

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA**

### **DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA DE RECUPERACIÓN DE ARCILLAS DE BLANQUEO EMPLEADAS EN LA DECOLORACIÓN DE ACEITES VEGETALES COMESTIBLES**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
QUÍMICO**

**CARLOS ALBERTO HARO RODRÍGUEZ**

charrie\_ch@hotmail.com

**DIRECTORA: ING. ALICIA GUEVARA**

alicia.guevara@epn.edu.ec

**Quito, Marzo 2012**

© Escuela Politécnica Nacional (2012)  
Reservados todos los derechos de reproducción

## **DECLARACIÓN**

Yo, Carlos Alberto Haro Rodríguez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Carlos Alberto Haro Rodríguez

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carlos Alberto Haro Rodríguez, bajo mi supervisión.

---

Ing. Alicia Guevara  
**DIRECTORA DE PROYECTO**

## **AUSPICIO**

La presente investigación contó con el auspicio financiero del Proyecto Semilla PIS 02-2 010: “Tratamiento de efluentes industriales por métodos no convencionales”, que se ejecuta en el Departamento de Metalurgia Extractiva.

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mi madre Lida Rodríguez por toda su paciencia y apoyo, porque siempre supo como sacar adelante su hogar con ejemplo y trabajo, por no bajar los brazos pese a todas las adversidades que pasamos. A mis hermanos Susana, Luis, Edison, Rubén y Rene por toda ayuda, por ser como son y a mi padre que nunca nos olvida.

A mis amigos Mauricio Acosta, Diego Mena, Leticia Jordán, Mary Tapia quienes hicieron ameno realizar mi tesis. A mis amigos de estudio Fabio Delgado y Jorge Guanulema por todas esas amanecidas y momentos alegres que pasamos. A Johanna Flores, Andrea Gallegos, Mónica Vaca, Luis Guanoluisa, Iván Valdiviezo, Manuel Villagómez, Luis Tapia, Eduardo Almeida y Marco Cáceres a todos ellos por ser buenos amigos.

Agradezco también a Lucy Nájera (Daisuki) una mujer muy especial en mi vida, que esta conmigo en las buenas y en las malas, gracias por todo tu apoyo y amor.

A la Ing. Alicia Guevara a quien admiro mucho, por permitirme realizar mi tesis en el DEMEX, por toda su ayuda y paciencia. Al Ing. Ernesto de la Torre por aportar sus ideas que hicieron mejor este trabajo, gracias a profesores como ustedes la carrera de Ingeniería Química es la mejor. Al personal del Departamento de Operaciones Unitarias y a Camilo Peñaloza que me permitieron realizar algunos ensayos. Agradezco también a la Lcda. Paola Zárate y a la Dr. Florinella Muñoz por la apertura al uso de equipos de su laboratorio.

A mi segunda familia la fundación Banco de Alimentos de Quito por abrirme sus puertas. Agradezco nuevamente a la Ing. Alicia Guevara porque cada sábado que asiste a ayudar lo hace con entrega y amor, todo a beneficio de personas que tienen escasos recursos económicos. A la Lcda. Yesenia Toscano una excelente administradora de la fundación y una gran amiga. A Cristian Toscano quién también es parte de esta noble labor. A todos los del BAQ jamás los olvidaré; son

más de tres años que los conozco y quiero que sepan que siempre podrán contar conmigo como voluntario, porque la labor continúa...

Un agradecimiento especial al Ing. Mario Alzamora Gerente de la refinería de aceite de palma "Oliojoya Cia. Ltda." por facilitarme la muestra inicial, por su apoyo en la realización de este proyecto y por hacer posible lo que quería: encontrar un tema de tesis a partir de mis ideas.

Finalmente quiero compartir una frase que considero dice mucho lo que la fundación Banco de Alimentos de Quito realiza:

*"Yo creo que el mejor medio de hacer bien a los pobres no es darles limosna, sino hacer que puedan vivir sin recibirla"*

*Benjamín Franklin*

## **DEDICATORIA**

A mi madre por la entrega y amor a su hogar y a mis hermanos por su ayuda. A ustedes que han estado siempre en familia les dedico este trabajo.

*“Seguir hambriento, seguir loco”*

*Steve Jobs*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xv</b>
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1. Aceites vegetales comestibles: extracción y refinación de aceite de palma	1
1.1.1. Introducción a los aceites vegetales comestibles	1
1.1.2. Estructura y composición de los aceites vegetales	1
1.1.2.1. Triglicéridos	1
1.1.2.2. Ácidos grasos saturados	2
1.1.2.3. Ácidos grasos insaturados	3
1.1.3. Extracción de aceite de semillas oleaginosas	4
1.1.3.1. Introducción a la extracción de aceite de semillas oleaginosas	4
1.1.3.2. Extracción de aceite por prensado mecánico	6
1.1.3.3. Extracción de aceite por solvente	8
1.1.4. Refinación de aceite de palma	10
1.1.4.1. Introducción a la refinación de aceite de palma	10
1.1.4.2. Aceite crudo de palma	13
1.1.4.3. Refinación física de aceite de palma	16
1.2. Arcillas de blanqueo	20
1.2.1. Introducción a las arcillas minerales	20
1.2.1.1. Estructura de los filosilicatos	21
1.2.1.2. Clasificación de los filosilicatos	23
1.2.1.3. Propiedades físicas y químicas de las arcillas minerales	24
1.2.1.4. Usos de las arcillas minerales	28
1.2.1.5. Modificación térmica de arcillas minerales	30
1.2.2. Introducción a las arcillas de blanqueo	32
1.2.2.1. Activación ácida de arcillas minerales	35
1.2.2.2. Fundamentos de la purificación por adsorción	37
1.2.2.3. Efecto de las condiciones de procesamiento en la eficiencia de blanqueo	44
1.3. Métodos de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	45
1.3.1. Disposición final de las arcillas de blanqueo usadas	45
1.3.2. Métodos de tratamiento de tierras decolorantes usadas	46
1.3.2.1. Tratamiento de la arcilla usada con solventes orgánicos	47
1.3.2.2. Tratamiento de la arcilla usada con agua	48
1.3.2.3. Tratamiento de la arcilla usada con fluido supercrítico	48
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>49</b>
2.1. Caracterización física, química y mineralógica de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	51

2.1.1.	Caracterización física de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	51
2.1.1.1.	Determinación de humedad, material volátil, cenizas y carbón fijo en muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	51
2.1.1.2.	Determinación de densidad aparente de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	53
2.1.1.3.	Determinación del porcentaje de aceite retenido en la arcilla de blanqueo usada	54
2.1.1.4.	Determinación del pH de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	55
2.1.2.	Caracterización química de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	55
2.1.3.	Caracterización mineralógica de la arcilla de blanqueo pura	57
2.1.3.1.	Determinación de compuestos con cristalización definida en la arcilla de blanqueo pura	57
2.1.3.2.	Análisis con microscopía electrónica de barrido	57
2.1.4.	Superficie específica y capacidad de intercambio catiónico de la arcilla de blanqueo pura	58
2.1.4.1.	Superficie específica: Método de adsorción de agua	58
2.1.4.2.	Capacidad de intercambio catiónico (CEC)	60
2.2.	Ensayos de separación de aceite presente en la arcilla de blanqueo usada por extracción con solvente y posterior calcinación de la arcilla de blanqueo recuperada	63
2.3.	Ensayos de prensado hidráulico para la arcilla de blanqueo usada y tratamiento posterior de la arcilla recuperada con agua caliente y con vapor de agua	65
2.3.1.	Ensayos de prensado hidráulico para la arcilla de blanqueo usada	65
2.3.2.	Tratamiento de la arcilla prensada con agua caliente	66
2.3.3.	Tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua	68
2.3.3.1.	Tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua en un sistema abierto a la atmósfera	68
2.3.3.2.	Tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua a presión	70
2.4.	Evaluación de la eficiencia en la decoloración de aceite crudo de palma al emplear la arcilla de blanqueo recuperada	72
2.5.	Definición del diagrama de flujo del proceso, dimensionamiento de equipos y evaluación económica preliminar	74
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>77</b>
3.1.	Caracterización física, química y mineralógica de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	77
3.1.1.	Propiedades típicas de la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)	77

3.1.2.	Caracterización física de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	78
3.1.2.1.	Determinación de humedad, material volátil, cenizas, carbón fijo, densidad aparente, aceite retenido y pH en muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	78
3.1.2.2.	Superficie específica y capacidad de intercambio catiónico (CEC) de la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)	80
3.1.3.	Caracterización química de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	81
3.1.3.1.	Determinación de la composición química de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada	81
3.1.3.2.	Imágenes obtenidas del análisis químico realizado a la arcilla de blanqueo pura por microscopía electrónica de barrido	82
3.1.4.	Caracterización mineralógica de la arcilla de blanqueo pura	84
3.2.	Ensayos de separación de aceite presente en la arcilla de blanqueo usada por extracción con solvente y posterior calcinación de la arcilla de blanqueo recuperada	86
3.2.1.	Ensayos de separación de aceite presente en la arcilla de blanqueo usada por extracción con solvente	86
3.2.2.	Calcinación posterior de la arcilla de blanqueo recuperada del prensado hidráulico	88
3.3.	Ensayos de prensado hidráulico para la arcilla de blanqueo usada y tratamiento posterior de la arcilla recuperada con agua caliente y con vapor de agua	90
3.3.1.	Ensayos de prensado hidráulico para la arcilla de blanqueo usada	90
3.3.2.	Tratamiento de la arcilla prensada con agua caliente y con vapor de agua	92
3.4.	Evaluación de la eficiencia en la decoloración de aceite crudo de palma al emplear la arcilla de blanqueo recuperada	96
3.4.1.	Ensayos de decoloración de aceite de palma con arcillas de blanqueo calcinadas	96
3.4.2.	Ensayos de decoloración de aceite de palma con arcillas de blanqueo tratadas con agua caliente y con vapor de agua	99
3.4.3.	Superficie específica y capacidad de intercambio catiónico (CEC) de las arcillas de blanqueo recuperadas	100
3.4.4.	Caracterización física, química y mineralógica de las arcillas de blanqueo recuperadas	102
3.4.4.1.	Caracterización física de las arcillas de blanqueo recuperadas	102
3.4.4.2.	Caracterización química de las arcillas de blanqueo recuperadas	103

