

Regeneración de Arcillas de Blanqueo Empleadas en la Decoloración de Aceites Vegetales Comestibles

Haro C.; De la Torre E; Aragón C.; Guevara A.

Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Metalurgia Extractiva
Quito, Ecuador (Tel: 593-2-2236562; e-mail: alicia.guevara@epn.edu.ec)

Resumen: En el Ecuador se generan alrededor de 6 toneladas diarias de residuos de arcillas que se emplean en el proceso de decoloración de aceites vegetales comestibles. Ya que este material constituye un peligroso pasivo ambiental, se presenta a continuación una alternativa para su recuperación. Se partió de la caracterización física, química y mineralógica de las tierras de blanqueo. Se ensayaron dos métodos de regeneración: a) Extracción soxhlet con acetona y posterior calcinación a diferentes temperaturas (400 - 600 °C) y tiempos (30 - 180 min). b) Prensado hidráulico con placas a 75°C, 100 atm de presión y posterior lavado con vapor de agua saturado (1.5 bares) por 4 h. Las tierras de blanqueo analizadas están compuestas principalmente por montmorillonita, palygorskita, cuarzo y restos fósiles de estructura amorfa. Para la primera alternativa, la arcilla recuperada presentó una máxima eficiencia en el blanqueo de aceite de palma del 98%; mientras en el segundo caso se alcanzó un porcentaje de blanqueo del 80%. Adicionalmente se determinó el diagrama de flujo más adaptable a la industria aceitera para una planta de recuperación de arcillas usadas de 10 toneladas por día de capacidad. Se definieron los equipos requeridos y se obtuvo el análisis económico preliminar para la instalación del proyecto.

Palabras clave: Arcilla de blanqueo; extracción soxhlet; vapor de agua saturado.

Abstract: In Ecuador, 6 tons/day of waste clays are generated in the bleaching process of edible vegetable oil. Since, these residues are considered a hazardous environmental liability, it is presented an alternative to recovery them. First, physical, chemical and mineralogical characterization of these clays was done. Two regeneration methods were evaluated: a) Soxhlet extraction using acetone followed by calcination at different temperatures (400-600°C) and times (30-180 min). b) Hydraulic pressing with plates at 75°C, 100 atm and washing with saturated steam (1.5 bars) for 4 h. Fuller's earth are composed of montmorillonite, palygorskite, quartz and fossil remains of amorphous structure. In the first alternative, the recovery clay presented a maximum efficiency in palm oil's bleaching of 98%. While in the second case, it was obtained a bleaching percent of 80%. It was also determined the most adaptable flow diagram for the vegetable oil industry. The capacity of the clay's recovery plant was 10 tons/day. Equipment requirements were defined and economic analysis necessary to run the project was finally obtained.

Keywords: Bleaching clays; soxhlet extraction; saturated steam.

1. INTRODUCCION

Las principales etapas de la refinación de aceites vegetales comestibles son: desgomado, neutralización, blanqueo y desodorización. La decoloración o blanqueo de aceites comestibles se realiza con arcillas naturales o activadas con ácido. [1]

Arcillas de blanqueo, tierras de blanqueo y tierras del batán (fuller's earth) son los términos empleados para nombrar a ciertas arcillas minerales que son usadas para clarificar y reducir (mediante purificación por adsorción) el color intenso de las grasas y aceites. Debido a las propiedades físico – químicas de las tierras de blanqueo (principalmente su gran superficie específica y porosidad), estas adsorben pigmentos de color (compuestos carotenoides), fosfolípidos procedentes del proceso de desgomado, metales, productos primarios (peróxidos e hidroperóxidos) y secundarios (aldehídos y cetonas) de oxidación, reteniendo además aceite sobre un 30%. Aunque existen 7 grupos principales de arcillas y por lo menos 33 arcillas minerales específicas, únicamente la montmorillonita cálcica (algunas veces llamada bentonita cálcica) y una mezcla particular que ocurre naturalmente de montmorillonita cálcica y atapulgita (paligorskita), llamada hornita, desempeñan un papel importante como arcillas de blanqueo comerciales. [2] y [3]

Las tierras decolorantes usadas en su mayoría son depositadas como residuos. Anualmente en el mundo, cerca de 100 mil toneladas de grasas y aceites se desechan junto con las tierras de blanqueo. A más de ser un contaminante ambiental, este residuo es peligroso ya que el aceite contenido presenta riesgo de explosión [4]

La presencia de compuestos tóxicos, como aldehídos y cetonas adsorbidos en el residuo, es perjudicial para el suelo y los seres vivos. Así también, con el tiempo, las tierras de blanqueo usadas desprenden olores nocivos que contaminan el medio ambiente y propician la generación de vectores portadores de enfermedades. [5]

En el Ecuador, alrededor de 600 toneladas por día de aceite crudo de palma son refinadas en las industrias aceiteras para elaborar aceite vegetal comestible y una gama de subproductos con aplicaciones alimenticias e industriales. Se emplea entre el 1 y el 2% de arcilla de blanqueo por tonelada de aceite procesado, es decir se alcanzan alrededor de 6 toneladas diarias de tierras decolorantes usadas [6]

