórico (0,5%) a 90°C, durante 10 minutos, seguido por la adición tierra blanqueadora (de 0,2 a 2%) a 105-110°C durante 15-30 minutos, el aceite se filtra para remover la tierra blanqueadora. El aceite previamente tratado se calienta luego hasta 130-200°C y se pasa a través de una unidad de destilación de trayectoria corta a una tasa de 24 g/h y bajo vacío (20-60 x 103 torr).

2.4 CARACTERIZACIÓN DE GRASAS Y ACEITES

Se define aceite cuando es líquido a temperatura ambiente y grasa cuando es sólida a temperatura ambiente. Para asegurar una calidad estable de los productos deben someterse a un control de calidad interno de análisis físico-químico en todos sus procesos de tratamiento y refinación.

- **Contenido de caroteno.** Contenido de carotenos del aceite de palma crudo y sus fracciones. Para su determinación se mezcla una muestra homogénea con isooctano (trimetil pentano) o n-hexano ópticamente puro a 446 nm y se filtra, se determina mediante medición espectrofotométrica a 446 nm de absorbancia. (Normalización Española-Norma Europea Organización Internacional de Normalización [UNE-EN ISO] 17932, 2012).
- **Acidez libre.** Contenido de ácidos grasos libres, la muestra se disuelve en una mezcla adecuada de solventes y los ácidos presentes se titulan con una solución patrón de hidróxido de sodio o potasio en etanol o metanol (Instituto Ecuatoriano de Normalización-Organización Internacional de Normalización [INEN-ISO] 660, 2013).
- **Color Lovibond.** El método determina el color igualado y el color de la luz transmitida a través de una profundidad específica de aceite o grasa

liquida, con el color de la luz que se origina de la misma fuente, transmitida a través de vidrios estándares de color. Como referencia, los valores CIE de los vidrios estándares de color Lovibond (American Oil Chemists Society, 1997).

- **Índice de peróxido.** Es la cantidad de aquellas sustancias presentes en la muestra, expresada en forma de oxígeno activo, capaz de oxidar al potasio en las condiciones descritas en esta norma. Las muestras se disuelven en isooctano y ácido acético, y se añade ioduro potásico. El iodo liberado por los peróxidos se determina iodo métricamente (visualmente) con una solución patrón de tiosulfato de sodio y con indicador de almidón (INEN-ISO 3096, 2013)

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

El desarrollo de la investigación se desarrolló en el laboratorio de química de la fábrica de Industrias Ales C. A, ubicada en la Avenida 113 y calle 110, cantón Manta, provincia de Manabí. Geográficamente se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas -0.960711545851607, -80.70831838002077 y una altitud de 6 msnm (Google, s.f.).

3.2. DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de 6 meses desde diciembre de 2020 hasta mayo de 2021.

3.3. FACTORES EN ESTUDIO

- FACTOR A: Carbones activados
- FACTOR B: Dosis del adsorbente (carbones activados)

3.4. NIVELES DEL FACTOR

Los niveles del factor A y el factor B (dosis del adsorbente, sustitución total de tierras de blanqueo por carbón activado) se establecen de acuerdo a los límites de control que hace referencia Oot et al. (1998), y se presentan en la tabla 1.

Tabla 1

Niveles de los factores

FACTOR A	FACTOR B
a ₁ : Carbón mediante activación con Ácido fosfórico (CAAF)	b ₁ : 1% p/p
a ₂ : Carbón mediante activación con Ácido cítrico (CAAC)	b ₂ : 2% p/p
a ₃ Carbón mediante activación física (CAF)	

3.5. TRATAMIENTOS

Las combinaciones de los niveles de los factores en estudio se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Combinaciones de niveles de factores

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	
	CARBÓN ACTIVADO	DOSIS DEL ADSORBENTE (%)
T1	CAAF	1
T2	CAAF	2
T3	CAAC	1
T4	CAAC	2
T5	CAF	1
T6	CAF	2

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se empleó un arreglo factorial A*B en Diseño Completamente al Azar [DCA] con seis tratamientos y cuatro réplicas. En la tabla 3 se muestra el esquema de análisis de varianza multifactor categórico A*B.

Tabla 3

Esquema de ANOVA en DCA arreglo factorial AxB

Fuente de variación	g libertad
Total	23
Tratamientos	5
Factor A	2
Factor B	1
A*B	2
Error	18

3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental consistió en 100 g de aceite pretratado (adición de ácido fosfórico respecto al flujo 0,1% p/p) de palma híbrida (Giler, 2020), con las siguientes características; carotenos totales 1155 ppm, índice de acidez 2,76%, índice de peróxidos 1,2 meqO₂/Kg y color rojo Lovibond 20, las condiciones estándar para la experimentación fueron de 100°C y el tiempo de blanqueo de 20 minutos.

3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO

Para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación se desarrollaron los siguientes procedimientos:

3.8.1. ELABORACIÓN DE LOS CARBONES A PARTIR DE LA CASCARILLA DE ARROZ

A continuación, se presenta el diagrama de activación física y química ácida de carbones, elaborados con la herramienta AutoCAD 2020, basado en la norma NTE-INEN 1991:94 (Figuras 1 y 2).

Figura 1

Diagrama de proceso de activación física de carbón

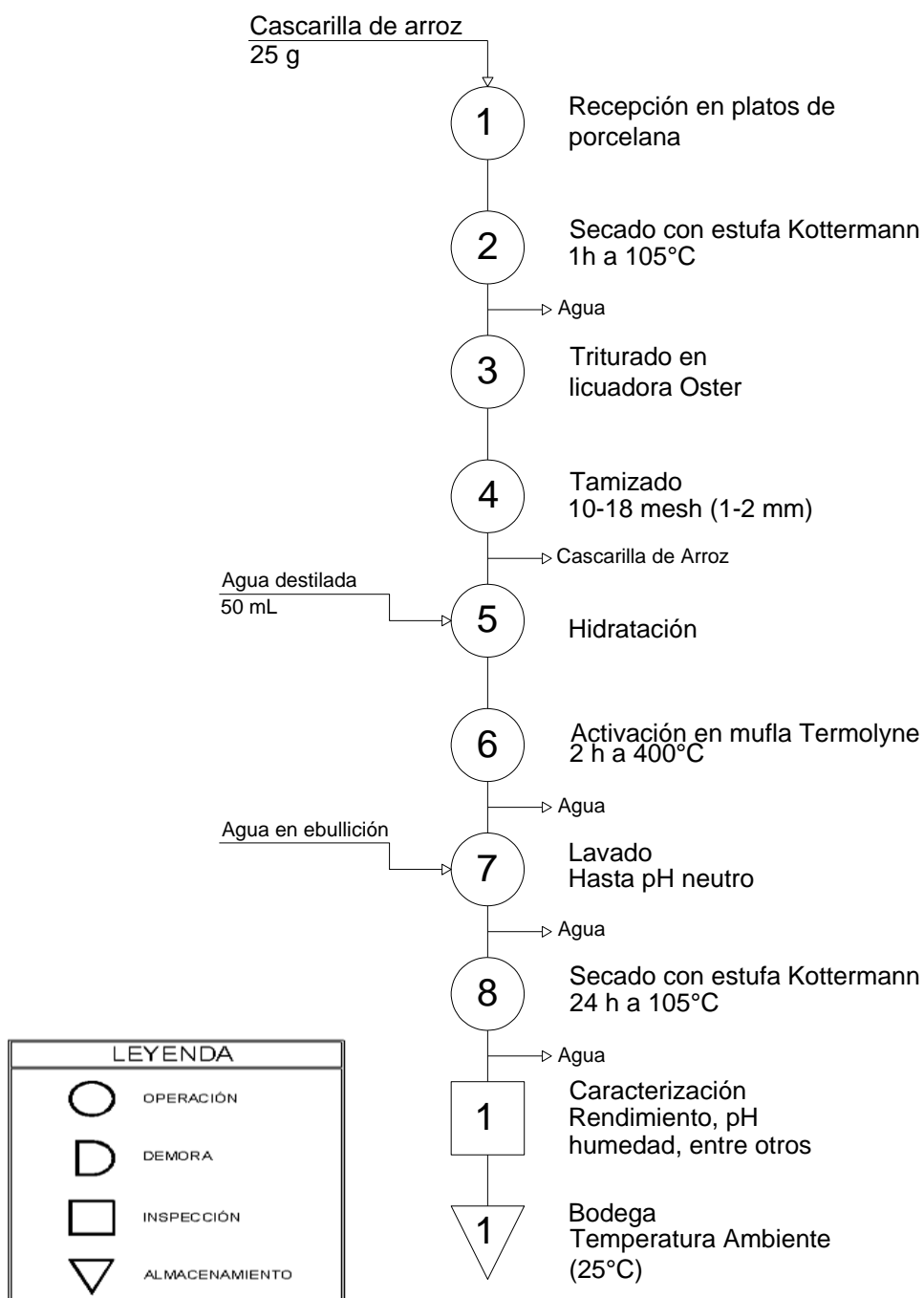
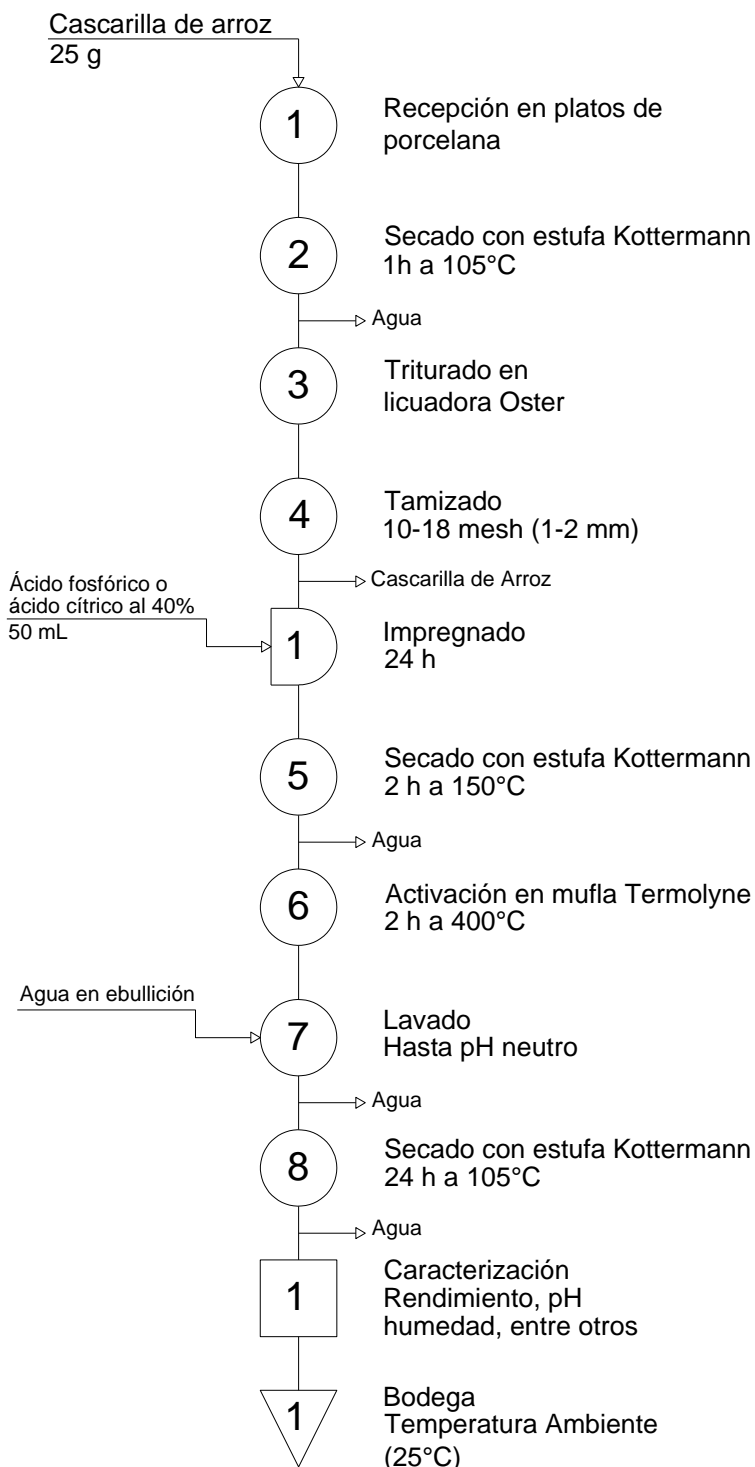


