

**“EVALUACIÓN DE LA REUTILIZACIÓN DE TIERRAS PROVENIENTES DE LA
ETAPA DE BLANQUEO EN LA REFINACIÓN DEL ACEITE DE PALMA.”**

JEISON ANDRÉS SALAZAR LÓPEZ

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019**

**“EVALUACIÓN DE LA REUTILIZACIÓN DE TIERRAS PROVENIENTES DE LA
ETAPA DE BLANQUEO EN LA REFINACIÓN DEL ACEITE DE PALMA.”**

JEISON ANDRÉS SALAZAR LÓPEZ

**Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**Orientador
OSCAR LIBARDO LOMBANA
Ing. Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019**

Nota de Aceptación

Ing. Oscar Libardo Lombana Charfuelan

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Ing. Juan Andrés Sandoval Herrera

Bogotá D.C., Febrero de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD AMÉRICA

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y recursos humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectoría académica y de posgrados

Ing. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano General de la Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor

DEDICATORIA

“Este trabajo de grado es dedicado a Dios Todopoderoso en primera medida por brindarme la grandiosa oportunidad de culminar exitosamente mis estudios. Dedico este trabajo a mi familia y a mis padres, Mercedes Rodríguez de Gaitán y Cesar Enrique Gaitán Mesa, porque han realizado un esfuerzo incondicional para apoyarme intelectual, emocional y económicamente en mis proyectos de vida. También dedico este proyecto a mis hermanas Paola Gaitán R, por ser siempre una hermana ejemplar y una persona luchadora y a Eliana Gaitán R, mi ángel guardián, porque sé que desde el cielo permite que nos sucedan siempre buenas obras.”

AGRADECIMIENTOS

“Agradezco como primera media a Dios, por darme la fuerza e inspirarme día a día para seguir creciendo como persona y darme la oportunidad de obtener este título profesional. Así mismo dedico este trabajo y título a mis padres Cesar Enrique Gaitán M. y Mercedes Rodríguez de Gaitán, quienes con su amor, trabajo, apoyo emocional, ayuda incondicional y desprendimiento he llevado a cabo este gran logro, por lo que les expreso mi más sincera gratitud. A mi hermana Paola Gaitán, su esposo Diego Arenas y sus hijas Juanita y Raquelita, así como a mi familia en Medellín gracias por todo su cariño, consejos y palabras de aliento. A mi hermana Elianita Gaitán, que está el cielo, le digo que le cumplí lo prometido, Gracias! Hago un reconocimiento muy especial a la empresa patrocinadora, sus directivas y personal en general por abrirme las puertas para realizar el trabajo investigativo y especialmente a los Ing. Eduard Ávila, Alejandro Bernal y Wilson Martinez por su confianza y orientación para el desarrollo del proyecto. A la Universidad América gracias por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años y de manera especial al Ingeniero Oscar Lombana y los jurados de este proyecto, Ingenieros Nubia B., Juan S., mi más grato reconocimiento por haber compartido sus conocimientos con paciencia y rectitud.”

CONTENIDO		pág.
INTRODUCCIÓN		21
OBJETIVOS		22
1.MARCO REFERENCIAL		23
1.1	MARCO TEÓRICO	23
1.1.1	Estructura y composición de aceites vegetales y grasas comestibles	23
1.1.2	Tipos de oxidación de las grasas y aceites	25
1.1.3	Introducción a las tierras de blanqueo	26
1.1.5	Eficiencia de blanqueo y características de las tierras	28
1.1.6	Características de los aceites y grasas	29
1.2	MARCO LEGAL	31
2. DIAGNÓSTICO		33
2.1	PROCESO DE REFINACIÓN DE PALMA	33
2.1.1	Blanqueo de aceite de palma	35
2.1.2	Desodorización de aceite de palma	37
2.2	CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA, PALMA BLANQUEADA Y PALMA RBD DE UN PROCESO INDUSTRIAL	38
2.2.1	Características físicas y químicas de aceite crudo de palma	38
2.2.2	Características físicas y químicas de aceite de palma blanqueado	40
2.2.3	Características físicas y químicas de aceite de palma desodorizado (Palma RBD)	41
2.3	CARACTERIZACIÓN DE LAS TIERRAS DE BLANQUEO GASTADAS Y TIERRAS DE BLANQUEO PURA	42
3. TRATAMIENTO DE LAS TIERRAS		45
3.1	EXPERIMENTACIÓN	47
3.1.1	Extracción con hexano y posterior autoclave	47
3.1.2	Extracción con Acetona y posterior calcinación	50
3.2	ANÁLISIS DE LOS TRATAMIENTOS REALIZADOS	51
3.2.1	Análisis de la primera etapa de los tratamientos	53
3.2.1.1	Análisis de metales extraídos según solvente	54

3.2.2	Análisis de la segunda etapa de los tratamientos	54
-------	--	----

4. EVALUACION DE LA PALMA RBD MEDIANTE LA REUTILIZACIÓN DE LAS TIERRAS REGENERADAS **56**

4.1	DESARROLLO EXPERIMENTAL DE PRUEBAS DE BLANQUEO Y DESODORIZADO CON TIERRAS DE LAS DOS METODOLOGÍAS DE TRATAMIENTO EN PLANTAS PILOTO	56
4.1.1	Equipos empleados de planta piloto	56
4.2	SELECCIÓN DE LA TIERRA, EVALUANDO LA PALMA RBD EN EL PROCESO DE REFINACIÓN A ESCALA PLANTAS PILOTO	59
4.2.1	Experimentación en plantas piloto con tierras de las dos metodologías de tratamientos	59
4.2.2	Evaluación del aceite de palma usando las tierras regeneradas	62
4.2.3	Caracterización física y química de la palma cruda empleada	62
4.2.4	Caracterización física y química del aceite de palma blanqueada	62
4.2.5	Caracterización de las tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo	65
4.2.6	Caracterización de la palma RBD	65
4.2.7	Eficiencia de remoción de las tierras de blanqueo según tratamientos empleados	69
4.3	INCORPORACIÓN DE LA TIERRA REGENERADA SELECCIONADA EN PLANTAS PILOTO	70
4.3.1	Metodología de incorporación en el proceso actual de blanqueo y desodorización en plantas piloto	70
4.3.2	Caracterización de las tierras regeneradas	71
4.3.3	Caracterización de la palma blanqueada	72
4.3.4	Caracterización de las tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo	72
4.3.5	Caracterización de la palma RBD	74
4.4	REINCORPORACIÓN CÍCLICA DE LA TIERRA REGENERADA SELECCIONADA	76
4.4.1	Metodología de reincorporación cíclica en el proceso actual de blanqueo a escala laboratorio	76
4.4.2	Equipos empleados	77
4.4.3	Caracterización de las tierras antes y después del proceso de blanqueo	78

4.4.4	Caracterización de la palma cruda y palma blanqueada	81
5.	ANALISIS DE COSTOS	84
5.1	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE REINCORPORACIÓN DE TIERRAS A ESCALA PLANTAS PILOTO	84
5.2	INVERSIÓN	86
5.3	COSTOS DE PRODUCCIÓN	87
5.3.1	Costos directos	87
5.3.2	Costos indirectos	91
5.4	ANALISIS DE COSTOS	92
5.4.1	Índices de rentabilidad	93
6.	CONCLUSIONES	96
7.	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFIA	98
	ANEXOS	103

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Parámetros de calidad para el aceite de palma crudo	39
Tabla 2. Parámetros físicos y químicos de la palma blanqueada	40
Tabla 3. Características de la palma RBD en el proceso industrial de la planta patrocinadora.	41
Tabla 4. Caracterización física y química de la tierra de blanqueo gastada y tierra de blanqueo pura	43
Tabla 5. Comparación de las tierras regeneradas y la tierra adsorbente pura	52
Tabla 6. Cuantificación de la extracción con solventes Acetona y Hexano	53
Tabla 7. Contenido de metales de la grasa obtenida con solventes	54
Tabla 8. Parámetros del aceite de palma crudo empleado	62
Tabla 9. Características de la palma blanqueada para los ensayos realizados con tierra nueva y tierras regeneradas	63
Tabla 10. Características de las tierras gastadas en cada uno de los ensayos realizados	65
Tabla 11. Características de la palma RBD para los diferentes ensayos realizados	66
Tabla 12. Eficiencia de blanqueo empleando tierras puras y tierras de ambos tratamientos para cada parámetro	69
Tabla 13. Parámetros analizados de las tierras variando las concentraciones entre tierras puras y tierras regeneradas	71
Tabla 14. Parámetros de la palma blanqueada variando la concentración de tierras puras y tierras regeneradas	72
Tabla 15. Parámetros analizados de las tierras gastadas del proceso de refinación de palma variando las concentraciones de las tierras	73
Tabla 16. Parámetros analizados de la palma RBD para las variaciones de concentración de tierras	74
Tabla 17. Parámetros físicos y químicos de las tierras antes y después del proceso de blanqueo	79
Tabla 18. Parámetros de la palma cruda y la palma blanqueada en los procesos de reincorporación cíclica de las tierras basados en el tratamiento planteado	82
Tabla 19. Tierras puras empleadas por año en proceso estándar y proceso propuesto en plantas piloto	85
Tabla 20. Costos de inversión del tratamiento en Piloto	86
Tabla 21. Costos directos del proceso de blanqueo estándar de aceite de palma.	89
Tabla 22. Costos directos del proceso de blanqueo con incorporación de tierras regeneradas	89
Tabla 23. Costos directos del proceso de tratamiento de las tierras gastadas	91
Tabla 24. Costos variables del proceso de blanqueo propuesto	91

Tabla 25. Costos indirectos de la producción	92
Tabla 26. Costos totales del proceso propuesto de blanqueo de aceite de palma con incorporación de tierras regeneradas	92
Tabla 27. Costos producción de proceso estándar de blanqueo a escala Piloto por mes	93
Tabla 28. Relación Beneficio / Costo y VAN de la propuesta de implementación de la planta piloto del tratamiento para tierras gastadas	94

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Normatividad establecida para aceite de palma cruda y refinada	32
Cuadro 2. Variables de operación de un blanqueador tipo batch estándar de aceite de palma	35
Cuadro 4. Impurezas removidas o reducidas por etapas en la refinación de aceite de palma	38
Cuadro 5. Técnicas empleadas en los laboratorios de la planta patrocinadora Bogotá y laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia	38
Cuadro 7. Tratamientos evaluados por diferentes autores	45
Cuadro 8. Dosificación de un proceso estándar de blanqueo de aceite de palma	61
Cuadro 9. Condiciones de operación de un blanqueador tipo batch estándar de aceite de palma	61
Cuadro 10. Condiciones de operación del equipo de desodorización en plantas piloto	61
Cuadro 11. Ensayos realizados variando la relación de tierras regeneradas y tierras puras.	70
Cuadro 12. Prestaciones sociales legales	87
Cuadro 13. Costos mano de obra, operarios y analistas	88

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1 Comparación entre los tratamientos realizados y el grado de extracción y limpieza.	55
Gráfico 2 Contenido de fósforo presente en la palma blanqueada de los diferentes ensayos.	64
Gráfico 3 Cantidad de Hierro presente en ppm en las palmas blanqueadas de los diferentes ensayos realizados.	67
Gráfico 4 Cantidad de Cobre presente en ppm en las palmas blanqueadas de los diferentes ensayos realizados.	68
Gráfico 5 Cantidad de Plomo presente en ppm en las palmas blanqueadas de los diferentes ensayos realizados.	68
Gráfico 6 Grasa retenida en las tierras gastadas por número de incorporaciones en la etapa de blanqueo.	80
Gráfico 7 Línea del tiempo de la propuesta proyecto.	93

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Tierras puras empleadas para el proceso de blanqueo.	36
Imagen 3. Aceite de palma crudo, aceite de palma blanqueado y aceite de palma desodorizado (RBD) a temperatura ambiente.	42
Imagen 4. Tierra gastada proveniente del blanqueo de aceite de palma.	43
Imagen 5. Montaje soxhlet empleado para extracción de grasa (izquierda) y sistema autoclave con vapor de agua (derecha).	49
Imagen 7. Extracción de las tierras gastadas con solventes, hexano y acetona.	54
Imagen 6. Filtro de tela incorporado al descargue de aceite de palma de la etapa de blanqueo.	60
Imagen 8. Montaje equipo de blanqueo a escala laboratorio.	78

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Diagrama de bloques del proceso de refinación de palma en planta Bogotá.	34
Diagrama 2. Comparación entre los tratamientos realizados y el grado de extracción y limpieza.	55
Diagrama 3. Diagrama de flujo de proceso de blanqueo y filtrado en plantas piloto.	57
Diagrama 4. Diagrama de flujo del proceso de desodorización en plantas piloto.	58
Diagrama 5. Diagrama de bloques y balance de masa de los ensayos realizados de los procesos de refinación de aceite de palma RBD, en plantas piloto.	59
Diagrama 6. Metodología de blanqueo de aceite de palma incluyendo el tratamiento y la reincorporación de las tierras.	77
Diagrama 7. Diagrama de bloques del proceso de blanqueo propuesto	84
Diagrama 8. Tierras puras empleadas para proceso estándar y proceso propuesto.	86

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Esterificación de grupos OH con ácidos grasos para la formación de un triglicérido	24
Figura 2. Guía de selección de tierras según el tipo de aceite a refinar	27
Figura 3. Efecto del grado de dosificación de Pure Flo-B80 en el color en el blanqueo y desodorizado	28
Figura 4. Esquema metodología tratamiento 1, extracción con hexano y posterior autoclave	47
Figura 5. Esquema de equipo de extracción soxhlet para limpiar las tierras	48
Figura 6. Esquema metodología tratamiento 2, extracción con acetona y posterior calcinación	50

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Certificación del análisis químico, capacidad de intercambio catiónico (CIC)	105
Anexo B. Protocolos en el laboratorio.	107
Anexo C. Certificado de resultados de calidad interna del análisis de metales.	110

GLOSARIO

ACEITE DE PALMA BLANQUEADA: aceite pasado por una etapa en el que se reduce el color, así como fosfátidos residuales, metales y jabones. Para ello, la arcilla o tierras se incorporan en el proceso, para adsorber impurezas y contaminantes.¹

ACEITE DE PALMA CRUDO: obtenido mediante extracción mecánica por prensado del fruto de palma, o extracción con solventes.²

ACEITE DE PALMA RBD: aceite obtenido de un proceso de blanqueo y posterior desodorización con siglas RBD, en el que se destilan los ácidos grasos libres que generan olor y sabor, además de degradación de los carotenoides por efecto de la alta temperatura que le poseen la propiedad de un aceite rojo.

AOAC: asociación científica que publica métodos de análisis químicos diseñados para aumentar la credibilidad en los resultados de análisis químicos, físicos y microbiológicos.

AOCS: sociedad Americana de Químicos de Aceites que ofrece metodologías para el desarrollo de análisis químicos y físicos en aceites y grasas.

BARBOTAJE: efecto en el proceso de desodorización al someter el aceite a contraflujo de vapor de agua para arrastrar y destilar compuestos no deseados.

CIC: capacidad de intercambio catiónico de las tierras de blanqueo.

PURE FLO – B80: marca comercial de tierras decolorantes o adsorbentes, naturalmente activa para la refinación de aceite de palma.

RESIDUO ECOTÓXICO: aquel que por sus características, puede causar daño al medio ambiente a la salud humana.

TRATAMIENTO: conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico, cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación de los residuos generados en la industria.³

¹KMEC, Especialista en industria de aceites y grasas, Blanqueado de aceite.

²GAXOLEUM, Ficha técnica del Aceite de palma.

³Ventrat, Eliminación de materia en suspensión. [Consultado el 20 /11 /2018]

RESUMEN

En la actualidad se han realizado pocos estudios sobre el aprovechamiento de los residuos generados en la refinación de aceites. El propósito de este trabajo es el desarrollo del aprovechamiento de las tierras provenientes de la etapa de blanqueo y reincorporarlo de la mejor forma en el proceso. Para poderlo realizar, se diagnostica el estado actual del proceso de refinación de aceite de palma y se realiza la caracterización física y química de la palma cruda, blanqueada, desodorizada y la caracterización física y química de las tierras puras y tierras gastadas. Con base en algunos autores consultados, se seleccionan dos tratamientos de tierras gastadas y se determinan las alternativas según rendimientos evaluados por los autores. En el primer tratamiento se valida extracción con hexano y posterior autoclave a 1,3 bar y 121°C, se evidencia un mediano rendimiento y el segundo tratamiento, extracción con acetona y posterior calcinación a 550°C por 90 minutos, equivalente a un buen rendimiento en el proceso frente al proceso estándar de refinación de aceite de palma. Se desarrolla la evaluación de la palma RBD a escala piloto con las tierras del tratamiento seleccionado (acetona y posterior calcinación), variando las concentraciones entre tierras puras y tierras regeneradas (0% y 0,8%; 0,4% y 0,6%; 0,4% y 0,4%, respectivamente), el ensayo que obtuvo mejores resultados, es reemplazando las tierras regeneradas por las tierras puras (0% tierras puras y 0,8% tierras regeneradas), al mezclar tierras regeneradas con tierras puras ocasiona una incorporación incorrecta del tipo de tierras de blanqueo, lo que genera efectos desfavorables, fija el color a un tonalidad oscura del aceite de palma RBD, promueve oxidación de grupos primarios y secundarios debido a que no fueron adsorbidos por las tierras incorporadas y genera en el proceso de blanqueo reacciones indeseables.

Se valida la palma blanqueada por medio de experimentación a escala laboratorio y se evalúa el número de reincorporaciones cíclicas posibles con el mismo tratamiento seleccionado, posee hasta dos procesos de reincorporación con una calidad de la palma blanqueada aceptable, debido a que no es posible evidenciar el color al finalizar el proceso de refinado, ya que no se realiza etapa de desodorización.

Se realiza propuesta de una planta piloto para el desarrollo del tratamiento seleccionado (extractor con solventes y horno calcinador para una capacidad de 20 kg). Finalmente se realiza un análisis de costos de la propuesta del tratamiento a escala piloto y se reduce cerca del 98% del costo de las tierras puras Pure flo – B80. El proyecto por economía a escala industrial, puede reducir los costos de la operación completa.

Palabras clave: refinación, tratamiento, palma, blanqueo, extracción, residuos.

INTRODUCCIÓN

A medida que avanza el tiempo, crece el consumo de aceites y grasas vegetales, los frutos oleaginosos son una materia prima esencial que depende del crecimiento de múltiples aplicaciones en la industria, que se requiere una alta calidad de los aceites y grasas hacia los clientes y consumidores. La mayoría de aceites crudos o vírgenes son posibles candidatos para un proceso de refinación, depende del grado de contaminantes e impurezas contenidas, de la misma manera aumentan los residuos generados en la refinación. En el año 2015, en Colombia, se generaron 25.000 toneladas de tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo⁴, la mayoría se dispone a relleno sanitario y otra parte a procesos de compostaje; además, se considera que alrededor del mundo se desperdician 100 mil toneladas por año de aceites y grasas que se retienen en las tierras; también, al poseer contaminantes altamente volátiles como pesticidas, las tierras gastadas son un residuo inflamable perjudicial para el suelo y animales; con el tiempo es una fuente de olores fuertes que contaminan el medio ambiente y pueden atraer enfermedades en la zona aledaña. Ante este problema y con el objetivo de preservar la salud y el medio ambiente, nace la necesidad de encontrar una solución para un uso sostenible y que permita aprovechar o recuperar estos residuos al generar una posible propuesta de implementarlo en la industria aceitera.

Como se menciona en este trabajo, existen diferentes alternativas de tratamiento de tierras provenientes de la etapa de blanqueo, se realizó experimentación en plantas piloto validando los dos tratamientos y fue necesario seleccionar entre la bibliografía consultada los tratamientos con posibilidad de aplicación industrial. El tratamiento es una sección valiosa dentro del contexto del trabajo, una de las metas, fue retirar la mayor cantidad entre impurezas y grasa de las tierras gastadas y reutilizarlo en el proceso de blanqueo. Se evaluó el aceite de palma refinado en plantas piloto y se determinó la concentración entre tierras puras y tierras regeneradas; además, se determinó el número de reincorporaciones cíclicas posibles que el tratamiento y las tierras permitieron; se planteó la propuesta a escala piloto de una planta de tratamiento y se especificó la reducción de tierras puras en el proceso de blanqueo de aceite de palma.

En este estudio se realizó un análisis de costos del proceso de blanqueo con la propuesta de tratamiento de tierra gastada escalado a piloto y se determinó la inversión requerida, los costos operativos e indicadores de rentabilidad.

⁴ MONGE Gladys, et al "MINIMIZACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS", Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/word/perres03.pdf>

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la reutilización de tierras provenientes de la etapa de blanqueo en la refinación del aceite de palma.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual de las tierras generadas en la etapa de blanqueo.
- Realizar tratamiento de tierras adsorbentes provenientes del blanqueo.
- Evaluar la palma blanqueada mediante la reutilización de tierras tratadas en el proceso.
- Determinar el costo del proceso de blanqueo propuesto.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 MARCO TEÓRICO

El aceite de palma es el fruto oleaginoso más productivo del mundo; una hectárea sembrada produce entre 6 y 10 veces más aceite que el resto de los frutos. Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América, en la actualidad el cultivo de aceite de palma se encuentra en 124 municipios de 20 departamentos siendo uno de los recursos más importantes en la actualidad para Colombia.⁵

El aceite de palma se obtiene del mesocarpio del fruto y se extrae por diferentes métodos, extracción mecánica por prensado o extracción por solventes, contiene 40% – 48 % de ácido graso palmítico y 37% a 46% de ácidos grasos mono insaturados (oleico) y 10% ácidos grasos poli insaturados, por lo que crea mayor estabilidad oxidativa, también contiene vitaminas A (carotenoides 500pm a 700 ppm) y vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles 100ppm a 700ppm).

1.1.1 Estructura y composición de aceites vegetales y grasas comestibles.

En bioquímica, las grasas y aceites son un término general para constatar diferentes tipos de lípidos, es referido a los ésteres en los que uno, dos o tres ácidos grasos se unen a una molécula de glicerina, estableciendo monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos respectivamente.⁶

- **Lípidos.** Los aceites vegetales comestibles varían según su procedencia y estación del año, el aceite se usa para la fabricación de diferentes productos para el hogar, restaurantes e industrias. La resaltada estructura, caracteriza a las grasas y aceites como lípidos saponificables y no saponificables.⁷
- **Monoglicérido, diglicérido y triglicéridos.** Son moléculas conformadas entre un 94% a 96% de ácidos grasos, es la esterificación de grupos OH y los ácidos grasos, como se observa en la figura 1. Se les llama grasas, si a temperatura ambiente están en estado sólido y aceite si a temperatura ambiente están en forma líquida.⁸

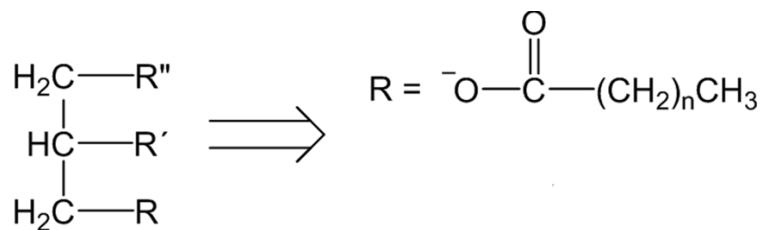
⁵ HARO Carlos, 2012 p 42

⁶ WARDLAW GM y Snook JT. 1990, "Effect of diets high in butter". p 28

⁷ FEREIDON Shahidi, "BAILEY'S INDUSTRIAL OIL AND FAT PRODUCTS", p.11

⁸ FEREIDON Shahidi, "BAILEY'S INDUSTRIAL OIL AND FAT PRODUCTS", p.12

Figura 1 Esterificación de grupos OH con ácidos grasos para la formación de un triglicérido



Fuente. DEVLIN, T. "Bioquímica 4ta edición" 2004 p.45

Dependiendo del tipo de enlaces que contengan los ácidos grasos que conforman las grasas, es posible clasificarlas en saturadas e insaturadas.

- **Ácidos grasos saturados.** Son aquellos que contienen enlaces simples entre sus átomos de carbono, ya que su cadena hidrocarbonada está colmada de átomos de hidrógeno. Las grasas compuestas por ácidos grasos saturados, son por lo general sólidas a temperatura ambiente. Pueden ser de origen animal como la mantequilla, queso, crema, embutidos, y también de origen vegetal como la manteca y algunas margarinas.⁹
- **Ácidos grasos insaturados.** En su estructura es posible encontrar un doble enlace, constituyendo como ácidos grasos monoinsaturados o más de un doble enlace, como poliinsaturado. Las grasas conformadas por este tipo de ácidos grasos son líquidas a temperatura ambiente. Generalmente son de origen vegetal como los aceites de: maíz, soya, oliva, girasol, algodón, canola⁹
- **Carotenoides.** Los carotenoides constituyen un grupo de compuestos de la naturaleza considerados compuestos indispensables para la vida, debido a las diferentes funciones que llevan a cabo en relación con la fotosíntesis (captación de luz, foto protección, disipación de excesos de energía, desactivación de oxígeno); sin este tipo de compuestos la fotosíntesis sería completamente inviable.¹⁰ Los carotenoides son un grupo de pigmentos vegetales liposolubles ampliamente distribuidos; químicamente son terpenoides con diferentes estructuras, constituidos por átomos de carbono.
- **Beta caroteno.** Es un miembro de la familia de los carotenoides, compuestos liposolubles con una gran pigmentación (roja o naranja) presentes de forma natural en el fruto de palma.¹¹ La ingesta suficiente de beta caroteno es

⁹ Ministerio de Salud de Costa Rica, Grasas y aceites, Consultado el 11 /10/18.