3.4.4.3.	Caracterización mineralógica de las arcillas de blanqueo recuperadas	104
3.5.	Definición del diagrama de flujo del proceso, dimensionamiento de equipos y evaluación económica preliminar	108
3.5.1.	Selección del método de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	108
3.5.2.	Diagrama de flujo del proceso de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	109
3.5.3.	Dimensionamiento de los equipos requeridos en la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	113
3.5.4.	Evaluación económica preliminar de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	116
3.5.4.1.	Área del terreno requerido y gastos de construcción de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	116
3.5.4.2.	Costos de materia prima requerida en la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	117
3.5.4.3.	Costos de suministros requeridos para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	117
3.5.4.4.	Costos de los equipos requeridos para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	118
3.5.4.5.	Mano de obra directa e indirecta requerida para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	118
3.5.4.6.	Costos de producción y capital de operación mensual de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	119
3.5.4.7.	Inversión total del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo empleadas en la decoloración de aceites vegetales comestibles	121
3.5.4.8.	Estado de pérdidas y ganancias de la evaluación económica preliminar del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	122
3.5.4.9.	Índices financieros de la evaluación económica preliminar de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	122
3.5.4.10.	Punto de equilibrio del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	123
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>125</b>
4.1.	Conclusiones	125
4.2.	Recomendaciones	127
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>128</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>133</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.1.</b>	Ácidos grasos saturados	2
<b>Tabla 1.2.</b>	Ácidos grasos insaturados	3
<b>Tabla 1.3.</b>	Contenido de aceite de algunas semillas de oleaginosas	4
<b>Tabla 1.4.</b>	Comparación entre la extracción de aceite por solvente y prensado	5
<b>Tabla 1.5.</b>	Refinación de aceite de palma: Operaciones unitarias	11
<b>Tabla 1.6.</b>	Aceite crudo de palma: Composición y propiedades físicas	14
<b>Tabla 1.7.</b>	Composición de carotenoides del aceite crudo de palma	15
<b>Tabla 1.8.</b>	Condiciones típicas de blanqueo de algunos aceites comunes	19
<b>Tabla 1.9.</b>	Clasificación de los filosilicatos	24
<b>Tabla 1.10.</b>	Capacidad de intercambio catiónico (CEC) de algunas arcillas minerales	26
<b>Tabla 1.11.</b>	Propiedades típicas de arcillas de blanqueo comerciales	34
<b>Tabla 1.12.</b>	Propiedades del blanqueo* vs. Acidez superficial	40
<b>Tabla 3.1.</b>	Propiedades típicas de la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)	77
<b>Tabla 3.2.</b>	Resultados de la caracterización física de la arcilla de blanqueo pura y de la arcilla de blanqueo usada	79
<b>Tabla 3.3.</b>	Superficie específica y capacidad de intercambio catiónico de la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)	80
<b>Tabla 3.4.</b>	Resultados del análisis químico realizado a la arcilla de blanqueo pura y a la arcilla de blanqueo usada	81
<b>Tabla 3.5.</b>	Resultados de la difracción de rayos X realizada a la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)	84
<b>Tabla 3.6.</b>	Comparación del aceite extraído por solvente y la arcilla recuperada de los ensayos de separación de aceite con la tierra pura, la tierra usada y el aceite de palma	87

<b>Tabla 3.7.</b>	Resultados de los ensayos de separación de aceite de la arcilla de blanqueo usada por extracción con solvente	88
<b>Tabla 3.8.</b>	Comparación de las arcillas obtenidas de la calcinación realizada a la arcilla prensada con la tierra pura y la tierra usada	89
<b>Tabla 3.9.</b>	Resultados del prensado hidráulico en caliente de la arcilla de blanqueo usada	90
<b>Tabla 3.10.</b>	Comparación de la arcilla obtenida del prensado hidráulico y el aceite extraído con la tierra pura, la tierra usada y el aceite de palma	91
<b>Tabla 3.11.</b>	Aceite remanente en la arcilla recuperada luego del tratamiento con agua caliente y con vapor de agua	93
<b>Tabla 3.12.</b>	Resultados del tratamiento de la arcilla prensada con agua caliente y con vapor de agua	94
<b>Tabla 3.13.</b>	Comparación de la arcilla obtenida del tratamiento con vapor de agua a presión con la tierra pura, la tierra usada y la tierra calcinada	95
<b>Tabla 3.14.</b>	Porcentaje de blanqueo determinado para el aceite de palma decolorado con arcillas de blanqueo calcinadas	98
<b>Tabla 3.15.</b>	Porcentaje de blanqueo determinado para el aceite de palma decolorado con arcillas de blanqueo tratadas con agua caliente y con vapor de agua	99
<b>Tabla 3.16.</b>	Capacidad de intercambio catiónico (CEC) de las arcillas de blanqueo recuperadas y de la arcilla de blanqueo pura	100
<b>Tabla 3.17.</b>	Cationes de cambio de las arcillas de blanqueo recuperadas y de la arcilla pura	101
<b>Tabla 3.18.</b>	Superficie específica de las arcillas de blanqueo recuperadas y de la arcilla pura	102
<b>Tabla 3.19.</b>	Caracterización física de las arcillas de blanqueo recuperadas	103
<b>Tabla 3.20.</b>	Caracterización química de las arcillas de blanqueo recuperadas	104
<b>Tabla 3.21.</b>	Caracterización mineralógica de las arcillas de blanqueo recuperadas	105
<b>Tabla 3.22.</b>	Comparación de los principales resultados obtenidos del tratamiento de la arcilla de blanqueo usada por diferentes métodos	109
<b>Tabla 3.23.</b>	Resultados del dimensionamiento de los equipos requeridos en la planta	113

<b>Tabla 3.24.</b>	Propiedades típicas de la arcilla de blanqueo recuperada con vapor de agua a presión en un autoclave	114
<b>Tabla 3.25.</b>	Area del terreno requerido y gastos de construcción necesarios para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	116
<b>Tabla 3.26.</b>	Requerimiento y costos de la arcilla de blanqueo usada para la planta de recuperación	117
<b>Tabla 3.27.</b>	Requerimiento de suministros para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	117
<b>Tabla 3.28.</b>	Requerimiento de equipos para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	118
<b>Tabla 3.29.</b>	Nómina de fuerza laboral requerida para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	119
<b>Tabla 3.30.</b>	Nómina de fuerza administrativa requerida para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	119
<b>Tabla 3.31.</b>	Costos anuales de producción y capital de operación mensual de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	120
<b>Tabla 3.32.</b>	Inversión total del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	121
<b>Tabla 3.33.</b>	Estado de pérdidas y ganancias del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	122
<b>Tabla 3.34.</b>	Índices financieros de evaluación económica preliminar de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	123

## ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.1.</b>	Formación de la molécula de triglicérido	2
<b>Figura 1.2.</b>	Prensa hidráulica de platos laterales	7
<b>Figura 1.3.</b>	Sección transversal de una prensa de tornillo	8
<b>Figura 1.4.</b>	Operaciones unitarias de una planta de extracción de aceite por solvente	8
<b>Figura 1.5.</b>	Algunos diseños de extractores de diferentes grupos comerciales	10
<b>Figura 1.6.</b>	Diagrama de flujo de: (A) refinación física y (B) refinación química de aceite crudo de palma	12
<b>Figura 1.7.</b>	Sistema estándar de blanqueo continuo a vacío	18
<b>Figura 1.8.</b>	Destrucción térmica del $\beta$ -caroteno	20
<b>Figura 1.9.</b>	Estructura de los filosilicatos del tipo 2:1 (TOT-TOT-...) como la esmectita (Montmorillonita)	22
<b>Figura 1.10.</b>	(a) Hoja trioctaédrica; (b) Hoja dioctaédrica de las arcillas minerales	23
<b>Figura 1.11.</b>	Hidratación, hinchamiento y plasticidad de las arcillas minerales	28
<b>Figura 1.12.</b>	Porcentajes mundiales de los usos de la bentonita en el año 1 993	29
<b>Figura 1.13.</b>	Estructura fibrosa de la paligorskita y sepiolita	30
<b>Figura 1.14.</b>	Cambios en la superficie específica de la sepiolita con la temperatura en diferentes estudios realizados	31
<b>Figura 1.15.</b>	Representación en tres dimensiones de la estructura atómica de montmorillonita de calcio	33
<b>Figura 1.16.</b>	Selección del tipo de arcilla de blanqueo dependiendo del nivel de dificultad en la remoción del color de un determinado aceite	34
<b>Figura 1.17.</b>	Activación de arcilla por disolución ácida e intercambio catiónico	36
<b>Figura 1.18.</b>	Bentonita vs. Hormita: Proceso de activación ácida	37
<b>Figura 1.19.</b>	Puente de hidrógeno entre un grupo hidroxilo de sílice y un grupo éster carbonilo	38