Figura 2

Diagrama de proceso de activación química ácida de carbón activado



● RECOLECCIÓN DE MUESTRA

Se tomó una muestra general de 5 kg de cascarilla de arroz de la variedad INIAP-11 de la etapa final de pilado, en la piladora de arroz Las Jaguas ubicada en el sitio con el mismo nombre del cantón Rocafuerte y luego fueron trasladadas al laboratorio de química de la fábrica de Industrias Ales para su posterior tratamiento (Anexo 1).

- TRATAMIENTO PREVIO A LA ACTIVACIÓN

El tratamiento consistió en secar por estufa KOTTERMANN D3165 Hänigsen (volt 220, watt 925) a 105°C por aproximadamente una hora, la cantidad de 500 g de cascarilla de arroz en platos de porcelana para eliminar la mayor cantidad de agua presente en la matriz vegetal, el material se redujo a una dimensión de aproximadamente 1-2 mm (10–18 mesh) , esta clasificación se realizó por tamices FISHER SCIENTIFIC COMPANY (ASTM E-11) con las medidas de las mallas antes mencionadas (Anexo 1-A).

- ACTIVACIÓN FÍSICA DE CARBONES

Para lograr la activación se tomó una muestra de 25 g de cascarilla se depositó en un mortero de 100 mm, se humedeció con agua destilada y se llevó a ebullición con una conductividad de 0,5 uS/cm, y se introdujo en la mufla TERMOLYNE FB1315M (rango de temperatura de 25 a1125°C) a 400°C durante 2 horas, posterior a esto se dejó enfriar en la mufla por 24 horas hasta que alcanzó la temperatura ambiente y luego se realizó el lavado del material obtenido con agua destilada hasta obtener un pH neutro del carbón, medición que se realizó con un PH METER OAKION 35613-24.

- ACTIVACIÓN ÁCIDA DE CARBONES

Para la activación el primer paso fue impregnar en un mortero de 100 mm la cantidad de 25 g de cascarilla de arroz con un volumen de 50 mL de ácido fosfórico al 40% durante 24 horas (Anexo 1-B), después de ese tiempo se procedió a realizar un secado de la muestra en estufa KOTTERMANN a 150°C por 2 horas, luego se llevó a mufla TERMOLYNE para su carbonización a 400°C durante dos horas más. Posteriormente se enfrió en la mufla por 24 horas, en consecución se realizó un lavado con agua destilada caliente (ebullición) hasta lograr obtener un pH neutro del material carbonáceo, se procedió a secar el material por 24 horas a 105°C.

Para la activación con ácido cítrico se procedió siguiendo los pasos descritos anteriormente (Hidalgo y Rivera, 2017).

3.8.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBONES

Para dicho propósito se realizó los siguientes análisis:

- GRANULOMETRÍA POR VÍA SECA

Una muestra seca de 25 g de carbón, fue separada a través de una serie de tamices de 18-100 mesh respectivamente para determinar la distribución del tamaño de las partículas, para el estudio el tamaño de las muestras fue de 100 mesh el método aplicado es (ASTM-C136-01, 2003).

- RENDIMIENTO

Se determinó mediante la razón carbón producido y el peso inicial de la cascarilla de arroz seca, mediante la ecuación 2:

$$\% \text{ rendimiento} = \left(\frac{\text{peso del carbón activado}}{\text{peso de la cascarilla seca}} \right) \times 100 \quad [2]$$

- ACIDEZ RESIDUAL

Para esta determinación se pesó 1 g del carbón en un matraz erlenmeyer en una balanza analítica MRC ASB220 C3, se agregó 50 mL de alcohol neutro al 95%, unas gotas de fenolftaleína y se procedió a titular con una solución de hidróxido de potasio al 0,1 N, los resultados se los reportó como mg K(OH)/ g muestra utilizando la ecuación 3, se tomó como referencia la norma (INEN-ISO 660 2013).

$$\text{mg K(OH)/g} = \frac{V \times N \times 56.1}{pm} \quad [3]$$

Donde:

V= volumen consumido de K(OH)

N= normalidad de la solución de K(OH)

pm= peso de la muestra de carbón

- HUMEDAD

Para la determinación de humedad, se realizó mediante termobalanza METTLER TOLEDO HB43-S Halogen pesando 4 g de muestra en su plato de aluminio se cierra el equipo y se da inicio, la temperatura de operación es de 130°C, el método es equivalente a la norma (INEN-ISO 6496, 2015).

- pH

Consistió en pesar en la balanza MRC ASB220 C3 una cantidad de 2 g del carbón en un vaso de precipitación, luego se adicionó 20 mL de agua destilada (Anexo

2-A). El principio consistió en preparar una suspensión de muestra con agua destilada, el pH de la solución se midió con un pH-metro OAKLON se toma como referencia (INEN-ISO 10390, 2014).

- DENSIDAD APARENTE

Para la determinación de la densidad aparente sin compactar de muestras de grano fino se pesaron en una balanza analítica MRC ASB220 C3 una probeta de 50 mL vacía luego se pesó la probeta con el carbón hasta el aforo de 50 mL, los resultados se reportaron en g/L utilizando la ecuación 4, se tomó como referencia (INEN-ISO 11508, 2014).

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{P2-P1}{V} \quad [4]$$

Donde:

P1= peso de la probeta vacía

P2= peso de la probeta más el carbón

V= volumen de la probeta

- ADSORCIÓN DE NARANJA DE METILO

Se preparó una solución estándar de anaranjado de metilo con la concentración de $3,0 \times 10^{-5}$ mol/L, para esto se realizó una solución madre de $1,0 \times 10^{-3}$ mol/L (0,327345 g naranja de metilo (pm=327,34 g) en 1000 mL de agua destilada, se tomó una cantidad de 30 mL en un matraz volumétrico de litro y se enrasó con agua destilada).

En un tubo de ensayos que contenía 10 mL de la solución estándar agregó 200 mg del carbón activado seco, y se realizó una curva de adsorción tomando lecturas a los 2, 10, 20, 30, 45 y 60 minutos como se detalla en el (Anexo 2-C), transcurrido el tiempo de adsorción se filtró y tomó lectura en él espectrofotómetro de UV-visible marca HACH DR/2000 a una longitud de onda de 465 nm, y determinar por curva estándar la concentración.

Previamente se realizó una curva estándar de calibración (absorbancia versus concentración) (Anexo 2-B).

La cantidad de anaranjado de metilo adsorbido se determina por la ecuación 5

$$\text{mol/g carbón} = \frac{(CS-CF) \times 5}{100} \quad [5]$$

Donde:

CS= concentración solución estándar

CF= concentración del filtrado

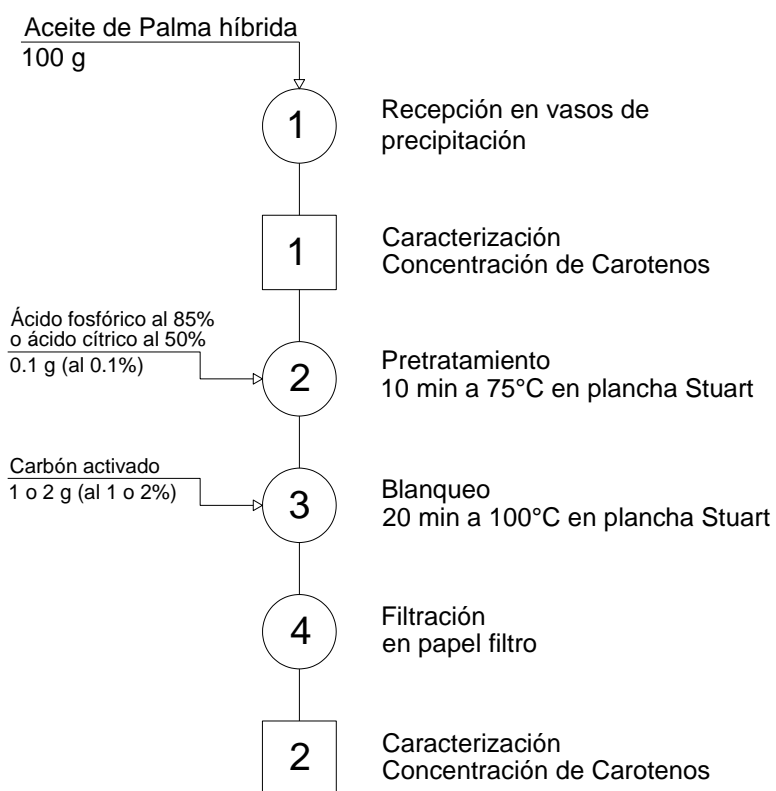
El resultado se obtiene como mol de anaranjado de metilo adsorbido por 1 g de carbón activado, la determinación fue basada en (Lehner, 2010).