¹⁰ Antonio J. Meléndez, Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales, Facultad Universidad de Sevilla, España. 2007

¹¹ Luz Marchena et al 2009.p. 32

fundamental, ya que actúa como una fuente significativa de vitamina A que ayuda al cuerpo a alcanzar el nivel de vitamina A fundamental para un crecimiento y desarrollo normales, una buena visión y salud ocular, un fuerte sistema inmunitario y una piel sana.¹²

- **Lecitina.** La lecitina refinada es un producto líquido de alta viscosidad, completamente soluble en hexano, tolueno y otros hidrocarburos. Es un líquido higroscópico marrón anaranjado de aroma y sabor característico. La lecitina es un producto extraído en la refinación de los aceites vegetales, llamados gomas, fosfolípidos o fosfátidos.¹³ Satisface diferentes aplicaciones en la industria: Emulsificante, chocolate, galletas, margarinas y desmoldantes.
- **Fosfátidos.** Son polialcoholes esterificados con ácidos grasos y ácido fosfórico, este a su vez está combinado con un compuesto nitrogenado. Los fosfátidos más frecuentes son la lecitina y la cefalina. Durante el proceso de refinación del aceite se retiran los fosfátidos, en el proceso de desgomado se retira gran parte de estos componentes.¹⁴

1.1.2 Tipos de oxidación de las grasas y aceites. Se encuentran en los lípidos la llamada auto oxidación y existen dos grupos de reacciones que participan en el proceso. Los peróxidos sufren dos fases de oxidación, en la primera fase ocurre la oxidación espontánea por acción del aire, oxígeno, luz, calor, trazas de metales y agua, lo cual es valorado en el análisis de valor de peróxido (VP). Los productos de oxidación secundaria generan aldehídos, cetonas, ácidos alcoholes y son medidos por el valor de anisidina (P - anisidina).¹⁶

- **Grupos primarios de oxidación.** Por lo general los alimentos lipídicos contienen partículas de iones metálicos, que pueden proceder de diferentes fuentes, como: el equipo de refinación, del proceso de hidrogenación, del envase o de los diversos componentes proteicos como las enzimas. Los metales pesados que aumentan la velocidad de oxidación de los ácidos grasos, son aquellos que poseen dos o más estados de oxidación y que tienen además un potencial redox intermedio, como el Cu, Fe, Mn y Pb.¹⁵ Se cuantifican estos grupos primarios de oxidación por el análisis de metales y se demuestra el grado de oxidación con el análisis de valor de peróxido.
- **Grupos secundarios de oxidación.** Son también llamados reacción de propagación o terminación. En la descomposición de los hidroperóxidos (aldehídos), los cuales se forman en la etapa de propagación, los cuales tienen

¹²NUTRIFACTS, "Betacaroteno" p. 2

¹³ BERNARDES Paulo, 2010 Revista de alimentación de España, Lecitina de Soja, p. 3

¹⁴ UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA, Composición química de las grasas y aceites.

¹⁵ ROJANO Benjamín Alberto 1997, "Oxidación de lípidos y antioxidantes" p. 6

la capacidad de interactuar con otras moléculas o intervenir en reacciones secundarias, generando nuevas sustancias. Los hidroperóxidos se pueden fragmentar por rompimiento homolítico o heterolítico.¹⁶ Se determina el grado de oxidación secundaria por medio del análisis de valor de anisidinas, útil para evaluar el pasado del aceite y un buen método para predecir la estabilidad del aceite.

1.1.3 Introducción a las tierras de blanqueo. Las tierras de blanqueo también llamadas arcillas, tierras adsorbentes, suelo de decoloración, arcillas o tierras blanqueadoras pueden ser usadas en su estado natural o activadas con ácido para blanquear y reducir el color intenso del aceite crudo. Existen alrededor de 33 tipos de arcillas diferentes, sólo dos tipos son realmente importantes en el blanqueo de aceites; la hormita (mezcla de atapulgita y montmorillonita) y la montmorillonita cálcica llamada bentonita cálcica. Las tierras de blanqueo poseen una alta fuerza de adsorción de contaminantes. El rendimiento de las tierras blanqueadoras posee alto índice de decoloración, elimina fosfolípidos totales, jabón, trazas de iones de metal, puede eliminar residuos de plaguicidas y otras toxinas y sustancias olorosas de los aceites vegetales.¹⁶ Las tierras de blanqueo natural pueden llegar a adsorber alrededor de un 15% de su peso en colorantes, pigmentos e impurezas, además logra retener en el proceso de blanqueo un 30% de aceite.¹⁸ Las tierras activadas con ácido, comúnmente son utilizadas para la refinación de aceites, como: soya y canola que son más complejos; objetivo para la remoción de mayor cantidad de metales y fosfátidos que el aceite crudo de palma.

Desde el punto de vista mineralógico, las tierras de blanqueo poseen una morfología laminar de tipo filosilicatos.¹⁷ Los filosilicatos tienen una estructura en forma de apilamientos poliméricos de capas tetraédricas y octaédricas. La fórmula química de estos compuestos tiene el anión $(\text{Si}_2\text{O}_5)_n$. Las tierras de blanqueo Pure-Flo B80 posee estructura montmorillonita que en su mayoría posee una morfología de filosilicatos.

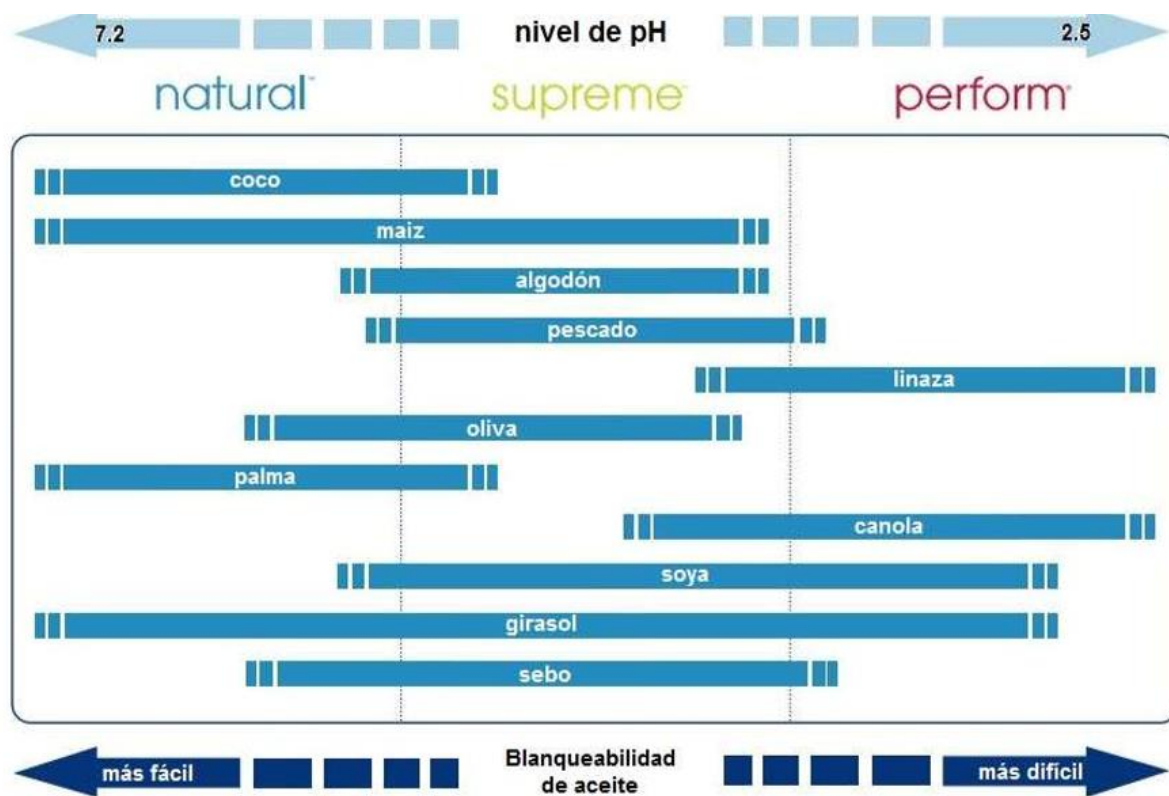
Existen tierras activadas debido a un tratamiento ácido al que están sometidas para retener mayor cantidad de contaminantes y aumentar el área superficial, para el caso de la refinación de Soya, Girasol y Canola.¹⁸ En la Figura 2, se ilustra la guía de selección de tierras de blanqueo según el tipo de aceite a refinar, dependiendo del nivel y dificultad de remoción.

¹⁶ROJANO Benjamín, OXIDACIÓN DE LÍPIDOS Y ANTIOXIDANTES, pg. 15

¹⁷GARCÍA, E. 2001 "Las arcillas: propiedades y usos"

¹⁸OIL DRI Corporation of América 2011 "Pure flo: Bleaching earths"

Figura 2 Guía de selección de tierras según el tipo de aceite a refinar.



Fuente: OIL DRI, CORPORATION OF AMERICA 2011 "Pure flo: Bleaching earths" en línea <http://www.pure-flo.com/downloads/pureflo_brochure.pdf> Consultado 10 / 10 / 18

1.1.4 Fundamentos de la adsorción de las tierras de blanqueo. La adsorción es un fenómeno en la superficie que actúa por la superficie química del adsorbente. En las tierras ocurre una función importante en la interacción adsorbato – adsorbente. Los grupos hidroxilo de las tierras de blanqueo natural son: Si-OH, FeOH, MgOH y AlOH. El proceso de adsorción es ejercido debido a la interacción entre la superficie y las moléculas del adsorbato (fosfolípidos, pigmentos de color, jabones, metales y contaminantes) ²¹. Un agente adsorbato puede someterse al rompimiento de un enlace covalente con la superficie del adsorbente por medio de la quimisorción o podrá interaccionar por medio de puentes de hidrógeno o fuerzas de Van der Waals (fisiosorción)¹⁹. En la adsorción de pigmentos de color como la clorofila y carotenoides, se demuestra que el tipo

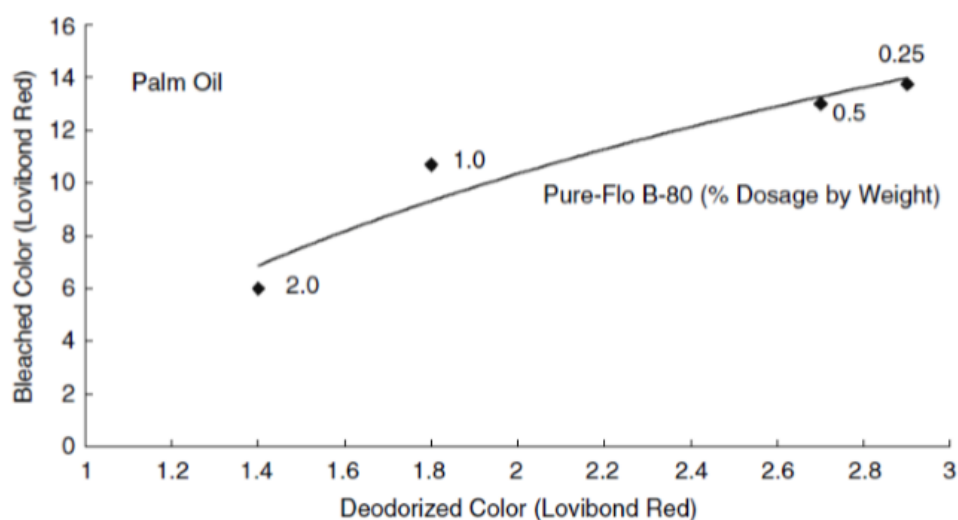
¹⁹ O'BRIEN, 2009 "Fats and Oils: formulating and processing for applications" Tercera edición, pg 22

de catión en la intercapa y la acidez de las tierras, está directamente relacionado con el desempeño y la capacidad de adsorción de estos pigmentos.²⁰

1.1.5 Eficiencia de blanqueo y características de las tierras. Las tierras de blanqueo poseen características que determinan la calidad del blanqueo a realizar; porosidad, capacidad de intercambio catiónico y concentración a dosificar.

El porcentaje de tierras a dosificar por peso de aceite crudo es importante en el proceso de blanqueo. La influencia que tiene la cantidad de tierra Pure-Flo B80 natural por peso de palma es alta, en la Figura 3, se muestra como al aumentar el porcentaje de tierras puras disminuye el color tanto en el blanqueo como en el desodorizado, es muy bueno al garantizar una calidad de un aceite clarificado.²¹ A mayor el porcentaje de tierras Pure-Flo B80 natural a dosificar, el aceite de palma refinado obtendrá mejores resultados en el color de blanqueo y desodorizado.

Figura 3. Efecto del grado de dosificación de Pure Flo-B80 en el color en el blanqueo y desodorizado.



Fuente: TAYLOR, D "Bailey's Industrial Oil and Fat Products" Sexta edición. Capítulo Bleaching, p. 37

²⁰ HARO Carlos, 2012, p. 39

²¹ TAYLOR 2005 "Bailey's Industrial Oil and Fat Products" Sexta edición. p. 289

El tamaño de partícula posee un efecto en la eficiencia del blanqueo, tamaños de partículas muy pequeñas aumentan el área superficial y mejoran la eficiencia del blanqueo al incrementar los sitios activos, pero generan problemas de filtración y retienen mayor cantidad de aceite perjudicando el proceso, a medida que se disminuye el tamaño de partícula y aumenta la velocidad de descarga en el filtrado, incrementa la eficiencia en el blanqueo.²²

La capacidad de intercambio catiónico está descrito para tierras que poseen la capacidad de adsorber ciertos iones, estas, liberan de la misma manera cationes de la superficie y de los espacios interlaminares.²⁵

1.1.6 Características de los aceites y grasas. Los aceites se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente y las grasas se definen cuando están en estado sólido a temperatura ambiente. Las grasas y aceites juegan un papel muy importante en la nutrición de los seres humanos para el transporte de vitaminas, para llevar una nutrición adecuada en la lactancia, prevalece en el desarrollo apropiado del cerebro y la retina, por acción de los ácidos grasos esenciales poliinsaturados de cadenas largas²³.

Los frutos y semillas de naturaleza oleaginoso poseen la capacidad de ser extraído. En la mayoría de los casos son comestibles, otros de carácter industrial. A algunos aceites se le realiza un proceso físico o químico de refinación para ser comestible. A diferencia de los aceites vírgenes o aceites crudos, los aceites y grasas vegetales refinadas se clasifican por su resistencia a la oxidación, su color claro y ausencia de sabores desagradables. Para garantizar la calidad constante de los productos es necesario llevar un control interno de calidad por medio de los siguientes análisis físicos y químicos.

- **Acidez libre.** Este parámetro es determinado en los aceites crudos y en los aceites refinados. Para el caso del aceite crudo de palma, el valor proviene básicamente al contenido de ácidos grasos libres.²⁴ Se realiza procedimiento del análisis según la AOCS CenML-S2-, (ver Anexo B). El índice de acidez, representa la cantidad de miligramos de KOH que se requieren para poder neutralizar los ácidos grasos libres. La acidez libre en grasas y aceites, son los ácidos grasos que no están en forma estructural, si no en forma libre, resultado de la hidrólisis formada por la descomposición de los triglicéridos,²⁵ causando olores y sabores desagradable.
- **Color Lovibond.** Existen diversos métodos para determinación de color, todos basándose en una comparación directa con unos estándares. Se usan equipos

²² TAYLOR 2005. "Bailey's Industrial Oil and Fat Products" sexta edición. p. 289

²³ FEREIDOON Shahidi "BAILEY'S INDUSTRIAL OIL AND FAT PRODUCTS," p.2

²⁴ GOMEZ Pedro León, CENIPALM Centro de Investigación en aceite de palma. octubre 1999. p. 1

²⁵ Resolución 2154 de 2012 capítulo 1

para la medición del color para el análisis de líquidos y sólidos como: aceites alimentarios, sustancias químicas y farmacéuticas, deberán estar certificados para cumplir con los métodos y estándares internacionales por la ISO17025.²⁶ El principio radica en la absorción y la disminución de la transmitancia, que genera una conversión de energía absorbida.

- **DOBI.** Es la relación I entre las absorbancias de los carotenos a 446 nm y los carbonilos a 269 nm. Una alta presencia de carotenos es sinónimo de ser un producto fresco y un estado óptimo de madurez del aceite crudo de palma y una alta presencia de carbonilos indica un estado deteriorado por oxidación. El parámetro Dobi determina la capacidad del aceite crudo de palma para ser refinado, es un parámetro de calidad interna para diferenciar el estado. La siguiente ecuación formulada para determinar la aceptación del aceite crudo de palma, no deberá superar el valor de 3.²⁷

$$DOBI = \frac{\text{Absorbancia en carotenos (446nm)}}{\text{Absorbancia en carbonilos (269nm)}}$$

- **Valor de peróxido.** Determina la oxidación inicial o primaria de los aceites y grasas, se presentan por la degradación oxidativa de los ácidos grasos y degradación de los lípidos, además los peróxidos les asigna una nota rancia. Al someter el aceite o la grasa a luz directa, son promovidos los peróxidos, los dobles enlaces y carbonilos son los gestores de absorber la luz, ya que actúa la luz ultravioleta sobre la grasa como un catalizador de degradación.³⁴ En la etapa de blanqueo y desodorizado son retirados estos compuestos que ocasionan la degradación del aceite.
- **Punto de fusión.** El aceite de palma catalogado por la empresa Quimipur S.L.U determina que el punto de fusión es 36°C hasta 40°C²⁸. A temperatura ambiente se encuentra en estado sólido por la presencia de un contenido representativo de ácidos grasos saturados, por lo que es necesario usar temperaturas mayores al punto de fusión para poder transportarlo y almacenarlo en estado líquido, por lo que puede generar posibles oxidaciones originados por la temperatura.²⁹
- **Fósforo.** Los fosfolípidos son componentes menores de los aceites y grasas, por lo que en su mayoría son retirados en el proceso de desgomado; usados en la industria como emulsionante alimenticio, empleados en gran parte en el

²⁶ LOVIBOND, Medición de color 2017, Disponible en: <<https://www.lovibond.com/es/Medicion-de-color>>

²⁷ URUETA Juan Carlos, 2007 "IMPLEMENTACIÓN MPLEMENTACIÓN DEL DOBI"

²⁸ QUIMIPUR, S.L.U. Ficha de datos de seguridad de Aceite de Palma, p. 3

²⁹ RINCÓN Sandra Milena. Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria 2009 Volumen 3 p. 18

proceso de las margarinas; llamados “lecitinas”.³⁰ Los fosfolípidos restantes son retirados en el proceso de blanqueo con ayuda de las tierras adsorbentes, al no ser retirados pueden actuar como posibles catalizadores de degradación en el proceso de desodorización por acción de las altas temperaturas.

- **Metales.** Los metales son analizados antes y después del proceso de blanqueo, los metales son percibidos en partes por millón en el aceite crudo de palma y deben cumplir con un estándar de máximos y generar una refinación del aceite adecuada, al no ser retirados en el blanqueo puede generar un efecto negativo actuando como catalizador sobre la estabilidad del aceite, dicho efecto es más notable, en presencia de plomo, seguido de hierro y por último cobre.³¹

1.2 MARCO LEGAL

En esta sección se muestra la normatividad requerida para los aceites y grasas en Colombia, la idealidad del proyecto es garantizar la calidad del aceite de palma refinado, al estar guiados por la Resolución 2154 de 2012, del Ministerio de Salud y Protección social para el caso de los aceites y grasas comestibles.

En condiciones generales de los aceites y grasas, que correspondan a este trabajo según el Artículo 7° de la Resolución 2154 de 2012, se deben cumplir con las siguientes condiciones generales:

- El color, olor y sabor de cada producto debe ser característico.
- El producto debe estar exento de olores y sabores extraños o rancios.
- Deben cumplir con los límites máximos establecidos en las normas nacionales o en las del Codex Alimentarius para los contaminantes.
- No debe contener sustancias extrañas que en el producto originen reacciones químicas, físicas o biológicas que generen características nocivas a la salud.

Normas establecidas por el Ministerio de Salud y Seguridad Social y la Norma Técnica Colombiana predominan en decisiones a lo largo del trabajo. En el Cuadro 1 se presenta la normatividad para grasas y aceites vegetales.

³⁰ FEREIDOON Shahidi. “BAILEY’S INDUSTRIAL OIL AND FAT PRODUCTS”, Sexta edición, p. 9

³¹ MOLERO Meneses, Efecto catalítico de metales sobre la estabilidad térmica de aceites GRASAS Y ACEITES VOL 52 FASC 2001. p. 273

Cuadro 1. Normatividad establecida para aceite de palma cruda y refinada.

Aceite de palma crudo			
Parámetros	Unidad	Norma	Máximos o mínimos
Valor de peróxido	meqO ₂ /kg	RESOLUCION 2154 DE 2012 Capítulo 8, Art 30.	<10
Acidez libre	% ácido oleico	Capítulo 8, Art 30.	<3,5
Metal Hierro	Ppm	Capítulo 12, Art 50. aceite virgen	<4
Metal Cobre	Ppm	Capítulo 12, Art 50. aceite virgen	<0,4
Metal Plomo	Ppm	Capítulo 12, Art 50. aceite virgen	<0,1
Fósforo	Ppm	Capítulo 12, Art 50. aceite virgen	5 – 130
Aceite de palma refinado			
Valor de peróxido	meqO ₂ /kg	Capítulo 10, Art 45. aceite no virgen	<0,05
Acidez libre	% ácido oleico	Capítulo 10, Art 45. aceite no virgen	<0,03
Metal Hierro	Ppm	Capítulo 12, Art 50. aceite no virgen	<1,5
Metal Cobre	Ppm	Capítulo 12, Art 50. aceite no virgen	<0,1
Metal Plomo	Ppm	Capítulo 12, Art 50. aceite no virgen	<0,1
Fósforo	Ppm	Codex Stan 210 de 1999 y NTC 4790	<10
Anisidinas	Unidad	NTC 4197, 2001	<4

Fuente: elaboración propia

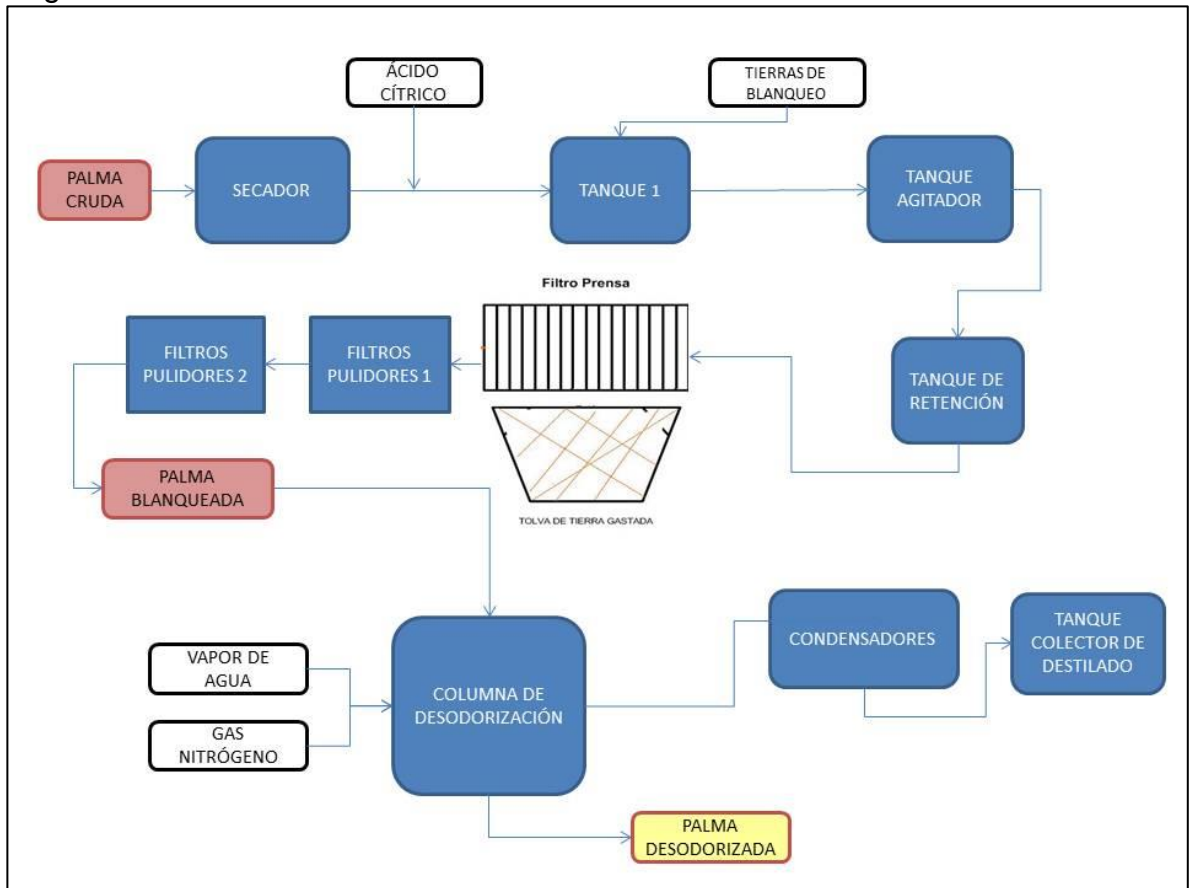
2. DIAGNÓSTICO

La planta de refinación de palma se encuentra ubicada en el sur de la ciudad de Bogotá, realiza diferentes procesos industriales, se dedica a la elaboración de aceites y grasas de origen vegetal, consumo masivo, productos destacados entre los que se encuentran las margarinas de mesa y cocina, margarinas industriales, hojaldres, aliñados y productos de repostería. Los frutos oleaginosos pasan por un proceso de refinación y transformación que genera aceites y grasas de buena calidad, con poco sabor, color limpio, inodoro y perdurabilidad en el tiempo. En este capítulo se presenta el proceso de refinación de palma, teniendo en cuenta las diferentes etapas necesarias. Se presenta un análisis de las características físicas y químicas de la palma cruda, de la palma refinada y de los residuos generados en la etapa de blanqueo para determinar el estado actual.

2.1 PROCESO DE REFINACIÓN DE PALMA

En la planta de Bogotá no se realiza un proceso de extracción del aceite del fruto; la empresa obtiene el aceite crudo de palma de diferentes proveedores. El aceite en el refinado es sometido a una combinación de procesos físicos que retiran compuestos no deseados por los consumidores y clientes en la industria de alimentos, sin sabor, sin olor, sin color. Aplicaciones para la industria farmacéutica, cosmética y de los biocombustibles, requieren un producto derivado de los lípidos con características limpias. Como principales etapas en el refinado de aceite de palma están el blanqueo y el desodorizado, como se muestra en el Diagrama 1.

Diagrama 1. Diagrama de bloques del proceso de refinación de palma en planta Bogotá.



Fuente: elaboración propia basado en planta Bogotá

2.1.1 Blanqueo de aceite de palma. El objetivo de la etapa de blanqueo es retirar las trazas de metales, disminuir el color procedente de los carotenos y clorofila, retirar jabones y productos de oxidación mediante la adición de tierras diatomáceas que adsorben y retienen estas impurezas.³² La humedad del aceite se retira en el tanque agitador, el cual opera a 95°C en vacío con el fin de controlar la degradación del aceite por el aumento de la temperatura. Posteriormente se adiciona ácido cítrico en agua a 500 ppm para transformar los fosfolípidos no hidratables en fosfolípidos hidratables,³³ de no controlarse el agua puede lixiviar los metales ocasionando que el aceite pueda hidrolizarse fácilmente. Se requieren incluir tierras adsorbentes en un tanque de residencia para retener los contaminantes. Las tierras son utilizadas por sus propiedades físicas y químicas (capacidad de intercambio catiónico, porosidad y pH). El blanqueo de aceite de palma consta de diferentes variables de operación: agitación, temperatura, vacío, tiempos de retención, calidad de tierra adsorbente y el buen uso de los filtros, esto, con el objetivo de clarificar y retirar la mayor cantidad de contaminantes. Se muestra en el Cuadro 2 las variables del proceso de blanqueo que se usan en la planta refinadora de Bogotá.