<b>Figura 1.20.</b>	Hidroxilos superficiales de los bordes cristalinos y catión hidratado de $\text{Ca}^{2+}$ de la intercapa antes del proceso de activación con ácido	38
<b>Figura 1.21.</b>	Generación de nueva superficie de hidroxilos después de la activación ácida (Taylor, 2 005)	39
<b>Figura 1.22.</b>	(a) Quimisorción de $\beta$ -caroteno vía atracción electrostática en la superficie de tetraedros, (b) Quimisorción de $\beta$ -caroteno vía enlace coordinado en la superficie de tetraedros	40
<b>Figura 1.23.</b>	Quimisorción de $\beta$ -caroteno vía enlace de coordinación en la región de la intercapa	41
<b>Figura 1.24.</b>	Efecto de la dosificación de ácido en la superficie específica de varias arcillas montmorillonitas de calcio (A-D) y de sodio (E)	42
<b>Figura 1.25.</b>	Efecto de la dosificación de ácido en el volumen del poro de varias arcillas montmorillonitas de calcio (A-D) y de sodio (E)	42
<b>Figura 1.26.</b>	Efecto del tamaño de partícula en la eficiencia de blanqueo y en la velocidad de prensado	43
<b>Figura 1.27.</b>	Aceite de palma blanqueado con arcilla natural: Efecto de la dosificación en el color del aceite blanqueado y desodorizado	44
<b>Figura 1.28.</b>	Aceite de canola: Efecto del tiempo de blanqueo a las condiciones: 1,5% de arcilla Clarion 470/vacío/temperatura de blanqueo 110°C	45
<b>Figura 1.29.</b>	Aceite de canola: Efecto de la temperatura de blanqueo a las condiciones: 1,5% de arcilla Clarion 470/vacío/30 min de blanqueo	45
<b>Figura 2.1.</b>	Metodología experimental seguida para la recuperación de arcillas de blanqueo usadas	50
<b>Figura 2.2.</b>	Mufla eléctrica utilizada para la calcinación de la muestra	53
<b>Figura 2.3.</b>	Equipo de extracción soxhlet empleado para limpiar la arcilla usada	54
<b>Figura 2.4.</b>	Equipos utilizados para la determinación de la composición química de la arcilla de blanqueo	56
<b>Figura 2.5.</b>	Difractómetro de rayos X empleado para analizar compuestos con cristalización definida	57
<b>Figura 2.6.</b>	Microscopio electrónico de barrido utilizado para la caracterización química de la arcilla de blanqueo	58
<b>Figura 2.7.</b>	Materiales y equipos utilizados para la determinación de la superficie específica de la arcilla de blanqueo	60

<b>Figura 2.8.</b>	Centrifuga utilizada para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CEC)	62
<b>Figura 2.9.</b>	Esquema de la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CEC)	63
<b>Figura 2.10.</b>	Esquema de la separación de aceite con solvente y posterior calcinación del material recuperado	65
<b>Figura 2.11.</b>	Prensa hidráulica y esquema de la metodología experimental empleada en los ensayos de prensado de la arcilla de blanqueo usada	66
<b>Figura 2.12.</b>	Plancha de calentamiento y filtro de aire a presión empleados para el tratamiento de la arcilla prensada con agua caliente	67
<b>Figura 2.13.</b>	Esquema del tratamiento de la arcilla de blanqueo prensada con agua caliente	68
<b>Figura 2.14.</b>	Materiales y metodología utilizados para el tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua en un sistema abierto a la atmósfera	69
<b>Figura 2.15.</b>	Autoclave empleado en el tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua saturado	70
<b>Figura 2.16.</b>	Esquema del tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua en un autoclave	71
<b>Figura 2.17.</b>	Materiales y equipos utilizados para realizar los ensayos de blanqueo de aceite de palma	73
<b>Figura 2.18.</b>	Diagrama de bloques de los ensayos de blanqueo de aceite de palma realizados	74
<b>Figura 3.1.</b>	Fotografías obtenidas del análisis químico realizado a la arcilla de blanqueo pura mediante microscopía electrónica de barrido	83
<b>Figura 3.2.</b>	Difractograma obtenido del análisis de difracción de rayos X de la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)	85
<b>Figura 3.3.</b>	(a) Aceite crudo de palma. (b) Aceite extraído por prensado hidráulico. (c) Aceite extraído con solvente	92
<b>Figura 3.4.</b>	Porcentaje de aceite remanente en la arcilla recuperada luego del tratamiento con agua y con vapor de agua	93
<b>Figura 3.5.</b>	Porcentaje de aceite remanente en la arcilla recuperada luego del tratamiento con agua y con vapor de agua previo prensado realizado	94

<b>Figura 3.6.</b>	Porcentaje de blanqueo obtenido con arcillas de blanqueo calcinadas durante varios tiempos	97
<b>Figura 3.7.</b>	Espectros de rayos X de varias muestras de arcillas de blanqueo calcinadas a diferentes temperaturas y tiempos	106
<b>Figura 3.8.</b>	Espectro de rayos X obtenido de la arcilla prensada y tratada con vapor de agua en un autoclave	106
<b>Figura 3.9.</b>	Comparación de espectros de rayos X de las arcillas recuperadas por 2 métodos que ofrecen un alto porcentaje de blanqueo de aceite	107
<b>Figura 3.10.</b>	Balance de masa de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	111
<b>Figura 3.11.</b>	Diagrama de flujos y equipos requeridos en la planta	112
<b>Figura 3.12.</b>	Distribución de los equipos requeridos en la planta de tratamiento de arcillas de blanqueo usadas	115
<b>Figura 3.13.</b>	Punto de equilibrio del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	124

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I</b> Caracterización física de la arcilla de blanqueo usada	134
<b>ANEXO II</b> Ensayos de separación de aceite presente en la arcilla de blanqueo usada	136
<b>ANEXO III</b> Tratamiento de la arcilla prensada con agua caliente y con vapor de agua	141
<b>ANEXO IV</b> Superficie específica y capacidad de intercambio catiónico de las arcillas de blanqueo recuperadas	142
<b>ANEXO V</b> Caracterización mineralógica de las arcillas de blanqueo recuperadas	146
<b>ANEXO VI</b> Caracterización química por microscopía electrónica de barrido de la arcilla de blanqueo pura y de las arcillas de blanqueo recuperadas	149
<b>ANEXO VII</b> Diseño conceptual de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	153
<b>ANEXO VIII</b> Análisis económico preliminar del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas	182

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo el diseño conceptual de una planta para recuperar arcillas de blanqueo empleadas en el proceso de decoloración de aceites vegetales comestibles. La materia prima de este estudio es una arcilla comercial llamada Pure Flo B80 natural que luego del proceso industrial de blanqueo se desecha al ambiente sin tratamiento previo.

Se realizó la caracterización física, química y mineralógica de la arcilla usada y de la arcilla pura. Se determinó que la tierra pura tiene silicio (35,6%), aluminio (10,5%), hierro (6,5%), magnesio (4,4%), potasio (1,4%), calcio (0,9%) y sodio (0,1%) y que las fases mineralógicas principales son montmorillonita 37%, paligorskita 26% y cuarzo 10%, además, este adsorbente contiene aproximadamente 10% de restos fósiles de estructura amorfa. Por otro lado, la arcilla usada tiene 48% de aceite residual.

El primer método ensayado para la recuperación de arcillas usadas consistió en eliminar el aceite de la tierra mediante un sistema de extracción soxhlet con acetona y posterior calcinación del material a diferentes temperaturas (400-600°C) y tiempos (30–180 min). Para esta técnica, a una temperatura de 550°C durante 1,5 h se obtuvo la máxima eficiencia en el blanqueo de aceite de palma (98%).

La segunda alternativa fue emplear prensado hidráulico con placas a 75°C, 100 atm de presión y posterior lavado con vapor de agua saturado a una presión de 1,5 bares por 4 horas en autoclave. Con esto, se consiguió un porcentaje de blanqueo del 80% y se disminuyó el contenido de aceite de la tierra usada desde 48% hasta 8%, sin embargo, se realizó una re-limpieza con vapor de agua, con lo que se aumentó la eficiencia en la decoloración hasta un 87% y se redujo la cantidad de aceite retenido a un 6%.

Se determinó el diagrama de flujo para la recuperación de arcillas usadas en una planta de 10 toneladas de capacidad. Se definieron los equipos requeridos y se

evaluó la factibilidad económica de este proyecto mediante índices financieros como el valor actual neto, la tasa interna de retorno y la relación beneficio/costo.

Se obtuvo del análisis económico preliminar que USD 256 457,94 son necesarios para iniciar el proyecto, Para un precio de comercialización del producto (arcilla recuperada) de 0,25 USD/kg se determinaron USD 97 786,35 de utilidades anuales. Finalmente, se analizó la factibilidad del negocio sobre la base de los índices financieros calculados: VAN = USD 274 239,79, TIR = 31,50% y B/C = 1,41.

## INTRODUCCIÓN

Las principales etapas de la refinación de aceites vegetales comestibles son el desgomado, neutralización, blanqueo y desodorización. La decoloración o blanqueo de aceites comestibles se realiza con arcillas naturales o activadas con ácido (Zahrani y Daous, 2 000).