3.8.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE BLANQUEO

Diagrama de proceso de blanqueo de aceite con carbón activado (Figura 3)

Figura 3

Diagrama de proceso de blanqueo de aceite con carbón activado



3.8.4. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE

Para la caracterización se realizaron los siguientes métodos (Anexo 3-A):

- CONTENIDO DE CAROTENO

Contenido de carotenos del aceite de palma crudo y sus fracciones. 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, se determinó mediante medición espectrofotométrica a 446 nm de absorbancia, la concentración se obtuvo por la ecuación 6 (UNE-EN ISO 17932, 2012).

$$ppm \text{ carotenos totales} = \frac{25 \cdot 383 \cdot (A_s - A_b)}{100W} \quad [6]$$

Donde:

A_s = Absorbancia de la muestra

A_b = Absorbancia del blanco

W = Peso de la muestra en gramos

- COLOR LOVIBOND

Se determinó el color con el Spectro Colorímetro Lovibond PFX-i Series, se vertió el aceite a una temperatura de 40°C en una celda de 1 pulgada de longitud y se llevó a cabo la lectura (Anexo 3-B), se tomó como referencia la norma (AOCS, 1997).

- ANÁLISIS DE ACIDEZ LIBRE

Para su determinación se pesaron en un matraz erlenmeyer 7 g del aceite en una balanza analítica MRC ASB220 C3, se disolvió con 50 mL de alcohol neutro al 95% unas gotas de fenolftaleína y se procedió a titular con una solución de hidróxido de potasio al 0,1 N hasta el viraje de color amarillo a un tono rosa leve, los resultados se reportaron como % ácido palmítico utilizando la ecuación 7, se tomó como referencia la norma (INEN-ISO 660 2013).

$$\% \text{ ácido palmítico} = \frac{V(KOH) \cdot N(KOH) \cdot 25,6}{W} \quad [7]$$

Donde:

V = Volumen de hidróxido de potasio consumidos

N = Normalidad de la solución de hidróxido de potasio

W = Peso en gramos de la muestra.

- ÍNDICE DE PERÓXIDO

Para su determinación se pesaron en un matraz Erlenmeyer 5 g del aceite en una balanza analítica MRC ASB220 C3, se disolvió con 30 mL de una solución de ácido acético glacial e iso-octano 3:2, se agregaron 0,5 mL de una solución saturada de ioduro de potasio se dejó reposar en oscuridad por un minuto, trascurrido ese tiempo se adicionó 0,5 mL solución de almidón al 1%, se procedió a titular con una solución de tiosulfato de sodio al 0,01 N hasta el viraje de color violeta oscuro a un tono blanco, los resultados se reportaron como meq O₂/Kg muestra utilizando la ecuación 8, se tomó como referencia la norma (INEN-ISO 3096, 2013).

$$\text{meq O}_2/\text{Kg muestra} = \frac{V*N*1000}{W} \quad [8]$$

V= Volumen de tiosulfato de sodio consumidos

N= Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

W= Peso en gramos de la muestra.

3.9. VARIABLES A MEDIR Y MÉTODO DE EVALUACIÓN

La variable de respuesta para el estudio son las características físico químicas (contenido de carotenos, color Lovibond, acidez libre e índice de peróxidos), el porcentaje (%) de eficiencia de blanqueo se cuantificó por la eliminación de carotenos totales y se calcula según la ecuación 9 propuesta por los investigadores de este trabajo.

- PORCENTAJE DE REMOCIÓN

Se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ remoción} = \frac{(C_i - C_f) * 100}{C_i} \quad [9]$$

Donde:

C_i= Concentración inicial de carotenos totales del aceite antes del blanqueo

C_f= Concentración final de carotenos totales después del tratamiento de blanqueo

3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados se analizaron mediante el uso de paquetes estadísticos, software estadístico InfoStat versión estudiante (InfoStat, 2021; Di Rienzo et al., 2011) y

Microsoft Excel.

Se realizaron las siguientes pruebas en el programa InfoStat estudiantil:

- a) A todas las variables se les efectuó las pruebas: de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad (Levene), si las variables que cumplieron con todos los parámetros indicados anteriormente, se procedieron a realizar las pruebas que se indica en el literal b.
- b) Análisis de varianza (ANOVA): Se lo efectuó con el propósito de establecer la diferencia significativa estadística para los tratamientos de todas las variables en estudios.
- c) Prueba de diferencias honestamente significativa de Tukey (HSD): Se realizaron para establecer la diferencia significativa entre tratamientos, al 0,05 (equivalente a un nivel de confianza de 95%)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basándose en los objetivos planteados se caracterizaron los carbones obtenidos mediante activación física y química-ácida con ácido cítrico y fosfórico respectivamente.

4.1. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE LOS CARBONES

4.1.1 Granulometría por vía seca

Se obtuvieron carbones activados con una distribución de 100 mesh de acuerdo a American Society for Testing and Materials (2003) debido a que, según Zambrano (2020) las arcillas utilizadas en el blanqueo de aceite tienen dicha distribución de tamaño, con esa característica de polvo existe una mejor interacción entre el analito a retener y el adsorbente

4.1.2 Rendimiento

Los resultados mostraron rendimientos del 32,8% para CAAF, 41,6% para CAAC y 25,8% para CAF, destacando el mejor rendimiento con el CAAC. La manipulación de los carbones en el lavado, filtrado y secado conllevan a la pérdida de material, por lo cual en el CAAC y CAAF denotan mejor desarrollo experimental, además, de acuerdo a Ramos (2012) las características del carbón activado dependen considerablemente al proceso de activación, lo que permite deducir que cambiando un parámetro en el proceso de activación, ya sea concentración de ácido o tiempo de activación influyen de una manera en el rendimiento y los parámetros siguientes.

4.1.3 Acidez residual

La acidez residual para los carbones elaborados es 9,9572 mg KOH/g para CAAF, 1,8733 mg KOH/g para CAAC y 1,7198 mg KOH/g para CAF. La presencia de ácido presente en la matriz del carbón conlleva a que el CAAF tenga mayor cantidad de acidez residual, lo que debe ser reflejado en blanqueo en las corridas experimentales de manera positiva o negativa.

4.1.4 Humedad

En cuanto a humedad, se tiene 8,56% para CAAF, 8,87% para CAAC y 8,60% para CAF. Los resultados son similares entre los tratamientos, los carbones activados comerciales como Borsua (2018) tienen una humedad de 8%, Jacobi (2012) humedad máxima es de 5%. El método aplicado para determinar humedad ha sido realizado por autores como Farrera et al. (2017).

4.1.5 pH

Los valores de pH fueron de 5,4 para CAAF, 6,2 para CAAC y 6,2 en CAF. De acuerdo a Ramos, et al (2002) dependiendo del pH de la solución, el soluto disociado puede ser atraído o repelido por interacciones electrostáticas entre la superficie del carbón y la molécula del soluto disociado, por ende, en la aplicación del blanqueo de aceite de palma híbrida se reflejan diferencias, las cuales indican si un menor o mayor pH favorece a la adsorción de carotenos. En carbones activados comerciales ya sea granular o en polvo se encuentran fichas técnicas con diferentes valores de pH, de ácidos a básicos. Se pueden citar algunas como Borsua (2018), con 4-7 pH, Carbotecnia (2010) con 9-11 pH.

4.1.6 Densidad de aparente

En la determinación de la densidad aparente con el método planteado el mejor resultado es para el CAAF con 0,3676 g/L, siguiendo con 0,3406 g/L para CAF y 0,2824 g/L para CAAC. Una mayor densidad aparente implica la posibilidad de brindar una mejor distribución, debido a que son partículas más pequeñas se difuminarían mucho mejor en el medio. De acuerdo a fichas técnicas de carbones activados comerciales, como ejemplo Borsua (2018) en su documento reporta 0,49 g/mL.

4.1.7 Adsorción de naranja de metilo

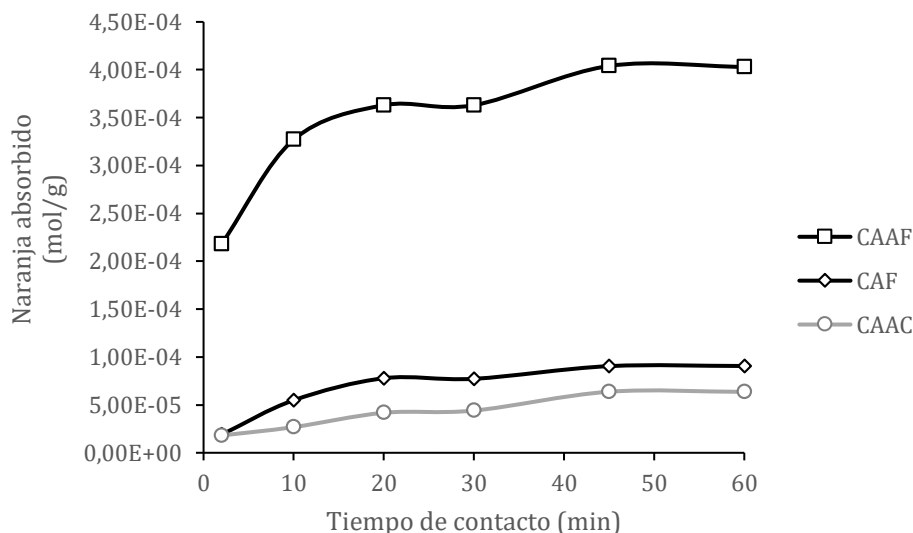
Es un parámetro muy importante, de acuerdo Farrera, et al (2017) se correlaciona con la capacidad de adsorción del carbón activado, siendo un indicador previo a la experimentación. En fichas técnicas de carbones activados no es común encontrar este parámetro, se encontró que Jacobi (2012) en su ficha técnica que reporta 170 mL/g de azul de metileno. Farrera et al. (2017) utilizó este método para un carbón

activado de residuos de café con resultados de $1,2 \times 10^{-6}$ mol/g.

La figura 4 muestra de una manera más clara la absorción de los tres carbones con respecto al tiempo, siendo el mejor el CAAF con 4×10^{-4} mol/L, seguido del CAF con $9,1 \times 10^{-5}$ mol/L y CAAC $6,4 \times 10^{-5}$ mol/L, con los resultados de adsorción de anaranjado de metilo, se puede estimar que tipo de carbón tendrá mejor eficiencia en la remoción de carotenos (Anexo 2). Los resultados de esta curva de adsorción dan como mejor resultado al CAAF, se puede analizar que este carbón tuvo la acidez libre más alta, el menor pH, la humedad más baja y una densidad aparente superior, lo que permite deducir que estos parámetros influyen directamente en la adsorción para que un carbón activado se diferencie del otro. El segundo mejor resultado de adsorción es para CAF, teniendo la misma posición en los otros parámetros evaluados. Los rendimientos no se ven relacionados en la adsorción.