Cuadro 2. Variables de operación de un blanqueador tipo batch estándar de aceite de palma

Variables	Unidad	Valor
Agitación	rpm	700 - 800
Vacío (inHg)	inHg	22
Tierra pura de blanqueo por peso de palma	%	0,9
Tiempo (min)	Temperatura (°C)	
10	60 - 65	
25	80	
45	90 - 95	

Fuente: elaboración propia basado en planta patrocinadora

- **Agitación.** Operación de mezclado tipo radial, provocando la adecuada dispersión por el cual se crea una interacción en un tanque de tipo hélice marina de tres aspas, entre el aceite de palma crudo y las tierras de blanqueo con un mínimo de tiempo y de energía requerida. Todas las variables de operación en conjunto son determinantes para lograr el objetivo esperado, la agitación juega un papel importante y proporciona una interacción íntima entre el medio adsorbente (arcillas) y el adsorbato (contaminantes).

³² QUINTERO Tatiana, 2016 “Análisis de resultados prueba CRETIP”. p 12

³³ SEGERS, 1988 Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s09.htm#TopOfPage>

- **Vacío.** Uno de los mayores retos para la industria de grasas y aceites es evitar altas temperaturas en los procesos, pudiendo causar oxidación y/o formación de ácidos grasos trans, generando degradación de la grasa o aceite. En presencia de vacío (20 a 25 inHg) es posible aumentar la temperatura sin afectar el aceite o grasa que se requiera refinar.
- **Tiempos de retención y temperatura.** La temperatura y los tiempos a los cuales se operan, son variables que dependen del tipo de blanqueo que se deba realizar, para el caso de un blanqueo de aceite de palma, se tiene en cuenta el tipo de tierras que se emplea en la planta, por lo tanto, ésta metodología esta estandarizada tanto en plantas piloto como en planta industrial. Los primeros 5 minutos se adiciona ácido cítrico a 500 ppm en estado líquido, 10 minutos después se incluye 0,1% de tierra silica sobre peso del aceite crudo a una temperatura de 60°C a 65°C durante 15 minutos; las tierras adsorbentes Pure flo - B80 al 0,8% son incorporadas en 80°C durante un tiempo de interacción de 20 minutos, como se expone en el Cuadro 2.
- **Tierras de blanqueo.** Poseen un tamaño de partícula superior a 45 µm, además se caracterizan por sus propiedades físicas y químicas, densidad aparente 0,512 g/mL, humedad de 11,9% y un pH de 7,1³⁴. Son usadas en la planta en estado natural para clarificar el aceite de palma, de manera que se usan arcillas de tipo montmorillonita y se emplea en la refinación, dosificando alrededor de 0,9% en peso del aceite crudo.³⁵ En la Imagen 1, se muestran las tierras puras Pure flo – B80 natural antes de incorporarlas al proceso de blanqueo de aceite de palma. En la refinación de aceite de palma se usa una mezcla de diferentes tierras que promueven y facilitan el proceso de blanqueo de aceite de palma.

Imagen 1. Tierras puras empleadas



Fuente: elaboración propia

- **Ácido cítrico.** Es ampliamente usado en la industria farmacéutica y de alimentos. Tiene como objetivo en la refinación de palma precipitar los

³⁴ HARO Carlos, Revista EPN, Vol 34, 1 Octubre de 2014, p.4, Consultado en Octubre 2018.

³⁵ GARCÍA, E. 2001 "Las arcillas: propiedades y usos"

fosfátidos no hidratables, formando sales en compañía de metales. El objetivo es remover la humedad, parte de carotenoides y otros pigmentos. Es necesario incluir en la etapa de blanqueo ácido cítrico (400 ppm a 600 ppm en peso de aceite de palma crudo) con ayuda de ácido y temperaturas entre 80°C y 95 °C, el complejo de los fosfátidos no hidratables pueden romperse.³⁶

- **Condiciones de operación:** El blanqueo es primordial en la refinación de aceite crudo de palma. Esto implica la adición de una arcilla adsorbente que interactúa con el aceite por medio de agitación (750 rpm, agitación aproximada para asegurar una interacción profunda), vacío de 20-25 inHg, temperatura de 75°C a 100°C de 45 a 60 minutos.
- **Filtración.** Es necesario separar las tierras del aceite de palma, la arcilla es retenida en un filtro llamado membrana plástica o llamada tela metálica, son los siendo los más usados en la industria de grasas y aceites. Como soporte de calidad se presentan diferentes especificaciones, como la resistencia metálica (resistencia al desgaste repetido) y el tamaño de poro influyen en la capacidad de la membrana en formar retención, la acumulación de partículas entre filtraciones consecutivas y un flujo a altas presiones con tamaño de poro de 20 µm a 130 µm.⁴⁰ La interacción en el filtro es el medio adecuado para finalizar el contacto más íntimo entre el aceite y la arcilla a altas presiones. En un sistema estándar de blanqueo continuo a vacío al salir del reactor, la suspensión de arcilla y aceite es separada en una unidad de filtración, un filtro está en uso mientras que el otro está en modo de limpieza o en modo de espera.³⁷ La tierra gastada se dispone en un tornillo sin fin hacia las lonas de la tierra.

2.1.2 Desodorización de aceite de palma. El aceite ya blanqueado es sometido a una destilación de ácidos grasos libres, responsables del olor y sabor característico del aceite de palma crudo. La desodorización está encargada principalmente de eliminar el color rojo, el olor y el sabor del aceite de palma, eliminando compuestos volátiles, se lleva a cabo por medio de barbotaje con vapor seco (torre de destilación de cinco etapas), en vacío (2-5 mmHg) y a elevadas temperaturas (240°C a 260°C),³⁸ para así reducir los niveles de los ácidos grasos libres de 3% a 0,05% en masa de aceite de palma, requisito que garantiza un aceite de buena calidad. Los ácidos grasos destilados con ayuda de arrastre de vapor de agua, condensados y recuperados, son industrialmente atractivos para diferentes aplicaciones.³⁹

³⁶ BASIRON, 2005, "Palm Oil" sexta edición. p. 53

³⁷ TAYLOR, 2005 "Bailey's Industrial Oil and Fat Products" sexta edición p 290

³⁸ QUINTERO Tatiana 2016 2016 "Análisis de resultados prueba CRETIP". p 12

³⁹ SEGERS, 1988 Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s09.htm#TopOfPage>

Temperaturas superiores a 270 °C deben evitarse para reducir el volumen de aceite por degradación, promover la eliminación de vitaminas como tocoferoles / tocotrienoles y evitar las reacciones indeseables. Los carotenoides presentes son eliminados y descompuestos al someterse a altas temperatura. Es necesario reducir el color rojo del aceite por garantía de calidad y aceptación del cliente.

Se expresan en el Cuadro 3 las impurezas removidas o reducidas, objetivo principal de la refinación de aceites y grasas, en especial el aceite de palma. La mayoría de análisis ejecutados en este trabajo, trascienden para garantizar la efectividad de remoción o reducción de las impurezas.

Cuadro 3. Impurezas removidas o reducidas por etapas en la refinación de aceite de palma

Etapas	Impurezas removidas o reducidas
Blanqueo	Pigmentos, Pro oxidantes, trazas de metales, traza de fosfolípidos
Filtración	Tierras de blanqueo usada
Desodorizado	Ácidos grasos, productos de oxidación, mono y diglicéridos, vitaminas (b-caroteno), esteroides y compuestos volátiles

Fuente: BASIRON, 2005, “Bailey’s Industrial Oil and Fat Products” Sexta edición, 2003 p. 23

2.2 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA, PALMA BLANQUEADA Y PALMA RBD DE UN PROCESO INDUSTRIAL.

2.2.1 Características físicas y químicas de aceite crudo de palma. A partir de los resultados obtenidos en los laboratorios de grasas y aceites de la planta Bogotá y los laboratorios de aguas y suelos de la Universidad Nacional de Colombia, se realizan los respectivos análisis de los aceites muestreados para caracterizarlo según técnica y normatividad. En el Cuadro 4, se presenta las técnicas empleadas para los diferentes parámetros analizados en este trabajo.

Cuadro 4. Técnicas empleadas en los laboratorios de la planta patrocinadora Bogotá y laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia

Parámetros	Técnica
Acidez (% en ácido oleico)	Titulación, KOH 1M. AOCS Ca 5a-40
Porcentaje de Humedad	Gravimétrico a 103 °C por 5 horas AOAC 925.10, 1990
Punto de fusión (°C)	Deslizamiento sumergido en agua, capilares. AOCS Cc 6-25 (09)

Cuadro 4. (Continuación)

Parámetros	Técnica
Dobi (Deterioration of the bleachability index)	Espectrofotometría, DIN EN ISO 17932:2011
pH	Electrodo, extracto de saturación
Valor de Peróxido (meqO ₂ /kg)	Titulación Yodométrica AOCS Cd 8 – 53
Fósforo (ppm)	Calcinación e hidrólisis ácida, espectrofotometría. Standard Methods 4500-P B,E NTC 4790 y AOCS Ca 12-55
Color Lovibond (amarillo/rojo)	Espectrocolorímetro PFX Lovibond. AOCS Cc. 13 e - 92
P- anisidinas (IAn)	Análisis cuantitativo de generación de anisidinas, espectrofotometría. NTC 4197, 2001
Grasa (% en peso en base seca)	Montaje Soxhlet, durante 8 horas a 150°C. AOCS Ba 3 38
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	Acetato-NH ₄ 1M pH 7 y NaCl; volumétrico
Tamaño de partícula (µm)	Tamiz por 30 min
Metales	Método de la AOCS Ca18 – 79 Ca 18c – 91

Fuente: elaboración propia basado en CODEX ALIMENTARIUS (Normas internacionales de los alimentos), 1999.

En la Tabla 1, se presentan los resultados de la palma cruda empleada en una refinación estándar de la planta. A partir de la caracterización, se realiza un análisis y se verifica la calidad del aceite crudo de palma.

Tabla 1. Parámetros de calidad para el aceite de palma crudo

Parámetro	Mínimo	Máximo	Método	Valor
Acidez (% en ácido oleico)	--	3,5	AOCS CenML-S2-	3
Humedad (% en peso)	--	0,45	AOCS CenML-S2-	0,3
Punto de fusión (°C)	36	40	NTC217	38

Tabla 1. (Continuación)

Parámetro	Mínimo	Máximo	Método	Valor
Valor de peróxido (meqO ₂ /kg)	--	10	AOCS Cd 8 - 53	4,02
Fósforo (ppm)	5	130	AOCS Ca 12- 55	13,29
Metales (ppm)	--	NA	AOCS Ca18 - 79	Hierro (Fe) 7,12 Cobre (Cu) 0,09
			AOCS Ca 18c - 91	Plomo (Pb) 0,008

Fuente: elaboración propia

Se realizan los análisis del aceite de palma crudo mediante el método o técnica expuesta, cada uno de los parámetros analizados se encuentra dentro la norma consultada.

2.2.2 Características físicas y químicas de aceite de palma blanqueado. A partir de los resultados obtenidos físicos y químicos antes mencionados, se realiza la caracterización y el análisis del aceite de palma blanqueado. No se expone una normatividad en el aceite de palma blanqueado, ya que es un proceso intermedio del proceso de refinación. Se determinan los parámetros del aceite de palma para realizar un seguimiento riguroso del efecto de las tierras empleadas en el proceso de refinación. En la Tabla 2, se presentan los análisis empleados con los resultados obtenidos del muestreo del aceite de palma blanqueado de un proceso estándar en la planta.

Tabla 2. Parámetros físicos y químicos de la palma blanqueada

Parámetro	Unidad	Valor
Valor de Peróxido	meqO ₂ /kg	0,89
Acidez libre	%	2,93
Color (1/4 in)	Unid.	Amarillo 70
		Rojo 23
Fósforo	ppm	2,53

Fuente: elaboración propia.

Los parámetros analizados en la palma blanqueada se realizan para hacerle un correcto seguimiento al proceso de refinación y obtener una relación con los procesos de refinación a seguir. Tanto el color, la acidez libre, el valor de peróxido y el fósforo, son parámetros requeridos para la determinación de la calidad del proceso de blanqueo. Los parámetros analizados en la palma cruda y blanqueada determina la capacidad del proceso de blanqueo de retirar algunos contaminantes, el valor de peróxido y el contenido de fósforo son parámetros reducidos en esta etapa, acidez libre y el color, se reducen en pequeñas proporciones.

2.2.3 Características físicas y químicas de aceite de palma desodorizado (Palma RBD). Los parámetros analizados, son requisitos propios de calidad y control del aceite de palma RBD, garantizando un producto comestible y apto para diferentes procesos y aplicaciones en la industria. Se presenta en la Tabla 3, los resultados de los análisis físicos y químicos empleados para caracterizar la palma RBD, comparados con la normatividad.

Tabla 3. Características de la palma RBD en el proceso industrial de la planta patrocinadora

Parámetro	Unidad	Valor	Norma
Acidez libre	%	0,0251	<0,03
Valor de peróxidos (VP)	meq O ₂ /kg	0,03	<0,05
Color Lovibond, Color (5 1/4 in)	Und.	Amarillo 60,00	<Amarillo 60,00
		Rojo 3,00	<Rojo 4,00
P-Anisidinas	Und.	2,55	<4

Fuente: elaboración propia basando en la normatividad de la AOCS (American Oil Chemists' Society) y Ministerio de Salud y Protección Social.

En el proceso de refinación de aceite de palma, es claro evidenciar la considerable reducción de los contaminantes y pro oxidantes que afectan directamente el estado, la calidad y la rancidez del producto. El almacenamiento, la extracción y la refinación, son fundamentales en el proceso de reducción de ácidos grasos libres.

El color en una palma refinada puede impedir la aplicación en múltiples industrias, se debe garantizar un producto con el color deseado. En esta planta se usa un espectro colorímetro tipo Lovibond PFX Series, con un estándar internacional aceptado. La reducción del color es lograda y medida posterior al proceso de desodorización.⁴⁰

Los carotenoides son extraídos o destruidos al someterse a altas temperaturas en la etapa de desodorización, objetivo para eliminar el color rojo, causado por estas vitaminas (ver Imagen 2).

⁴⁰FEREIDOON Shahidi BAILEY'S INDUSTRIAL OIL AND FAT PRODUCTS, SIXTH EDICIÓN, Editado por, p. 172

Imagen 2. Aceite de palma crudo, aceite de palma blanqueado y aceite de palma desodorizado (RBD) a temperatura ambiente.

ACEITE CRUDO DE PALMA	ACEITE BLANQUEADO	ACEITE RBD
		

2.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS TIERRAS DE BLANQUEO GASTADAS Y TIERRAS DE BLANQUEO PURA

Las tierras de blanqueo gastadas adsorben normalmente entre un 30% a 40% en peso de aceite más pigmentos o colorantes (carotenoides), impurezas y compuestos polares. En la mayoría de industrias de aceites y grasas, disponen las tierras de blanqueo a relleno sanitario, otras empresas emplean este residuo como materia prima para procesos de compostaje. La grasa retenida en las tierras puede aprovecharse en aplicaciones industriales y se debe tener en cuenta que las tierras son espontáneamente inflamables por contener pesticidas.⁴¹ Las tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo, se clasifican como residuo ecotóxico; se realizan pruebas TCLP que determina la movilidad de los contaminantes inorgánicos por lixiviación. Según el análisis realizado por la compañía de consultoría ambiental, al superar el porcentaje de aceptación: > 50% y arrojando respuesta de presencia de coliformes totales y fecales, pero no de salmonella sp.

La planta refina aproximadamente 300 toneladas de palma cruda por día. Siendo así, necesita el 0,8% de tierras Pure flo – B80 natural sobre la masa de la palma cruda, es decir, 2,7 toneladas diarias para llevar a blanquear y se generan alrededor de 4,5 toneladas diarios de tierras residuales; en promedio se pueden estar generando 1,8 toneladas diarias entre contaminantes y aceite retenido. Se muestrean 2 kg de tierra gastada del proceso de blanqueo estándar y se evidencia en la Imagen 3 las tierras provenientes de la etapa de blanqueo.

⁴¹ HERTRAMPF, 2000 “Handbook of Ingredients of Aquaculture feeds” p. 45

Imagen 3. Tierra gastada.



Fuente: elaboración propia.

Se evidencia coloración café oscuro y mucho más aglomerado que las tierras puras, debido al contacto íntimo entre las tierras puras y el aceite de palma crudo en el proceso de blanqueo y a la adsorción de contaminantes, impurezas y grasa.

A partir de los resultados obtenidos de los laboratorios de la planta Bogotá, se determinó la humedad, aceite retenido, pH y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) realizado en los laboratorios de suelos de la Universidad Nacional de Colombia para las tierras puras y gastadas, se determinan las características en la Tabla 4.

Tabla 4. Caracterización física y química de la tierra de blanqueo gastada y tierra de blanqueo pura.

Parámetros	Unidad	Tierra pura (estándar)	Tierra gastada
Humedad	%	1,564	10,955
pH	pH	7,5	3,72
CIC	meq/100g	35,1	1,78
Aceite remanente	%	0	35,85
Tamaño de partícula	(μm)	>45	N.A.

Fuente: Elaboración propia.

Las tierras de blanqueo gastadas contienen un mayor valor de humedad que las tierras puras, aumentando este valor en el proceso de blanqueo. Las tierras de blanqueo pura contienen entre 1% a 2% de humedad para una actuación correcta en el blanqueo, manteniendo una gran área superficial.⁴²

El pH de la tierra pura es de 7,0 a 7,5, esta tierra empleada en el blanqueo de aceite de palma es neutra pH 7,5 y no pasa por una activación ácida. Las tierras gastadas poseen un pH 3,72 adquiriendo una acidez debido a la adsorción y

⁴² TAYLOR, 2005, "Bailey's Industrial Oil and Fat Products" sexta edición p. 286

presencia de aceite retenido y contaminante. Según los análisis de corrosividad realizados por la compañía de consultoría ambiental LTDA, la acidez presentada es alrededor de 3,787 y no presenta características de residuo corrosivo, ya que no está dentro los rangos establecidos.⁴³

El porcentaje de aceite retenido depende en su mayoría del proceso de filtración, según Taylor, para las tierras Pureflo-B80, si se realiza un correcto proceso de filtración no deberá sobrepasar el rango de 25 a 35% de aceite retenido⁴⁴, El porcentaje de aceite remanente para las tierras gastadas está sobre el límite. Finalmente, la capacidad de intercambio catiónico, (ver Anexo A) es una propiedad de los suelos para adsorber cationes, intercambiándose por otros cationes fijados en la superficie y en espacios interlaminares. La tierra pura Pure flo – B80 natural, es una tierra o arcilla de origen natural, contiene iones de calcio y magnesio como cationes de intercambio, con una densidad comprimida de 688 g/L.⁴⁵ Dado que en el proceso de blanqueo el objetivo de las tierras es realizar retención y adsorción de impurezas y contaminantes, las tierras gastadas poseen claramente menor capacidad de intercambiar iones.

⁴³ MARCHENA Luz et al, 2009 p. 27

⁴⁴ TAYLOR, 2005 “Bailey’s Industrial Oil and Fat Products” sexta edición p. 36

⁴⁵ TAYLOR 2005 “Bailey’s Industrial Oil and Fat Products” sexta edición p.43

3. TRATAMIENTO DE LAS TIERRAS

Las tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo poseen propiedades con aplicabilidad en concentrados para animales, se puede extraer el contenido de grasa, o al someterlo a elevadas temperaturas para obtener diferentes aplicaciones⁴⁶. Se conoce, de tiempo atrás, que las tierras gastadas retienen en gran cantidad de grasa y se debe principalmente a la eficiencia del equipo de filtración. La disposición de este desecho es cada vez más compleja, el manejo ahora y en el futuro es un reto para la industria.⁴⁷

Existen diferentes tratamientos de regeneración de tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo; cuatro tipos de tratamientos diferentes son enunciados en el Cuadro 5, evaluados por diferentes autores, obteniendo un rendimiento al incorporar estas tierras regeneradas en el proceso de blanqueo. Se destacan dos tratamientos por su alta actividad posterior al tratamiento; de estos dos tipos de tratamientos, en este capítulo se evalúa y se selecciona el mejor tratamiento de regeneración de tierras provenientes de la etapa de blanqueo de aceite de palma.

Cuadro 5. Tratamientos evaluados por diferentes autores.

Tratamiento	Metodología	Autor
Extracción con percloroetileno	Contacto íntimo entre Percloroetileno y las tierras usadas con un rendimiento del 75%.	Klein, 1986
Extracción con solventes y posterior calcinación	Mayor rendimiento de las tierras tratadas con condiciones de temperatura 550°C y 120 minutos y un rendimiento del 95% al 98%.	Zahari, Daous, 2000 Haro Carlos, 2012
Extracción acuosa con carbonato de sodio	Se somete las tierras usadas a intima interacción con carbonato de sodio, quedando alrededor del 3% de aceite remanente y posterior autoclave en presencia de NaOH, con un rendimiento del 60% en el blanqueo.	Klein, 1986 Taylor, 2005
Extracción con hexano y posterior autoclave	Se separa la grasa con Hexano y posterior autoclave, éste método tiene alrededor del 80% de rendimiento.	Taylor, 2005 Haro Carlos, 2012

Fuente: elaboración propia

⁴⁶ Hertrampf, 2000 "Handbook of Ingredients of Aquaculture feeds" p 65

⁴⁷ Lusas E. 2003 "ANIMAL AND VEGETABLE FATS, OILS AND WAXES", Décima edición p. 290

Extracción con percloroetileno. Proceso realizado a las tierras gastadas con solvente percloroetileno. Se agita suave por 15 minutos a 20°C, se filtra y se obtiene 2,8% de aceite; si se realiza el mismo proceso a las mismas condiciones pero a 70°C, se obtiene 2% de aceite residual.⁴⁸

Extracción con solventes y posterior calcinación. La extracción con diferentes solventes (acetona, éter de petróleo, metiletilcetona y hexano). Se obtuvo con metiletilcetona mayor cantidad de extracción de aceite residual. Se realiza para todos los ensayos las mismas variaciones, tierra gastada en calcinación en temperaturas desde 400°C a 600°C, por diferentes tiempos (de 0-200 minutos). Al emplear como solvente acetona, una temperatura de 550 °C y un tiempo de 120 minutos, se obtiene el mejor resultado en el tratamiento de las tierras gastadas.⁴⁹

Extracción acuosa con carbonato de sodio. Se mezcla la tierra gastada con carbonato de sodio acuoso al 5% a 95°C por 30 minutos en agitación; se filtra y se obtiene alrededor del 3,1% de aceite residual. Se realiza por varias veces el mismo procedimiento para aumentar la cantidad de aceite residual extraído. Se mezcla en una relación arcilla-agua 1:2; se trabaja en una autoclave a presión de 3-30 bar con hidróxido de sodio, con agitación controlada. El aceite residual obtenido se puede trabajar en producción de ácidos grasos.⁵⁰

Extracción con hexano y posterior autoclave. Extracción con hexano para obtener un aceite con cualidades similares al aceite crudo y este extracto se recupera para obtener aplicaciones industriales. Se realiza extracción soxhlet durante 6 horas continuas y posterior autoclave a 200°C por 2 horas manteniendo una presión parcial de oxígeno de 0,5 MPa.⁵¹

Selección del tratamiento. Los dos tratamientos con mayor rendimiento fueron seleccionados. Carlo Haro en el 2012 trabajó en estos mismos tratamientos de regeneración de tierras de blanqueo, obteniendo diferentes rendimientos a escala laboratorio, trabajo nombrado como “Diseño conceptual de una planta de recuperación de arcillas de blanqueo empleadas en la decoloración de aceites vegetales comestibles”. Extracción con hexano (solvente de grado analítico) y posterior sometimiento en autoclave a una presión 1,5 bar y 111°C, tratamiento según Carlos Haro con un rendimiento del 80%. El segundo tratamiento constituye de una extracción con acetona (solvente de grado analítico) para luego calcar a 550°C por 1,5 horas, equivalente a un rendimiento del 98%. Zahari, Daous, Haro y Taylor evaluaron estos dos tratamientos de regeneración de tierras, dado que existen diferentes autores que destacan su alta actividad posterior al tratamiento,

⁴⁸ KLEIN, T. 1986 “Methods for recovering Oil from Spent Bleaching Earth” AOCS press, p 170

⁴⁹ HARO Carlos, 2012 “Diseño de una planta conceptual de una planta de recuperación de arcillas de blanqueo empleadas en la decoloración de aceites vegetales comestibles” p. 47

⁵⁰ TAYLOR, 2005, p. 288

⁵¹ TAYLOR, 2005 p. 290

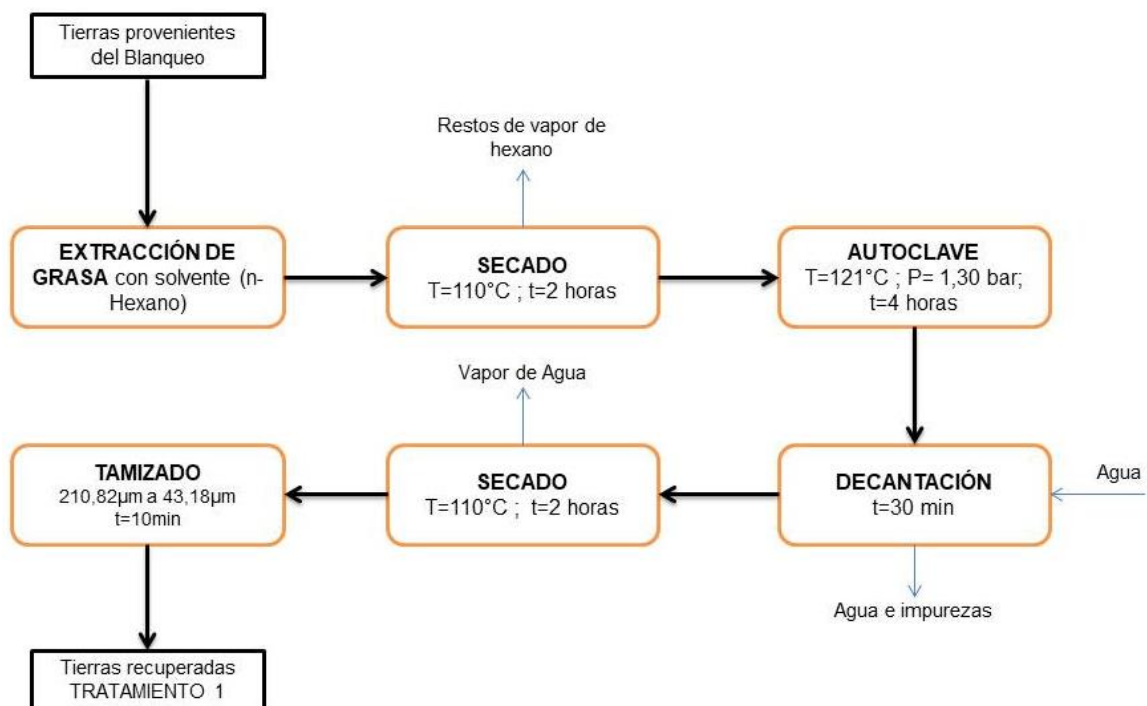
se seleccionan estos dos tratamientos para el desarrollo del trabajo y se realiza la experimentación en los laboratorios de la empresa patrocinadora.