Arcillas de blanqueo, tierras de blanqueo y tierras del batán (fuller's earth) son los términos empleados para nombrar a ciertas arcillas minerales que son usadas para clarificar y reducir (mediante purificación por adsorción) el color intenso de las grasas y aceites. Debido a las propiedades físico – químicas de las tierras de blanqueo (principalmente su gran superficie específica y porosidad), estas adsorben pigmentos de color (compuestos carotenoides), fosfolípidos procedentes del proceso de desgomado, metales, productos primarios (peróxidos e hidroperóxidos) y secundarios (aldehídos y cetonas) de oxidación, reteniendo además aceite sobre un 30%. Aunque existen 7 grupos principales de arcillas y por lo menos 33 arcillas minerales específicas, solo 2, montmorillonita cálcica (algunas veces llamada bentonita cálcica) y una mezcla particular que ocurre naturalmente de montmorillonita cálcica y atapulgita (paligorskita), llamada hormita, desempeñan un papel importante como arcillas de blanqueo comerciales [Taylor, 2 005; O'Brien, 2 009].

Las tierras decolorantes usadas en su mayoría son depositadas como residuos en todo el mundo, un estimado afirma que anualmente no menos de 100 mil toneladas de grasas y aceites se desperdician por estar contenidos en las tierras. Esto no sólo es un contaminante ambiental, sino también un riesgo porque estas arcillas contienen aceite que tiene tendencia a explotar fácilmente (Lusas, 2 003). Debido a que este desecho adsorbe compuestos tóxicos como aldehídos y cetonas, es perjudicial para el suelo y para los animales. Por otro lado, con el tiempo, es una fuente de olores nocivos que contaminan el medio ambiente y propician la generación de vectores que traen consigo enfermedades para las personas que viven alrededor del relleno mal llamado sanitario donde son descartadas (Hertrampf y Piedad, 2 000).

En el Ecuador, alrededor de 600 toneladas por día de aceite crudo de palma son refinadas en las industrias aceiteras para elaborar aceite vegetal comestible y una gama de subproductos con aplicaciones alimenticias e industriales. A consecuencia de que se emplea entre el 1 y el 2% de arcilla de blanqueo por tonelada de aceite procesado, cerca de 6 toneladas diarias de tierras decolorantes son desechadas en el país, luego de ser usadas en el proceso de blanqueo de aceite de palma (Ancupa, 2 011).

Existen diversas alternativas de tratamiento de este desecho, que en algunos casos, recuperan la arcilla de blanqueo y en otros recuperan el aceite retenido. En general, reutilizar el aceite con fines comestibles resulta difícil de lograr por causa de su oxidación (Taylor, 2 005). Con la mayoría de estas técnicas se obtiene un producto que tiene una eficiencia en la decoloración de aceite sobre el 80%. Entre las principales metodologías encontradas tenemos:

- Extracción del aceite contenido con solventes orgánicos como percloroetileno o hexano.
- Calcinación directa del material a temperaturas sobre los 600°C.
- Extracción acuosa con carbonato de sodio.
- Extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico (Taylor, 2 005).

El presente trabajo ofrece una alternativa de tratamiento de este desecho por medio de vapor de agua saturado para eliminar impurezas adsorbidas de la tierra de blanqueo usada. Este método es adaptable a la industria aceitera, en comparación a las otras metodologías que requieren una compleja instalación.

En este estudio también se realiza un análisis económico preliminar de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas, donde se determina la inversión inicial, la utilidad anual y los índices financieros que le permiten al inversionista analizar la factibilidad del proyecto.



# 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1. ACEITES VEGETALES COMESTIBLES: EXTRACCIÓN Y REFINACIÓN DE ACEITE DE PALMA

### 1.1.1. INTRODUCCIÓN A LOS ACEITES VEGETALES COMESTIBLES

Los aceites vegetales comestibles provienen de diversas fuentes de semillas oleaginosas de donde se extrae su contenido para elaborar aceites líquidos, mantecas, margarinas u otros alimentos especiales que son ingredientes funcionales de alimentos preparados en el hogar, restaurantes, industrias, etc. Los lípidos (aceites o grasas) desempeñan muchas funciones en los tejidos, además, son la fuente energética más importante ya que cada gramo genera 9 Kcal (38,2 KJ) porque en su estructura contienen más átomos de carbono que las proteínas y los hidratos de carbono que producen 4 Kcal/g (17 KJ/g) cada uno [O'Brien, 2 009; Salvador, 2 006; Gunstone, 2 008].

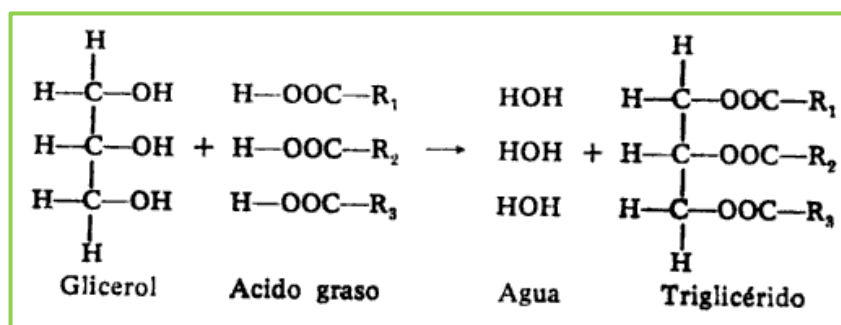
### 1.1.2. ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES VEGETALES

Los aceites y grasas industriales son sustancias de origen vegetal o animal, que consisten, predominantemente, en mezclas de ésteres de glicerina (glicerol) con ácidos grasos, es decir, triacilglicéridos o *triglicéridos*, como se aprecia en la figura 1.1. En general, el término “grasa” se usa para referirnos a los materiales sólidos a temperatura ambiente; mientras que el término “aceite” se refiere a los que son líquidos en las mismas condiciones (Bailey, 1 961).

#### 1.1.2.1. Triglicéridos

Los ácidos grasos representan un gran porcentaje en la composición del triglicérido y en consecuencia de las grasas y aceites. El peso de los átomos de la

porción  $C_3H_5$  de la molécula de triacilglicerol es 41 y la suma de los pesos de los átomos de los radicales de ácidos grasos ( $R-COO$ ) que comprenden el resto de la molécula varía entre 650 y 970 en los diferentes aceites, es decir, estos constituyen entre el 94-96% del peso total de la molécula [Salvador, 2 006; Bailey, 1 961].



**Figura 1.1.** Formación de la molécula de triglicérido  
(Bailey, 1 961)

### 1.1.2.2. Ácidos grasos saturados

En la tabla 1.1., se presentan algunos ácidos grasos saturados:

**Tabla 1.1.** Ácidos grasos saturados

NOMBRE TRIVIAL	NOMBRE CIENTÍFICO	FÓRMULA	PUNTO DE FUSIÓN (°C)
Butírico	Butanoico	$CH_3(CH_2)_2COOH$	-5,9
Caproico	Hexanoico	$CH_3(CH_2)_4COOH$	-3,4
Caprílico	Octanoico	$CH_3(CH_2)_6COOH$	16,7
Cáprico	Decanoico	$CH_3(CH_2)_8COOH$	31,6
Láurico*	Dodecanoico	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	44,2
Mirístico*	Tetradecanoico	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	54,4
Palmítico*	Hexadecanoico	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	63,0
Estearico*	Octadecanoico	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	69,4
Araquídico	Eicosanoico	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	76,0
Behénico	Docosanoico	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$	79,9
Lignocérico	Tetracosanoico	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$	84,2
Cerótico	Hexacosanoico	$CH_3(CH_2)_{24}COOH$	87,7

\*Ácidos grasos saturados más comunes en alimentos  
Salvador, 2 006

Varían de 4 a 26 átomos de carbono y su temperatura o punto de fusión aumenta con el peso molecular o largo de la cadena, así los de C<sub>4</sub> a C<sub>8</sub> son líquidos a 25°C, mientras que los de C<sub>10</sub> en adelante son sólidos como lo muestra la tabla 1.1 y su solubilidad en agua es inversamente proporcional al peso molecular (Salvador, 2 006).

### 1.1.2.3. Ácidos grasos insaturados

Debido a sus insaturaciones (dobles enlaces) estos compuestos tienen una gran reactividad química ya que son propensos a la saturación y a las transformaciones oxidativas y de isomerización. Los ácidos grasos insaturados son muy abundantes en los aceites vegetales y marinos; su temperatura de fusión disminuye con el aumento de las dobles ligaduras y siempre es menor que la de los saturados para una misma longitud de cadena. Los de una insaturación se llaman monoenoicos o monoinsaturados y a los de más de una se les denomina polienoicos o poliinsaturados. En el primer caso la mayoría presenta la doble ligadura entre los carbonos 9 y 10 (Salvador, 2 006).