Figura 4

Curva de Adsorción de Naranja de Metilo de los carbones activados con Respecto al Tiempo.



Nota: Adsorción de naranja de metilo por gramo de carbón con respecto al tiempo, de los carbones activados CAAF, CAF y CAAC.

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS DEL ACEITE BLANQUEADO

Para comprobar la distribución normal de los datos se procedió a efectuar las pruebas de normalidad de (Shapiro-Wilk) ($p > 0,05$) (Gutiérrez y Vara, 2008; Montgomery, 2005) y la prueba de homogeneidad de Levene como se detalla en el (Anexo 4), cumpliéndose los supuestos de ANOVA para las variables respuesta carotenos totales, %acidez, índice de peróxidos y color rojo Lovibond.

4.2.1 CAROTENOS TOTALES

De acuerdo al análisis de varianza que se detalla en el (Anexo 4-C), se rechaza la hipótesis de igualdad de medias para la variable tipo de carbón y su interacción Tipo*% Peso, estas tuvieron influencia sobre la concentración final de carotenos totales p -valor $< 0,05$.

La tabla 4 muestra que el carbón activado con ácido fosfórico (CAAF) es el mejor

adsorbente de carotenos totales respecto a los otros dos carbones, la figura 5 muestra una eficiencia global de remoción los tratamientos CAAF-2% de 32,25% y CAAF-1% de 20,26% respectivamente, esta actividad de adsorción podría relacionarse con la acidez residual y el pH del carbón activado (CAAF), debido a que según lo indica Silva et al. (2013) los procesos de adsorción como fisorción y quimisorción mejoran con el aumento de la temperatura en tierras blanqueadoras activadas con ácidos, es importante destacar que Gibon et al. (2007) mencionan que en el proceso de blanqueo no es posible la eliminación completa de carotenos, así mismo Maclellan (1983) destaca que algunas refinerías solo eliminan el 20% de estos pigmentos carotenos del aceite crudo en esta etapa.

Tabla 4

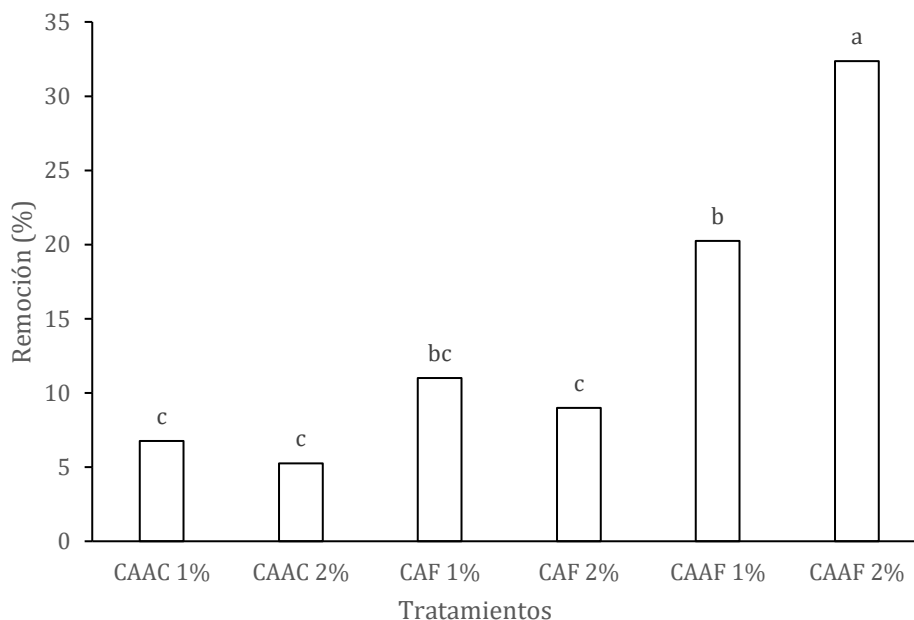
Medias de las características físico-químicas analizadas del aceite blanqueado de los tratamientos.

Tipo de Carbón				
Tipo	Carotenos totales (ppm)	Índice de Peróxidos (meqO ₂ /kg)	Índice de Acidez (%)	Color R
CAAF	851,25 a	0,98	2,64 b	14,35 a
CAF	1037,00 b	0,98	2,47 a	16,74 b
CAAC	1086,25 b	0,99	2,74 b	16,84 b
p-valor	<0,0001	0,3242	0,0005	<0,0001
Dosis				
1%	1007,42	0,98	2,55 a	16,03
2%	975,58	0,98	2,68 b	15,92
p-valor	0,1507	0,535	0,0095	0,307
Tratamientos				
CAAF-1%	921,00 b	0,98	2,55	14,43
CAAF-2%	781,50 a	0,99	2,74	14,28
CAF-1%	1025,75 b	0,98	2,41	16,83
CAF-2%	1048,25 bc	0,97	2,54	16,65
CAAC-1%	1075,50 c	0,99	2,7	16,85
CAAC-2%	1097,00 c	0,98	2,77	16,83
p-valor	0,0078	0,2293	0,5554	0,841
CV	5,24%	1,32%	4,15%	1,7%

Nota: Medidas dentro de columnas con letras distintas, infieren significativamente de acuerdo con la prueba paramétrica de Tukey al 5% de probabilidades de error.

Figura 5

Remoción de carotenos totales de los tratamientos



Farrera et al. (2017) en su estudio muestran una mayor actividad absorbente por parte de los carbones activados químicamente con ácido fosfórico, así mismo Taylor et al. (1989) indica que la acidez de un material adsorbente está relacionada con la capacidad de retención de pigmentos en su matriz debido a que la activación con ácidos actúa como catalizador ácido-sólido, agente adsorbente y coadyuvante de filtración, a su vez Márquez et al. (2012) mostraron en su estudio sobre carbones activados para el blanqueo de aceite rojo de palma una remoción más alta de caroteno de 45,07% con carbón mineral sin embargo, demostraron que una mezcla de carbón con arcillas resulta ser más eficiente en la adsorción de estos pigmentos.

4.2.2 ÍNDICE DE ACIDEZ

La tabla 4.1 resume el análisis de varianza observándose que las variables de entrada tipo de carbón activado y el porcentaje en peso muestran diferencias significativas respecto a la variable de salida porcentaje de acidez, además de establecer qué tipo de carbón y porcentaje de adsorbente fueron los mejores respecto a la disminución de acidez (Anexo 4-D).

La disminución del índice de acidez respecto a material adsorbente tuvo como

mejor carbón al activado físicamente (CAF), la reducción del índice de acidez se puede relacionar con la activación física puesto que al final de su proceso de fabricación toma una naturaleza básica, haciendo que los remanentes alcalinos presentes en la matriz de los carbones neutralicen estos ácidos grasos libres, Abdi et al. (2021) halló en su estudio que el uso de adsorbente de naturaleza básica disminuye los valores de ácidos grasos libres. Sin embargo, los porcentajes de acidez que se redujeron con respecto a la acidez inicial no fueron tan eficientes desde el punto de vista operativo la disminución del mejor tratamiento CAF-1% para acidez solo alcanzó un 12,68%.

lfa et al. (2021) describe que el bajo porcentaje de reducción de los niveles de ácidos grasos libres posiblemente se deba a las impurezas y a la viscosidad del aceite de palma y esto puede afectar el proceso de adsorción, Bockisch (2015) en el proceso de blanqueo se eliminan impurezas, así como productos de descomposición de aceite con ayuda de adsorbentes, Parra et al. (2018) en su estudio mostraron que en un pretratamiento para eliminación de sedimentos el índice de acidez presentó un porcentaje de disminución de 53,45%.

4.2.3 ÍNDICE DE PERÓXIDOS

Las variables tipo de carbón y concentración del adsorbente, así como su interacción no tuvieron mayor influencia en la variable respuesta índice de peróxidos por lo que se acepta la hipótesis de igualdad de medias (Tabla 4).

Tian et al. (2015) elaboraron una serie de compuestos adsorbentes carbono/atapulgita y se evaluaron en el proceso de blanqueo del aceite de rojo de palma mejorando la eficiencia de blanqueo para el aceite crudo obteniendo valores de rojo y contenido de peróxidos de 57,36 y 76,34%, respectivamente en comparación con arcillas comerciales cuyos valores fueron de 38,76 y 71,59%, Silva et al. (2014) indican que tanto arcillas naturales como las activadas tienen la capacidad de descomponer peróxidos.

4.2.4 COLOR ROJO LOVIBOND

La tabla 4 muestra la significancia del tipo de carbón activado en la variable en la variable respuesta Color R con una disminución del color de 20 a 14,28 con el