3.1 EXPERIMENTACIÓN

Se realiza experimentación con tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo del proceso industrial, muestreadas previamente. Los tratamientos empleados cumplen el fin de regenerar las tierras gastadas y reincorporarlas en el mismo proceso de blanqueo. Cada tratamiento se divide en dos etapas. El primer tratamiento a evaluar es extracción con hexano (primera etapa) y posterior autoclave (segunda etapa); y, el segundo tratamiento consta de una extracción con solvente acetona (primera etapa) y posterior calcinación (segunda etapa).

3.1.1 Extracción con hexano y posterior autoclave. Se realiza método de extracción de grasa con hexano grado analítico a las tierras gastadas y se obtiene un aceite recuperado. Posterior a la extracción, las tierras son sometidas en autoclave a 121°C a presión 1,3 bar por 4 horas. En la Figura 4, se muestra el procedimiento realizado como el primer tratamiento a evaluar.

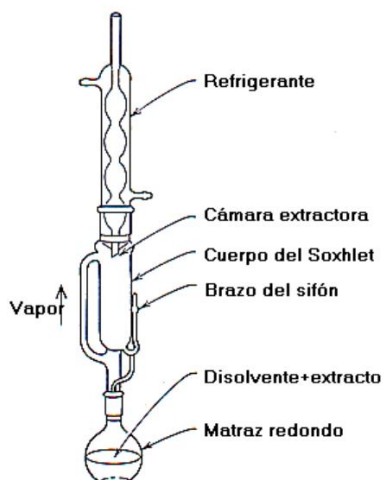
Figura 4. Esquema metodología tratamiento 1, extracción con hexano y posterior autoclave



Fuente: elaboración propia

Se realiza tratamiento a partir 500 g de tierras gastadas. Se usó un equipo de extracción soxhlet con capacidad de 250 mL, constituido de un balón o matraz fondo plano, una cámara extractora, cámara refrigerante para entrada y salida de agua y una plancha de calentamiento bajo el matraz para ejercer ebullición sobre el solvente. En la Figura 5, se ilustra el montaje del equipo soxhlet empleado con sus componentes.

Figura 5. Esquema de equipo de extracción soxhlet para limpiar las tierras



Fuente: OCÓN, Vian “Elementos de Ingeniería Química”. Ed. Aguilar. 5ª Edición. 1979 p. 12

En la primera etapa del tratamiento, se usa solvente hexano como medio para extraer la mayor cantidad de aceite retenido en las tierras gastadas. Para 20 g de muestra son necesarios 200 mL de solvente. Se debe usar según metodología AOCS el 10% del peso del solvente a manejar. El montaje fue sometido durante 8 horas continuas, a ebullición de solvente controlado en un plancha de calentamiento eléctrica a 110°C y reflujo de condensado del gas hexano a 8°C según la metodología AOCS Ba 3 38. Se determinan grupos de sustancias con propiedades afines apolares en base en la afinidad del solvente (n-Hexano).⁵² El proceso de extracción finaliza cuando se evidencia en el cuerpo del montaje, al no poseer coloración, significado de grasa remanente, se recupera el solvente empleado. “Existen dos formas de retirar el solvente, la primera es calentando la solución y evaporando el hexano hasta no evidenciar ebullición dentro de una cabina de extracción, para retirar los gases; y la segunda, y más común, es recuperar el solvente por medio de un rota evaporador, sometiendo la solución a temperatura, agitación y vacío controlado (60°C, 180 rpm y 500 mbar, respectivamente). Se calcula el porcentaje de grasa por cuadruplicado y se obtiene una extracción de 35,86% de grasa por peso de muestra.

⁵² BOJACA Pilar diciembre 2007 p. 2

En la segunda etapa del tratamiento, las tierras se someten en un horno de secado a 110°C por 2 horas hasta asegurar la total evaporación de solvente remanente y se obtienen 325g aproximadamente de tierras secas. Se incorporaron las tierras gastadas en un filtro de tela con tamaño de poro inferior a 10 μm y previamente sellado en costura. Se requiere un equipo autoclave que pueda generar el proceso propuesto por los autores mencionados previamente, de manera que se emplea un equipo autoclave que opera a temperaturas de 111°C y 1,3 bares. Se realiza procedimiento a estas condiciones, (al comprender el sentido de someter las tierras gastadas a alta presión de vapor de agua) procedimiento realizado durante 4 horas seguidas.

Se llevan las tierras a vapor de agua y altas presiones, rompe en gran parte la interacción entre adsorbato (contaminantes, colorantes y aceite) y adsorbente (tierras).⁵³ Se emplean lavados con agua a 60°C durante 30 min, cada lavado se realiza con 2 litros de agua por 10 minutos, con el fin de retirar la mayor cantidad de contaminantes que se desorbieron en el autoclave.⁵⁴ La tierra húmeda es incorporada en un horno de secado a 110°C por 2 horas, para retirar el agua presente. En la Imagen 4, se evidencia el montaje soxhlet y el equipo autoclave empleado para realizar el tratamiento.

Imagen 4. Montaje soxhlet empleado para extracción de grasa (izquierda) y sistema autoclave con vapor de agua (derecha)



Fuente: elaboración propia

El diámetro de partícula es importante en el proceso de blanqueo, ya que entre mayor área superficial posean las tierras, mayor adsorción de aceite habrá, pero puede generar pequeños inconvenientes aumentando las pérdidas de grasa adsorbida y generando problemas de filtración. Se debe asegurar la calidad del diámetro de partícula hasta un límite por medio de unos platos de tamizaje, ya que los filtros ejecutados en la etapa de blanqueo poseen un tamaño de poro específico y no lograrían retener las partículas inferiores 20 μm . Al finalizar el

⁵³ TAYLOR, D. 2005 p. 287

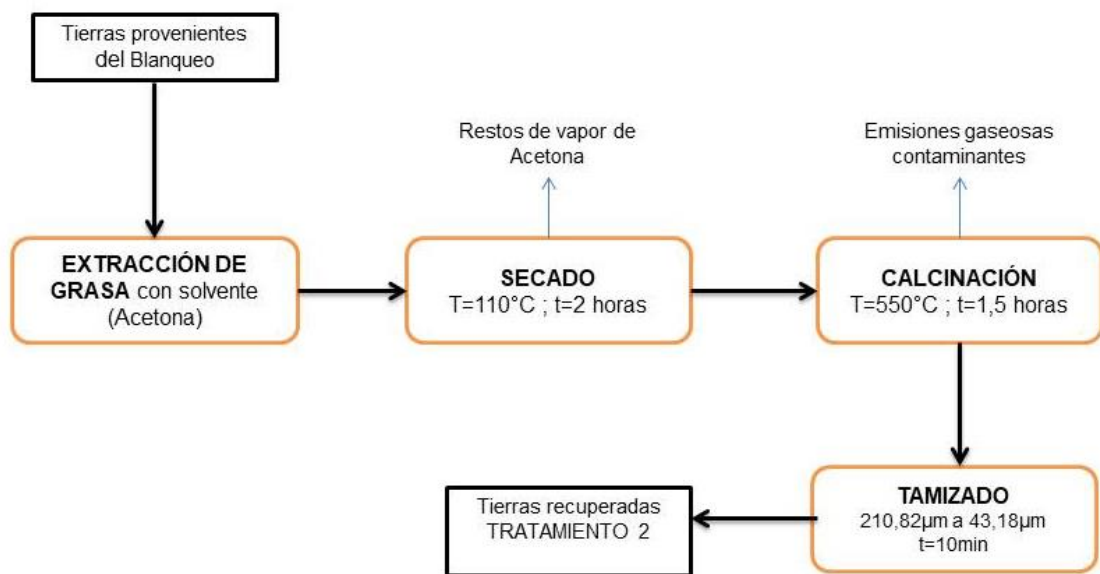
⁵⁴ HARO Carlos, 2012 p. 48

procedimiento se logra recuperar alrededor de 306,8 g de tierra lista para realizar el proceso de blanqueo.

3.1.2 Extracción con Acetona y posterior calcinación. En la primera etapa de este tratamiento, las tierras gastadas se llevan a un proceso extracción con acetona. Se emplean 200 mL de solvente para 20 g de tierras gastadas. Las condiciones empleadas son las mismas que en la primera etapa del tratamiento 1, a excepción del tiempo, alcanza un tiempo de extracción por metodología soxhlet de 12 horas continuas; el tiempo requerido se determina cuando el solvente se encuentra en el cuerpo del sistema y no registra alguna coloración, en ese momento el solvente ha retirado todos sus componentes de interés.

En la figura 6, se ilustra el procedimiento realizado como tratamiento por el método 2.

Figura 6. Esquema metodología tratamiento 2, extracción con acetona y posterior calcinación.



Fuente: elaboración propia

Se realiza el tratamiento a partir de 500 g de tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo de refinería industrial. El solvente acetona es un solvente orgánico, que a temperatura ambiente se encuentra como un líquido incoloro; se evapora fácilmente, es inflamable y soluble en agua; ya que es un compuesto polar, interacciona fácilmente y extrae sustancias afines a la polaridad del solvente en las tierras gastadas.⁵⁵ Se extrae el solvente de la misma manera que en la

⁵⁵HERNANDEZ Oscar. OECD SIDS, ACETONE CAS N°: 67-64-1, Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/67641.pdf> [Consultado el 24 / 10/ 18]

metodología del tratamiento 1, y se recupera el solvente. El porcentaje extraído, se realizó por cuadruplicado; promedio 42,23% de grasa por peso de muestra. Posterior a la extracción con solvente, las tierras tienen solvente remanente, por eso, se someten las tierras en un horno de secado a 110°C por 2 horas hasta asegurar la total evaporación. Se obtiene posterior a la extracción con acetona, 290 g de tierras secas.

En la segunda etapa del tratamiento, se llevan las tierras gastadas a un proceso de calcinación a 550°C por 1,5 horas, parámetro establecido por diferentes autores obteniendo un 98% de rendimiento con respecto a las tierras puras.⁵⁶ Como las tierras son neutras, no es necesario realizar un tratamiento de las tierras incluyendo activación con ácido. Se realiza de la misma manera el proceso de tamizaje a las mismas condiciones que el método anterior. Se logra recuperar alrededor de 255,2 g de tierras por el tratamiento 2.

3.2 ANÁLISIS DE LOS TRATAMIENTOS REALIZADOS


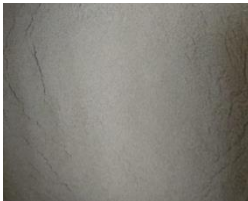

Las tierras regeneradas bajo los tratamientos empleados y las tierras puras son comparadas mediante algunos análisis importantes que caracterizan las tierras de blanqueo. (Ver Tabla 5)

Para una mayor claridad en la interpretación de los resultados obtenidos, se enuncian por nomenclatura a las tierras según el tratamiento:

Tierras puras Pure flo – B80 -----	TIERRA PURA
Tierra regenerada por medio del tratamiento (Extracción con hexano y posterior autoclave) -----	TIERRA A
Tierra regenerada por medio del tratamiento (Extracción con acetona y posterior calcinación) -----	TIERRA B

⁵⁶ HARO Carlos, 2012 p. 104

Tabla 5. Comparación de las tierras regeneradas y la tierra adsorbente pura

	Tierra pura (Pure flo - B80)	Tierra, A	Tierra, B
Imagen			
Apariencia, color	Blanco hueso	Gris oscuro	Beige claro
Duración metodología tratamiento en lab.	N.A.	60 horas	30 horas
pH	7,5	4,6	7,27
Humedad (%)	1,56	1,47	1,45
(CIC)	35,1	28,0	46,6
meq/100g			
Grasa remanente (%)	N.A.	8,1	1,23

Fuente: elaboración propia

Se realizan análisis físicos y químicos de las tierras regeneradas y tierras puras, para lograr realizar una breve comparación.

Las tierras A (extracción con hexano y autoclave), presentan una coloración gris claro, evidentemente no alcanza a tener una apariencia cercana a las tierras puras. Para las tierras B (extracción con acetona y posterior calcinación) presenta una coloración ligeramente beige claro, que permite intuir que se obtuvo una mejor limpieza en el tratamiento.

Las tierras gastadas poseen un pH alrededor de 3,72, debido al grado de acidez adquirido en el proceso de blanqueo por la adsorción de gran cantidad de grasa. En el tratamiento 1, se logra aumentar el pH de las tierras gastadas a un pH de 4,6, se espera llegar a un pH neutro, ya que las tierras puras Pure flo – B80 son neutras. Esto indica que no fue posible limpiar en su totalidad algunos contaminantes y grasa remanente, como fue calculado con la metodología soxhlet con solvente hexano, que según Haro evidencia alrededor de 8,1% de grasa remanente en las tierras regeneradas.⁵⁷ Para el segundo tratamiento, el pH se encuentra dentro de la neutralidad esperada: 7,27; se verifica que se ha realizado una correcta limpieza de algunos contaminantes y se obtiene alrededor de 1,23% de grasa que influye en la disminución de acidez.

⁵⁷ HARO Carlos, 2012 p.102

Se verifica que se ha realizado a los dos tratamientos la extracción de humedad necesaria para poderlas incorporar a la etapa de blanqueo sin ninguna afectación.

Como bien se ha venido explicando en estudio, la Capacidad de intercambio catiónico CIC es una propiedad de los suelos para intercambiar iones por otros sobre la superficie y por medio de espacios interlaminares. La CIC de las tierras puras Pure flo – B80 corresponde a 35,1 meq/100 g. 46,6 meq/100 g corresponde las tierras B, obteniendo un valor superior a la tierra pura, debido al proceso del tratamiento empleado (extracción con solvente y posterior calcinación), el proceso de calcinación puede generar fracturas en la estructura de las tierras y aumenta la superficie específica.⁵⁸ Y las tierras A obtuvieron una CIC de 28 meq/100 g. Se considera para los dos tratamientos realizados una gran aceptación en este parámetro ya que se puede evidenciar limpieza de algunos tipos de impurezas y grasa, los tratamientos promueven el aumento de la CIC.

Para determinar la mejor alternativa como tratamiento de tierras usadas, se tiene en cuenta que la metodología del tratamiento empleada, retire o separe la mayor cantidad de agentes adsorbidos en las tierras, para ello, la extracción con solventes (hexano y acetona) juegan un papel importante.

3.2.1 Análisis de la primera etapa de los tratamientos. Según O’Brien, las tierras de blanqueo tienen una capacidad de adsorción del 30% a un 35% de grasa.⁵⁹ Al realizar la extracción con solventes, se espera llegar a estos resultados y retirar la mayor proporción de grasa de las tierras gastadas. Se desarrolla la cuantificación del contenido en producto por medio del solvente hexano y acetona se evidencia en la Tabla 6 los resultados.

Tabla 6. Cuantificación de la extracción con solventes Acetona y Hexano

	HEXANO	ACETONA
%Extraído	35,90%	42,23%

Fuente: elaboración propia

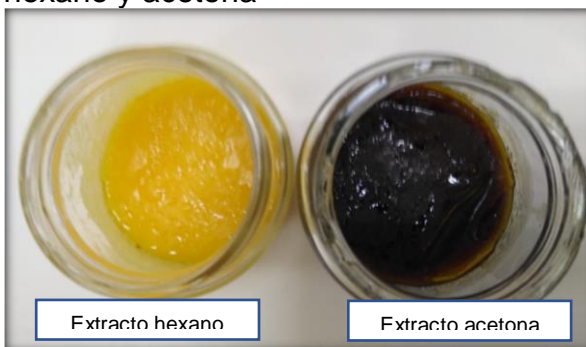
Al emplear la acetona como solvente, aumenta el contenido extraído a un valor de 42,23% en peso de tierras gastadas, siendo mayor a la masa extraída con hexano, debido a la afinidad de la acetona con compuestos polares, contaminantes y

⁵⁸ HARO Carlos, 2012 p. 104

⁵⁹ O'BRIEN R, 2009 p. 48

pigmentos.⁶⁰El color de las grasas extraída es notorio (ver Imagen 5), ya que al usar hexano como solvente, la grasa posee una coloración amarilla y al usar acetona como solvente, obtiene un color café oscuro.

Imagen 5. Extracto de las tierras gastadas con solventes, hexano y acetona



Fuente: elaboración propia

3.2.1.1 Análisis de metales extraídos según solvente. Se realizan a los extractos, cuantificación de metales (Hierro, Cobre y Plomo) y se puede determinar la afinidad de estos metales con los solventes empleados. En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7. Contenido de metales de la grasa obtenida con solventes

Metales analizados	Grasa extraída con Hexano	Grasa extraída con Acetona
Hierro (Fe) ppm	0,3195	0,9583
Cobre (Cu) ppm	0,2516	0,6195
Plomo (Pb) ppm	<0,01	<0,01

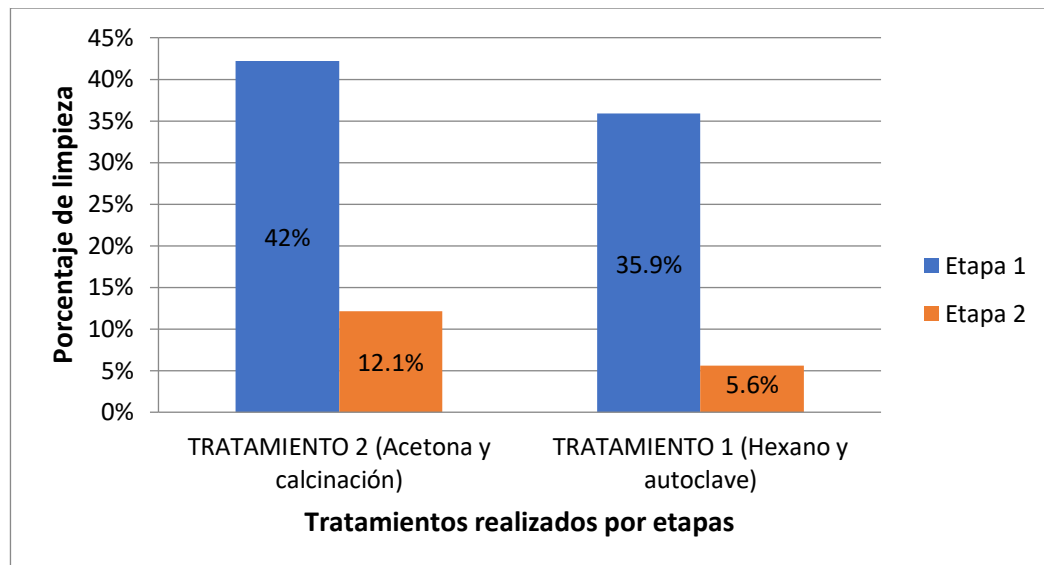
Fuente: elaboración propia basada en calidad interna de la planta Bogotá

El solvente refleja la afinidad con ciertos compuestos más que otros, el solvente acetona de grado analítico retira aproximadamente 3 veces más metales que el hexano. Se refleja para los dos casos que el contenido de plomo es inferior a 0,01 ppm.

3.2.2 Análisis de la segunda etapa de los tratamientos. Para la segunda etapa, es cuantificada la calidad de los tratamientos realizados por medio de la masa retirada, evidenciados en el Gráfico 1, el cual se realiza la cuantificación de cada etapa por tratamiento empleado.

⁶⁰ ZAHIRANI y DAOUS, 2000. "Recycling of spent bleaching clay and oil recovery" p.128

Gráfico 1. Comparación entre los tratamientos realizados y el grado de extracción y limpieza



Fuente: elaboración propia

Las tierras de blanqueo tienen una capacidad de adsorción del 15% de su peso en impurezas y pigmentos, además del poder de retención de un 30% a un 35% de grasa.⁶¹ De modo que se evidencia en el tratamiento 2, una mayor capacidad de extracción con acetona hasta un 42%, referente al color oscuro del extracto (ver Imagen 7), se puede deducir que además de extraer grasa, arrastra alta cantidad de contaminantes; la segunda etapa consta de un proceso de calcinación a 550°C, volatilizand 12,12% de impurezas y pigmentos retenidos en las tierras adsorbentes. En el tratamiento 1, la primera etapa consta de un proceso con hexano, extrayendo alrededor de 36%, menor al tratamiento 2; en la segunda etapa, existe una limpieza del 5,62% de los contaminantes por medio de autoclave y posterior lavados con agua a 60°C por 30 min.

Se valida el tratamiento teniendo en cuenta la capacidad de la metodología para retirar compuestos adsorbidos, siendo el tratamiento 2 (extracción con acetona y posterior calcinación) la mejor opción para retirar la mayor cantidad de contaminantes y grasa. A pesar de que el tratamiento 2 obtiene mejor rendimiento, se procede a evaluar los dos tratamientos para no descartar resultados del producto refinado con tierras A. Se procede a evaluar el aceite de palma blanqueado y palma RBD con los dos tipos de tierras regeneradas, en el siguiente capítulo.

⁶¹ O'BRIEN R, 2009 pg 48

4. EVALUACION DE LA PALMA RBD MEDIANTE LA REUTILIZACIÓN DE LAS TIERRAS REGENERADAS

En este capítulo, se considera evaluar las tierras bajo las dos metodologías de tratamiento y se determina el desempeño en el proceso de refinación de palma mediante experimentación en plantas piloto.

Posterior a la determinación del mejor proceso de refinación con las tierras regeneradas o tratadas, el objetivo del capítulo es obtener una concentración favorable entre las tierras nuevas y tierras regeneradas. Ya definida la concentración adecuada de incorporación de tierras, se determina el número de reincorporaciones cíclicas posibles, teniendo en cuenta el tratamiento y concentración de la tierra seleccionada. Se realiza el análisis y la caracterización física y química del aceite de palma crudo, aceite de palma blanqueado, el aceite de palma RBD y las tierras puras y gastadas en cada proceso realizado.

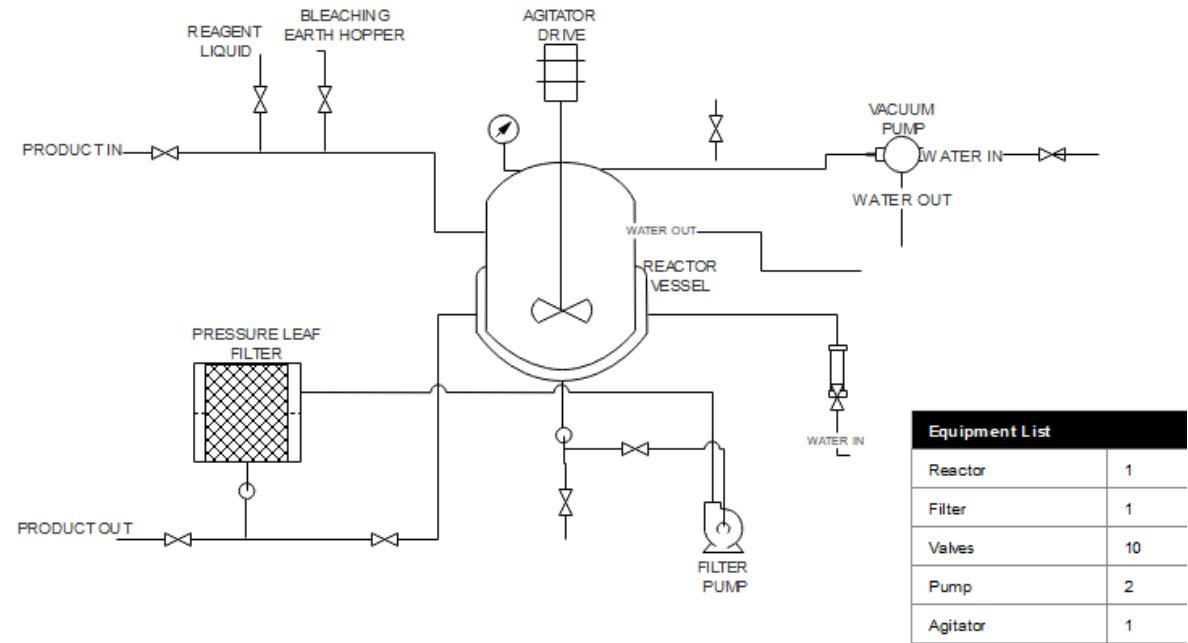
4.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL DE PRUEBAS DE BLANQUEO Y DESODORIZADO CON TIERRAS DE LAS DOS METODOLOGÍAS DE TRATAMIENTO EN PLANTAS PILOTO

Se realiza pruebas experimentales de blanqueo y desodorizado en plantas piloto para validar la funcionalidad de las tierras con los dos tratamientos empleados. Las pruebas se realizan reemplazando completamente la tierra de blanqueo Pure Flo - B80.

4.1.1 Equipos empleados de planta piloto. Los equipos empleados para la refinación de palma, consta de dos etapas; blanqueo y desodorizado, son equipos piloto tipo batch y poseen 20kg de capacidad máxima. Para mantener una imparcialidad en los procesos, se realiza la experimentación con las mismas condiciones de operación en el proceso de refinación.

En el Diagrama 3 y 4 se encuentra el diagrama de proceso de los equipos piloto de blanqueo y desodorizado, respectivamente, ubicado en la planta al sur de Bogotá, empleado para realizar el desarrollo experimental.

Diagrama 3. Diagrama de flujo de proceso de blanqueo y filtrado en plantas piloto.