A continuación se presentan los principales ácidos grasos que se encuentran en los alimentos:

**Tabla 1.2.** Ácidos grasos insaturados

NOMBRE TRIVIAL	NOMBRE CIENTÍFICO	FÓRMULA	PUNTO DE FUSIÓN (°C)
Palmitoleico	Hexadeca-9-enoico	C <sub>15</sub> H <sub>29</sub> COOH	-0,5
Oleico*	Octadeca-9-enoico	C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH	13
Linoleico*	Octadeca-9:12-dienoico	C <sub>17</sub> H <sub>31</sub> COOH	-5,0
Linolénico*	Octadeca-9:12:15-trienoico	C <sub>17</sub> H <sub>29</sub> COOH	-11,0
Araquidónico	Eicosa-5:8:11:14-tetraenoico	C <sub>19</sub> H <sub>31</sub> COOH	-49,5
Vaccénico	Trans-11-enoico	C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH	40,0
Gadoleico	Eicosa-11-enoico	C <sub>19</sub> H <sub>37</sub> COOH	23,5
Erúcico	Docosa-13-enoico	C <sub>21</sub> H <sub>39</sub> COOH	38,0

\*Ácidos grasos insaturados más comunes en alimentos  
Salvador, 2 006

### 1.1.3. EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS OLEAGINOSAS

#### 1.1.3.1. Introducción a la extracción de aceite de semillas oleaginosas

La diversidad de características de los distintos aceites da lugar también a distintos procedimientos de extracción, tales como el prensado y la extracción con disolvente. Sin embargo, estos procedimientos tienden a los mismos fines que son: primero, obtener el aceite sin alteraciones y desprovisto de impurezas; segundo, un máximo rendimiento de acuerdo con la economía del proceso; y tercero, conseguir un residuo o torta de máxima calidad (Chakrabarty, 2 003).

En la tabla 1.3 se muestra el contenido de aceite de algunas semillas oleaginosas comunes, a partir de las cuales se obtiene una gama de aceites comestibles:

**Tabla 1.3.** Contenido de aceite de algunas semillas de oleaginosas

ITEM	MATERIAL	CONTENIDO DE ACEITE (%)
1	Copra (almendra de coco)	65-68
2	Babasú	60-65
3	Semilla de Sésamo	50-55
4	Palma	45-50
5	Palmiste	45-50
6	Maní	45-50
7	Colza/Mostaza/Canola	40-45
8	Semilla de girasol	35-45
9	Semilla de Cártamo	30-35
10	Oliva	25-30
11	Algodón	18-20
12	Soya	18-20
13	Semilla de Niger	35-50

Chakrabarty, 2 003

Cuando se parte de semillas que contienen grandes cantidades de aceite y pequeñas de sólidos, el aceite que queda sin extraer en el residuo es sólo una mínima fracción del total. Aún en los prensados más eficaces la torta retiene, por absorción, cantidades apreciables de aceite que pueden llegar a ser del 4 al 7%

de su peso. Sin embargo, cuando se trata de semillas como la soya que tiene un bajo contenido de aceite, el que queda en el residuo puede llegar a ser del 20 al 25% del total; en estos casos conviene extraer con disolvente este aceite retenido, consiguiéndose por este procedimiento, disminuir el porcentaje a menos del 1%. El inconveniente principal de la extracción con disolvente es el elevado costo inicial de la instalación (Bailey, 1 961).

Una comparación entre los distintos procedimientos de extracción de aceites vegetales se presenta a continuación en la tabla 1.4:

**Tabla 1.4.** Comparación entre la extracción de aceite por solvente y prensado

SOLVENTE	PRENSADO
<b>PRODUCTOS</b>	
La harina o torta tiene un residual de hexano. El porcentaje es mínimo, pero se puede considerar como un contaminante. La harina se puede almacenar por mucho tiempo.	La harina o torta contiene una gran parte de aceite. Se puede estimar que alrededor de 20% del aceite queda en la torta con esta tecnología. La harina tiene muy poca durabilidad, debido al aceite que contiene.
Se trata de un proceso considerado como químico y por este motivo, a su vez, se toma como algo poco natural.	El aceite se denomina aceite de extracción en frío. Hay gente que considera este aceite más sano que el aceite extraído por solvente.
Es el producto común que siempre tiene el precio más accesible.	Los productos se pueden, a menudo, colocar en el mercado a un precio mayor.
<b>EFICIENCIA</b>	
Es un proceso muy eficiente con producción continua. La separación entre aceite y proteína, impurezas, etc., es casi 100%.	Es un proceso poco eficiente. La extracción está alrededor de 80% del aceite disponible en la materia prima.
<b>COSTO DE INVERSIÓN</b>	
Se trata de una inversión muy grande. Una vez instalada la planta, difícilmente se puede desarmarla y usarla para otros fines.	El costo de inversión es moderado. Para una empresa que arranca en el rubro, puede ser una buena idea. Las máquinas siempre se pueden desarmar, transportar e instalar en otro lugar.
<b>COSTO OPERATIVO</b>	
Los gastos operativos son menores (una vez que está en marcha la planta). Se trata de una instalación totalmente automatizada con poca intervención del personal y con procesos bien ajustados (con relación a los insumos consumidos y energía).	La instalación precisa siempre la intervención del personal por el desgaste de las partes; por otro lado, el consumo de energía es alto.

### 1.1.3.2. Extracción de aceite por prensado mecánico

Dos tipos de prensado se conocen: prensado continuo y prensado discontinuo. El prensado discontinuo es el procedimiento más antiguo y se basa en la aplicación de presión sobre una masa de productos oleaginosos confinados en bolsas, telas, mallas u otros artificios adecuados, mediante el uso de prensas hidráulicas. Mientras que por otra parte, el prensado continuo, es el procedimiento de extracción de aceite más empleado actualmente, se lo realiza mediante el uso de prensas de tornillo o expellers, que son máquinas de alta presión, diseñadas para efectuar la obtención de aceite en un solo paso. Las prensas continuas ahorran mucha mano de obra respecto a las prensas hidráulicas y eliminan por completo el uso de telas filtrantes, se adaptan a una amplia gama de materias y en la mayor parte de los casos dan un rendimiento en aceite algo superior a las hidráulicas. Su mayor inconveniente estriba en el gasto de energía (relativamente alto) a la vez que requieren una buena práctica de operación y conservación y no se adaptan bien a procesos intermitentes [Bailey, 1 961; Basiron, 2 005].

Para aceite de palma, el material requiere previamente una preparación antes del prensado que consiste en:

- **Esterilización.** Proceso mediante el cual se “cocina” la fruta con vapor de agua a presión a una temperatura entre 130-145°C durante una hora en un autoclave.
- **Desfrute.** Proceso mecánico en donde se separan los frutos de las espigas del racimo.
- **Digestión.** La digestión o maceración se realiza en unos cilindros verticales equipados con chaquetas por donde circula vapor de agua. La función de la digestión es disminuir la viscosidad del aceite mediante calentamiento entre 80-90°C por 20-30 min, facilitando así el prensado [Ortiz y Fernández, 1 994; O'Brien, 2 009; Kemper, 2 005].

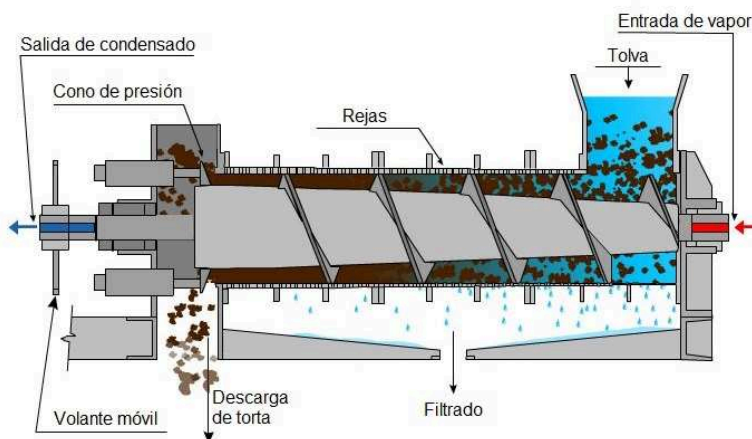
**Prensa hidráulica.** La prensa hidráulica está constituida de placas, dentro de las cuales se coloca la torta envuelta en telas de filtros, sin embargo, existen prensas

con placas perforadas que eliminan el uso de telas filtrantes, como se puede apreciar en la figura 1.2. Las prensas de acción hidráulica tienen un empleo limitado en usos especiales en donde se requieran presiones ligeras. La industria del aceite de oliva es la única hoy en día que sigue usando este tipo de prensa, debido al alto precio del aceite y también a que el procesamiento se lo realiza sin el uso de calor o químicos [Bailey, 1 961; Kemper, 2 005].