Existen varias alternativas de tratamiento de este desecho, en algunos casos, se recupera la arcilla de blanqueo y en otros se recupera el aceite retenido. En general, reutilizar el aceite con fines comestibles resulta difícil de lograr a causa de su oxidación [2]

Entre las principales metodologías de recuperación de tierras de blanqueo tenemos las siguientes:

- Extracción del aceite contenido con solventes orgánicos como percloroetileno o hexano.
- Calcinación directa del material a temperaturas > 600°C.
- Extracción acuosa con carbonato de sodio.
- Extracción con CO₂ supercrítico. [2]

Con la mayoría técnicas de recuperación se obtiene un producto que, al ser reutilizado, tiene una eficiencia en la decoloración de aceite sobre el 80%.

En el presente trabajo se ofrece una alternativa de tratamiento de este material y se ensayan dos alternativas: a) extracción con solvente seguida de un proceso de calcinación de la arcilla de blanqueo recuperada y b) prensado hidráulico y tratamiento posterior con agua caliente y con vapor de agua. Se establece el método más adaptable a la industria aceitera y se realiza un análisis económico preliminar de la planta de recuperación (10 ton/día) de arcillas de blanqueo usadas.

2. METODOLOGÍA

En el estudio se utilizaron dos tipos de materiales:

- i) Arcilla comercial natural (Pure Flo B80) que fue empleada como material de referencia y que tiene capacidad de adsorber pigmentos carotenoides, fosfolípidos del proceso de desgomado, trazas de metales, entre otras impurezas y además retiene una gran cantidad de aceite luego de su uso [2]
- ii) Arcilla de blanqueo usada proveniente de una planta de refinación de aceite de palma ubicada en la provincia de Esmeraldas.

Se empleó adicionalmente aceite crudo de palma para la verificación posterior de la capacidad de decoloración de la arcilla recuperada. A continuación se presenta un resumen de la metodología experimental empleada.

2.1 Caracterización física, química y mineralógica de muestras de arcilla de blanqueo pura y usada

En la caracterización física se determinaron propiedades como la densidad por métodos gravimétricos. Material volátil, cenizas, carbón fijo, que se obtuvieron al calcinar la tierra usada a 950°C, en una mufla eléctrica (Lindberg/Blue M) durante 7 min y 2 h respectivamente. La humedad se calculó por gravimetría luego de secar el material en la mufla a 110°C por 2 h.

El porcentaje de aceite retenido en la arcilla usada se determinó gracias a una extracción con acetona en un equipo soxhlet (Selecta).

Para la caracterización química se analizó la concentración de elementos como Si, Fe, Al, Ca, Mg, Na por disgregación ácida y absorción atómica (AAnalyst 300), además se usó microscopía electrónica (Tescan-Vega) con microanalizador de rayos X (Bruker).

La determinación de las fases mineralógicas presentes se realizó por difracción de rayos X (D8 Advance). La estructura del material adsorbente puro se obtuvo por microscopía electrónica de barrido.

2.2 Ensayos de separación de aceite presente en la arcilla de blanqueo usada por extracción con solvente y posterior calcinación de la arcilla de blanqueo recuperada

Durante el proceso de extracción, se pesaron 10 g de muestra y se colocaron en un cartucho de celulosa. Se registró el peso del balón de 250 mL y se añadieron 130 mL de acetona. Cuando el solvente contenido en el cuerpo del extractor se presentó libre residuos de aceite (alrededor 6 horas), se retiró el cartucho y se recuperó el solvente. Posteriormente la muestra se secó a 110°C durante 4 horas.

Las pruebas de calcinación del material desaceitado se llevaron a cabo en una mufla eléctrica (Lindberg/Blue M) a diferentes temperaturas (400, 500, 550 y 600°C) y tiempos (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 h). En el proceso se emplearon 10 g de arcilla (recuperada por extracción por solvente) colocados en una capsula de porcelana.

Una vez realizados estos ensayos, cada una de las muestras obtenidas (arcillas recuperadas) a las diferentes temperaturas y tiempos de operación señalados, se evaluó la eficiencia en el blanqueo de aceite de palma, como se explica en la sección 2.4.

2.3 Ensayos de prensado hidráulico para la arcilla de blanqueo usada y tratamiento posterior de la arcilla de blanqueo recuperada con agua caliente y con vapor de agua

La segunda alternativa de tratamiento consistió en prensar 100 g de arcilla usada en la prensa hidráulica (Wickert and Sohne) con temperatura de las placas de 75°C, con el objetivo de extraer el aceite retenido. Se ensayaron dos variantes de tratamiento, las cuales se detallan a continuación:

i) Tratamiento con agua: La arcilla una vez prensada se lavó con agua caliente a 85°C durante diferentes tiempos (2, 4, 5 y 6 h) con agitación de la mezcla de 100 RPM. A continuación, se decantó y se recuperó el material para un secado en una estufa a 110°C durante 4 horas. Finalmente, se pulverizó la tierra tratada durante 1 minuto (equipo Bleuler-Mill).

ii) Tratamiento con vapor de agua: Se realizó en un sistema abierto a la atmósfera a una temperatura de 92°C y con vapor saturado a una presión de 1.5 bares en autoclave (Webeco). Se ensayaron diferentes tiempo de proceso (2, 4, 5 y 6 h).