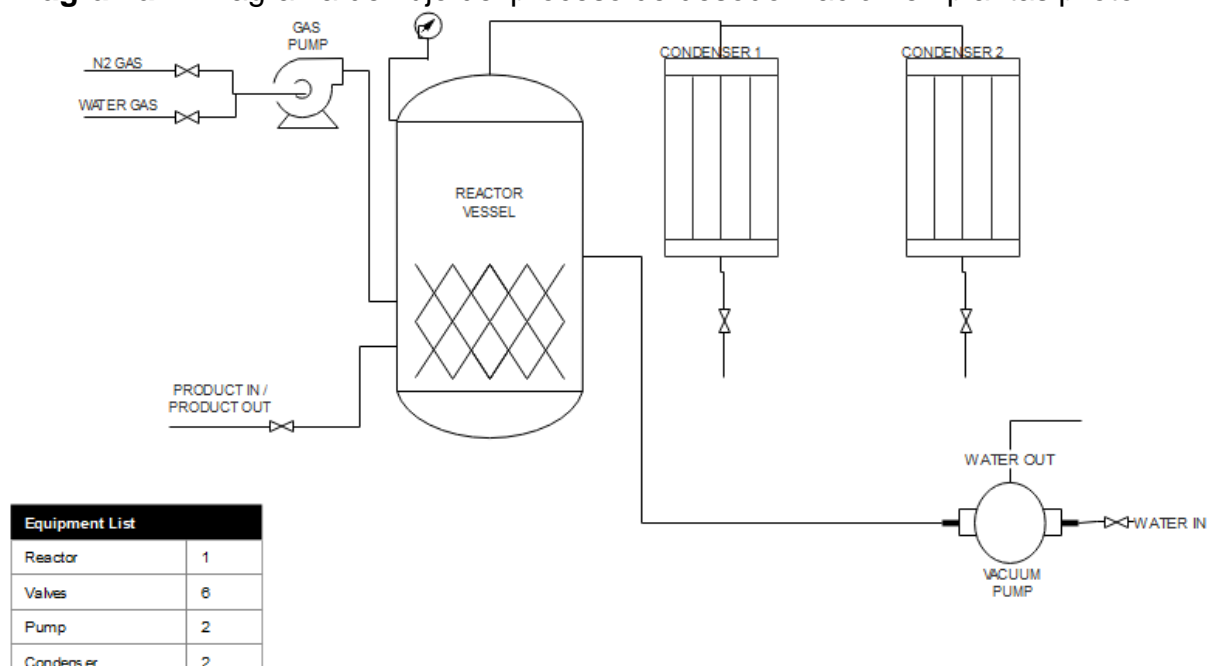


Fuente: elaboración propia realizado el diagrama en Edraw Max 8.7.exe, basado de planta piloto de la compañía patrocinadora

El proceso de blanqueo en plantas piloto tipo batch consta de un tanque de calentamiento por conducción de vapor de agua, agitación, bomba de vacío y una etapa de filtración para el descargue de la palma blanqueada sin tierra de blanqueo. Se debe instalar adecuadamente el filtro de tela para no generar fugas, ya que al no garantizar la correcta instalación del filtro, puede influir negativamente en el proceso de desodorizado, como el color y olor.

En el Diagrama 4, se representa el diagrama de flujo del proceso de desodorización empleado para las experimentaciones en plantas piloto.

Diagrama 4. Diagrama de flujo del proceso de desodorización en plantas piloto



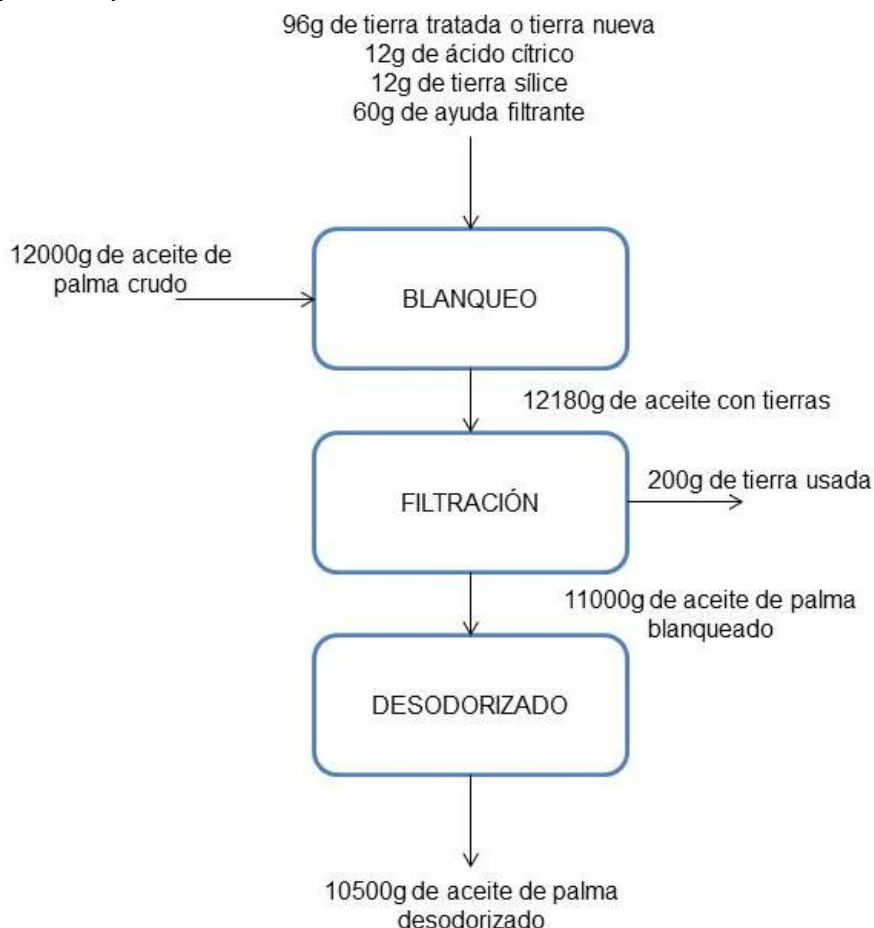
Fuente: elaboración propia realizado el diagrama en Edraw Max 8.7.exe, basado de planta piloto de la compañía patrocinadora

El proceso piloto de desodorizado tipo batch, posee el mismo principio del proceso en planta industrial, consta de un tanque reactor con calentamiento eléctrico, en el que es sometida la grasa a gas nitrógeno durante el acondicionamiento hasta una temperatura de 100°C para que el vapor de agua no se condense dentro del tanque; el vapor seco ocasiona barbotaje intenso a altas temperaturas (220°C a 260°C) y con ayuda de dos pilas continuas (-8°C, -22°C), condensador 1 y 2 respectivamente, garantizando la destilación de la mayor cantidad de ácidos grasos libres, que causan el olor y sabor característico del aceite de palma crudo y los carotenos presentes se degradan en su mayoría por efecto de las altas temperaturas.

4.2 SELECCIÓN DE LA TIERRA, EVALUANDO LA PALMA RBD EN EL PROCESO DE REFINACIÓN A ESCALA PLANTAS PILOTO

4.2.1 Experimentación en plantas piloto con tierras de las dos metodologías de tratamientos. En el Diagrama 5, se muestra la metodología experimental empleada para realizar los ensayos del aceite RBD en plantas piloto. Teniendo en cuenta que es la misma metodología para estos tres ensayos, se realizan tres procesos de refinación, un proceso estándar (con tierras totalmente nuevas), un segundo ensayo con tierra del tratamiento 1 (Tierras A) y otro ensayo con tierra del tratamiento 2 (Tierras B). Se reemplaza el 100% de la tierra Pure-flo B80 para evidenciar el rendimiento de las tierras regeneradas, ya que el objetivo de la tierra Pure-flo B80 es retirar la mayor cantidad de contaminantes.

Diagrama 5. Diagrama de bloques y balance de masa de los ensayos realizados de los procesos de refinación de aceite de palma RBD, en plantas piloto



Fuente: elaboración propia

El proceso realizado está expresado en un diagrama de bloques, se muestra la metodología empleada y un balance de masa teniendo en cuenta pérdidas en el sistema de 8,05%, debido a que normalmente se realiza una purga de aceite para limpiar líneas antes de descargar. Las tierras puras adquieren más masa, ya que adsorben contaminantes y grasa en el proceso.

Se propone adicionar un filtro de tela posterior al descargue de la palma blanqueada para asegurar y garantizar que no se filtre ninguna partícula, se evidencia efectivamente que se filtraban partículas por el filtro del propio equipo (ver Imagen 6). El filtro tiene capacidad de uso de hasta 40 procesos de blanqueo continuos. Se propuso asegurar la calidad de la tierra dentro de un rango de diámetro de partícula por especificaciones técnicas de las tierras adsorbentes puras $200\ \mu\text{m} > 40\ \mu\text{m}$ e incorporar en todos los procesos de blanqueo un filtro de tela posterior al descargue de la palma.

Imagen 6. Filtro de tela incorporado al descargue de aceite de palma de la etapa de blanqueo



Fuente: elaboración propia

La planta refinadora en Bogotá, posee en el proceso de blanqueamiento tres etapas de filtración sin incluir tierras con características de ayuda filtrante como se mencionó en el capítulo 2. El proceso de blanqueo en plantas piloto posee únicamente una etapa de filtración. Se propone para los procesos incluir tierras con características de ayuda filtrante (0,5% sobre peso de la palma cruda). Además de incorporar ayudas filtrantes, se incluye un filtro de tela al descargue de la palma blanqueada asegurando que ninguna partícula suspendida se filtre. En el Cuadro 6 se presenta el porcentaje de dosificación en el proceso de blanqueo con respecto a la masa del aceite de palma crudo.

Cuadro 6. Dosificación de un proceso estándar de blanqueo de aceite de palma.

Dosificación estándar*	
Pure-flo B80	0,8%
Tierra Sílice	0,1%
Tierra ayuda filtrante	0,5%
Ácido cítrico	500 ppm

Fuente: elaboración propia basado en planta Bogotá

* Dosificación empleada en proceso por unidad de masa del aceite crudo de palma.

En el Cuadro 7 se mencionan las condiciones de operación de un proceso estándar de blanqueo y se usan estas condiciones para todos los procesos de blanqueo en plantas piloto hasta 90°C a 95°C.

Cuadro 7. Condiciones de operación de un blanqueador tipo batch estándar de aceite de palma

Variables	Unidad	Valor
Agitación	rpm	700 - 800
Vacío	mmHg	400
Tierra de blanqueo sobre el peso de la palma	%	0,9

Fuente: elaboración propia basado en planta Bogotá

En el cuadro 8, se muestran las condiciones establecidas para el proceso de desodorizado, teniendo en cuenta que este proceso en la planta industrial posee las mismas condiciones actuales de la planta piloto.

Cuadro 8. Condiciones de operación del equipo de desodorización en plantas piloto

Variables	Unidad	Valor
Barbotaje	mL/min	2,3
Vacío	mmHg	2 a 5
Temperatura desodorizador	°C	250
Temperatura condensador 1	°C	-8
Temperatura condensador 2	°C	-22

Fuente: elaboración propia basado en planta Bogotá

4.2.2 Evaluación del aceite de palma usando las tierras regeneradas. Se realizan 3 ensayos en plantas piloto (ensayo estándar, ensayo tierra A y ensayo B), se determinan los parámetros físicos y químicos del aceite de palma crudo, el aceite de palma blanqueado y el aceite de palma desodorizado para cada uno de los ensayos.

Todos los ensayos de refinación (blanqueo y desodorizado), se realizan a las condiciones mismas actuales del proceso de refinación de la planta industrial, en el que indica las condiciones de un proceso batch de blanqueo y desodorización (ver Cuadro 7 y Cuadro 8, respectivamente).

4.2.3 Caracterización física y química de la palma cruda empleada. La palma cruda utilizada en los ensayos de refinación en plantas piloto, es tomada de un tanque de almacenamiento de la planta industrial, dicha palma cruda es utilizada para los tres procesos de refinación piloto que se realizaron, con fecha lote de 200818. En la Tabla 8, se enuncian los valores determinados de la palma cruda.

Tabla 8. Parámetros del aceite de palma crudo empleado

Parámetros	Valor
Humedad (% en peso)	0,3
Valor de Peróxido(meqO ₂ /kg)	4,83
Acidez (% en ácido oleico)	3,064
Fósforo (ppm)	13,29
	HIERRO 7,82
Metales (ppm)	COBRE 0,085
	PLOMO 0,009

Fuente: elaboración propia basada en Calidad interna planta Bogotá.

Se obtienen los datos analizados en los laboratorios mencionados y cumplen con cada una de las normatividades. Dentro de los parámetros de calidad interna de la planta no se determina la cantidad de fósforo presente y el valor de peróxido. Se propuso incluir estos parámetros en el análisis del aceite de palma crudo para realizar un correcto seguimiento al proceso de refinación.

4.2.4 Caracterización física y química del aceite de palma blanqueada. Se realiza ensayo del proceso estándar o ensayo patrón, de manera que se pueda comparar los resultados de las palmas blanqueadas por medio de las dos metodologías de tierras regeneradas. El primer ensayo se realiza con tierras A y el segundo ensayo se realiza con tierras B. Se realizaron los muestreos respectivos de la palma blanqueada y se ejecutaron los análisis cuyos resultados se ven en la Tabla 9.

Tabla 9. Características de la palma blanqueada para los ensayos realizados con tierra nueva y tierras regeneradas

Parámetros	Palma RB Proceso Estándar	Palma RB Proceso Tierras A	Palma RB Proceso Tierras B
Color Lovibond Color (5 $\frac{1}{4}$ in)	Amarillo70	Amarillo 70	Amarillo 70
Color Lovibond Color (5 $\frac{1}{4}$ in)	Rojo 23	Rojo 29	Rojo 23
Ácidos grasos libres (%)	2,93	3,6	2,98
Valor de peróxido (meqO ₂ /kg)	0,89	1,2	0,91

Fuente: elaboración propia

Se encuentra deficiente en diferentes aspectos la palma blanqueada con tierras A, debido a que el tratamiento 1 obtuvo una menor eficiencia de remoción de contaminantes e impurezas.

El color en un producto RBD es un indicativo de qué tan claro puede llegar a estar el aceite. Se enuncia que el color es un parámetro de calidad bastante importante para definir si el aceite es apto para aplicaciones en la industria. Se determina que los resultados de las palmas blanqueadas presentan un buen aspecto en el color. En el proceso de blanqueamiento el color es un parámetro que no determina la calidad de remoción que se obtiene por la incorporación de tierras en esta etapa; la destrucción de carotenoides (reducción del color rojo) se realiza en la etapa de desodorización.

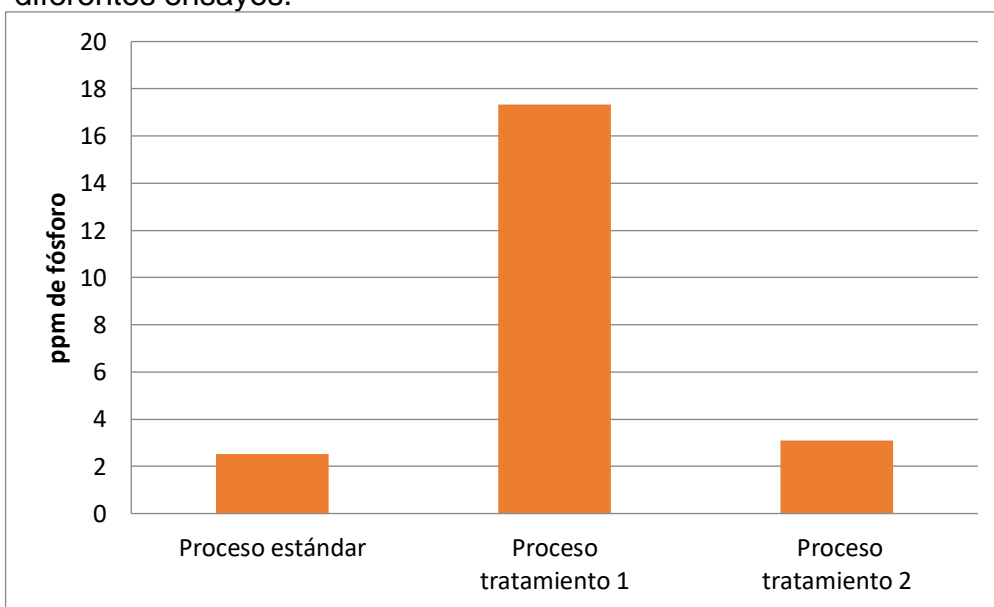
Una de las funcionalidades del blanqueo es retirar parcialmente ácidos grasos libres, en estos ensayos se determinan la acidez libre de la palma blanqueada incorporando tierras puras, tierras A y tierras B; la acidez de la palma cruda posee un valor de 3,064% en peso de muestra, se evidencia una reducción en el proceso estándar de blanqueo con tierras puras, hasta un 2,93%. Las tierras de blanqueo generalmente no retienen gran cantidad de acidez libre. Se evidencia en la palma blanqueada del ensayo con tierras A, un aumento de los ácidos grasos libres con respecto a la acidez de la palma cruda; se determina que las tierras regeneradas con este tipo de metodología no realiza un proceso de adsorción si no de desorción de acidez residual remanente en las tierras regeneradas, por el tipo de tratamiento ejecutado.

Se relaciona el resultado obtenido del valor de peróxido para la palma cruda, siendo 4,83 meqO₂/kg y la reducción de este valor al someterlo a blanqueamiento, las tierras puras de blanqueo en el proceso estándar y el ensayo con la tierra B, obtuvieron un valor de peróxido de 0,89 meqO₂/kg y 0,91 meqO₂/kg, respectivamente, ya que se usaron tierras adecuadas para retener agentes que

promueven la degradación y la oxidación de la palma. Sin embargo se resalta el resultado del valor de peróxido 1,2 meqO₂/kg de la palma blanqueada con la tierra A, ya que no alcanza la adecuada adsorción de pro oxidante.

En el proceso estándar de blanqueo se obtienen 2,53 ppm de contenido de fósforos como se evidencia en el Gráfico 2. Se usan tierras regeneradas en el proceso de blanqueo y el parámetro fósforo presente en la palma con tierras A, no logró un proceso de retención de fósforos de la palma cruda en la etapa de blanqueo, posee hasta 17,34 ppm de contenido de fósforo. El aceite de palma RBD del tratamiento 2, posee un valor de 3,1 ppm, cumpliendo con el proceso de separación del contaminante en el aceite de palma.

Gráfico 2. Contenido de fósforo presente en la palma blanqueada de los diferentes ensayos.



Fuente: elaboración propia

La palma cruda posee 13,29 ppm de contenido de fósforo, las tierras A del proceso de blanqueo superan este valor en 17,34 ppm de contenido de fósforo, además no cumplen con norma Codex Stan 210 de 1999⁶², el cual deberá ser no máximo de 10 ppm; se puede concluir del proceso de blanqueo con tierras A un incremento en el contenido de fósforo del aceite de palma refinado. En el proceso de blanqueo con tierras B se muestra una adecuada limpieza de contenido de fósforo.

⁶² CODEX ALIMENTARIUS (Normas internacionales de los alimentos), Codex Stan 210 – 1999.

4.2.5 Caracterización de las tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo. Posterior al proceso de descargue del aceite de palma blanqueado, se pasa toda la línea de filtrado y descargue a alta presión de vapor para limpiar completamente, además esta técnica somete las tierras a un proceso de exprimido y separa la mayor cantidad de grasa retenida, evitando posibles desperdicios. Se muestran en la Tabla 10 los análisis realizados a las tierras gastadas.

Tabla 10. Características de las tierras gastadas en cada uno de los ensayos realizados

Parámetros	Proceso Estándar	Proceso Tratamiento 1	Proceso Tratamiento 2
Humedad (% en peso)	1,99	1,86	1,94
Grasa remanente (% peso en base seca)	39,02	40,57	41,23
pH	3,72	3,86	4,02

Fuente: elaboración propia

El porcentaje de grasa se evalúa mediante la metodología soxhlet AOCS Ba 3 38. Se encuentra en el proceso estándar de blanqueo una mayor retención de grasa en plantas piloto que a nivel industrial. En planta se usan altas presiones de vapor de agua sobre las tierras gastadas y genera hasta un 35% de grasa retenida y se obtienen menores desperdicios. Para un proceso de blanqueo de aceite de palma se usan las tierras neutras (pH 6,5 – 8), para las tierras usadas el pH disminuye, según la caracterización de las tierras gastadas de la compañía consultora ambiental⁶³, se obtuvo un pH de 3,787 lo cual se valida con los resultados obtenidos.

4.2.6 Caracterización de la palma RBD. Ya descargado el aceite de palma blanqueado y garantizando una adecuada filtración para todos los ensayos, se incorpora el aceite blanqueado en el tanque desodorizador a las condiciones de operación mencionadas previamente (vacío, flujo de vapor y altas temperaturas). Se promueve culminar la refinación y de esta manera determinar el estado del aceite de palma RBD evidenciado en la Tabla 11. No se analizó el contenido de fósforos presentes en el aceite de palma RBD, ya que en el proceso de desodorización no se remueve y no se aporta.

⁶³ PRUEBA CRETIP, Determinación de ecotoxicidad (Daphnia) en los residuos procedentes de la refinación física. p. 13

Tabla 11. Características de la palma RBD para los diferentes ensayos realizados

Parámetros	Palma RBD Proceso Estándar	Palma RBD Proceso Tratamiento 1	Palma RBD Proceso Tratamiento 2
Color Lovibond (5 1/4 in)	Amarillo 60	Amarillo 73	Amarillo 48,1
Color Lovibond (5 1/4 in)	Rojo 3,5	Rojo 5,6	Rojo 3,4
Acidez (% de ácido oleico)	0,0219	0,0239	0,0417
Valor de Peróxido (meqO ₂ /kg)	0,3129	1,41	0,4923

Fuente: elaboración propia.

La palma blanqueada estándar presenta un valor de color aceptable, con resultados de amarillo y rojo muy cercanos al máximo permitido, el color depende directamente de la palma cruda inicial. La palma RBD del proceso realizado con tierras B obtuvo mejores resultados al estándar, dado que la CIC de las tierras B es superior al valor de CIC de las tierras puras. La palma RBD del ensayo 1 obtuvo un color superior a los máximos de la norma (ver Cap. 2.2.6), esto debido a la presencia de contaminantes no retenidos y si desorbidos por efecto del tratamiento 1 realizado a las tierras.

El proceso de desodorizado no depende de la calidad del blanqueamiento para poder separar y destilar los ácidos grasos libres, por eso, se demuestra en los resultados obtenidos una acidez libre de buena calidad para los tres ensayos realizados.

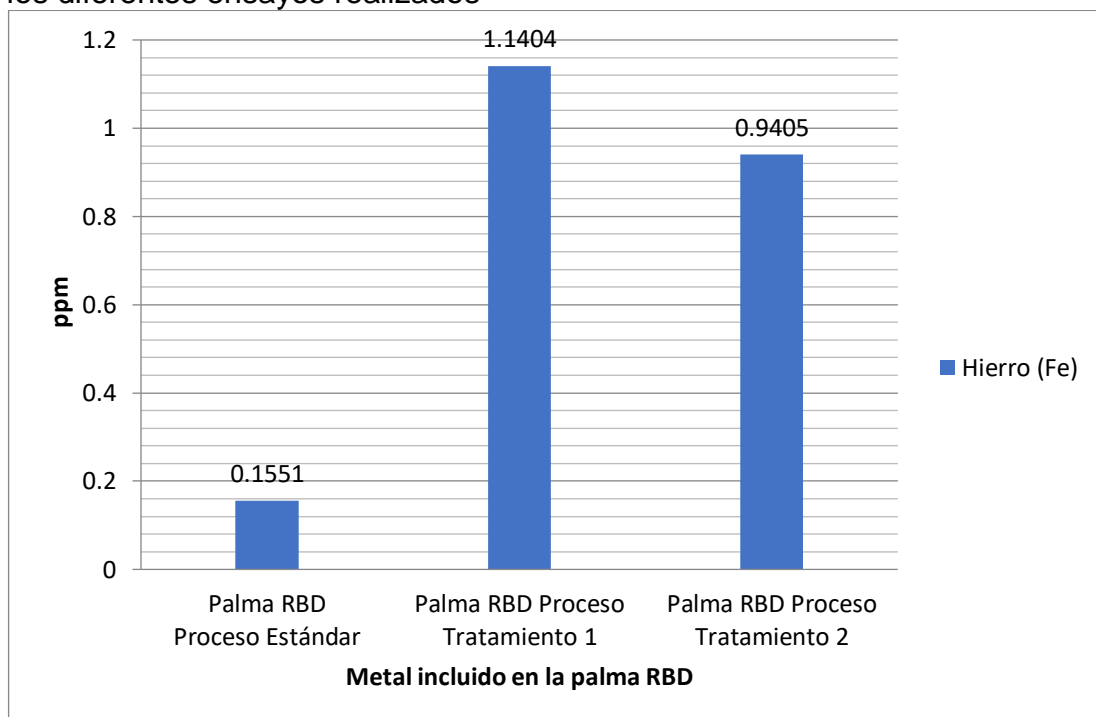
Se evidencia una notable diferencia entre las palmas RBD de los procesos estándar y el proceso con tierra A al poseer un valor de peróxido elevado superior a la norma⁶⁴, máximo 0,05 meqO₂/kg, al no realizar una correcta retención de contaminantes metálicos que promueven la oxidación. En cambio la palma RBD del ensayo 2, refleja un valor de peróxido dentro de la normatividad.

Debido a la presencia elevada de valor de peróxido se propone incluir el análisis de metales dentro del repertorio de análisis establecidos. Se presencia cantidades elevadas de hierro en los ensayos realizados con las tierras regeneradas sin embargo se encuentran dentro de la normatividad <1,5 ppm de Hierro (ver Gráfico 3). Se realiza el análisis de metales (Hierro, Cobre y Plomo), el cual se identifica

⁶⁴ LONDOÑO Beatriz, Ministra de salud y protección social, Resolución 2154 de 2012, Ley 09 de 1979, 170 de 1994 y el numeral 30 del artículo 2° del decreto ley 4107 de 2011. Cap 1.

mediante los siguientes gráficos, en partes por millón. Es evidente aclarar que la palma RBD del ensayo 1 presenta mayor cantidad de metales que para el caso de la palma RBD del ensayo 2 se obtiene mejores resultados, cercanos a la refinación estándar. (Ver Anexo C)

Gráfico 3. Cantidad de Hierro presente en ppm en las palmas blanqueadas de los diferentes ensayos realizados

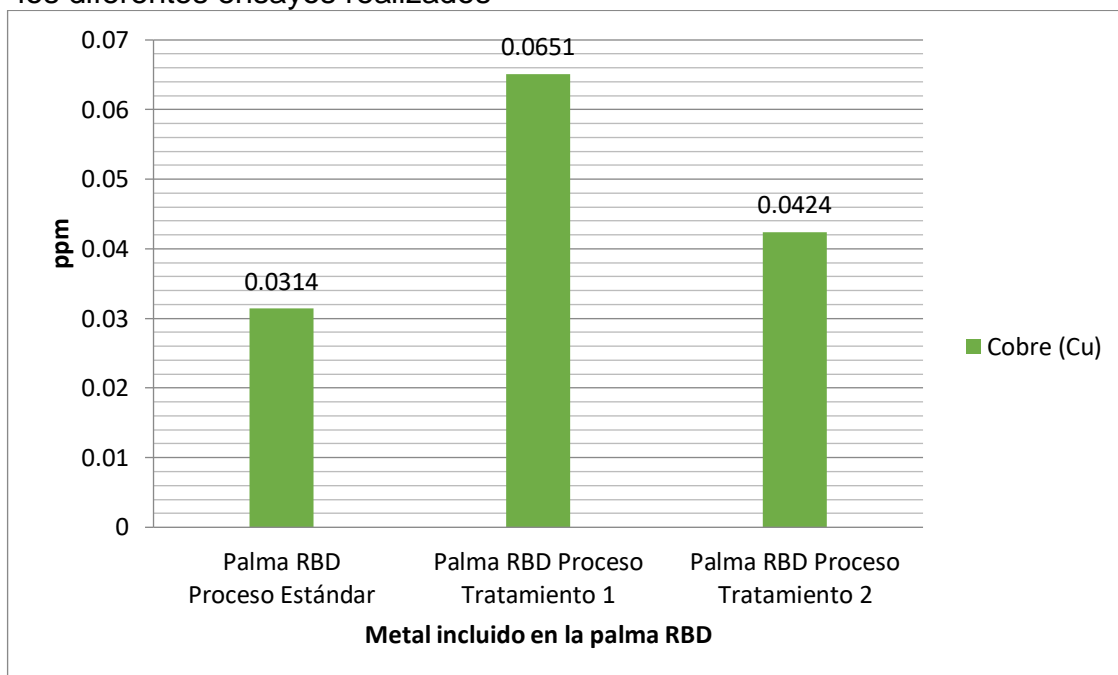


Fuente: elaboración propia

Los metales en las grasas son promotores directos de oxidación, actuando como catalizadores directos de oxidación primaria, lo que genera un aumento en el valor de peróxido, parámetro requerido por calidad y normatividad mundial, se valida el efecto de los metales en el poder de degradación de las grasas, dicho efecto es más notorio en presencia de plomo, seguido de hierro y cobre⁶⁵. En el Gráfico 4, se expresa el contenido de cobre presente y en el Gráfico 5, el contenido de plomo en partes por millón.