tratamiento CAAF-2% (Anexo 4-E), estos resultados reflejan la disminución del color debido a que los pigmentos de color fueron adsorbidos por el CAAF (Gibon et al., 2007; Taylor et al., 1989), destacan que los pigmentos son adsorbidos físicamente en la etapa de blanqueo por adsorbentes como las arcillas blanqueadoras, no obstante los carotenos son susceptibles a reacciones de oxidación e isomerización, y el color de estos carotenoides pasa del rojo a amarillo cuando los valores disminuyen en este sentido (Ribeiro et al., 2018).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se elaboró carbón activado de cascarilla de arroz mediante activación física y química a nivel de laboratorio, y su aplicación en la operación de blanqueo permitió la remoción de los compuestos apolares.
- En la caracterización de los carbones se logró establecer que el carbón activado de ácido fosfórico (CAAF) a los 60 minutos, evidenció la mayor adsorción $4,03E-04$ mol/g carbón frente a $9,10E-05$ mol/g carbón del carbón físico (CAF) y $6,36E-05$ mol/g carbón del carbón activado con ácido cítrico CAAC.
- Los carbones producidos obtuvieron rendimientos de 32,8% para CAAF, 41,6% para CAAC y 25,8% para CAF, la activación con ácido cítrico tuvo el mejor rendimiento en peso.
- Se logró una mayor eficiencia con carbón CAAF y 2% de concentración, con un porcentaje de remoción de carotenos del 32,25%.
- La utilización de carbón activado de cascarilla de arroz presenta una capacidad de adsorción eficiente en la misma medida que arcillas diatomeas industriales reportadas en la literatura.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del CAAF en concentración de 2% en peso como alternativa para el blanqueo de aceite de palma híbrida (*E. Oleifera x E. Guineensis*).
- Activar carbones de cascarilla de arroz con diferentes concentraciones de ácido fosfórico inferiores a 40%. Además de evaluar sus características y aplicación en distintas dosis en el blanqueo de aceites vegetales.
- Analizar el comportamiento del CAAF en la retención de otros compuestos como el fósforo que son de interés en la refinación de aceites vegetales.
- Evaluar el efecto de la presión de vacío y del adsorbente en la operación de blanqueo de aceite de palma híbrida.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdi, E., Gharachorloo, M., y Ghavami, M. (2021). Investigation of using egg shell powder for bleaching of soybean oil. *LWT*, 140, 110859.
- Aldana, R. A., & Crespo, D. C. M. (2018). Evaluación económica y financiera de las alternativas de uso de los residuos de la materia prima de una planta industrial de extracción de palma de aceite. *Dictamen Libre*, 22, 81-101.
- American Oil Chemists Society. (1997). Official method Cc 13e-92, Color. *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*, 1-3.
- American Society for Testing and Materials. (2003). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates* (ASTM C136-01). Recuperado el 20 de septiembre de 2020 de https://kupdf.net/download/astm-c-136-01-doc_58a6102b6454a7d10db1e8eb_pdf
- Ávalos Arias, F. D. (2014). Biología del Comportamiento, Reproducción y Alimentación de Polinizadores de la Familia Curculionidae en Híbridos de Palma Aceitera (E. Oleifera. X E. Guineensis) en el Oriente Ecuatoriano. Quito: *Universidad de las Américas*, 2014.
- Badui Dergal, S. (2016). *Química de los alimentos*. Pearson Educación.
- Batallas, T y Alfonso, V. (2015). Adaptabilidad del Híbridos inter-específicos (Oleifera x Guineensis) de palma aceitera en la zona de Santo Domingo. Quinto año documento corregido y aprobado para grado oral. Quito: *UCE*.
- Bockisch, M. (2015). *Fats and oils handbook (Nahrungsfette und Öle)*. Aocs Press.
- Borsua (2018) Ficha técnica carbón activado CAD o SDD. Recuperado de: <https://n9.cl/szvhy>
- Campos Grijalva, A. K. (2017). Optimización de la temperatura de secado y presión de vacío en la decoloración del aceite crudo de pescado.
- Carbotecnia (2010) Carbón activado granular de concha de coco. Recuperado de: <https://n9.cl/k1pzq>
- Cárdenas, A. G. (2016). La agroindustria de la palma de aceite en América. *Revista Palmas*, 37, 215-228. <https://n9.cl/a8fr>
- Cárdenas, D., y Salinas, N. (2007). Libro rojo de plantas de Colombia. Especies maderables amenazadas I parte. *Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá.
- Carrasco, R. A. T. (2013). Evolución y perspectivas de la palma de aceite en América. *Revista Palmas*, 34, 236-244.
- Carriazo, J. G., Saavedra, M. J. y Molina, M. F. (2010). Propiedades adsorbtivas de

un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educación química*, 21(3), 224-229. <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v21n3/v21n3a7.pdf>

Carrillo, C. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz. Recuperado el 20 de septiembre de 2020 de: <https://n9.cl/bryx>

Demera, S. y Romero, B. (2018). Evaluación del uso de los Residuos de cascarilla de arroz (*Oryza sativa* L) como agregado en bloques para la construcción. [Tesis de grado, ESPAM MFL], Calceta, Ecuador. <https://n9.cl/lp51>

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Dishington, J. M. (2013). Palma de aceite: Fuente de oportunidades, progreso y desarrollo. *Revista Palmas*, 34, 9-28.

Espinoza, B. (2019). Aplicación de carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz como filtro purificador de agua. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Quevedo], Quevedo, Ecuador. <https://n9.cl/2avt>

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. Recuperado de: <https://acortar.link/avr13>

Google. (s.f.). [Direcciones de Google Maps para manejar desde rocafuerte, mexico hasta manta, Manabí]. Recuperado el 13 de agosto de 2021, de: <https://n9.cl/txlro>

Gibon, V., De Greyt, W., y Kellens, M. (2007). Palm oil refining. *European journal of lipid science and technology*, 109(4), 315-335.

Giler, A. (19 de octubre de 2020). Entrevista de J.J. Palacios. Refinación de palma híbrida *Industrias Ales*. Manta.

Gomes, R, Pina, A, Gurgel, F, Franzini, V, Carvalho, E, Veiga, A. y Cunha, R. (2017). Sistema de produção de mudas em híbridos interespecíficos entre caiaué e dendê. *Ciência Florestal*, 27(1), 169-179. <https://n9.cl/vs0b>

Gutiérrez, H y Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill.

Hernández, T, Aldana, M. y Rodríguez, L. (2011). Validación de un método para la determinación de β -caroteno en aceite de palma por HPLC con detector UV. *Alimentos Hoy*, 15(15), 32-39. https://acta.org.co/acta_sites/alimentoshoy/index.php/hoy/article/view/95/0

Hidalgo, C y 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>
- Ifa, L., Wiyani, L., Nurdjannah, N., Ghalib, A. M. T., Ramadhaniar, S., y Kusuma, H. S. (2021). Analysis of Bentonite Performance on the Quality of Refined Crude Palm Oil's Color, Free Fatty Acid and Carotene: The Effect of Bentonite Concentration and Contact Time. *Heliyon*, e07230. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07230>
- INEN ISO (2013). (Norma Técnica Ecuatoriana – Instituto Ecuatoriano de Normalización). 3960:2013. Aceites y grasas de origen animal y vegetal. *Determinación del índice de peróxidos. Determinación yodimétrica (visual) del punto final*. (IDT). 4ta.
- INEN ISO (Norma Técnica Ecuatoriana - Instituto Ecuatoriano de Normalización). (2014). 10390:2014. *Calidad del suelo. Determinación del pH (IDT)*. 1era. Ed.
- INEN ISO (Norma Técnica Ecuatoriana - Instituto Ecuatoriano de Normalización). (2014). 11508:2014-01. *Calidad del suelo. Determinación de la densidad de las partículas (IDT)*.
- INEN ISO (Norma Técnica Ecuatoriana – Instituto Ecuatoriano de Normalización). (2015). 49:2015-04. *Sal común. Determinación de la humedad*.
- INEN ISO (Norma Técnica Ecuatoriana – Instituto Ecuatoriano de Normalización). (2015). 6496:2015. *Alimentos para animales. Determinación del contenido de humedad y otra materia volátil*. (IDT).
- INEN ISO (Norma Técnica Ecuatoriana – Instituto Ecuatoriano de Normalización). (2013). 660:2013. *Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación del índice de acidez y de la acidez*. (IDT).
- InfoStat (24 de abril de 2021). Software Estadístico. Universidad Nacional de Córdoba. Infostat Commons. Recuperado el 24 de abril del 2021 de <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=46>
- Jacobi (2012) Carbón activado para agua potable. Recuperado de: <https://n9.cl/ymg1r>
- Lai, O, Tan, C, y Akoh, C. (2012). *Palm oil: production, processing, characterization, and uses*. AOCS PRESS.
- Lehner, R. (2010). Planta piloto para carbón activado. ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8474>
- López, C, De Las Salas, L., y España, J. (2016). Comportamiento oligopólico en el Mercado Mundial de Aceite de Palma 1961-2004. *Ensayos de Economía*, 26(48),91-113. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ede/article/view/59860>
- López, T., Acevedo, P., y Acevedo, E. (2020). Producción de carbón activado como estrategia para disminuir los residuos agroindustriales generados en Santander. *Unidades Tecnológicas de Santander*, 1-4. <https://n9.cl/5hkwm>

- Maclellan, M. (1983). Palm oil [Processing, fatty acid composition, phospholipids, carotenoids, Malaysia]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 368-373.
- 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://n9.cl/bont>
- Meunier, J. (1975). Le " palmier à huile" américain *Elaeis melanococca*. Recuperado el 18 de septiembre de 2020 de <https://agritrop.cirad.fr/439820/1/ID439820.pdf>
- 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-lberoam.
- Montoya, C., Cochard, B., Flori, A., Cros, D., Lopes, R., Cuellar, T y Ritter, E. (2014). Genetic architecture of palm oil fatty acid composition in cultivated oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) compared to its wild relative *E. oleifera* (HBK) Cortés. *PLoS One*, 9(5), 1-13. <https://1bestlinks.net/vBQ30>
- Navarrete Aguirre, D. F., & Vélez Sancán, C. D. (2015). Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante. Espol.
- NTE INEN (Norma Técnica Ecuatoriana-Instituto Ecuatoriano de Normalización). (1995). 1991:94. Productos químicos industriales. *Carbón activado para uso industrial*.
- Núñez, W. (25, mayo de 2020). *El arroz levanta un récord de consumo (entrevista)*. Recuperado el 17 de abril de 2021 de <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/coronavirus-ecuador-arroz-levanta-record-consumo-12079.html>
- Oot, C, Choo, Y, Yap, S. y Ma, A. (1998). Refinación del aceite rojo de palma. *Revista Palmas*, 19 (1), 61-66. <https://1bestlinks.net/q872G>
- Páez Gil, L. F. (2019). Pruebas de desempeño en motor diesel utilizando aceite de pescado refinado como combustible: Asistencia de investigación. Universidad de Ibagué.
- 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.
- Prieto, G, Gehan, G, Pérez, L, Martínez, A. y Enríquez, M. (2020). Adsorción de Cadmio desde soluciones acuosas en carbón activado de bagazo de caña