2.4 Evaluación de la eficiencia en la decoloración de aceite crudo de palma al emplear la arcilla de blanqueo recuperada

Una vez obtenidas las arcillas recuperadas por los métodos descritos, se determinó la eficiencia en el blanqueo de aceite palma y se la comparó con respecto a la eficiencia de la arcilla pura. Adicionalmente, se midieron las capacidades de intercambio catiónico (CEC) y las superficies específicas, que son propiedades que caracterizan a las tierras decolorantes.

Los ensayos de blanqueo de aceite de palma se realizaron a 110°C con 100 g de aceite crudo de palma y 1 g de arcilla recuperada colocados en un kitasato de 250 mL, provisto de un termómetro y una bomba de vacío. El aceite decolorado fue filtrado y se determinó la absorbancia con un espectrofotómetro UV-VIS (Hitachi), para ello, se colocó una pequeña cantidad de una mezcla de 1 g de aceite blanqueado aforado con hexano a 10 mL en una celda fotométrica de 1 cm. El porcentaje o eficiencia de blanqueo se determinó con la siguiente ecuación:

$$PB = \frac{A_c - A_r}{A_c - A_p} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

- PB = % de blanqueo de aceite de palma.
 Ac = Absorbancia medida en el aceite crudo
 Ar = Absorbancia medida en el aceite blanqueado con arcilla recuperada.
 Ap = Absorbancia medida en el aceite blanqueado con arcilla pura.

La capacidad de intercambio catiónico se determinó mediante la técnica de la Natural Resources Conservation Service [7] y [8]. La superficie específica se encontró con el método de higroscopicidad. [9]

Al igual que con la tierra usada y la tierra pura, se realizó la caracterización física, química y mineralógica de las arcillas recuperadas.

2.5 Definición del diagrama de flujo del proceso, dimensionamiento de equipos y evaluación económica preliminar

Mediante criterios de selección (porcentaje de blanqueo, capacidad de intercambio catiónico, superficie específica) se definió la técnica de tratamiento que presentó las mejores condiciones para la recuperación de las arcillas usadas y en este contexto se diseñó conceptualmente la planta de recuperación para estos materiales. Adicionalmente, se consideró la factibilidad industrial de la implementación y los costos de inversión.

La definición del diagrama de flujo del proceso de tratamiento de las arcillas de blanqueo usadas se realizó para una planta de 10 ton/día de capacidad.

Se realizó el balance de masa, energía y el diagrama de flujo de la planta y se definió la capacidad de los equipos. Gracias a estos parámetros, se evaluó la factibilidad económica del proyecto mediante índices financieros como el TIR (tasa interna de retorno), el VAN (Valor actual neto) y la relación beneficio/costo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización física, química y mineralógica de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada

Las arcillas de blanqueo poseen valores elevados de superficie específica y porosidad, propiedades que le confieren una gran capacidad de adsorción. En la Tabla 1 se muestra que la tierra decolorante usada presenta mayor densidad y contiene 48.8 % de material volátil, el cual está compuesto de aceite retenido (38.1%) e impurezas adsorbidas del aceite (10.7%). Según Taylor [2] y O'Brien [3], las impurezas son restos de fosfolípidos del proceso de desgomado, carotenoides y trazas de metales. Para el caso de la arcilla de blanqueo pura se determinó 8.9 % de volátiles que podrían ser compuestos orgánicos adheridos a la tierra. Por esta razón adicionalmente los contenidos de cenizas son superiores (78,7%) en la arcilla pura

Para el pH, se obtuvieron valores de 4.6 y 7.1 para la arcilla de blanqueo usada y para la arcilla de blanqueo pura, respectivamente, esto se debe a la presencia de aceite retenido en la tierra usada que le confiere un pH ácido (4.6), mientras que el pH de la arcilla pura es neutro puesto que este es un material adsorbente natural.

Tabla 1. Caracterización física de la arcilla de blanqueo pura y usada

Análisis realizado	Arcilla de blanqueo usada	Arcilla de blanqueo pura
Humedad	10.2 %	11.9 %
Material volátil*	48.8 %	8.9 %
Cenizas	40.4 %	78.7 %
Carbón fijo	0.44%	0.36%
Densidad aparente	0.737 g/mL	0.512 g/mL
Aceite retenido*	38.1 %	No aplica
pH	4.5	7.1
Superficie específica	No aplica	531.8 m ² /g
CEC	No aplica	72.1 meq Na/100 g

* Valor expresado en base seca;
CEC = Capacidad de intercambio catiónico

3.1.2 Caracterización química de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada

En la Tabla 2 se puede observar que existe una alta concentración de carbono en la tierra de blanqueo usada

(63.2%) que se debe a la gran cantidad de aceite retenido e impurezas del aceite como los fosfolípidos.