**Figura 1.2.** Prensa hidráulica de platos laterales  
(The French Oil, 2 011)

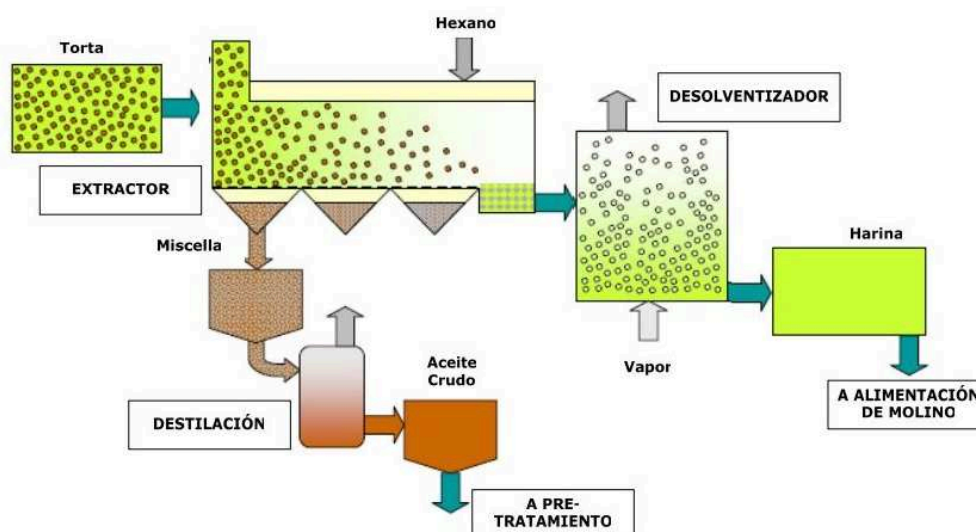
**Prensa de tornillo o expeller.** Como se mencionó anteriormente la prensa de tornillo o de expeller es una máquina que trabaja a alta presión obteniendo aceite en un solo paso. Está constituida de una jaula horizontal perforada en la que la presión se desarrolla por medio de un tornillo sin fin que gira. En la jaula se desarrollan presiones altas del orden de 1 400 a 2 800 atm por medio de la acción del eje rotatorio (tornillo) contra un orificio o estrangulación regulable que restringe la descarga de la torta al extremo de la jaula. La principal ventaja de la prensa de tornillo es que permite la extracción continua de aceite y procesa grandes cantidades de semillas oleaginosas con un trabajo mínimo y además elimina el uso de telas filtrantes; por el lado negativo, su mayor inconveniente es el gasto de energía (relativamente alto). El aceite obtenido con los expellers contiene siempre más cantidad de sólidos que los procedentes de prensas hidráulicas, es por esto, que al final de las operaciones, se suele hacer pasar el aceite por un filtro-prensa, para eliminar aquellas partículas que, por su tamaño pequeño, no han sido separadas por la rejilla [Bailey, 1 961; Basiron, 2 005].



**Figura 1.3.** Sección transversal de una prensa de tornillo  
(FKC Screw Press, 2 011)

### 1.1.3.3. Extracción de aceite por solvente

La mayoría del aceite vegetal del mundo es extraído con solvente. El disolvente utilizado generalmente en las plantas de extracción en todo el mundo es el hexano comercial, sustancia que consiste en una mezcla de hidrocarburos (65% de hexano y 35% de ciclopentano e isómeros del hexano). La figura 1.4 ilustra las operaciones unitarias típicas asociadas con la extracción por solvente [Kemper, 2 005; Anderson, 2 005]:



**Figura 1.4.** Operaciones unitarias de una planta de extracción de aceite por solvente  
(Anderson, 2 005)



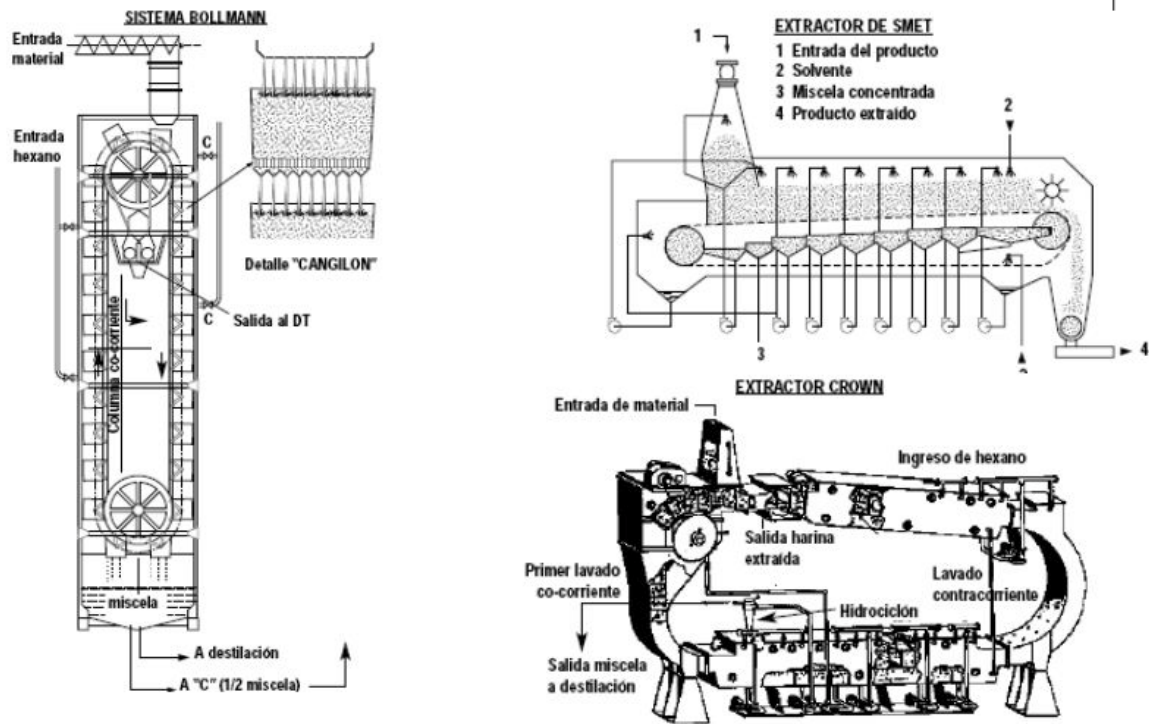
Básicamente son 5 operaciones unitarias que conllevan este proceso y estas son: extracción del aceite, desolventado de la harina (materia sólida), secado y enfriado de la harina, destilación de la micela (aceite/solvente) y recuperación de solvente [Kemper, 2 005; Anderson, 2 005].

“En el extractor, que es un dispositivo de flujo en contracorriente, el material sólido se mueve en dirección opuesta a la micela (solvente/aceite) con un incremento paulatino de la concentración de aceite. En el primer lavado del material la micela que contiene alrededor del 25-30% de aceite sale del extractor para la destilación y recuperación del solvente. Después de las etapas de lavado el material se pone en contacto con solvente puro y se deja escurrir por un breve período. El material extraído conocido como copos blancos se remueve del extractor y es transportado al proceso de desolventación. La mayor parte de estos sistemas trabajan satisfactoriamente sólo si las partículas de semillas conservan substancialmente su forma original durante el proceso. Si las partículas tienden a desintegrarse bajo la influencia del disolvente, las de menor tamaño, no sólo son difíciles de separar de las micelas, sino que también impiden la circulación uniforme del disolvente a través de las escamas de las semillas” (Bailey, 1 961).

Aparte de que la extracción con disolvente constituye el método más eficaz de obtención de aceite de cualquier producto oleaginoso, es casi el que presenta mayores ventajas en la manipulación de semillas u otros materiales con bajo contenido de aceite. El contenido mínimo al que se puede llegar en la torta por expresión mecánica es el mismo para todas las semillas, esto es, del 4 al 5% y con solvente, se puede llegar a un valor inferior al 1% de aceite [Anderson 2 005; Bailey, 1 961].

Como el vapor de hexano es 3 veces más pesado que el aire y ligeras cantidades de esta sustancia se mezclan en el aire pueden crear una mezcla explosiva, por lo que hay que tener un cuidado especial en la construcción y operación de las plantas de extracción por solventes. Debido a consideraciones especiales de seguridad la industria se construye en una instalación separada al proceso de preparación de las semillas y el acceso a la zona es controlado y restringido. La

figura 1.5 muestra varios tipos de extractores empleados por las industrias de extracción de aceite por solvente [Kemper, 2 005; Anderson, 2 005]:



**Figura 1.5.** Algunos diseños de extractores de diferentes grupos comerciales (Los Seibos, 2 011)

## 1.1.4. REFINACIÓN DE ACEITE DE PALMA

### 1.1.4.1. Introducción a la refinación de aceite de palma

El aceite crudo de palma extraído comercialmente de racimos de fruta fresca contiene una pequeña pero variable cantidad de compuestos e impurezas indeseables, estos incluyen algunas fibras del mesocarpio, humedad y sustancias insolubles, ácidos grasos libres, fosfolípidos, traza de metales, productos de oxidación y sustancias odoríferas. Debido a esto, el aceite de palma es normalmente refinado hasta un producto blando y estable antes de ser usado para consumo directo o para formulaciones de productos comestibles. Sin embargo, en África este aceite es a menudo consumido en forma cruda (Basiron, 2 005).