- de azúcar variedad Roxa. *Centro Azúcar*, 47(1), 90-99. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n1/2223-4861-caz-47-01-90.pdf>
- Puentes, L, Serna, J, Serna, A. y Carvajal, M. (2017). Conferencia Magistral: Nanoencapsulación y microencapsulación de aceite de palma alto oleico como nuevas tecnologías para el desarrollo del agro. *Revista Palmas*, 38(4), 44-50. <https://1bestlinks.net/KCkOV>
- Quijano, C. (2013). Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz-una revisión. *Scientia et Technica*, 18(2), 422-429. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84929153019.pdf>
- Ribeiro, J. A. A., Almeida, E. S., Neto, B. A. D., Abdelnur, P. V., y Monteiro, S. (2018). Identification of carotenoid isomers in crude and bleached palm oils by mass spectrometry. *LWT*, 89, 631-637. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.039>
- Rodríguez, Y, Salinas, L, Ríos, C. y Vargas, L. (2012). Adsorbente a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtUMBRES. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 147-156. <https://n9.cl/bz81y>
- Romero, H. M., y Ayala, I. M. (2021). Cómo alcanzar 10 toneladas de aceite por hectárea: Tecnologías de manejo de los híbridos interespecíficos OxG hacia una producción altamente eficiente. *Revista Palmas*, 42(1), 55-64.
- Rossi, M., Gianazza, M., Alamprese, C., y Stanga, F. (2003). The role of bleaching clays and synthetic silica in palm oil physical refining. *Food Chemistry*, 82(2), 291-296. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00551-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00551-4)
- Sánchez, R., y Yugcha, C. (2012). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000*. Recuperado el 22 de septiembre de 2020 de <https://n9.cl/3bk1>
- Serna, A. y Betancourt, C. (2015). Aceite de palma alto oleico: propiedades fisicoquímicas y beneficios para la salud humana. *Revista Palmas*, 36(4), 57-66. <https://1bestlinks.net/8adXa>
- Sevilla, U. (2011). Manual del carbón activo. Aula. *aguapedia.org*, 1-89. <https://acortar.link/OSBGY>
- Sierra Soto, N. P. (2020). *Exportación de aceite de palma y sus derivados*. [Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia], Bogotá, Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/17032>
- Silva, S. M., Sampaio, K. A., Ceriani, R., Verhé, R., Stevens, C., Greyt, W. D., y Meirelles, A. J. A. (2014). Effect of type of bleaching earth on the final color of refined palm oil. *LWT - Food Science and Technology*, 59(2, Part 2), 1258-1264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.028>
- Silva, S. M., Sampaio, K. A., Ceriani, R., Verhé, R., Stevens, C., Greyt, W. D., y 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>

Sulihatimarsyila, A. W. N., Lau, H. L. N., Nabilah, K. M., y Azreena, I. N. (2019). Refining process for production of refined palm-pressed fibre oil. *Industrial Crops and Products*, 129, 488-494. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.034>

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.

Tian, G., Wang, W., Mu, B., Kang, Y., y Wang, A. (2015). Facile fabrication of carbon/attapulgite composite for bleaching of palm oil. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 50, 252-258. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.12.021>

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. [Tesis de grado, Universidad Estatal de Guayaquil], Guayaquil, Ecuador. <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.

Urquizo, I, Acero, H. y Rodríguez, J. (2011). Reemplazar el uso de diésel por cascarilla de arroz empleado para generación de vapor. Aspectos técnicos y económicos. *Revista Tecnológica ESPOL*, 20(20), 1-6. <https://n9.cl/iwhwm>

Zambrano, A. (19 de octubre de 2020). Entrevista de J.J. Palacios. Refinación de palma híbrida Industrias Ales. Manta.