Adicionalmente se puede apreciar que la arcilla de blanqueo es rica en Al, Fe, Mg, K y Ca, con concentraciones de 10.5 %, 6.5 %, 4.3 %, 1.4 % y 0.8 % respectivamente. La elevada concentración de aluminio se debe a que este catión conforma la estructura octaédrica de la montmorillonita, así como también el hierro y el magnesio. Los iones metálicos alcalinos (Na y K) y alcalino térreos (Mg y Ca) están en el espacio interlaminar de estas arcillas de blanqueo. [10] [11] y [12]

Tabla 2 Análisis químico de la arcilla de blanqueo pura y usada

Elemento	Valor obtenido (%)	
	Arcilla de blanqueo usada	Arcilla de blanqueo pura
C	63.2	< 0.01
Si	12.6	35.5
Al	3.9	10.5
Fe	2.4	6.5
K	< 0.01	1.4
Mg	1.7	4.3
Na	0.4	0.1
Ca	0.6	0.8

En la Figura 1 se presentan las imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido de la estructura de la muestra de arcilla pura con 4000 a 1000 aumentos.

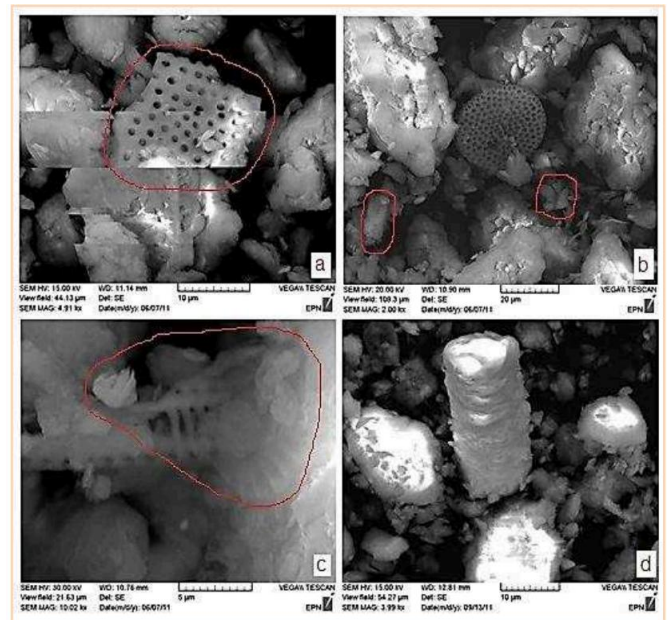


Figura 1. Imágenes de la estructura de la arcilla de blanqueo pura mediante microscopía electrónica de barrido

En la Figura 1(a) se evidencian poros con disposiciones ordenadas que dan muestra de la estructura cristalina de la arcilla de blanqueo. En la figura 1(b) se nota la presencia de granos dispersos de material amorfo en la arcilla pura. En la figura 1(c) se pueden apreciar fósiles de seres inertes

(material amorfo) que podrían provenir de la descomposición de microorganismos (hongos y bacterias) que se agrupan en y dentro de la superficie del suelo debido a que la arcilla es rica en iones, agua y materia orgánica. En la figura 1(d) se muestra que la tierra absorbente se encuentra constituida de capas o láminas superpuestas. Esta estructura confiere las características especiales de las arcillas de blanqueo empleadas [13] y [14]

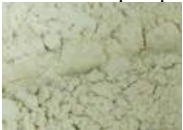



Del resultado mineralógico se destaca que dos arcillas minerales están presentes en concentraciones elevadas, estas son: montmorillonita (37%), paligorskita (26%) y cuarzo (10%). Además la microscopía electrónica confirma la presencia de materiales amorfos (restos fósiles).

3.2 Ensayos de separación de aceite presente en la arcilla de blanqueo usada por extracción con solvente y posterior calcinación de la arcilla de blanqueo recuperada

3.2.1 Ensayos de separación de aceite presente en la arcilla de blanqueo usada por extracción con solvente

La tierra decolorante pura utilizada en el proceso de blanqueo de aceite de palma tiene un color blanco hueso como se aprecia en la imagen de la tabla 3. Al finalizar el proceso de blanqueo y luego de la filtración de la suspensión aceite-arcilla, el desecho que es de coloración café con zonas negras contiene 48.3% de aceite retenido en base húmeda.

Tabla 3. Comparación del aceite extraído por solvente y la arcilla recuperada de los ensayos de separación de aceite con la tierra pura, la tierra usada y el aceite de palma




Nombre	Descripción	Observaciones
Arcilla de blanqueo pura 	Producto empleado en el proceso de decoloración de aceite de palma.	Tiene una textura harinosa. Es de color blanco hueso.
Arcilla de blanqueo usada 	Residuo arcilloso del proceso de blanqueo de aceite de palma.	Tiene una textura grasosa. Es de color café con zonas oscuras
Aceite de palma 	Aceite extraído del mesocarpio de la fruta de la palma <i>Elaeis Guineensis</i>	Tiene una textura viscosa. Es de coloración rojo anaranjado intenso.
Aceite de palma recuperado con solvente 	Aceite de palma extraído con acetona de la arcilla de blanqueo usada.	Tiene una textura viscosa. Es de color negro.