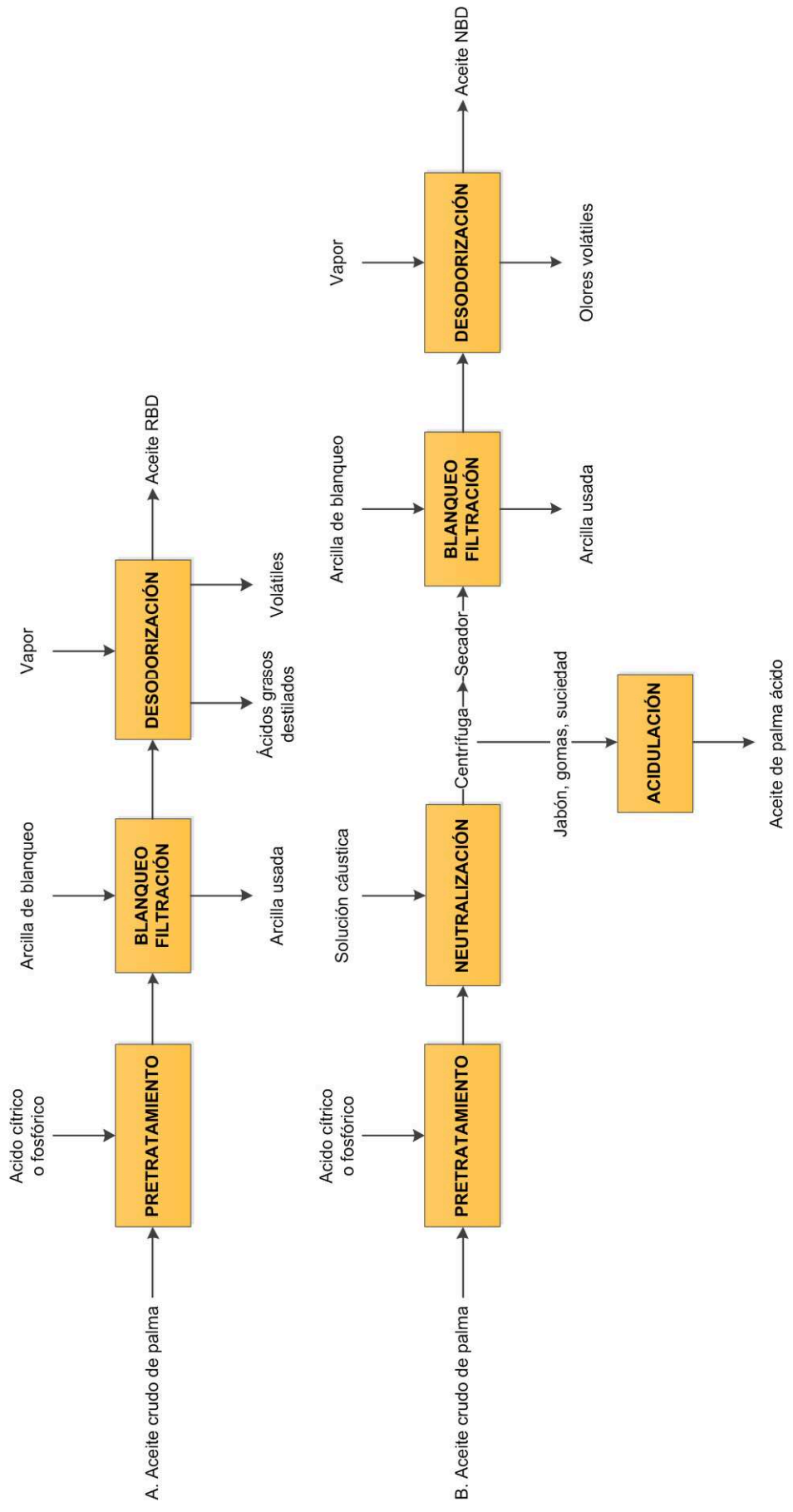
Dos métodos, es decir refinación física y refinación química, están disponibles para refinar aceite crudo de palma y se diferencian básicamente en la forma en que los ácidos grasos libres son removidos. La refinación física se ha convertido en la ruta de procesamiento más importante debido a su rentabilidad, eficiencia y tratamiento simple de efluentes. Ambos procesos son capaces de producir aceite de palma refinado, blanqueado y desodorizado (RBD) de calidad deseable y estabilidad adecuada para fines comestibles. En la refinación química los ácidos grasos libres, la mayor parte de fosfátidos y otras impurezas son neutralizadas con una solución alcalina que usualmente es NaOH. En la refinación física los ácidos grasos libres son removidos por destilación durante la desodorización; los fosfolípidos y demás impurezas son eliminadas antes de la destilación al vapor [Basiron, 2 005; O'Brien, 2 009].

Los componentes que son removidos y las operaciones unitarias que envuelven a estos dos sistemas se muestran en la tabla 1.5 y en la figura 1.6 respectivamente:

**Tabla 1.5.** Refinación de aceite de palma: Operaciones unitarias

Etapa	Impurezas principales reducidas o removidas
Desgomado	Fosfolípidos, traza de metales, carbohidratos y lipoproteínas.
Neutralización	Ácidos grasos, fosfolípidos, pigmentos, impurezas insolubles en aceite y solubles en agua.
Lavado	Jabón.
Secado	Agua.
Blanqueo	Pigmentos, productos de oxidación, traza de metales, trazas de jabón, traza de fosfolípidos.
Filtración	Arcilla de blanqueo usada.
Desodorización	Ácidos grasos, mono y di glicéridos, productos de oxidación, producto de pigmentos de descomposición, vitaminas, esteroides, compuestos odoríferos y otros volátiles.
Refinación física	Ácidos grasos, mono y diglicéridos, productos de oxidación, producto de pigmentos de descomposición.
Pulido	Remoción de trazas de impurezas insolubles en el aceite.

Basiron, 2 005; Chakrabarty, 2 003



**Figura 1.6.** Diagrama de flujo de: (A) refinación física y (B) refinación química de aceite crudo de palma (Basiron, 2 005)

#### 1.1.4.2. Aceite crudo de palma

El aceite de palma es obtenido de las frutas del árbol de palma *Elaeis guineensis*. Las frutas de la palma dan dos tipos de aceites, uno es de la pulpa llamado aceite de palma y otro es de la nuez llamado aceite de palmiste. El aceite de palma tiene aproximadamente igual cantidad de ácidos grasos saturados e insaturados; el ácido palmítico y el ácido oleico son los mayores componentes [Chakrabarty, 2 003; O'Brien, 2 009].

Este aceite vegetal tiene un contenido de ácidos grasos libres (FFA) entre el 3-5% en peso. El aceite crudo es bajo en fosfolípidos entre 5-130 ppm y contiene carotenoides (el precursor de la vitamina A) entre 500-700 ppm principalmente en la forma  $\alpha$  y  $\beta$ -caroteno que le da una coloración rojo anaranjado intensa, tocoferoles y tocotrienoles (antioxidantes naturales que previenen la oxidación del aceite) entre 700-1 100 ppm y esteroides (dentro de los cuales se encuentra el colesterol) entre 200-600 ppm. A pesar de que estos componentes menores del aceite de palma representan menos del 1% del total, ellos juegan un papel importante en la estabilidad y refinabilidad del aceite y además aumentan el valor nutritivo del mismo [Basiron, 2 005; Bailey, 1 961].

A menos que se extraigan los carotenoides antes de la refinación estos son térmicamente destruidos durante la fase de desodorización, con el fin de producir el color deseado de un aceite refinado. En el aceite crudo de palma la presencia de estos carotenoides, tocoferoles y tocotrienoles (Vitamina E) parece ofrecer alguna protección oxidativa al aceite a través de un mecanismo donde son oxidados antes que los triglicéridos [Basiron, 2 005; Bailey, 1 961; Chakrabarty, 2 003; Gunstone, 2 008].

La tabla 1.6, muestra las características típicas que contiene el aceite crudo de palma:

**Tabla 1.6.** Aceite crudo de palma: Composición y propiedades físicas

CARACTERÍSTICAS	VALOR	RANGO
Gravedad específica, 50°C	-	0,888 a 0,889
Índice de refracción, 50°C	-	1,455 a 1,456
Índice de yodo	53	46 a 56
Numero de saponificación	196	190 a 202
Materia insaponificable, %	0,5	0,15 a 0,99
Título, °C	46,3	40,7 a 49,0
Punto de gota Mettler, °C	37,5	35,5 a 45,0
Punto de solidificación, °C	-	35,0 a 42,0
Test de frio, horas	None	None
Contenido de carotenos, ppm	-	500 a 700
Estabilidad AOM, horas	54	53 a 60
Índice de estabilidad oxidativa (110°C), horas	16,9	16,6 a 19,0
Contenido de tocoferoles, ppm		
$\alpha$ -tocoferol	172	129 a 215
$\beta$ -tocoferol	30	22 a 37
$\gamma$ -tocoferol	26	19 a 32
$\delta$ -tocoferol	13	10 a 16
Contenido de tocotrienol, ppm		
$\alpha$ -tocotrienol	59	44 a 73
$\beta$ -tocotrienol	59	44 a 73
$\gamma$ -tocotrienol	350	262 a 437
$\delta$ -tocotrienol	94	70 a 117
Composición de ácidos grasos, %		
C-12:0 Láurico	0	0,1 a 1,0
C-14:0 Mirístico	1,1	0,9 a 1,5
C 16:0 Palmítico	44,0	41,8 a 46,8
C 16:1 Palmitoleico	0,1	0,1 a 0,3
C 18:0 Esteárico	4,5	4,5 a 5,1
C 18:1 Oleico	39,2	37,3 a 40,8
C 18:2 Linoleico	10,1	9,1 a 11,0
C 18:3 Linolénico	0,4	0,4 a 0,6
C 20:0 Araquídico	0,4	0,2 a 0,7
Composición de triglicéridos, %		
SSS trisaturado	6,4	0,8 a 9,0
SUS disaturado	44,7	38,5 a 50,3
SUU monosaturado	37,7	31,8 a 44,4
UUU triinsaturado	6,5	4,8 a 9,8
Diglicéridos, %	4,9	3,0 a 7,6

**Tabla 1.6.** Aceite crudo de palma: Composición y propiedades físicas (continuación...)

CARACTERÍSTICAS	VALOR	RANGO
Índice de grasa sólida para:		
10,0°C	34,5	30,0 a 39,0
21,1°C	14,0	11,5 a 17,0
26,7°C	11,0	8,0 a 14,0
33,3°C	7,4	4,0 a 11,0
37,8°C	5,6	2,5 a 9,0
40,0°C	4,7	2,0 a 7,0
Hábito de cristal	$\beta'$	