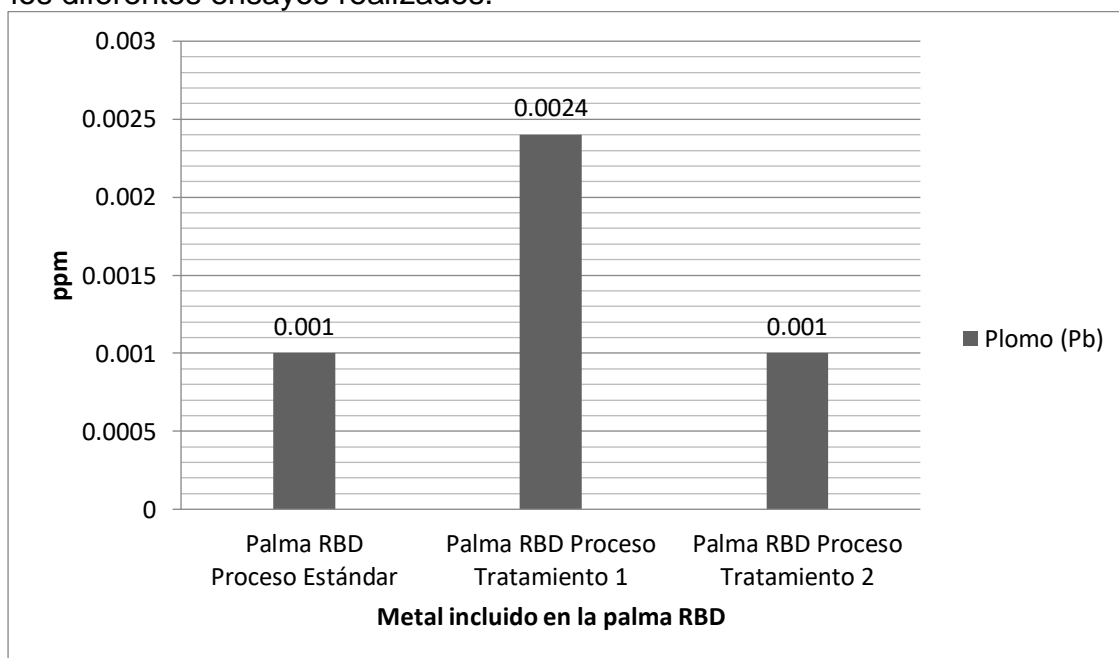
⁶⁵RINCÓN Sandra Milena y MARTÍNEZ Daniel Mauricio Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria 2009 Volumen 3 p 15

Gráfico 4. Cantidad de Cobre presente en ppm en las palmas blanqueadas de los diferentes ensayos realizados



Fuente: elaboración propia

Gráfico 5. Cantidad de Plomo presente en ppm en las palmas blanqueadas de los diferentes ensayos realizados.



Fuente: elaboración propia

Se comparan los resultados de los análisis físicos y químicos del aceite de palma RBD de los ensayos realizados y el aceite del proceso estándar y se evidencia una apta capacidad de remoción de las tierras B obteniendo un resultado satisfactorio en los análisis de calidad del aceite de palma refinado.

4.2.7 Eficiencia de remoción de las tierras de blanqueo según tratamientos empleados. Las diferentes tierras empleadas en los procesos de refinación poseen una funcionalidad frente al proceso, el grado o calidad de remoción influye directamente en el proceso de desodorización; la retención de impurezas asegurará una calidad impecable del producto. Se realiza análisis del grado o eficiencia de remoción para cada parámetro comparable según tierras empleadas.

$$Eficiencia = \frac{So - S}{So} \times 100\%$$

So = Carga contaminante de Entrada

S = Carga contaminante de Salida

En este caso la carga contaminante de entrada, son los parámetros analizados de la palma cruda empleada en la refinación, y la carga contaminante de salida son los parámetros físicos y químicos de la palma refinada. En la Tabla 12, se demuestra la eficiencia de remoción según los tratamientos empleados.

Tabla 12. Eficiencia de blanqueo empleando tierras puras y tierras de ambos tratamientos para cada parámetro.

Parámetros	E estándar*	E proceso 1*	% Diferencia* *	E proceso 2*	% Diferencia* *
Valor de peróxido	93,50	70,81	24,27	87,74	6,16
Acidez libre	99,29	99,22	0,07	98,64	0,65
Fósforo	80,96	-30,47	137,34	76,67	5,30
Metales (Fe)	98,02	85,42	12,85	87,97	10,25
(Cu)	63,06	23,41	62,87	50,12	20,52
(Pb)	100,00	76,00	24,00	100,00	0,00

Fuente: elaboración propia

*Eficiencia evaluada con grado de remoción de impurezas del aceite de palma crudo empleado en el proceso de refinación. (E estándar = Tierra pura; E proceso 1= Tierra A;

E proceso 2=Tierra B)

** Diferencia porcentual entre la eficiencia del proceso estándar y la eficiencia de los procesos de blanqueo propuestos.

Las eficiencias de remoción evaluadas para el proceso estándar y los parámetros analizados del proceso de refinación no necesariamente alcanzan un 100%. Se determina el porcentaje de diferencia que existe entre la eficiencia del proceso estándar y la eficiencia determinada de los ensayos propuestos.

Como se refleja en la Tabla 12, la eficiencia del proceso del ensayo 1, fue menor a excepción de la acidez, ya que son removidos los ácidos grasos libres en el proceso de desodorización y las tierras no influyen en este parámetro. El contenido de fósforo presente en la palma blanqueada del ensayo 1, obtuvo un comportamiento desfavorable al evidenciar desorción de las tierras regeneradas hacia el aceite de palma, se demuestra por medio de la caracterización del aceite, motivo de presentar una eficiencia de valor negativo y un porcentaje de diferencia superior al 100%. La metodología de tratamiento para las tierras gastadas con mejor rendimiento es la extracción con acetona durante 12 horas continuas y posterior calcinación a 550°C por 90 minutos elaborado a escala laboratorio.

4.3 INCORPORACIÓN DE LA TIERRA REGENERADA SELECCIONADA EN PLANTAS PILOTO

Ya seleccionado el tratamiento (Tierra B) con mejores rendimientos en el proceso de refinación de aceite de palma, se considera en esta sección la determinación de la concentración adecuada de incorporación de las tierras regeneradas en compañía de las tierras puras Pure flo – B80, con el objetivo de mejorar el proceso de blanqueo y desodorizado. Se determinará si al disminuir las tierras regeneradas, se mejora la palma blanqueada y la palma RBD en términos de calidad.

4.3.1 Metodología de incorporación en el proceso actual de blanqueo y desodorización en plantas piloto. Se desea determinar el rendimiento de las tierras regeneradas en el proceso de refinación en plantas piloto, razón por la que se propone plantear una estrategia al modificar la variable independiente entre tierras puras y tierras regeneradas, se observa en el Cuadro 9. Los porcentajes de dosificación son sobre peso de palma cruda a blanquear.

Cuadro 9. Ensayos realizados variando la relación de tierras regeneradas y tierras puras

Ensayos	Tierra pura Pure flo - B80 (%)	Tierra Silica (%)	Tierra regenerada (%)
E1*	0	0,1	0,8
E2	0,2	0,1	0,6
E3	0,4	0,1	0,4

Fuente: elaboración propia

*Ensayo 1, se realiza en el literal 4.2

Las tierras Pure flo - B80 tienen una capacidad de dosificación en el proceso de blanqueo de 0,8 % por peso del aceite crudo de palma según la dosificación estandarizada para el proceso. Para el primer ensayo se plantea reemplazar por completo las tierras Pure flo B80, por tierras regeneradas, proceso ya realizado y analizado en el literal 4.2. El aceite de palma crudo fue almacenado a temperatura controlada a 45°C, de manera que se puede incluir este ensayo en los análisis de esta sección. Se requiere disminuir la concentración de las tierras regeneradas y aumentar las tierras puras, de manera que se espera una palma blanqueada y desodorizada con mejores características.

La metodología de estos ensayos y condiciones de operación se realiza de la misma forma que se realizaron los ensayos con tierras regeneradas en el literal 4.2. La metodología de mezclado entre tierras puras pure flo-B80 y tierras regeneradas antes del proceso de blanqueo se realiza con anterioridad al proceso.

4.3.2 Caracterización de las tierras regeneradas. Se realiza la metodología del tratamiento de las tierras seleccionado (Tierra B). Se espera mejorar el rendimiento de la palma refinada aumentando la cantidad de tierras puras y disminuyendo las tierras regeneradas, para ello, en cada uno de los ensayos, se alista previamente la mezcla de las tierras a la concentración específica entre tierras nuevas y tierras regeneradas. Se realizan los análisis de las tierras antes de incorporarse al proceso evidenciados en la Tabla 13.

Tabla 13. Parámetros analizados de las tierras variando las concentraciones entre tierras puras y tierras regeneradas

Parámetros	Proceso estándar	Proceso Ensayo 1	Proceso Ensayo 2	Proceso Ensayo 3
Humedad (% en peso)	1,56	1,53	1,46	1,48
pH	7,2	7,5	7,32	7,28
CIC (meq/100g)	35,1	46,6	34,8	33,9

Fuente: elaboración propia

A medida que disminuye la cantidad de tierras regeneradas y aumentan las tierras puras, presenta tendencia a conservar mayor neutralidad aproximándose cada vez más a las tierras puras (0,8 de Pure Flo B80) que poseen un pH de 7,2. Las tierras antes del proceso de refinación presentan una humedad que disminuye en pequeñas proporciones a medida que se reducen las tierras regeneradas.

La capacidad de intercambio catiónico CIC de las tierras antes del proceso de blanqueo, disminuye a medida que se incluyen las tierras puras dentro de la mezcla: para las tierras regeneradas se encuentra un valor de 46,6 meq/100 g, al disminuir la concentración de tierras regeneradas e incluir 0,2% de tierras puras,

genera un valor de 34,8 meq/100 g por debajo del valor de las tierras puras, permite determinar que al incluir tierras puras dentro de la mezcla a dosificar, la calidad disminuye notoriamente, debido a una posible intervención de las tierras regeneradas sobre las tierras puras y no permite realizar de forma correcta la adsorción.

4.3.3 Caracterización de la palma blanqueada. Se lleva a cabo el proceso de refinado teniendo en cuenta los parámetros de operación establecidos por directrices de la planta y propias enunciados durante el trabajo en la sección 4.2.1. Se realizan los análisis físicos y químicos en los laboratorios de la compañía, arrojando resultados que se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Parámetros de la palma blanqueada variando la concentración de tierras puras y tierras regeneradas

Parámetros	Palma estándar	Palma E1	Palma E2	Palma E3
Color Lovibond (5 $\frac{1}{4}$ in)	Amarillo 70 Rojo 23	Amarillo 70 Rojo 24	Amarillo 70 Rojo 24	Amarillo 70 Rojo 24
Acidez (% de ácido oleico)	2,93	2,8992	2,8846	3,39
Valor de peróxido (meqO ₂ /kg)	0,89	0,54	1,56	5,19
Fósforo (ppm)	2,53	2,34	3,53	3,89

Fuente: elaboración propia

Se evidencia en los resultados obtenidos de la palma blanqueada para los diferentes ensayos que a medida que se aumenta la concentración de tierras puras versus tierras regeneradas, la calidad del producto desmejora notablemente en esta etapa. Se puede inferir la causa de este efecto debido a la mezcla de estas tierras incluidas en el proceso de blanqueo.

Uno de los objetivos del proceso de blanqueo de aceite de palma es la reducción del contenido de fósforo, a medida que se reduce la concentración de tierras regeneradas en la dosificación, desmejora y adsorbe menor cantidad de fósforo. Se profundizan los resultados obtenidos del aceite refinado en el ítem 4.3.5.

4.3.4 Caracterización de las tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo. Posterior al proceso de filtrado se obtienen las tierras gastadas de cada ensayo realizado y se desarrollaron los análisis requeridos para determinar según el proceso, el estado actual y la cantidad de grasa retenida. En la Tabla 15, se enuncian los resultados de los parámetros analizados.

Tabla 15. Parámetros analizados de las tierras gastadas del proceso de refinación de palma variando las concentraciones de las tierras

Parámetros	Proceso estándar	Proceso Ensayo 1	Proceso Ensayo 2	Proceso Ensayo 3
Humedad (% en peso)	1,96	6,06	3,34	4,56
Grasa (% en peso en base seca)	35,0	38,2	42,76	45,25
pH	4,53	4,03	4,01	4,32
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	1,78	3,88	2,12	1,68

Fuente: elaboración propia

El porcentaje de grasa retenido de peso en base seca, se obtuvo mediante la metodología soxhlet, se garantiza la extracción de lípidos polares con solvente hexano, como se describe en el método de la AOCS Ba 3 38. Se obtienen los resultados de la cantidad de grasa remanente en las tierras gastadas. Se evidencia aumento en el porcentaje de grasa a medida que disminuyen las tierras regeneradas, efecto que produce una mala dosificación de tipo de tierras al perder su capacidad de adsorción de contaminantes y aumento de retención de grasa⁶⁶.

El pH determinado para las tierras gastadas evidencia la retención de ácidos grasos y contaminantes que disminuyen la acidez. Para todos los casos analizados, el pH de las tierras gastadas está dentro de los resultados esperados según los resultados de las pruebas Cretip.⁶⁷

Se determina la capacidad de intercambio catiónico de las tierras gastadas posterior al proceso de blanqueo para evidenciar la capacidad que poseen todavía las tierras gastadas de intercambiar iones. Las tierras del ensayo 1 (tierras B) obtienen un valor de CIC superior al valor determinado de la tierras puras, esto se debe al tratamiento empleado ya que al someter las tierras a calcinación, genera ruptura y aumenta la superficie específica permitiendo obtener mayor CIC antes y después del proceso de blanqueo.⁶⁸

⁶⁶ HARO Carlos 2012 "Diseño de una planta conceptual de una planta de recuperación de arcillas de blanqueo empleadas en la decoloración de aceites vegetales comestibles" p 102

⁶⁷ PRUEBA CRETIP Y ECOTOXICIDAD (DAPHINA) en los residuos procedentes de la refinación física.

⁶⁸ HARO Carlos 2012 "Diseño de una planta conceptual de una planta de recuperación de arcillas de blanqueo empleadas en la decoloración de aceites vegetales comestibles" p 104

4.3.5 Caracterización de la palma RBD. Posterior al proceso de blanqueo se descarga la palma blanqueada al tanque desodorizador garantizando previamente una correcta filtración. Se desarrolla la desodorización a las condiciones establecidas inicialmente, posterior al proceso de desodorizado se descarga la palma RBD a 50°C en un bidón obteniendo aproximadamente 10,5 kg. Se realizan los análisis requeridos, mostrados en la Tabla 16 y se analiza la viabilidad de la propuesta ensayada.

Tabla 16. Parámetros analizados de la palma RBD para las variaciones de concentración de tierras

Parámetros	Proceso estándar	Proceso Ensayo 1	Proceso Ensayo 2	Proceso Ensayo 3
Color Lovibond	Amarillo 57	Amarillo 57	Amarillo 57	Amarillo 65
Celda (5 1/4 in)	Rojo 3,5	Rojo 3,4	Rojo 4,7	Rojo 10
Acidez (% en ácido oleico)	0,0219	0,0255	0,0179	0,01
Valor de peróxido (meqO ₂ /kg)	0,3129	0,1631	0,8919	1,78
Valor de p anisidina (IAn)	2,86	2,92	3,89	5,72
Metales (ppm)	(Fe) 0,1551 (Cu) 0,0314 (Pb) <0,01	(Fe) 0,9405 (Cu) 0,0425 (Pb) <0,01	(Fe) 0,9711 (Cu) 0,0388 (Pb) <0,01	(Fe) 1,1538 (Cu) 0,0442 (Pb) <0,01

Fuente: elaboración propia

Al reemplazar el 100% de las tierras puras por tierras regeneradas, en el ensayo 1 se puede evidenciar la notable disminución del color amarillo con respecto al color de la palma RBD del proceso estándar, obteniendo un rendimiento superior. La reducción del color en la palma RBD del ensayo 1 se debe principalmente a las tierras regeneradas, ya que se obtuvo un valor de CIC superior al resultado obtenido de las tierras totalmente puras, causa de un mejor rendimiento en disminuir los colores en la palma.

Para un aceite de palma RBD, el color lovibond según la norma, deberá ser máximo para amarillo 60 y máximo 4 para rojo. Se evidencia en el ensayo número dos (0,6% tierras regeneradas y 0,2% tierras Pure flo B80 y el ensayo tres (0,4% de tierras regeneradas y 0,4% tierra Pure flo – B80,) un aumento en el color amarillo y rojo, debido a una incorrecta retención de algunos contaminantes y β carotenos que se oxidaron antes de ser adsorbidos en la etapa de blanqueo, generalmente por el tipo de pH que poseen las tierras, ya que interfiere en las vías

de oxidación de los β carotenos.⁶⁹ Se tiene en cuenta que esta reacción libera un radical, ya que es una reacción de auto-oxidación⁷⁰. En la etapa de desodorización, la degradación del β -caroteno sigue diferentes mecanismos. Los carotenoides en presencia de calor experimentan isomerización cis-trans o reaccionan con el oxígeno presente para formar dirradicales⁷¹. Según estudios realizados, se definen que al cambiar el tipo de tierra afecta directamente el color final del aceite de palma debido a reacciones de oxidación,⁷² Se puede verificar este fenómeno, al analizar el crecimiento continuo del valor de anisidina a medida que se disminuyen las tierras regeneradas ya que genera productos secundarios de oxidación que no fueron retenidos. Generalmente el tipo de tierra de blanqueo define las vías de oxidación⁷⁶ y debido a estas oxidaciones indeseables, logra fijar el color del aceite de palma a un color oscuro. No se encuentra una relación directa y un estudio profundo al disminuir el contenido de tierras regeneradas, ya que son tierras que fueron sometidas a diferentes procesos para poder incorporarlo en el proceso y no se ha desarrollado estudios profundos en la variación de la concentración entre tierras puras y tierras regeneradas.

La acidez libre no posee inconformidades fuera de la normatividad de calidad establecida. Este parámetro no depende del tipo o calidad de tierras incluidas en la etapa de blanqueo, ya que en el proceso de desodorización se extraen y se destilan los ácidos grasos libres.

Debido al aumento del contenido de Hierro presente en la palma RBD, a medida que disminuye la concentración de tierras regeneradas con respecto a la cantidad de tierras puras, genera un aumento en la oxidación primaria en el aceite refinado, el cual se verifica con el incremento del valor de peróxido.

Al tratar de aumentar las tierras regeneradas y de esta manera mejorar el aceite de palma refinado, se puede evidenciar un mejor rendimiento en el proceso de refinación de aceite de palma reemplazando 100% de las tierras puras por tierras con un tratamiento seleccionado (tierra B), está clasificado por el buen desempeño obteniendo resultados sobresalientes sobre las demás propuestas al tratar de disminuir la cantidad de tierras regeneradas y aumentar las tierras puras. Los demás ensayos representan un aceite de palma con aspectos de menor calidad al aumentar el color amarillo, rojo y valor de anisidina. El efecto que ocasiona las tierras de blanqueo que se usan para el proceso, frente al proceso de desodorización es muy alto, si se emplea un incorrecto tipo de tierras de blanqueo puede generar efectos desfavorables fijando el color amarillo y rojo del aceite de

⁶⁹ SIMONE M. Silva et al, 2014, Efecto del tipo de tierra blanqueadora sobre el color final del aceite de palma refinado

⁷⁰ LAGALY, G, 2006 "Clays minerals and Clay Science" Primera edición p, 12.

⁷¹ LAGALY, G, 2006 "Clays minerals and Clay Science" Primera edición p, 17.

palma RBD por motivos de oxidación de grupos secundarios, que no fueron adsorbidos por las tierras incorporadas.⁷³

4.4 REINCORPORACIÓN CÍCLICA DE LA TIERRA REGENERADA SELECCIONADA

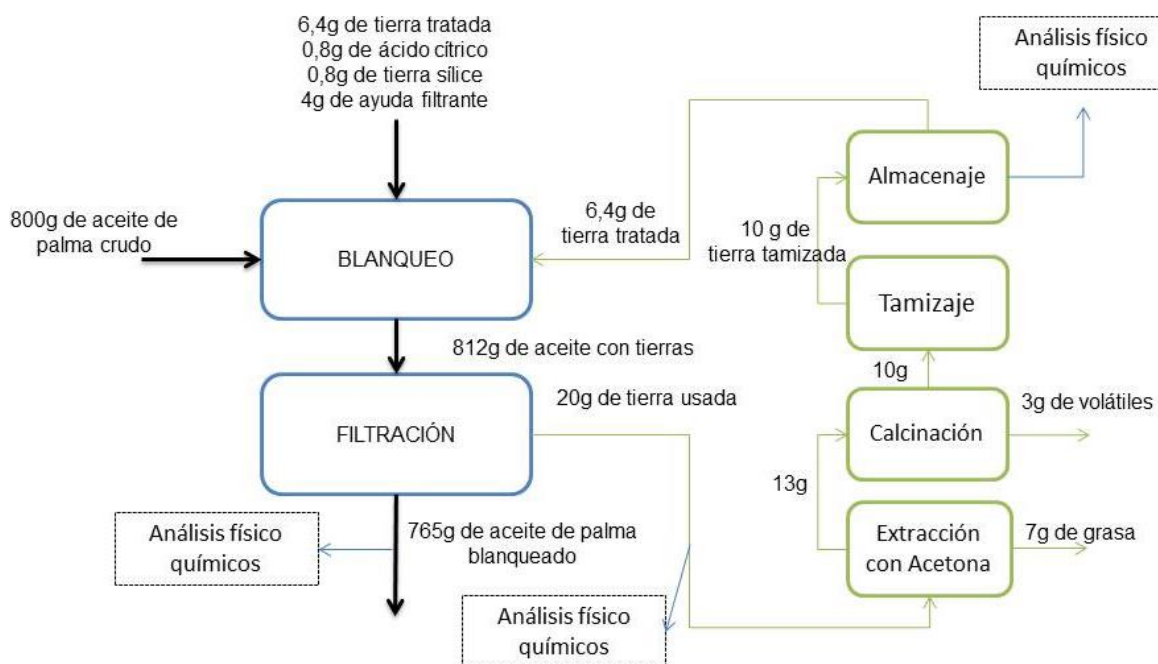
Dado que el ensayo que obtuvo mejores resultados frente a las otras propuestas, es reemplazando el 0,8% de Pure flo – B80 por las tierras mediante el tratamiento seleccionado (extracción con acetona y posterior calcinación). Es necesario demostrar el ciclo de vida útil de las tierras y determinar el número de reincorporaciones posibles que las tierras y el tratamiento sean calificados para realizar.

4.4.1 Metodología de reincorporación cíclica en el proceso actual de blanqueo a escala laboratorio. De los 200 g de tierras gastadas se obtienen 100 g de tierras regeneradas posterior al tratamiento empleado. Con el objetivo de llevar a cabo los procesos de blanqueo de palma adecuadamente y de manera más eficiente, se requiere disminuir el tiempo del tratamiento ya que no es certero el número de reincorporaciones cíclicas posibles. Se plantea realizar la validación de la reincorporación del blanqueo de aceite de palma a escala laboratorio, proporcionando las mismas condiciones de operación establecidas para el proceso de blanqueo, (como se menciona en el cap. 4.2.1) no se incluye desodorización por motivos de accesibilidad de implementación a escala laboratorio.

En el Diagrama 6 se identifica la metodología empleada en el proceso de blanqueo de aceite de palma a escala laboratorio y el tratamiento realizado para reincorporar las tierras en el proceso de blanqueo. Las tierras puras son reemplazadas por las tierras tratadas en el segundo blanqueo de aceite de palma. Los demás insumos se seguirán alimentando (ácido cítrico, tierra sílice y tierra ayudante de filtrado) en los procesos cíclicos de reincorporación. Cuando los parámetros de calidad sean superiores a la normatividad, se suspenderá el proceso cíclico de reincorporación de las tierras.

⁷³ SIMONE M. Silva et al, 2014, “Efecto del tipo de tierra blanqueadora sobre el color final del aceite de palma refinado”

Diagrama 6. Metodología de blanqueo de aceite de palma incluyendo el tratamiento y la reincorporación de las tierras



Fuente: elaboración propia

4.4.2 Equipos empleados. Se mantiene los parámetros de operación idénticos a los trabajados anteriormente para no generar ninguna variación. Se realiza proceso de blanqueo con agitación de 750 rpm, presión de vacío de 22 inHg, con un tiempo de retención de 45 minutos, hasta una temperatura de 90°C a 95°C, se incorpora la misma cantidad y las mismas relaciones de concentraciones de tierras. Se realiza montaje a escala laboratorio, en el que se realizan los ensayos de blanqueo de aceite de palma (ver Imagen 7).

Imagen 7. Montaje equipo de blanqueo a escala laboratorio



Fuente: Laboratorio de la planta Industrial.

Se trabaja con un reactor de vidrio de capacidad de 1000 mL, un agitador, bomba de vacío, una plancha de calentamiento eléctrica, un recipiente con aceite térmico para calentar el reactor de forma homogénea, chaqueta térmica para mantener una temperatura constante y termocupla incluida al reactor.