Como se aprecia en la tabla 3, después de la limpieza de la arcilla de blanqueo usada con acetona se recupera la tierra que adquiere una coloración café claro. Por otro lado, el aceite extraído tiene una coloración oscura que evidencia una oxidación de la grasa, ya que el aceite de palma tiene un color rojo anaranjado intenso debido a su gran contenido de pigmentos carotenoides [3].

3.2.2 Calcinación posterior de la arcilla de blanqueo recuperada de la extracción con solvente

En la tabla 4 se observa que la tierra decolorante recuperada de la extracción con solvente se aclara a medida que se incrementa la temperatura de calcinación. Si se trabaja a 400°C durante 2 h se pasa de una coloración café a una coloración negra. A 550°C durante 1.5 h el material se hace más claro y ahora su color es gris. Finalmente, si se eleva la temperatura a 600°C por 3 h, la arcilla adsorbente adquiere una coloración amarillenta. Estos cambios de color se deben a que la arcilla de blanqueo con el calentamiento pierde los compuestos volátiles que no se eliminan de la extracción con acetona y cambia su coloración parda.

Tabla 4. Arcillas calcinadas después de los ensayos de separación de aceite de la tierra usada por extracción con solvente

Nombre	Observaciones
Arcilla calcinada (T = 400°C; t = 2 h) 	Tiene una textura harinosa. Es de coloración negra.
Arcilla calcinada (T = 550°C; t = 1,5 h) 	Tiene una textura harinosa. Es de coloración gris
Arcilla calcinada (T = 600°C; t = 3 h) 	Tiene una textura harinosa. Es de coloración amarillenta.

3.3 Ensayos de prensado hidráulico para la arcilla de blanqueo usada y tratamiento posterior de la arcilla de blanqueo recuperada con agua caliente y con vapor de agua

Se logra extraer el 30.9 % de aceite presente en la arcilla de blanqueo usada mediante una prensa hidráulica (temperatura de las placas = 75°C) a una presión de 100 atm.

El agua caliente al igual que el vapor de agua consigue separar el aceite retenido y las impurezas de la arcilla, mientras que con vapor de agua en un sistema abierto a la

atmósfera no se obtienen buenos resultados. Podemos apreciar en la tabla 5 que con vapor de agua a presión (Ps = 1.5 bares) durante 4 horas se elimina más aceite e impurezas que con agua caliente a 85°C por 5 horas, ya que la arcilla recuperada tiene 8.1 % y 11.3 % de aceite remanente respectivamente. Si se vuelve a tratar la tierra con vapor de agua en un autoclave durante 4 horas, se aprecia en la tabla 5 que se consigue bajar el contenido de aceite hasta un 6.5 %.

Tabla 5. Resultados del tratamiento de la arcilla prensada con agua caliente y con vapor de agua para diferentes tiempos



Tipo de tratamiento aplicado a la arcilla prensada	Aceite remanente* (%)			
	2 h	4 h	5 h	6 h
Con agua caliente (T = 85°C; 100 RPM)	13.5	11.4	11.3	11.3
Con vapor de agua (Ps = 1.5 bar; Ts = 111°C)	9.6	8.1	8.1	8.1
Re-extracción con vapor (Ps = 1,5 bar; Ts = 111°C)	6.5	6.5	6.5	6.5

* Porcentaje determinado por extracción Soxhlet

Al realizar este ensayo de prensado hidráulico se extrajo aceite de palma sin impurezas de coloración amarillenta, esto se puede apreciar en la tabla 6, lo cual evidencia una disminución del contenido de carotenos que posiblemente se encuentran retenidos en la torta de arcilla recuperada, al igual que los demás compuestos adsorbidos en el proceso de blanqueo (fosfolípidos, trazas de metales, aldehídos, cetonas, etc). [2]

Se evidencia también en la tabla 6 que el producto recuperado del tratamiento con vapor de agua saturado realizado a la arcilla prensada tiene una coloración café claro. La tonalidad de la arcilla muestra la remoción de materia orgánica conseguida con el tratamiento aplicado.

Tabla 6. Arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión en autoclave y aceite recuperado del prensado hidráulico (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C)

Descripción	Observaciones
 Arcilla tratada con vapor de agua saturado luego del prensado hidráulico de la arcilla usada.	Textura harinosa. Coloración café claro.
 Aceite extraído de la arcilla de blanqueo usada mediante una prensa hidráulica.	Textura viscosa. Coloración amarillenta.