ANEXOS

Anexo 1

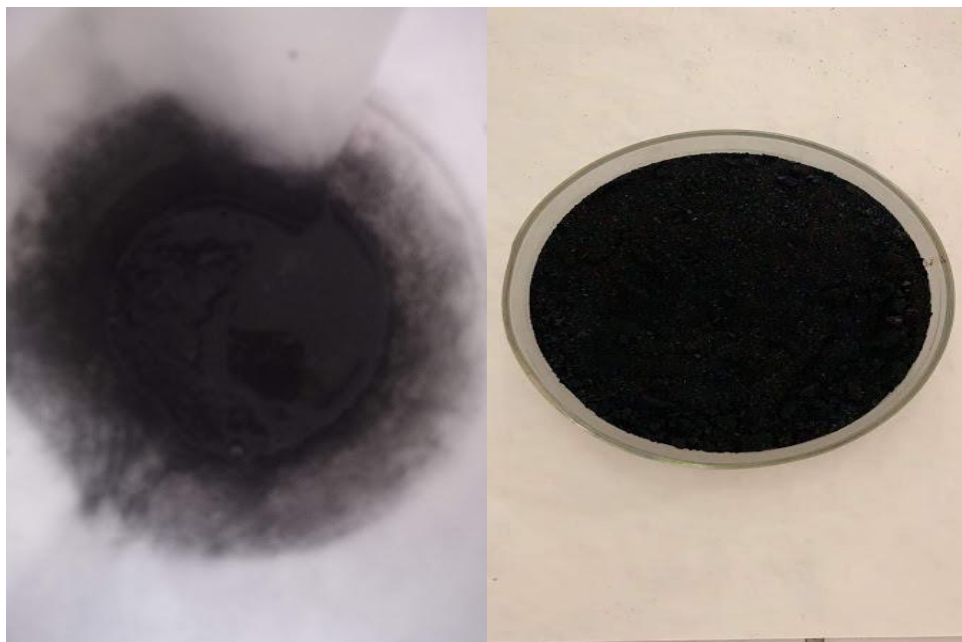
1-A TRATAMIENTO DE LAS CASCARILLAS PREVIO A LA ACTIVACIÓN



1-B ACTIVACIÓN DE CARBONES DE CASCARILLA DE ARROZ

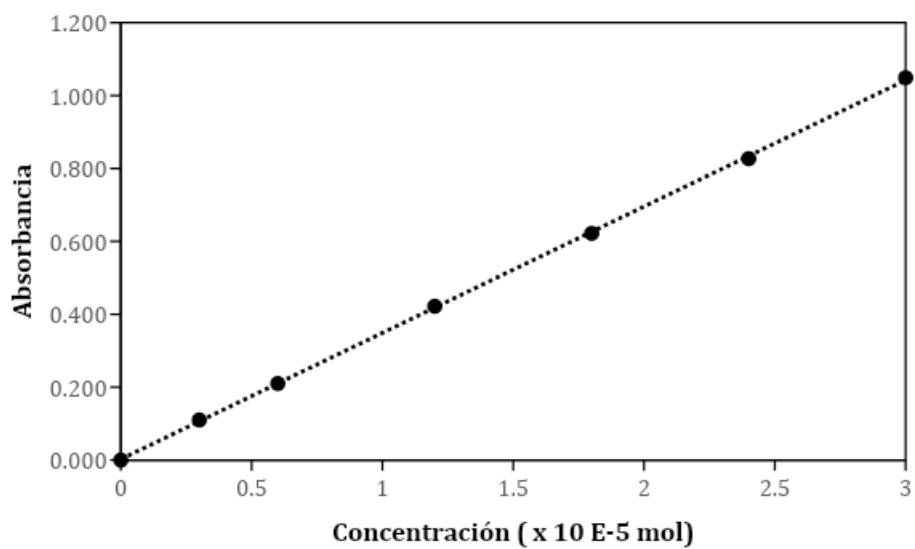
Anexo 2

2-A CARACTERIZACIÓN DE LOS CARBONES OBTENIDOS pH Y RENDIMIENTO

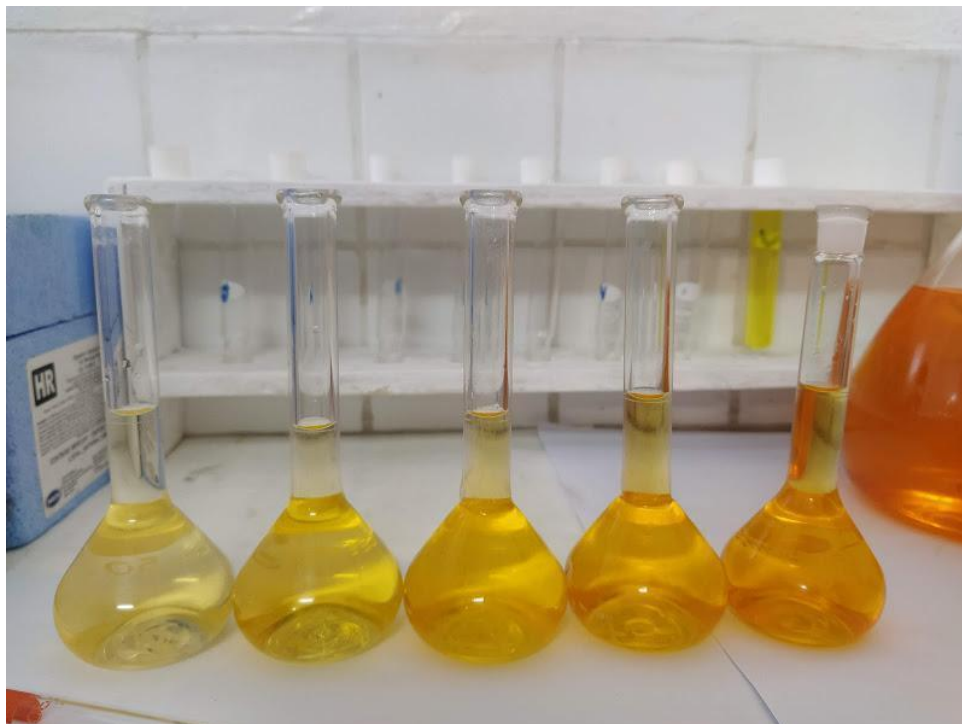




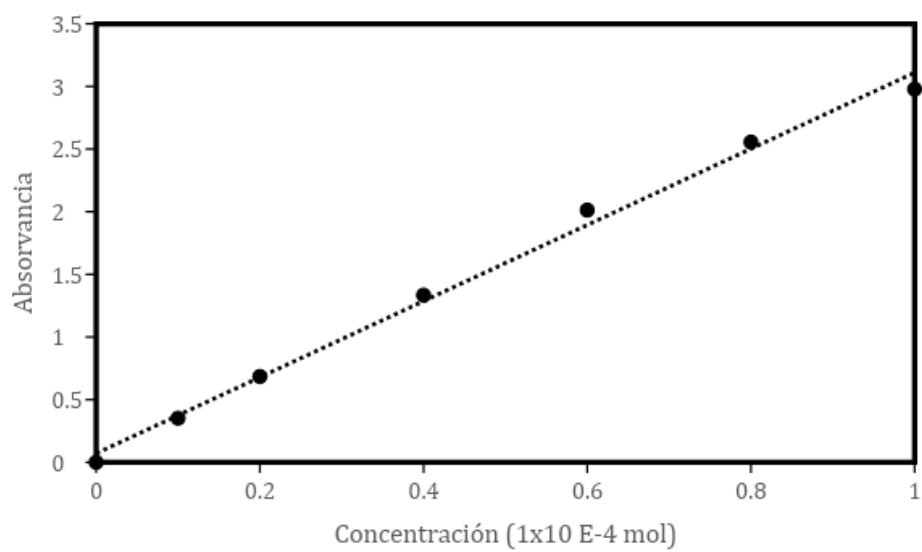
**2-B CURVA ESTÁNDAR DE CALIBRADO NARANJA DE METILO 3X10 E-5
MOL**



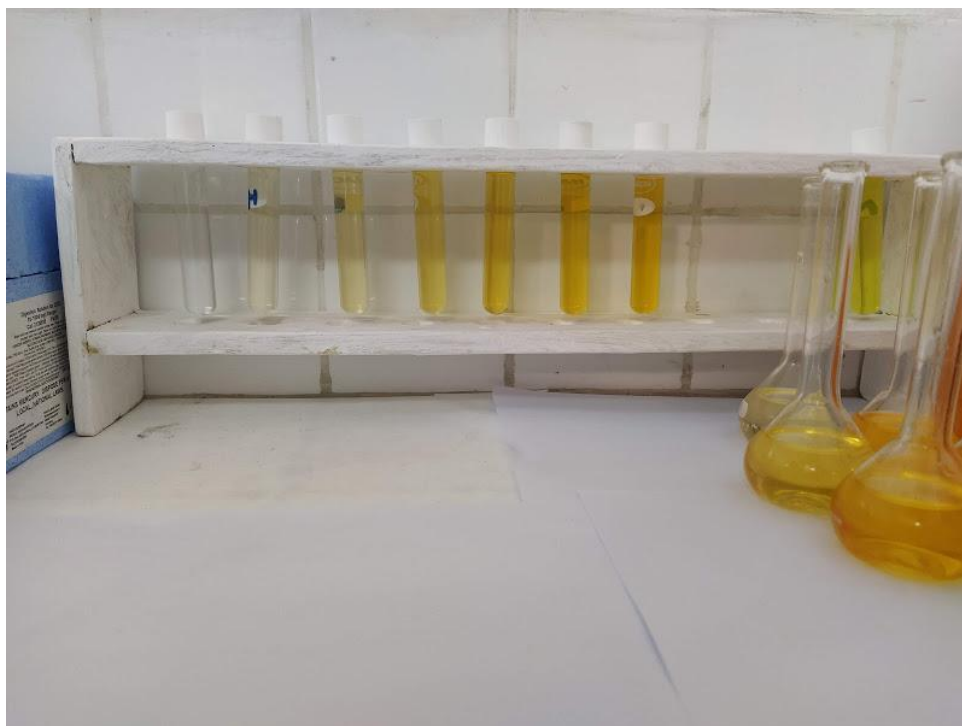
Nota: Esta figura representa la curva de calibrado hasta una concentración de 3×10^{-5} mol de naranja de metilo.



CURVA ESTÁNDAR DE CALIBRADO NARANJA DE METILO 1×10^{-4} MOL

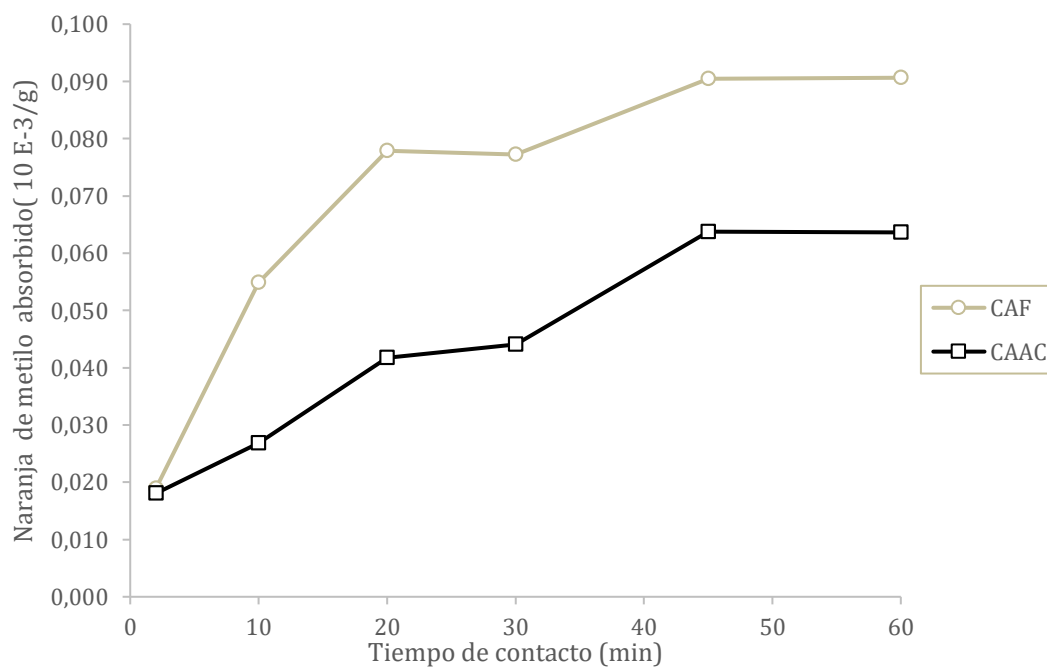


Nota: Esta figura representa la curva se calibrado hasta una concentración de 1×10^{-4} mol de naranja de metilo.



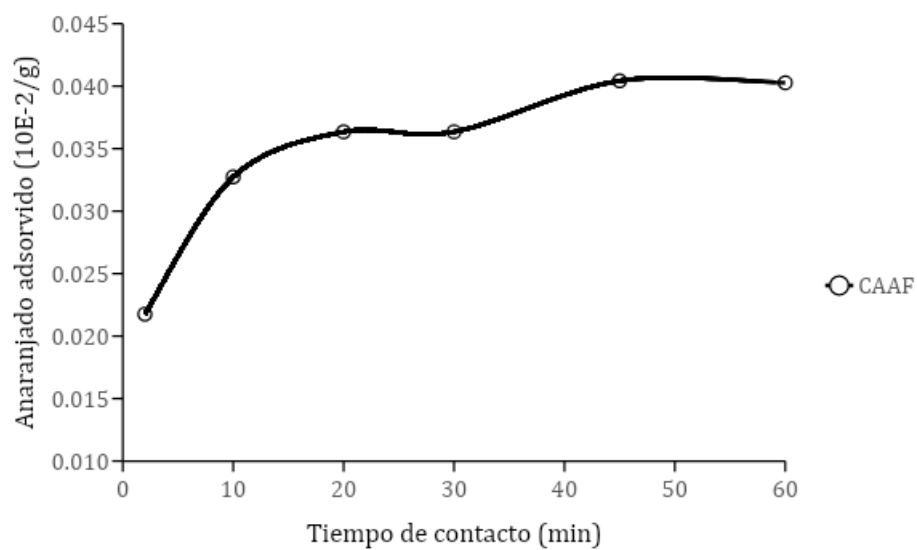
2-C ADSORCIÓN DE NARANJA DE METILO CON RESPECTO AL TIEMPO

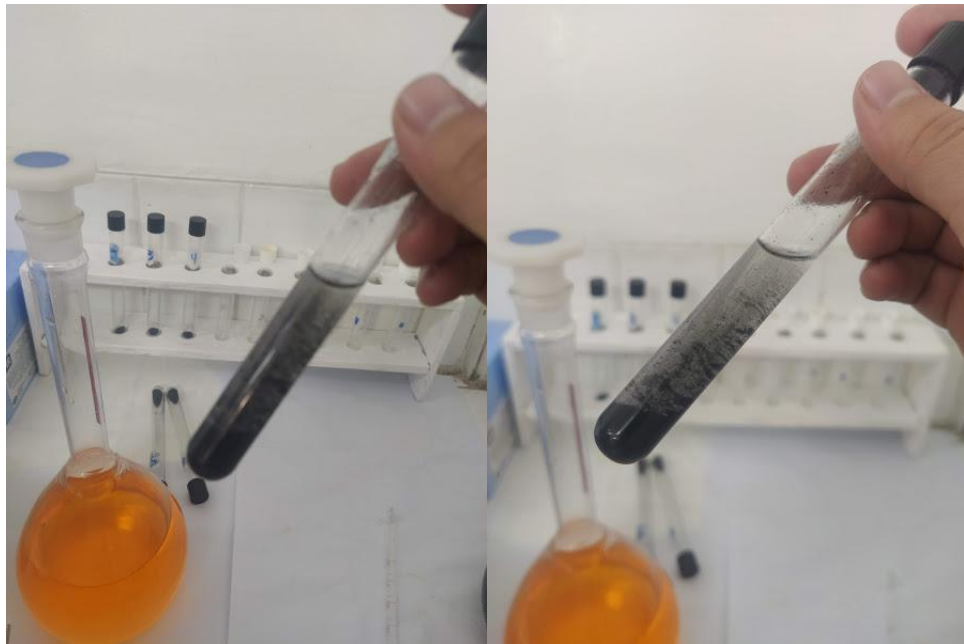
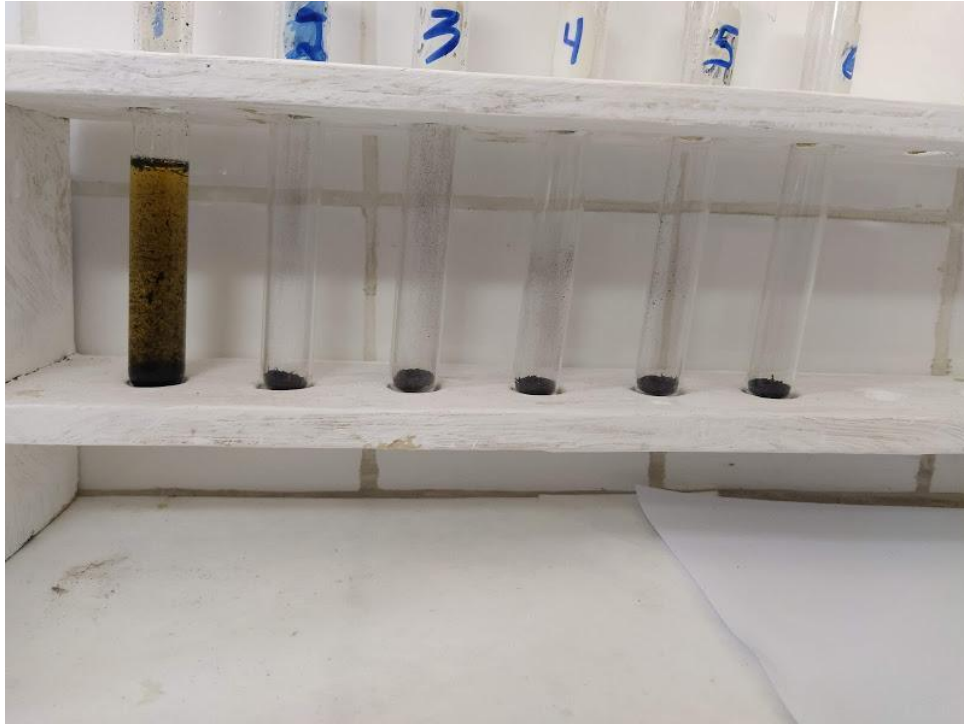
CAF y CAAC



Nota: Curva de adsorción de naranja de metilo por gramo de carbón con respecto al tiempo, de los carbonos activados físicamente y con ácido cítrico.