4.4.3. Caracterización de las tierras antes y después del proceso de blanqueo. Para generar un análisis más completo, son analizadas las tierras justo antes de ser incorporadas en el proceso de blanqueo y de las tierras gastadas posterior al blanqueo de aceite de palma, resultados enunciados en la Tabla 17.

Tabla 17. Parámetros físicos y químicos de las tierras antes y después del proceso de blanqueo
Tierras antes de incorporarse en el proceso

Parámetros	Proceso estándar	Incorporación 1	Incorporación 2	Incorporación 3
%Humedad	1,53	1,86	1,97	1,62
pH	7,03	7,2	6,67	6,06
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) meq/100g	35,1	46,6	34,2	29,6

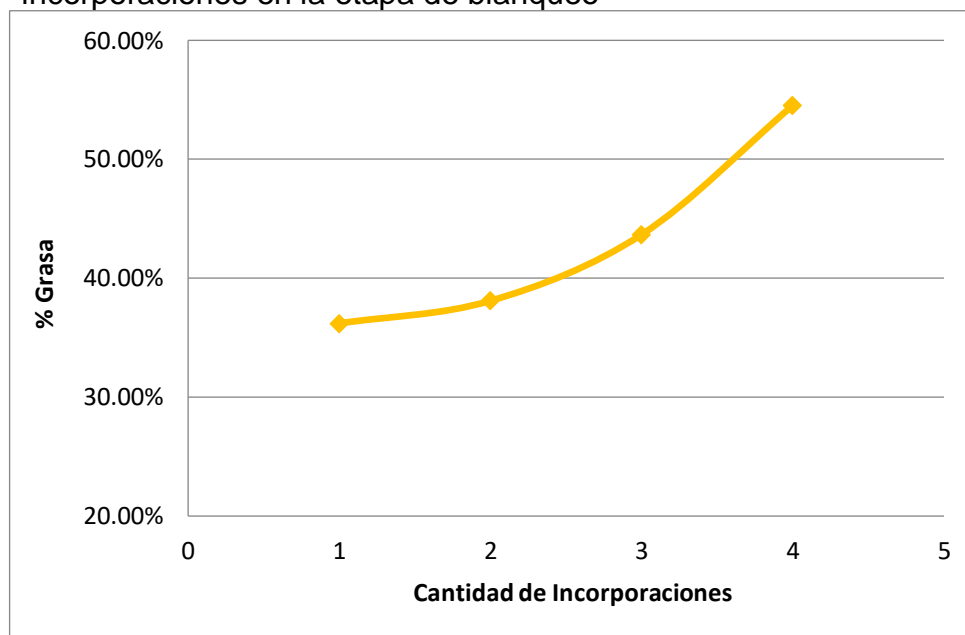
Tierras gastadas posterior al proceso de blanqueo				
Parámetros	Proceso estándar	Reincorporación 1	Reincorporación 2	Reincorporación 3
Humedad (% en peso)	2,56	3,34	3,46	4,19
pH	4,6	4,67	3,95	4,03
Grasa (% en peso en base seca)	36,20%	38,10%	43,67%	54,53%

Fuente: elaboración propia / CIC del laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia

La humedad de las tierras antes de la incorporación, se encuentra dentro de la normatividad de calidad. Los parámetros realizados para las tierras antes de incorporarse en el proceso, se tienen en cuenta el pH, humedad y capacidad de intercambio catiónico. Se evidencia en las tierras, que a medida que aumenta la cantidad de incorporaciones en el proceso, disminuye el pH, ya que posiblemente sea por el aumento de adsorción de aceite retenido y el tratamiento no logra separar la misma cantidad inicial. Y en la CIC, se evidencia en la primera incorporación un aumento de este parámetro y a medida que se sigue reincorporando las tierras, la CIC disminuye.

El pH de las tierras gastadas para todos los casos promete estar dentro de los parámetros iniciales produce un residuo en la etapa de blanqueo, entre 3,5 a 5.⁷⁴ Debido al desgaste de las tierras de blanqueo, se da desmejoramiento de su funcionalidad, iniciando una mayor retención de grasa en el proceso de blanqueo; se evidencia en la Gráfica 6, que a medida que realiza mayor cantidad de incorporaciones en el proceso con la misma tierra, adsorbe mayor cantidad de grasa y pierde funcionalidad con el tiempo.

Gráfico 6. Grasa retenida en las tierras gastadas por número de incorporaciones en la etapa de blanqueo



Fuente: elaboración propia

⁷⁴TATIANA Q, 2016 “Análisis de resultados prueba CRETIP Y DETERMINACIÓN DE ECOTOXICIDAD (DAPHNIA) EN LOS RESIDUOS PROCEDENTES DE REFINACIÓN FÍSICA”. p 12 Realizado por la compañía consultora ambiental LTDA.

4.4.4 Caracterización de la palma cruda y palma blanqueada. Se recolecta un bidón con 10 kg de palma cruda tomada de un tanque de almacenamiento de la planta y se desarrollan los ensayos de blanqueo a escala laboratorio a las mismas condiciones de operación establecidas. Se realizan los análisis requeridos para la palma cruda y para la palma blanqueada. Se desarrolla un proceso de blanqueo con tierras totalmente puras como proceso estándar, posteriormente se toma una muestra de la palma blanqueada y se conservan las tierras gastadas para proceder a desarrollar el tratamiento seleccionado (ver Diagrama 6), e incorporar las tierras en nuevos procesos de blanqueo con el mismo aceite de palma crudo. Se incluyeron algunos análisis en la palma blanqueada para garantizar la calidad de la palma. Los resultados se comparan con la norma Codex Stan 210.

En la Tabla 18, se encuentran los resultados obtenidos en el proceso cíclico de reincorporación de las tierras en el proceso de blanqueo de aceite de palma.

Tabla 18. Parámetros de la palma cruda y la palma blanqueada en los procesos de reincorporación cíclica de las tierras basados en el tratamiento planteado

Parámetros	Palma Cruda	Palma blanqueada					Normatividad ^{75, 76}
		Parámetros	Proceso estándar	Primera reincorporación	Segunda reincorporación	Tercera reincorporación	
Humedad (% en peso)	0,3	Color (5 1/4 in) Amarillo / Rojo	70 / 24	70 / 24	70 / 23	70 / 24	N.A
Valor de peróxido (meqO ₂ /kg)	4,02	Valor de peróxido (meqO ₂ /kg)	0,89	0,54	0,86	1,12	<2
Acidez (% en ácido oleico)	2,95	Acidez (% en ácido oleico)	2,6554	2,801	2,861	2,835	N.A.
Fósforo (ppm)	15,65	Fósforo (ppm)	2, 87	3,12	3,96	6,24	<10
Metales (ppm)	Fe 7,82 Cu 0,085 Pb 0,012	Metales (ppm)	Fe 0,441 Cu 0,035 Pb <0,01	Fe 0,956 Cu 0,0448 Pb <0,01	Fe 1,103 Cu 0,0561 Pb <0,01	Fe 1,631 Cu 0,078 Pb <0,01	Fe <1,5 Cu <0,1 Pb <0,1
Valor de p-anisidinas	N.A.	Valor de anisidinas	1,64	2,76	3,12	6,37	<4

Fuente: elaboración propia

⁷⁵ FEDEPALMA, Características del aceite de palma en Colombia, disponible en <https://www.fedebiocombustibles.com/files/Caracteristicas%20del%20Biodi%C3%A9sel%20y%20sus%20mezclas%20V1.pdf>

⁷⁶ CODEX ALIMENTARIUS (Normas internacionales de los alimentos), Codex Stan 210 – 1999.

Se realiza un análisis de cada parámetro obtenido, y se compara cada uno de las etapas de reincorporación, evidenciando que aumentan los parámetros analizados a medida que se realiza cada reincorporación en el proceso. Se constata con la norma Codex Stan 210 y la resolución 2154 de 2012⁷⁷. En la tercera reincorporación, el aceite de palma no cumple con la normatividad y los factores esenciales de calidad, debido a un proceso de desgaste de las tierras y al deterioro de actividad de la misma, también el tratamiento empleado ha ocasionado ruptura de la estructura y no se obtiene un buen rendimiento en el proceso de blanqueo.

Se expresa que las tierras con el tratamiento evaluado, seleccionado y experimentado pueden usarse hasta dos procesos de reincorporación. Sin embargo, el color del aceite de palma RBD no se puede evidenciar ya que no se realiza etapa de desodorización.

⁷⁷ CODEX ALIMENTARIUS (Normas internacionales de los alimentos), Codex Stan 210 – 1999.

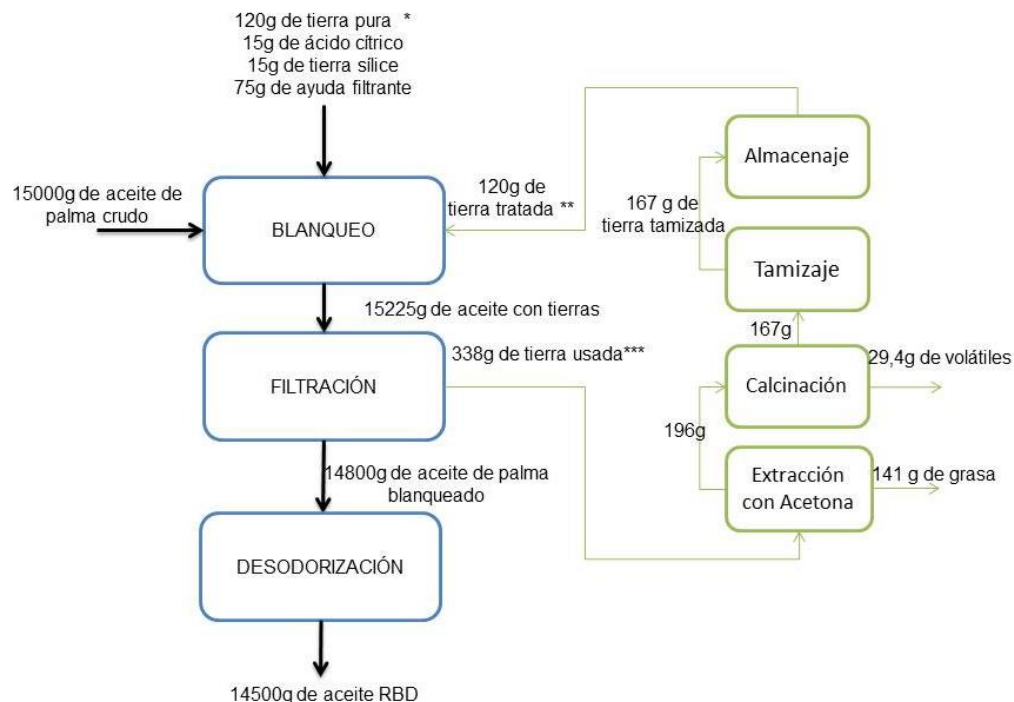
5. ANALISIS DE COSTOS

Se realiza análisis de costos de la propuesta de blanqueo, se presentan costos de producción del proceso de refinación, costos directos e indirectos en el desarrollo del proceso de refinación de aceite de palma reutilizando hasta dos veces las tierras con el tratamiento seleccionado (extracción con acetona, posterior calcinación y tamizado), se presenta la inversión requerida, costos de producción y análisis de los costos, teniendo en cuenta algunos índices de rentabilidad como B/C y la VAN. Se llevará a cabo a continuación la descripción del proceso propuesto.

5.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE REINCORPORACIÓN DE TIERRAS A ESCALA PLANTAS PILOTO

Se realiza alrededor de un proceso diario de refinación de aceite de palma en plantas piloto, 3600 kg de aceite de palma se refinan por año y ya que se requiere el 0,8% de tierras para refinar, son 28,8 kg de tierras puras Pure flo - B80 con un costo aproximado de \$7.776.000. Alrededor de 81,12 kg de tierras usadas al año se desechan, con un costo de este desecho de \$5.000 por año. Se desarrolla una propuesta de recuperación de estas tierras gastadas, para reducir este residuo, el cual se representa en el Diagrama 7, con un flujo diario de 15 kg de aceite de palma crudo. Cabe resaltar, que este proceso propuesto sólo está validado en las condiciones de operación y concentraciones evaluadas.

Diagrama 7 Diagrama de bloques del proceso de blanqueo propuesto



**Se incluye tierra nueva dentro del proceso cada 3 blanqueos.*

*** Se reemplaza por las tierras nuevas, pasado el primer proceso de blanqueo.*

**** Al tercer proceso de blanqueo de aceite de palma, se desechan las tierras.*

En un proceso estándar para blanquear 15.000 g de aceite de palma crudo se requieren aproximadamente 285 g de dosificación entre tierras y ácido cítrico. Al año se generan 68.400 g de residuo en la etapa de blanqueo en planta piloto. Utilizando el proceso propuesto, ahora se requieren tierras puras Pure flo – B80 una vez por semana, se gastan 5.760 g y se generan de la misma manera 16.224 g de residuo proveniente de la etapa de blanqueo al año. Con el tratamiento propuesto se reduce el peso de las tierras en un 50% aproximadamente (de 338 g de tierras usadas a 167 g de tierras tratadas y tamizadas) y con aproximadamente 705 g de grasa se podría extraer con solvente acetona a la semana; este proceso propuesto reduce el 76,3% de desechos generados en esta etapa.

Si se realizan procesos de refinación de aceite de palma diarios, se demuestra en la Tabla 19, la dosis diaria de tierras puras Pure flo – B80 que tendría que emplearse para ambos casos, proceso estándar y proceso de refinación con propuesta de reutilización de tierras regeneradas.

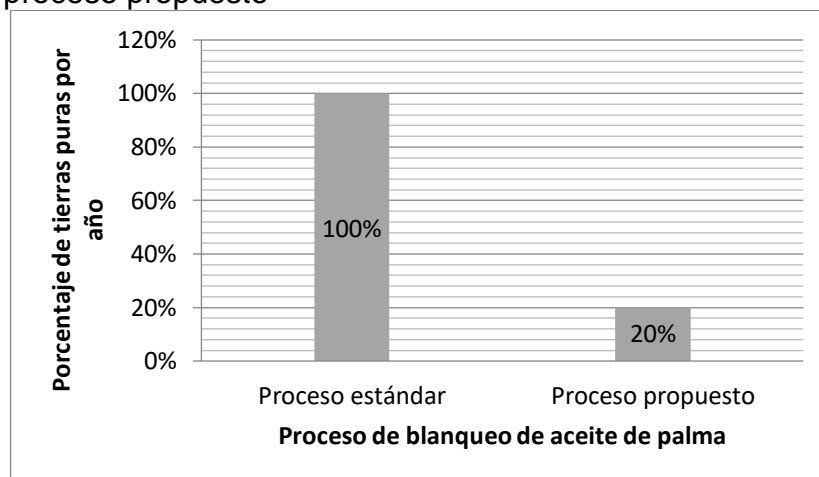
Tabla 19. Tierras puras empleadas por año en proceso estándar y proceso propuesto en plantas piloto.

Proceso de blanqueo	Uso de tierras puras por semana	Tierras puras por año(kg)
Proceso estándar	5 veces	28,8
Proceso propuesto	1 vez	5,76

Fuente: elaboración propia

Con el proceso de blanqueo propuesto, se reduce en un 80% la cantidad de tierras nuevas, en el Diagrama 8 se muestra la reducción de tierras empleando la propuesta.

Diagrama 8. Tierras puras empleadas para proceso estándar y proceso propuesto



Fuente: elaboración propia

5.2 INVERSIÓN

Para llevar a cabo el análisis de inversión requerida se determina el costo del proceso propuesto y se desarrolla el estudio de la inversión requerida para el tratamiento de las tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo a escala piloto. Se generan alrededor de 338 g a 500 g de tierras gastadas por día, se realiza cotización de equipos con capacidad de 20.000 g y se propone realizar el proceso de tratamiento una vez por semana, si se requiere.

En la Tabla 20, se presentan las consideraciones que incluye la inversión requerida con el costo y volumen, en dólar y peso colombiano para segundo semestre del año 2018 (1Dólar = COP\$ 3176)⁷⁸.

Tabla 20. Costos de inversión del tratamiento en Piloto.

Inversión	US\$	COP\$
Costo Horno (1200*600*400)mm (15kW)	2.120	6.733.000
Costo extractor con solventes (capacidad 35L) ⁷⁹ (5,5kW)	8.000	25.408.000
Capacitación operarios	1.667	5.294.000
	US\$	COP\$

⁷⁸ Superintendencia financiera de Colombia. Certificado Dólar TRM, 20112018,

⁷⁹ ALIBABA, Tecnología de aceite de cocina rotocel extractor con solventes, Marca Hanson, certificación ISO9001, capacidad 5 ton/mes, hasta 250kg/día. Disponible en <https://spanish.alibaba.com/product-detail/most-advanced-technology-cooking-oil-rotocel-extractor-60807426466.html?spm=a2700.8699010.normalList.94.12b74440ulaAu5>

Tabla 20. (Continuación)
Inversión

Puesta en marcha	2.000	6.352.000
TOTAL	13.787	43.787.000

Fuente: elaboración propia

5.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN

Se describen los costos de producción que intervienen durante la refinación de aceite de palma y el tratamiento en plantas piloto. En esta sección se especifican los costos directos e indirectos del proceso.

5.3.1 Costos directos. Los costos directos o también conocidos como costos variables, dependen del proceso de tratamiento y refinación en plantas piloto, incluyendo mano de obra, materia prima, servicios entre otros.

Se debe tener en cuenta la mano de obra directa e indirecta. Es oportuno relacionar criterios como, el auxilio de transporte, aportes a parafiscales, salario mínimo legal vigente, conceptos que relacionan prestaciones sociales y seguridad social. A continuación, en el Cuadro 10, se evidencia la descripción de cada uno de los conceptos mencionados.

Cuadro 10. Prestaciones sociales legales

Concepto	Valor	Descripción
Salario mínimo legal vigente	\$781.242	Remuneración mínima que todo empleado tiene derecho
Auxilio de transporte	\$88.211	Empleados que devengan hasta dos S.M.L.V
Aportes parafiscales		
Caja de compensación familiar	4%	Las cajas de compensación familiar, administran los recursos aportados a las empresas.
Cargas prestacionales		
Cesantías	8,33%	Protección al empleado en caso de quedar cesante

Cuadro 10. (Continuación)

Concepto	Valor	Descripción
Prima de servicios	8,33%	Salario mensual por cada año laborado
Vacaciones	4,17%	Descanso remunerado consistente en 15 días de salario
Intereses sobre cesantías	1%	Beneficio económico a cargo del empleador
Seguridad social por parte del empleador		
Pensión	12%	Ampara al Trabajador contra vejez y muerte

Fuente: CESPEDS, Sharon, “Desarrollo de un proceso de compostaje para el aprovechamiento de lodos resultantes de la planta de tratamiento de agua potable francisco Wiesner eaab-esp” Estudio de prestaciones sociales y costos del proyecto p. 89

En el Cuadro 11, interviene el costo de mano de obra por parte del personal operativo que manipula la planta piloto y el analista de laboratorio.

Cuadro 11. Costos mano de obra, operarios y analistas

Concepto	Valor mensual COP(\$)
Sueldo	2.202.484
Auxilio de transporte	88.211
Prima	130.155
Vacaciones	65.156
Cesantías	130.155
Interés cesantías	15.625
Total / persona	2.631.786
TOTAL	5.263.572

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 21, se presenta la especificación de los costos de materia prima usados en el blanqueo estándar de aceite de palma, que se tendrá en cuenta en los costos directos de producción. La energía eléctrica es un costo directo, ya que son equipos piloto que se usa solamente para realizar actividades relacionadas con el proceso. Se realiza el análisis para un blanqueo de aceite de palma por día.

Tabla 21. Costos directos del proceso de blanqueo estándar de aceite de palma

Proceso de blanqueo estándar				
Concepto	Unidad	Valor unitario \$ COP	Total x blanqueo* \$ COP	Valor /mes \$ COP
Aceite de palma crudo	Kg	1.913	28.695	6.886.800
Tierras Pure flo B 80	Kg	255.000	2.125	510.000
Otras tierras y ácido cítrico	Kg	225.000	2.142	514.080
Energía eléctrica ⁸⁰	\$/kW	568	2.500	600.000
Operario y Analista		2.631.786	-	5.263.572
TOTAL				13.774.452

Fuente: elaboración propia

*Se realizan los cálculos para un proceso de blanqueo batch por 15 kg de aceite de palma crudo.

Se realiza un análisis de costos directos para el proceso de blanqueo propuesto. Debido a la vida útil de las tierras y a la funcionalidad del tratamiento empleado, aplica dos reincorporaciones de tierras en el proceso, de la misma manera se tiene en cuenta que no hay tercera reincorporación, razón por la que se debe seguir costear un valor de tierra nueva cada tercer blanqueo. En la Tabla 22, se muestran los costos de insumos del proceso de blanqueo de aceite de palma.

Tabla 22. Costos directos del proceso de blanqueo con incorporación de tierras regeneradas.

Proceso de blanqueo propuesto				
Concepto	Unidad	Valor unitario \$ COP	Total x blanqueo* \$ COP	Valor /mes \$ COP
81 Aceite de palma crudo	Kg	1.913	28.695	6.886.800
Tierras Pure flo B 80	Kg	255.000	2.125	8.500

⁸⁸ENEL, Tarifas de energía eléctrica (\$/kWh), Reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG), Octubre 2018. Disponible en: <https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas>

Tabla 22. (Continuación)

Concepto	Unidad	Valor unitario \$ COP	Total x blanqueo* \$ COP	Valor /mes \$ COP
Otras tierras y ácido cítrico	Kg	225.000	2.142	514.080
Energía eléctrica ⁸²	\$/kW	568	2.500	600.000
Operario y Analista		2.631.786	-	5.263.572
TOTAL				13.272.952

Fuente: elaboración propia

Se evidencia en los costos directos de insumos de la nueva propuesta que se reduce cerca del 98,98% por mes de los costos de tierras Pure Flo – B80. En el tratamiento de tierras gastadas provenientes de la etapa de blanqueo se realiza de manera que ocupe mínimo el 25% del volumen del proceso para ahorrar sobrecostos, aproximadamente se generan por semana 1.352 g de tierras gastadas y se plantea realizar el tratamiento una vez por semana. Son necesarios 6 L de acetona con precio de grado industrial, para realizar la extracción con solvente, debido a que el equipo de extracción deberá presentar recuperación del solvente por medio de condensadores, son necesarios 6L por mes para garantizar el stock de inventario del solvente en caso de poseer malas eficiencias en el proceso de recuperación del solvente. En la Tabla 23, se resume los costos directos relacionados con el tratamiento de las tierras gastadas. No obstante se debe aclarar las restricciones en Colombia de la compra y consumo de este solvente según el Decreto 3788 de 1986: se reglamenta la ley 30 de 1986, en lo referente a los requisitos y trámites para la expedición del Certificado de Carencia de Informes por Tráfico de Estupefacentes. Se debe obtener un certificado autorizado por el Ministerio de Justicia y del derecho para recibir esta cantidad de solvente deseado.

⁹¹SUNSIRS, Commodity Data Group, Price Acetona. Disponible en <http://www.sunsirs.com/es/prodetail-582.html>

⁹²ENEL, Tarifas de energía eléctrica (\$/kWh), Reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG), Octubre 2018. Disponible en: <https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas>

Tabla 23. Costos directos del proceso de tratamiento de las tierras gastadas

Concepto	Unidad	Valor unitario \$ COP	Total x tratamiento* \$ COP	Valor/mes \$ COP
Solvente Acetona ⁸³	Litro	4.228	25.370	25.370
Energía eléctrica (20,5 kW) ⁸⁴	\$/kW	568	11.644	46.576
TOTAL	-	-	37.014	71.946

Fuente: elaboración propia

*Se realizan los cálculos para un proceso de tratamiento batch de 340 g de tierras gastadas.

En la Tabla 24 se especifican los costos directos de la operación con la propuesta de reincorporación de las tierras.

Tabla 24. Costos variables del proceso de blanqueo propuesto.

Costos variables	Valor/mes \$ COP
Costo proceso de blanqueo con propuesta de reutilización de tierras	13.272.952
Costo Proceso de tratamiento en planta piloto	71.946
TOTAL	13.344.898

Fuente: elaboración propia

5.3.2 Costos indirectos. Los costos indirectos o costos fijos de producción, se conocen como aquellos que no intervienen directamente en el proceso, ni la cantidad de palma o tierras a dosificar. Para finalizar el análisis de costos, se tiene en cuenta los implementos de seguridad (bata, guantes, gafas), los análisis de calidad interna requeridos para ambos procesos (con y sin propuesta), ya que generalmente son necesarios estos costos y no dependen directamente de la propuesta planteada. En la Tabla 25, se muestra los costos indirectos de un proceso de blanqueo.

Tabla 25. Costos indirectos de la producción

Costos indirectos	Valor unitario COP(\$)	Total, mes COP(\$)
Implementos de seguridad	84.000	84.000
Dotación	25.000	50.000
Análisis físicos y químicos	70.000	1.400.000
TOTAL	-	1.534.000

Fuente: elaboración propia

5.4 ANALISIS DE COSTOS

En la Tabla 26, se presentan los costos totales obtenidos a partir de la descripción expuesta anteriormente con el fin de generalizar el costo global de la propuesta evaluada.

Tabla 26. Costos totales del proceso propuesto de blanqueo de aceite de palma con incorporación de tierras regeneradas.

Costos planta piloto para tratamiento	
Inversión	\$ 43.787.000
Costos de producción nueva propuesta / mes	
Costos directos	\$ 13.344.898
Costos indirectos	\$ 1.534.000
TOTAL	\$ 14.878.898

Fuente: elaboración propia

Para evidenciar la reducción de costos con la propuesta evaluada, se realiza análisis de costos en la Tabla 27 de la producción actual de blanqueo empleado en plantas piloto.

Tabla 27. Costos producción de proceso estándar de blanqueo a escala Piloto por mes.