3.3 Evaluación de la eficiencia en la decoloración de aceite crudo de palma al emplear arcilla de blanqueo recuperada

En la figura 2 se muestra que la mayor eficiencia en el blanqueo de aceite se logra con la arcilla calcinada a 550°C durante 1.5 h (98.04 %). A 500°C durante 30 min se obtiene

un porcentaje alto (97.92%). A 400°C la arcilla calcinada no ofrece una buena decoloración de aceite, ya que se obtiene en promedio el 80% de eficiencia. Finalmente, a 600°C el porcentaje de blanqueo se reduce a valores inferiores del 80%.

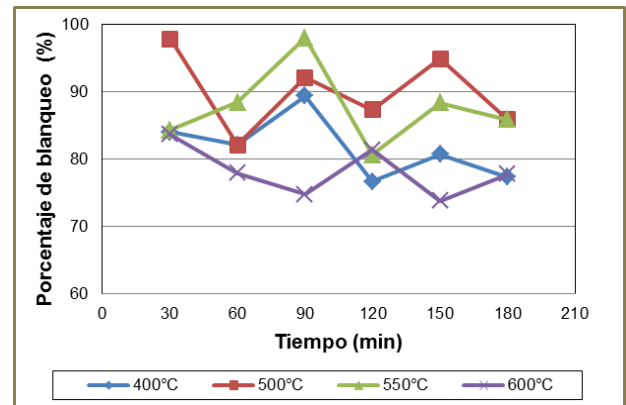


Figura 2. Porcentaje de blanqueo obtenido con arcillas calcinadas a distintos tiempos de proceso

Con la arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión en autoclave (Ps = 1.5 bares; t = 4 h) se obtiene una eficiencia en la decoloración de aceite de palma del 80.3 %. Por otra parte, si se realiza una re-extracción adicional se incrementa el porcentaje de blanqueo hasta alcanzar el 86.5 %.

Del mismo modo que con la arcilla pura, se realizó la caracterización física de las arcillas recuperadas. Con la arcilla calcinada a 550°C durante 1.5 h se consiguió la máxima eficiencia en la decoloración de aceite de palma (98.0 %), debido a que este material recuperado es el que tiene menos material volátil (6.5 %) en comparación a la arcilla obtenida del tratamiento con vapor de agua saturado que contiene 25.5 %, como se puede observar en la tabla 7.

Se realizó una re-extracción del material tratado con vapor de agua y se consiguió eliminar más impurezas hasta obtener 24.2 % de volátiles, es decir se redujo el 1.2 %.

Tabla 7. Caracterización física de las arcillas de blanqueo recuperadas

Parámetro	Método de tratamiento	
	Extracción de aceite por solvente y posterior calcinación T = 550°C t = 1.5 h	Prensado hidráulico y limpieza con vapor de agua saturado Ps = 1,5 bares t = 4 h
% de blanqueo de aceite de palma	98.04	80.36
% de material volátil	6.49	25.50
Superficie específica [m ² /g]	467.07	226.67
Capacidad de intercambio catiónico (CEC) [meq Na/100g]	58.70	38.41

Con arcilla calcinada a 550°C durante 4 horas se consigue un valor de área superficial del 467.07 m²/g, muy cercano al que tiene la tierra decolorante pura (531.8 m²/g); en cambio, la tierra recuperada con vapor de agua saturado ofrece una superficie específica de 226.6 m²/g (casi el 50% de la arcilla pura). De igual forma la capacidad de intercambio catiónico en la arcilla calcinada (58.70 meq Na/100g) se encuentra más cercana al valor de la arcilla pura (72.10 meq Na/100 g), mientras en la arcilla prensada solo alcanza un valor de 38.41 meq Na/100 g. Es necesario resaltar que la adsorción de aceite no solo se da en la superficie de la arcilla sino también en el espacio interlamilar donde se encuentran los cationes de cambio. En conjunto, estas dos propiedades corroboran el porcentaje de blanqueo del aceite de palma en las diferentes arcillas regeneradas.

3.4. Definición del diagrama de flujo del proceso, dimensionamiento de equipos y evaluación económica preliminar

Las operaciones unitarias principales para la recuperación de este desecho serían: prensado hidráulico del material para recuperar 30.9 % de aceite, extracción de aceite residual e impurezas con vapor de agua en un autoclave, decantación de aceite e impurezas, filtrado de la suspensión arcilla/agua, secado y pulverizado del material recuperado. Esto se aprecia en la figura 3 (Apéndice A).

Este procedimiento es adaptable a la industria aceitera ecuatoriana, ya que se requiere de menor inversión y la planta no sería tan compleja en comparación con el método de extracción por solvente y calcinación. En la tabla 8 se presentan las características de los equipos requeridos en la planta de una capacidad de 10 toneladas por día que corresponden al desecho arcilloso que generan las industrias ecuatorianas de refinación de aceite de palma, considerando un factor de sobredimensionamiento del 30%.