ADSORCIÓN DE NARANJA DE METILO CON RESPECTO AL TIEMPO CAAF





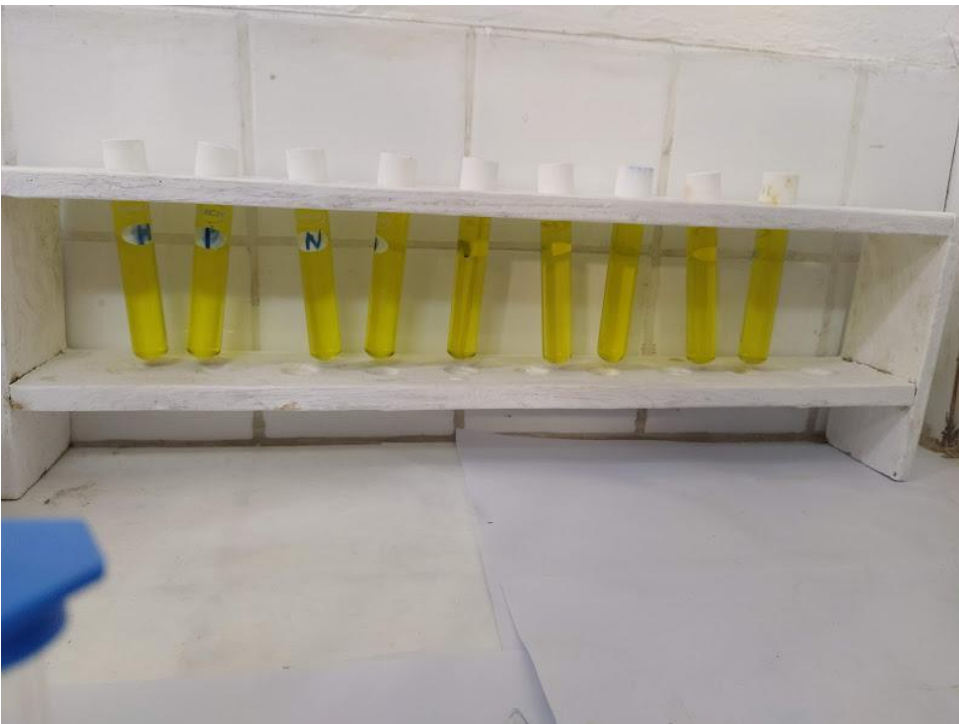
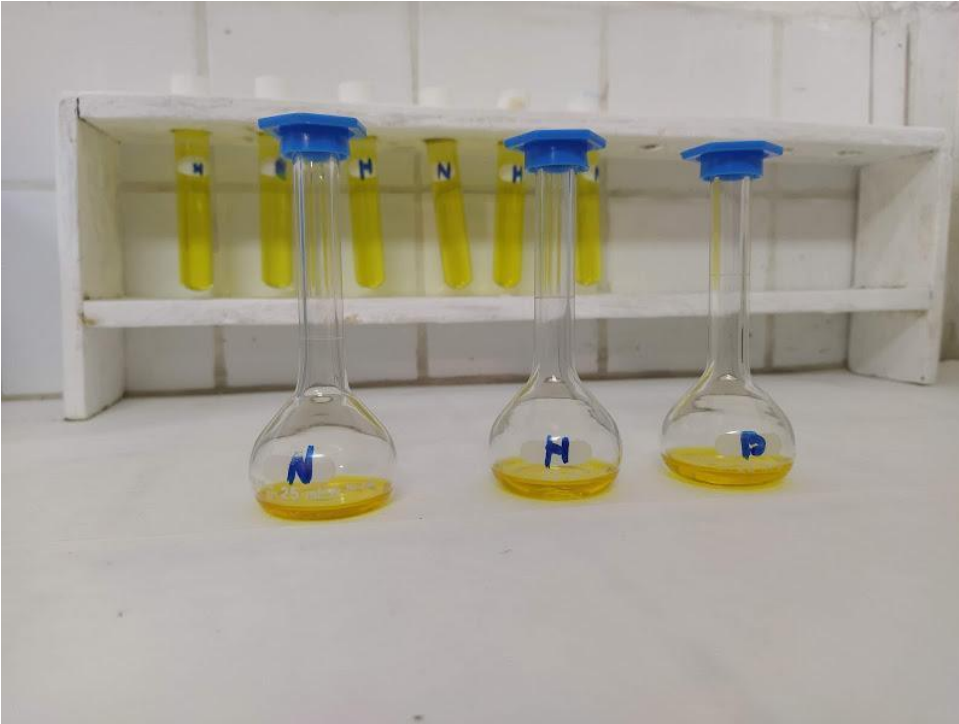
Anexo 3

3-A APLICACIÓN DE CARBONES EN EL BLANQUEO DE ACEITE DE PALMA HÍBRIDO

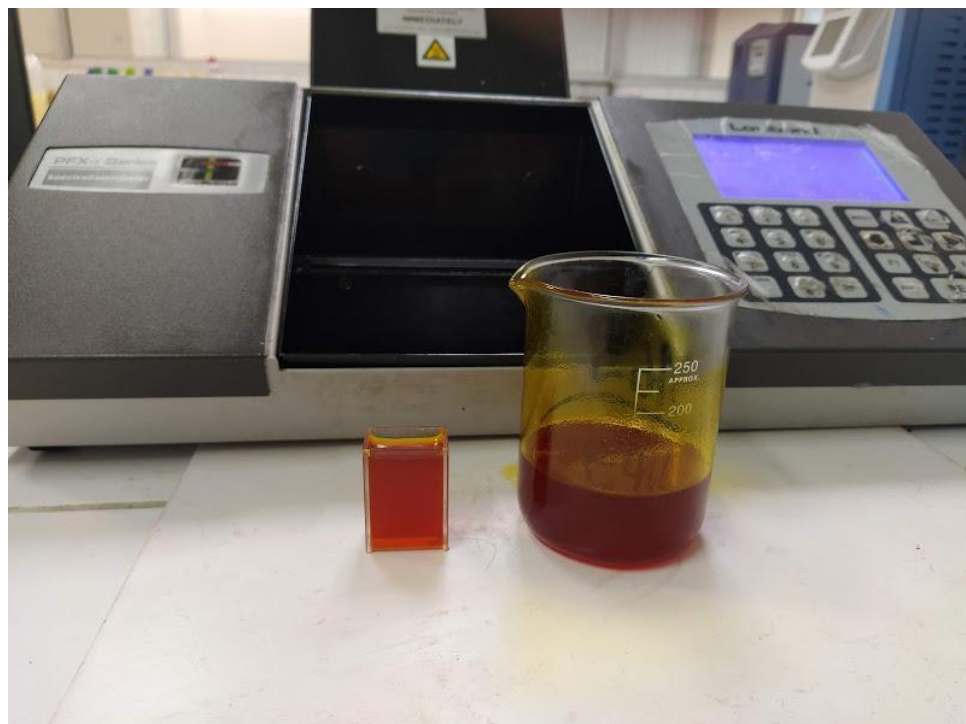


PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES
PARA CUANTIFICACIÓN DE CAROTENOS TOTALES





3-B DETERMINACIÓN DE COLOR LOVIBOND



Anexos 4

4-A SUPUESTO DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Carotenos Totales	24	0	60,2	0,98	0,9784
Índice acidez	24	0	0,1	0,94	0,3905
Índice Peróxidos	24	0	0,01	0,93	0,2928
Color R	24	0	0,24	0,96	0,6692

4-B PRUEBA DE IGUALDAD DE LEVENE DE VARIANZAS

RABS ppm Carotenos Totales					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6644,98	3	2214,99	1,66	0,2072
Tipo	6637,19	2	3318,6	2,49	0,1083
%PESO	7,78	1	7,78	0,01	0,9399
Error	26663,19	20	1333,16		
Total	33308,17	23			
RABS % acidez					
Modelo	2,50E-03	3	8,30E-04	0,23	0,8776
Tipo	1,30E-03	2	6,40E-04	0,17	0,8433
%PESO	1,20E-03	1	1,20E-03	0,33	0,5708
Error	0,07	20	3,70E-03		
Total	0,08	23			
RABS Peróxidos					
Modelo	1,00E-04	3	3,40E-05	0,56	0,6467
Tipo	1,00E-04	2	5,10E-05	0,84	0,4471
%PESO	4,60E-07	1	4,60E-07	0,01	0,9316
Error	1,20E-03	20	6,10E-05		
Total	1,30E-03	23			
RABS Color					
Modelo	0,02	3	0,01	0,33	0,804
Tipo	0,02	2	0,01	0,47	0,6329
%PESO	1,20E-03	1	1,20E-03	0,05	0,8208
Error	0,44	20	0,02		
Total	0,46	23			

4-C ANÁLISIS DE VARIANZA PARA CONCENTRACIÓN DE CAROTENOS TOTALES

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	286600,5	5	57320,1	21,24	<0,0001
%Peso	6080,17	1	6080,17	2,25	0,1507
Tipo	245743	2	122871,5	45,53	<0,0001
%Peso*Tipo	34777,33	2	17388,67	6,44	0,0078
Error	48581,5	18	2698,97		
Total	335182	23			

4-D ANÁLISIS DE VARIANZA PARA PORCENTAJE DE ACIDEZ

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,4	5	0,08	6,69	0,0011
Tipo	0,28	2	0,14	11,9	0,0005
%Peso	0,1	1	0,1	8,43	0,0095
Tipo*%Peso	0,01	2	0,01	0,61	0,5554
Error	0,21	18	0,01		
Total	0,61	23			

3-E ANÁLISIS DE VARIANZA PARA COLOR ROJO LOVIBOND

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	31,84	5	6,37	86,17	<0,0001
%Peso	0,08	1	0,08	1,11	0,307
Tipo	31,73	2	15,86	214,7	<0,0001
%Peso*Tipo	0,03	2	0,01	0,17	0,841
Error	1,33	18	0,07		
Total	33,17	23			