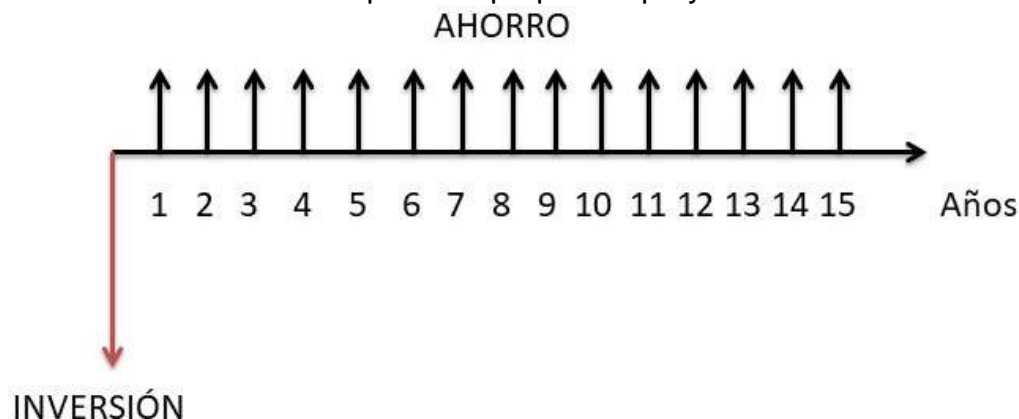
Costos de producción de blanqueo estándar / mes	
Costos directos	\$ 13.774.452
Costos indirectos	\$ 1.534.000
TOTAL	\$ 15.308.452

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta el análisis de costos operativos de la propuesta, se llega a reducir los costos totales por mes en \$ 429.554 y por año en \$ 5.154.648, cabe resaltar que el análisis de costos se realiza a escala piloto, por lo que de la misma manera los costos a reducir son bajos, sin descartar el gran potencial de la propuesta para escalarlo industrialmente.

5.4.1 Índices de rentabilidad. La rentabilidad tiene como objetivo evidenciar la utilidad máxima relacionado con el valor de la inversión. Se desea diagnosticar el tiempo en el que se recupera la inversión, se representa en el Gráfico 7.

Gráfico 7. Línea del tiempo de la propuesta proyecto



Fuente: elaboración propia

Según el gráfico la inversión inicial pertenece al año 0 y con un signo negativo, debido al desembolso de los inversionistas por \$43.787.000, el flujo de caja de los periodos posteriores del 1 al 15, en este caso son positivos por los ahorros generados en la implementación de la propuesta.

Se plantea determinar por medio de algunos indicadores financieros como el VAN, la relación Beneficio / Costo de la propuesta y el periodo de recuperación de la

inversión (PR), frente a la posibilidad de la inversión de la planta de tratamiento a escala piloto.

La Tasa de oportunidad o llamada TIO es la rentabilidad mínima esperada del inversionista, las tasas de interés es el precio del dinero en el tiempo; se propone 3,5 puntos es el riesgo mínimo por incluir el dinero de los inversionistas en este proyecto más 4,5% el interés por incluir el dinero de un CDT⁸⁵.

Se muestra en la Tabla 28, el flujo de caja proyectado a 15 años mediante la implementación de la planta piloto, con diferentes indicadores financieros.

Tabla 28 Relación Beneficio / Costo y VAN de la propuesta de implementación de la planta piloto del tratamiento para tierras gastadas.

AÑO	FLUJO DE CAJA
0	-\$ 43.787.000
1	\$ 5.154.648
2	\$ 5.154.648
3	\$ 5.154.648
4	\$ 5.154.648
5	\$ 5.154.648
6	\$ 5.154.648
7	\$ 5.154.648
8	\$ 5.154.648
9	\$ 5.154.648
10	\$ 5.154.648
11	\$ 5.154.648
12	\$ 5.154.648
13	\$ 5.154.648
14	\$ 5.154.648
15	\$ 5.154.648
TASA=DTF(4,5%)+3,5PUNTOS	8%
B/C	1,09
VAN	\$334.100
PR	8,4946

Fuente: elaboración propia

Relación Beneficio / Costo. El indicador de rentabilidad, compara de forma directa los beneficios y costos del proyecto. Para calcular la relación (B/C), primero se halla la suma de los beneficios descontados traídos al presente, teniendo en cuenta la TIO y se divide sobre la suma de los costes también descontados. Se aprecia en este proyecto con un valor del beneficio / costo de 1,09, indica que los beneficios superan los costos proyectado a 15 años y por eso debe ser

⁸⁵ Rankia, Colombia, CDT promedio colombiano, <https://www.rankia.co/blog/mejores-cdts/1866633-mejores-cdt-para-2019>

considerado como un proyecto viable e investigativo; de manera que se presentan ahorros en los costos directos del proceso, existe retribución de la inversión a largo plazo.

VAN. El valor actual neto es uno de los Indicadores más conocidos para evaluar proyectos a largo plazo o VPN. Permite analizar la inversión, trayendo los valores del flujo de caja año a año a valor presente.⁸⁶ Este indicador nos arroja un saldo positivo de \$334.100, sería el saldo a 15 años en que la empresa ganaría en caso de ejecutarse el proyecto. Como es un proyecto en el que los costos ahorrados son bajos con respecto a la inversión, esos valores traídos a valor presente perderán peso con el tiempo. De igual manera se evidencia un proyecto viable y con el paso del tiempo se aumentan los ingresos generados en los ahorros.

PR. Periodo de recuperación de la inversión es un indicador financiero muy importante para cualquier empresario que quiera emprender un proyecto, se muestra con precisión el año en el que la inversión es recuperada traído a valor presente⁸⁷. Se evidencia a los 8 años, 5 meses y 28 días el periodo de recuperación de la inversión de la planta de tratamiento de tierras gastadas de la etapa de blanqueo a escala piloto.

⁸⁶ METE Marcos, Marzo 2014, Universidad de la Salle “VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSION”, Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7_a06.pdf

⁸⁷ [Anónimo], Enero 2017. Conexiones an, PRI, uno de los indicadores que más llama la atención de los inversionistas, extraído de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas/>

6. CONCLUSIONES

- En el proceso de refinación industrial distinguido, la palma cruda, blanqueada y desodorizada en comparación con la normatividad de la AOCS, del Ministerio de Salud y Seguridad Social y la norma Codex Stan 210, cumplen con los criterios establecidos. Para las tierras puras neutras empleadas en la refinación de aceite de palma se reduce la acidez hasta un pH 3,4 posterior al proceso de blanqueo, debido a la adsorción de impurezas, contaminantes y grasa.
- La arcilla de blanqueo Pure flo – B80 natural, junto con las tierras restantes empleados en el blanqueo de aceite de palma, son capaces de retener hasta 54% de su peso, un 42% de grasa y un 12% impurezas y contaminantes volátiles. Se pueden recuperar las tierras por diferentes medios, el tratamiento está clasificado en dos etapas, el primer tratamiento consta de un proceso de extracción con acetona, con una recuperación de hasta 42% de grasa e impurezas, con posterior calcinación a 550°C por 90 minutos, removiendo hasta 12,1% y el segundo tratamiento evaluado con solvente hexano, con una recuperación de hasta un 36% de grasa y posterior autoclave y lavados con un 5,6% de remoción. El tratamiento seleccionado corresponde a la extracción con acetona y posterior calcinación a 550°C por 1,5 horas, al obtener el mejor desempeño en el proceso de extracción de impurezas. El diámetro de partícula de las tierras regeneradas deberá estar en rango entre 40 µm a 200 µm ya que puede generar filtración y se puede llegar a fijar a un color oscuro en la palma RBD.
- Al mezclar las tierras puras Pure flo – B80 con las tierras regeneradas pierde calidad el aceite de palma RBD, debido a una incorrecta interacción al promover algunas reacciones indeseables y generan aumento de grupos de oxidación primarios y secundarios; en este orden de ideas al reemplazar por completo las tierras regeneradas se obtiene un mejor rendimiento. Se expresa que las tierras con el tratamiento evaluado en el blanqueador a escala laboratorio poseen hasta dos procesos de reincorporación. Sin embargo, se debe garantizar la calidad del aceite sometiendo el proceso a etapa de desodorización.
- Los costos totales por mes del proceso de blanqueo propuesto, corresponde a \$14.848.898 entre costos directos e indirectos; en donde la inversión requerida para la implementación de la planta piloto de tratamiento de tierras gastadas alcanza \$ 43.787.000. La propuesta llega a reducir hasta \$ 5.154.648 por año. Se calcula el valor actual neto proyectado a 15 años, se muestra una ganancia de \$334.100, el beneficio / costo arroja un valor de 1,09, siendo superior el beneficio que los costos y un periodo de recuperación de la inversión de 8 años, 5 meses y 28 días.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio de la implementación de una planta a escala industrial del tratamiento de las tierras seleccionado.
- Analizar la viabilidad financiera de un nuevo proceso de blanqueo escalado industrialmente, incluyendo el tratamiento de las tierras.
- Utilizar otros tipos de tratamientos que se puedan validar en la refinación completa, ya que es demasiado importante validar el producto refinado, logrando evidenciar la calidad de la palma RBD.
- Realizar un seguimiento riguroso del aceite de palma RBD generados en los ensayos realizados con las tierras regeneradas, debido a que puede generar oxidaciones y/o degradaciones del aceite de forma acelerada con respecto al tiempo.
- Realizar proceso de reincorporación cíclica de las tierras regeneradas con una refinación de aceite de palma completo, blanqueo y posterior desodorizado.
- Orientar el proyecto hacia otras aplicaciones que sean provechosas para la industria, no necesariamente a la reutilización de las tierras en el proceso de blanqueo.
- Desarrollar un proceso de tratamiento a escala laboratorio con solvente Acetona industrial para verificar si el proceso de tratamiento posee el mismo rendimiento.
- Generar una propuesta de aplicación para la industria a partir del extracto retirado con acetona de las tierras gastadas.
- Realizar más replicas en los procesos del tratamiento seleccionado y en los procesos de blanqueo.

BIBLIOGRAFIA

ALIBABA, Tecnología de aceite de cocina rotocel extractor con solventes, Marca Hanson, certificación ISO9001, capacidad 5 ton/mes, hasta 250kg/día. Disponible en <https://spanish.alibaba.com/product-detail/most-advanced-technology-cooking-oil-rotocel-extractor-60807426466.html?spm=a2700.8699010.normalList.94.12b74440ulaAu5>

AOAC, 1998., Ash, Métodos ofiales de análisis AOAC International, Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists (AOAC), 17th Edición.

[Anónimo], Certificado Dólar TRM, 2011-2018, Superintendencia financiera de Colombia.

[Anónimo], Enero 2017. Conexiones an, PRI, uno de los indicadores que más llama la atención de los inversionistas, [Consultado en Noviembre 2018] Disponible en: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas/>

BERETTA Andrés et al, Noviembre 2014 “¿Medir el pH del suelo en la mezcla suelo: agua en reposo o agitando?” [Consultado el 10 de Septiembre de 2018] Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482014000200010

BERNARDES, Paulo 2010 Revista de alimentación de España, Lecitina de Soja, pg. 3

BOJACA Pilar diciembre 2007, “GRASAS Y ACEITES EN AGUA EXTRACCIÓN LIQUIDOLÍQUIDO Y GRAVIMETRÍA”, Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Grasas+y+Aceites+en+agua+por+extracci%C3%B3n+L+L+y+gravimetr%C3%ADa..pdf/aad8c4e0-3e09-4ad5-a5a2-22966c6ddad9>

BASIRON, Y, 2005, “Palm Oil” sexta edición. pg. 53

ENEL, Tarifas de energía eléctrica (\$/kWh), Reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG), Octubre 2018. Disponible en: <https://www.codensa.com.co/hogar/tarifas>

FEDEPALMA, Características del aceite de palma, diá. 4. [Consultado el 5 de Agosto de 2018] Disponible en:

<https://www.fedebiocombustibles.com/files/Caracteristicas%20del%20Biodi%C3%A9sel%20y%20sus%20mezclas%20V1.pdf>

FEREIDOON Shahidi "BAILEY'S INDUSTRIAL OIL AND FAT PRODUCTS, SIXTH EDICIÓN", Volumen 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Disponible en: <http://www.mrw.interscience.wiley.com/biofp>

FEDEPALMA, "Precios de referencia Fondo de Fomento Palmero". [Consultado en Agosto de 2018]. Disponible en: <http://web.fedepalma.org/precios-de-referencia-del-fondo-de-fomento-palmero>

GAXOLEUM, ficha técnica del Aceite de palma, [Consultado en Julio 2018] Disponible en: http://www.gaxoleum.com/wp-content/uploads/2016/06/AceiteRBDPalma_ficha.pdf

GARCÍA, E. 2001 "Las arcillas: propiedades y usos" [Consultado en Septiembre de 2018] Disponible en: <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/arcillas.html>

GROMPONE A. 1991, "El índice de anisidina como medida del deterioro latente de un material graso." Disponible en: <http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/viewFile/1272/1275>

H.B.W. Patterson."Bleaching and Purifying Fats and Oils, Theory and Practice.

HARO Carlos "Diseño de una planta conceptual de una planta de recuperación de arcillas de blanqueo empleadas en la decoloración de aceites vegetales comestibles" pág 42, 47, 102, 104, año 2012

HARO Carlos, Revista EPN, Vol 34, 1 Octubre de 2014, p.4

HERNÁNDEZ Oscar. OECD SIDS, "ACETONE CAS N°: 67-64-1". Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/67641.pdf>

Hertrampf, 2000 "Handbook of Ingredients of Aquaculture feeds" pg 45, 65

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018 ISBN 9789588563153 p.

KLEIN, T. 1986 "Methods for recovering Oil from Spent Bleaching Earth" AOCS press, Illinois pg 170-175

KMEC, “Especialista en industria de aceites y grasas, Blanqueado de aceite”. Disponible en: <http://www.plantasaceiteras.com/planta-de-refineria-de-aceite/blanqueado-de-aceite.html>

LAGALY, G, 2006 “Clays minerals and Clay Science” Primera edición pg, 12.

LEÓN GOMEZ Pedro, CENIPALM Centro de Investigación en aceite de palma. Ceniavances Numero 64 octubre 1999. Pg. 1

LONDOÑO, Beatriz Ministra de salud y protección social, Resolución 2154 de 2012, Ley 09 de 1979, 170 de 1994 y el numeral 30 del artículo 2° del decreto ley 4107 de 2011. Cap 1.

LOVIBOND, Medición de color 2017. [Consultado en Agosto 2018] Disponible en: de <https://www.lovibond.com/es/Medicion-de-color>

LUSAS E. 2003 “ANIMAL AND VEGETABLE FATS, OILS AND WAXES”, Décima edición pg. 290

MARCHENA Luz et al, 2009, “Efecto de los compuestos bioactivos de algunos alimentos en la salud” pg 29, 32

MELÉNDEZ, Antonio J., Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales, Facultad Universidad de Sevilla, España. 2007

METE Marcos, Marzo 2014, Universidad de la Salle “VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSION”, Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7_a06.pdf

MINISTERIO DE SALUD DE COSTA RICA, Grasas y aceites, [Consultado en Enero de 2019] Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr>

MOLERO Meneses, Efecto catalítico de metales sobre la estabilidad térmica de aceites GRASAS Y ACEITES VOL 52 FASC 2001. Pág. 273

MONGE Gladys et al “MINIMIZACIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS INDUSTRIALES Y PELIGROSOS”. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/word/perres03.pdf>

NUTRIFACTS, “Betacaroteno”. [Consultado el 20 de Octubre de 2018] Disponible en: <https://www.nutri-facts.org/content/dam/nutrifacts/pdf/nutrients-pdf-es/Betacaroteno.pdf>

OIL DRI CORPORATION OF AMÉRICA 2011 “Pure flo: Bleaching earths”.
Disponible en: http://www.pure-flo.com/downloads/pureflo_brochure.pdf

OIL DRI, 2009, “Pure flo B80”. [Consultado el 15 de Octubre de 2018] Disponible en: <https://www.aboissa.com.br/informativos/B-80%20Portugues%20TDS.pdf>

O'BRIEN R, 2009, “Fats and Oils: formulating and processing for applications” tercera edición, pg 22, 44-78, 80, 85, 86, 103 y 104.

PAZ Antolín y MOLERO Meneses. “GRASAS Y ACEITES, Efecto catalítico de metales sobre la estabilidad térmica de aceites” VOL 52 FASC 2001 I. Pág. 273-379.
Disponible en: <http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/viewFile/347/349>

PRESTO INDUSTRIES 2013. “Olla de presión de 6 cuartos de acero inoxidable”.
Disponible en: [https://www.gopresto.com/uploads/01365_sp\[2\].pdf](https://www.gopresto.com/uploads/01365_sp[2].pdf)

QUINTERO, Tatiana, 2016 “Análisis de resultados prueba CRETIP Y DETERMINACIÓN DE ECOTOXICIDAD (DAPHNIA) EN LOS RESIDUOS PROCEDENTES DE REFINACIÓN FÍSICA”. pg. 12 Realizado por la compañía consultora ambiental LTDA.

QUIMIPUR, S.L.U. Ficha de datos de seguridad de Aceite de palma, pg 1-4 [Consultado el 15 de Diciembre 2018] Disponible en <http://quimipur.com/pdf/aceite-palma.pdf>

RANKIA, Colombia, CDT promedio colombiano,
<https://www.rankia.co/blog/mejores-cdts/1866633-mejores-cdt-para-2019>

RINCÓN Sandra Milena y MARTÍNEZ Daniel Mauricio. Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria 2009 Volumen 3 pág. 1 a 24

ROAYNE Patricia A. de Ferrer. 2000.”Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante.

ROJANO Benjamín, Universidad Nacional de Colombia, Abril 1997. “OXIDACIÓN DE LÍPIDOS Y ANTIOXIDANTES, Pg. 15. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/8413/1/6884161.1997.pdf>

SEGRS, 1988, [Consultado el 25 Noviembre de 2018] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s09.htm#TopOfPage>

SILVA Simone M. et al, 2014, "Efecto del tipo de tierra blanqueadora sobre el color final del aceite de palma refinado".

SUNSIRS, "Commodity Data Group, Price Acetona". [Consultado en Septiembre 2018] Disponible en: <http://www.sunsirs.com/es/prodetail-582.html>

TAYLOR, D.2005 "Bailey's Industrial Oil and Fat Products" sexta edición pg. 36, 43, 286 - 292

THOMAS Alfred 2000.Fat and fatty oils Cap 13.1.1

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA, Composición química de las grasas y aceites, Modulo 211615, disponible en https://datateca.unad.edu.co/contenidos/211615/Modulo_exe/211615_Mexe/leccin_31_composicin_qumica_de_las_grasas_y_aceites

URUETA Juan Carlos, 2007 "IMPLEMENTACIÓN MPLEMENTACIÓN DEL DOBI"

VENTRAT, "Eliminación de materia en suspensión". [Consultado en Octubre 2018] Disponible en www.ventrat.com/plantadetratamiento.html

WARDLAW GM y SNOOK JT. 1990, "Effect of diets high in butter, corn oil, or high-oleic acid sunflower oil on serum lipids and apolipoproteins in men". American Journal of Clinical Nutrition. Cap 51. Pg. 815

ZAHRANI, A. y Daous, M, 2000. "Recycling of spent bleaching clay and oil recovery" pg. 128

ANEXOS

ANEXO A
CERTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO CAPACIDAD DE INTERCAMBIO
CATIONICO (CIC)



REPORTE DE RESULTADOS

Recibido: 14/11/2018 Solicitante: Cultivo: No reporta
Entregado: No reporta Dirección: Municipio: No reporta
No. recibo: No reporta Teléfono: 3208726526 Departamento: No reporta

RESULTADOS

No.	Referencia	CIC meq/100g
2285	1	28,0
2286	2	46,6
2287	3	34,8
2288	4	33,9
2289	5	35,1
2290	6	1,78
2291	7	3,88

Los resultados de este reporte corresponden únicamente a las muestras suministradas por el usuario y analizadas en el laboratorio.

MÉTODOS DE ANÁLISIS

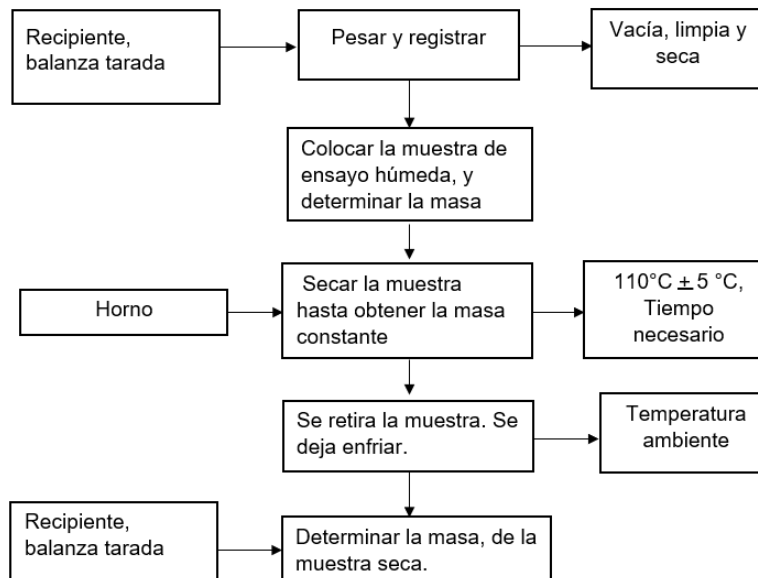
PROPIEDAD	MÉTODO	VALORACIÓN
CIC: Capacidad de intercambio catiónico	Extracción con acetato de NH ₄ 1M pH 7	Volumétrica

RECUERDE: El plan de fertilización es más eficiente y productivo si Usted consulta con el profesional de Asistencia Técnica de su localidad.

MARTHA CECILIA HENAO TORO

Directora del Laboratorio

ANEXO B
PROTÓCOLOS EN EL LABORATORIO



Para el cálculo del porcentaje de humedad se realiza según procedimiento, se emplea la fórmula:

$$w = \left[\frac{(M_{csh} + M_{css})}{(M_{css} - M_c)} \right] \times 100$$

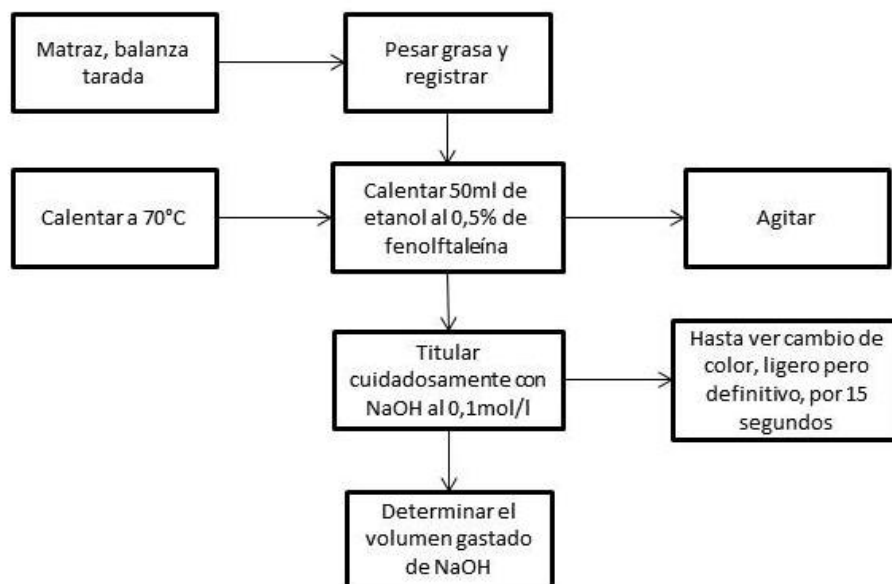
Donde

W=Contenido de agua, %

M_{csh} =Masa del recipiente y muestra humedad.

M_{css} =Masa del recipiente y la muestra secada en horno,

M_c =Masa del recipiente.



Metodología según la NTC 218, para el cálculo de la acidez libre (% ácido oleico), se usa la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Acidez libre} = \left[\frac{V_{\text{NaOH}} * N_{\text{NaOH}}}{W_{\text{muestra}}} \right] \times 100$$

V_{NaOH} = Volumen gastado en ml de Hidróxido de sodio.

N_{NaOH} = Normalidad del NaOH, aproximadamente 0,1 mol/l.

W_{muestra} = Peso de la grasa o aceite en gramos.

ANEXO C
CERTIFICADO DE RESULTADOS DE CALIDAD INTERNA DEL ANÁLISIS DE
METALES.

CALIDAD INTERNA

LABORATORIO DE FISICOQUÍMICOS

FECHA DE SOLICITUD: 03/10/2018

SOLICITANTE: ANDRÉS SALAZAR

OBJETIVO: ANÁLISIS DE METALES EN MUESTRAS DE PALMA RBD

PRODUCTO A ANALIZAR: PALMA RBD

ANÁLISIS SOLICITADOS: METALES

Muestras: 1) PALMA RBD PROCESO EST
2) PALMA RBD TIERRA TRAT/
3) PALMA EXTRAIDA HEXANO
4) PALMA EXTRAIDA ACETON
5) PALMA RBD ESTÁNDAR
6) PALMA RBD TRATAMIENTC
7) PALMA RBD TRATAMIENTC

RECOMENDACIONES:

PRIORIDAD A M X

PARÁMETRO	RESULTADO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
HIERRO	0,1551	1,1404	0,3195	0,9583	1,0605	1,32	0,9405	
COBRE	0,0314	0,0651	0,2516	0,6195	0,0351	0,0461	0,0425	
PLOMO	<0,01	0,024	<0,01	<0,01	<0,01	0,024	<0,01	

ANALISTA DE CALIDAD: Derly Sanchez

FECHA DE RESULTADOS: 24/10/2018

OBSERVACIONES:

VISTO BUENO: Derly Sanchez

PRIORIDAD: A: alta (0-1 día) M: media (

CALIDAD INTERNA																
LABORATORIO DE FISICOQUÍMICOS																
FECHA DE SOLICITUD: 03/10/2018																
SOLICITANTE: <u>ANDRÉS SALAZAR</u>																
OBJETIVO: <u>ANÁLISIS DE METALES EN MUESTRAS DE PALMA RBD</u>																
PRODUCTO A ANALIZAR <u>PALMA RBD</u>																
ANÁLISIS SOLICITADO METALES				Muestras: 1) PALMA RBD PATRÓN												
				2) PALMA RBD 0,6 TRATADA 0,4 PURA												
				3) PALMA RBD 0,4 / 0,4												
				4) PALMA RB INCORPORACION 2												
				5) PALMA RB INCORPORACION 3												
RECOMENDACIONES:																
PRIORIDAD <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">A</td><td style="width: 20px; background-color: #92d050;"></td><td style="width: 20px; text-align: center;">M</td><td style="width: 20px; text-align: center;">X</td><td style="width: 20px; background-color: #92d050;"></td><td style="width: 20px; text-align: center;">B</td><td style="width: 20px; background-color: #92d050;"></td></tr></table>										A		M	X		B	
A		M	X		B											
PARÁMETRO	RESULTADO								ESPECIFICACIÓN							
	1	2	3	4	5	6	7	8								
HIERRO	0,1283	0,9711	1,1538	1,103	1,631				<1,5							
COBRE	0,0236	0,0388	0,042	0,0561	0,078				<0,1							
PLOMO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01				<0,1							
ANALISTA DE CALIDAD <u>Derly Sanchez</u>																
FECHA DE RESULTADO <u>20/11/2018</u>																
OBSERVACIONES:																
VISTO BUENO: <u>Derly Sanchez</u>																
PRIORIDAD: A: alta (0-1 día) M: media (1-2 días) B: baja (2-3 días)																