Tabla 8. Resultados del dimensionamiento de los equipos requeridos en la planta de recuperación de arcillas

Nombre del equipo	Capacidad requerida	Condiciones de operación
Prensa hidráulica de platos laterales	10 ton/día	Presión = 100 atm
Autoclave	9.36 m ³	Presión del vapor = 4 bares Tiempo = 4 h
Decantador	27.06 m ³	Tiempo de residencia = 30 min
Filtro prensa	2 ton/h	Sólidos = 30%
Estufa de secado	9.37 m ³	Temperatura = 120°C Tiempo = 4 h
Pulverizador	500 kg/h	Tamaño de partícula < 45 um

Se necesitan de USD 256 457.94 para la puesta en marcha del negocio, con lo que se compraría el terreno, la maquinaria, se construiría el galpón fabril y las oficinas de la planta de

tratamiento de tierras de blanqueo usadas. Por otro lado, para un año de producción se obtiene una utilidad anual de USD 97 786.35, para un precio de venta del producto (arcilla recuperada) de 0.25 USD/kg. El costo de la arcilla pura es de 0.25 USD/kg. [6]. Finalmente, se determinaron los siguientes índices financieros del proyecto de inversión: tasa interna de retorno (TIR = 31.5 %), valor actual neto (VAN = USD 274 239.79) y la relación beneficio/costo (B/C=1.41)

4. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la arcilla de blanqueo natural tiene silicio (35.6%), aluminio (10.5%), hierro (6.5%), magnesio (4.4%), potasio (1.4%), calcio (0.9%) y sodio (0.1%) y que las fases mineralógicas principales son montmorillonita 37%, paligorskita 26% y cuarzo 10%, además, este adsorbente contiene cantidades menores (aproximadamente 10%) de restos fósiles de estructura amorfa.

2. Se pudo recuperar el 31% del aceite contenido en la arcilla usada con una prensa hidráulica de placas calientes a 75°C y a una presión de 100 atm. Este aceite, debido a sus características (amarillo claro, bajo contenido de carotenos, fosfolípidos, aldehydos, entre otros.) puede continuar el proceso de refinación industrial, mientras que el aceite recuperado con acetona (48%) probablemente no puede continuar el proceso de refinación, debido a sus características físico-químicas (coloración negra por oxidación de grasas y residuos de acetona).

3. La arcilla recuperada por extracción soxhlet con acetona que fue posteriormente calcinada a 550°C durante 1.5 h en una mufla eléctrica, permitió obtener un porcentaje de blanqueo de aceite de palma del 98% al ser reutilizada.

4. La arcilla prensada y lavada con vapor de agua saturado a 1.5 bares de presión durante 4 horas reutilizada para el blanqueo de aceite, ofreció una eficiencia de decoloración del 80%, esto debido a que la arcilla recuperada por este método contiene 8% de aceite remanente, sin embargo, al realizar una re-extracción se aumentó el porcentaje de blanqueo hasta un 87% y se redujo el contenido de aceite a un 6%.

5. Para la implementación de la planta de recuperación de arcillas usadas con una capacidad de 10 toneladas por día, se determinó una inversión inicial del proyecto de USD 256.457,9. Se obtuvo una utilidad anual de USD 97 786,3 cuando se produce diariamente 5 100,17 kg de tierra decolorante recuperada y el producto se comercializa a 0,25 USD/kg.

6. El proyecto presenta índices financieros favorables para su implementación: VAN = USD 274 239,79, TIR = 31,50% y B/C = 1,41

5. BIBLIOGRAFÍA

[1]Zahrani, A. y Daous, M., “Recycling of Spent Bleaching Clay and Oil Recovery”, IChemE (Institution of Chemical Engineers), 78 (B), 2000 p.224.
 [2]Taylor, D., “Bleaching”, en Shahidi, F., “Bailey’s Industrial Oil and Fat Products”, Sexta edición, vol 6, Wiley-Interscience, New Jersey, USA, 2005 pp. 287-293, 302-308, 311, 312, 315, 316, 320-323.
 [3]O’Brien, R., “Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications”, Tercera edición, CRC Press, USA, 2009, pp. 22, 44-78, 80, 85, 86, 103, 104.
 [4]Lusas, E., “Animal and Vegetable Fats, Oils and Waxes en Riegel, E. y Kent, J., “Riegel’s Handbook of Industrial Chemistry”, décima edición, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, USA, 2003 p. 290
 [5]Hertrampf, J. y Piedad, F., “Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds”, Kluwer Academy Publishers, Netherlands, 2000, p. 65.
 [6]ANCUPA (Asociación nacional de cultivadores de palma africana), (2011, Julio), “Producción mundial de aceites y grasas”, [Online]. Available: <http://www.ancupa.com/index.shtml?s=M&n=68&k=54&m=Archivos&apc=I---xx-xx-xx-xx1->.
 [7]UNLPam, (2011, Junio), “Capacidad de intercambio catiónico”, [Online]. Available: <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/edaforologia/practicos/cap%20de%20int%20cat.htm>.

[8]NRCS, (2011, Junio), “Soil Survey Laboratory Methods Manual”, [Online]. Available: ftp://ftpfc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Lab_Methods_Manual/SSIR42_2_004_view.pdf.
 [9]Rosalén, M., “Mecanismo y velocidad de disolución de montmorillonita en soluciones de electrolitos inertes. Influencia del pH y la temperatura”, Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Doctor en Ciencias de la Tierra, Universidad de Granada, Granada, España, 2004, pp. 44, 45.
 [10]García, E. y Suárez, M., (2001, Junio), “Las arcillas: Propiedades y usos”, [Online]. Available: <http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/arcillas.htm>.
 [11]Higuera, P. y Oyarzun, R., 2006, “Mineralogía y geoquímica ambiental: Introducción al curso”, [Online]. Available: http://www.uclm.es/users/higuera/mga/Tema00_Intro.htm,
 [12]Brigatti, M., Galán, E. y Theng, B., “Structures and Mineralogy of Clay Mineral”, en Bergaya, F., Theng, B. y Lagaly, G., “Handbook of Clay Science”, primera edición, volumen 1, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, 2006, pp. 19-21.
 [13]Besoain, E., “Mineralogía de arcillas de suelos”, IICA, San José, Costa Rica, 1985, p. 17.
 [14]Tazaki, K., “Clays, Microorganism and Biomineralization”, en Bergaya, F., Theng, B. y Lagaly, G., “Handbook of Clay Science”, primera edición, volumen 1, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, 2006 pp. 47, 48.

Apéndice A

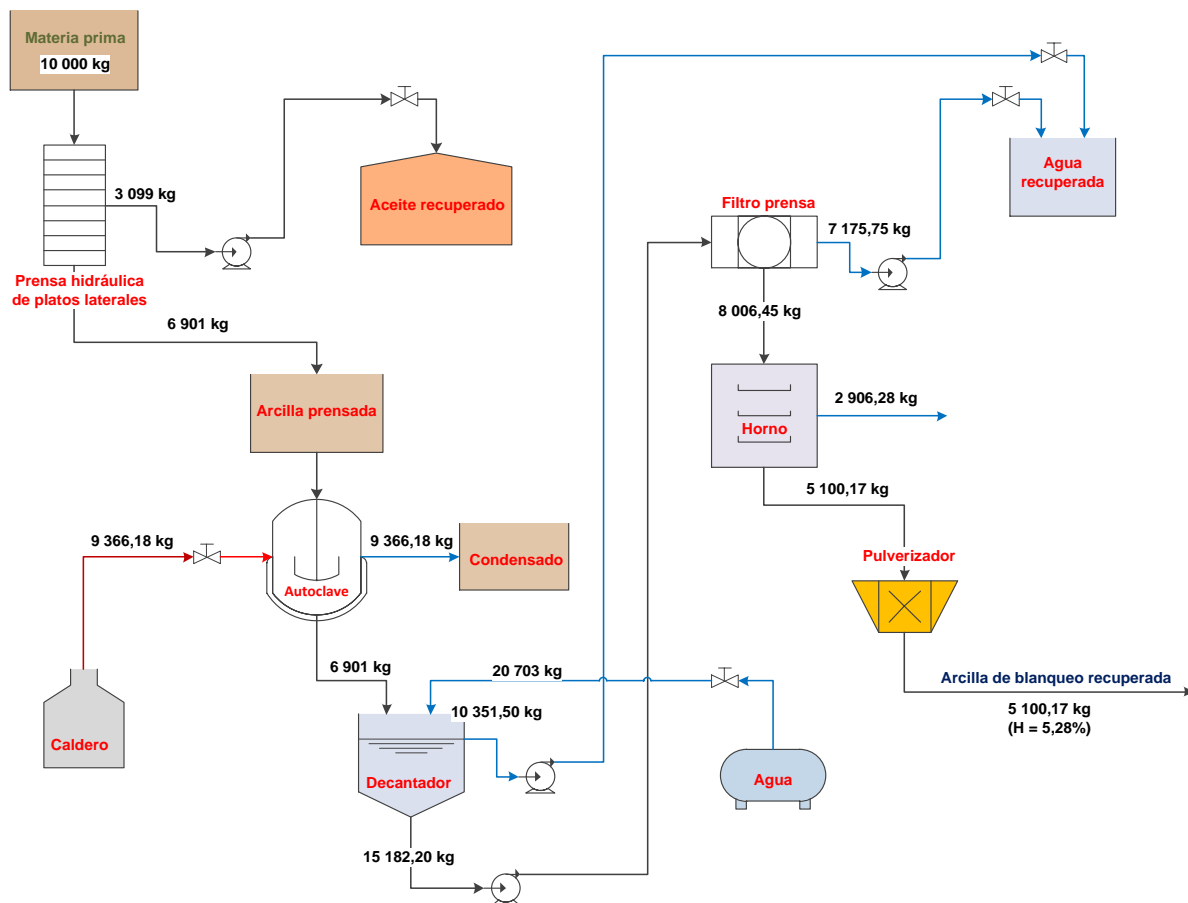


Figura 3 Diagrama de flujo y equipos del proceso