Notas: S=saturado, U=insaturado, AOM=método de oxígeno activado  
O'Brien, 2 009

A continuación en la tabla 1.7 se presenta la composición de carotenoides, compuestos que le da una coloración rojo anaranjado intensa al aceite de palma:

**Tabla 1.7.** Composición de carotenoides del aceite crudo de palma

CAROTENOIDE	PORCENTAJE
Fitoeno	1,27
Cis- $\beta$ -caroteno	0,68
Fitoflueno	0,06
$\beta$ -caroteno	56,02
$\alpha$ -caroteno	35,16
cis- $\alpha$ -caroteno	2,49
$\xi$ -caroteno	0,69
$\gamma$ -caroteno	0,33
$\delta$ -caroteno	0,83
Neurosporeno	0,29
$\beta$ -zeacaroteno	0,74
$\alpha$ -zeacaroteno	0,23
Licopeno	1,30
Total de carotenos (ppm)	673

Basiron, 2 005

El aceite de palma es uno de los aceites vegetales más estables y esto puede ser atribuido a la presencia de antioxidantes naturales y también a la proporción equilibrada de ácidos grasos saturados e insaturados. Sin embargo, el aceite de palma ya sea crudo o refinado es aún susceptible a deterioros de calidad. La disponibilidad de aceite de buena calidad, que debe cumplir los siguientes

criterios de selección, es un prerrequisito para la elaboración de productos refinados:

- Contenido bajo de ácidos grasos libres.
- Bajo en características de oxidación.
- Blanqueabilidad buena.
- Bajo en traza de metales e impurezas insolubles.
- Porcentaje de humedad entre 0,15-0,20%.
- Alto en índice de deterioro de la blanqueabilidad (DOBI) (Basiron, 2 005).

DOBI, el cual se define como la relación entre los valores de absorbancia del aceite a 446 nm (longitud de onda de absorción de los carotenos) y a 269 nm (longitud de onda de absorción de los productos oxidados) fue introducido como un parámetro de calidad para diferenciar la refinabilidad de un buen o mal aceite crudo de palma. La relación para la calidad es: DOBI>3 bueno; 2,4-2,9 medio y <2,3 malo [Basiron, 2 005; Upstone, 2 010].

#### **1.1.4.3. Refinación física de aceite de palma**

“La refinación física se introdujo al procesamiento de aceite de palma en 1 973. Su principal característica es que la desacidificación, desodorización y descomposición térmica de los carotenoides se realiza en un solo proceso en un desodorizador de acero inoxidable. La refinación física se trata de un proceso continuo que consiste en una operación de 2 pasos de pretratamiento seguido por destilación al vapor” (Basiron, 2 005).

**Pretratamiento.** Pretratamiento se refiere al desgomado inicial de aceite con ácido fosfórico y la posterior limpieza por adsorción con arcillas de blanqueo. El aceite crudo de palma se pone en contacto con ácido fosfórico concentrado (80-85%) en un porcentaje con respecto a la alimentación de aceite del 0,05-0,2%, para posteriormente calentarlo entre 90-110°C durante 15-30 min antes de pasar al blanqueador donde la arcilla decolorante se agrega como una suspensión. El



porcentaje requerido de tierra es del 0,8-2,0% dependiendo de la calidad del aceite crudo de palma [Basiron, 2 005; O'Brien, 2 009; Young, 1 990].

Ácido fosfórico y ácido cítrico son usados porque tienen grado alimenticio, suficientemente fuertes y se unen a iones metálicos divalentes. El ácido cítrico es usualmente preferido porque no incrementa el contenido de fósforo en el aceite. En el desgomado seco el aceite es tratado con ácido para descomponer los iones metálicos de los complejos fosfolípidos y luego se mezcla con la arcilla de blanqueo. Las tierras contienen el ácido del desgomado, fosfátidos, pigmentos y otras impurezas que luego son removidas por filtración. La principal ventaja del desgomado seco es que no genera un efluente acuoso, típicamente este proceso es utilizado para aceites con bajo contenido de fosfolípidos como el aceite de palma, palmiste, coco y sebo [Basiron, 2 005; O'Brien, 2 009; Young, 1 990].

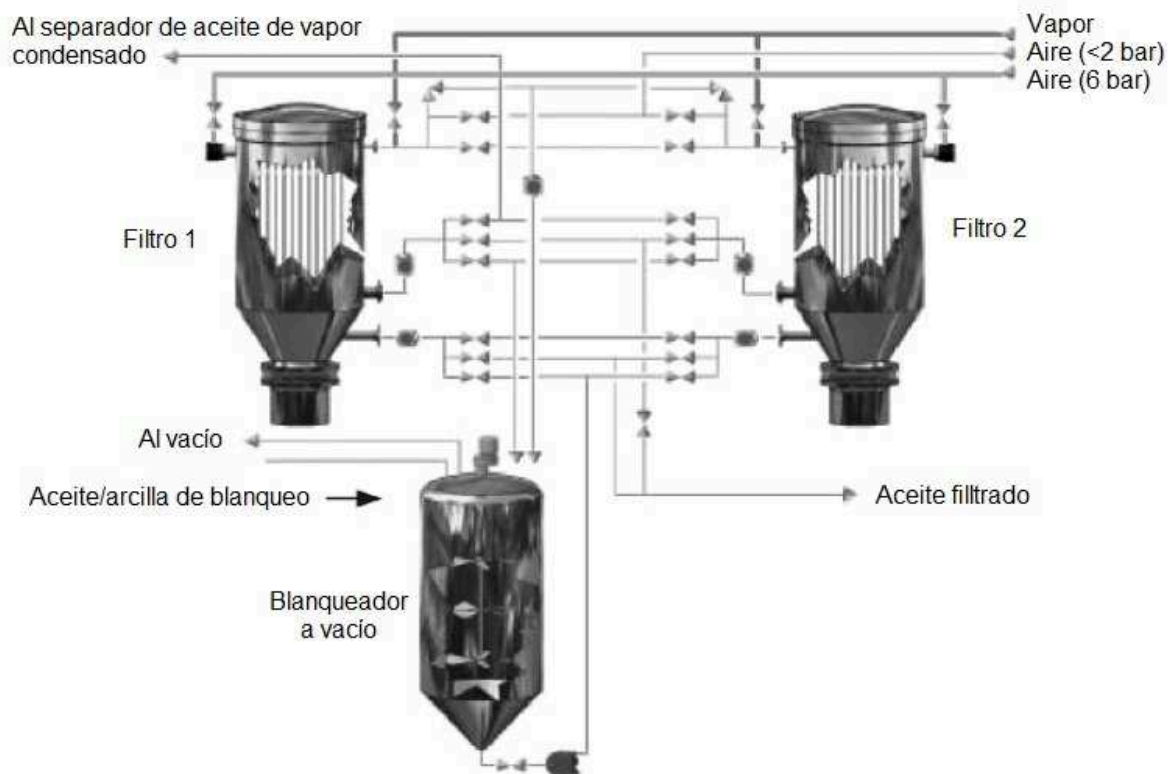
El propósito del ácido fosfórico o cítrico es precipitar los fosfátidos no hidratables, mientras que las funciones de la tierra son cuatro: (1) adsorber las impurezas indeseables como traza de metales, humedad y parte de los carotenoides y otros pigmentos, (2) reducir los productos de oxidación, (3) adsorber los fosfolípidos precipitados por el ácido y (4) remover algún exceso de ácido presente en el aceite después del desgomado [Basiron, 2 005; O'Brien, 2 009].

El color final del aceite residual pretratado es menos importante que el papel de la tierra de blanqueo que no se trata de la eliminación del color, sino que, más crítico es su capacidad de actuar como un agente de limpieza por adsorción. Una completa remoción de ácido residual en la fase de blanqueo es también crítica, debido a que aumenta el contenido de ácidos grasos libres y el color final del aceite RBD. Como garantía adicional una cantidad adecuada de carbonato de calcio se añade con frecuencia después de agregar la tierra decolorante al aceite desgomado para ayudar a neutralizar el ácido residual [Basiron, 2 005; O'Brien, 2 009].

El blanqueo se realiza bajo vacío entre 20-25 mmHg y a una temperatura entre 95-110°C por un tiempo de retención entre 30-45 min. La suspensión o mezcla

que contiene el aceite y la tierra se filtran para recuperar un aceite pretratado claro de color anaranjado. Usualmente una pequeña cantidad de tierra de diatomeas se usa como precapa al filtro para mejorar el proceso de filtración. Como medida de precaución el aceite filtrado es limpiado en un filtro prensa para atrapar las partículas de tierra que se escapan del primer prensado. La arcilla desechada después del filtrado normalmente contiene alrededor del 20-40% de aceite y ésta es la principal pérdida que existe durante el proceso de refinación [Basiron, 2 005; Taylor, 1 993; Mag, 1 990].

La figura 1.7 muestra un sistema estándar utilizado para blanquear aceite que consta de dos filtros de hojas (leaf filter) y un blanqueador que opera a vacío (el aceite y la arcilla previamente se mezclan en un tanque de premezcla antes de ingresar al blanqueador) y la tabla 1.8 presenta las condiciones típicas de blanqueo de diferentes aceites vegetales comestibles:



**Figura 1.7.** Sistema estándar de blanqueo continuo a vacío  
(Basiron, 2 005)

**Tabla 1.8.** Condiciones típicas de blanqueo de algunos aceites comunes

Aceite	Tiempo de blanqueo (min)	Temperatura de blanqueo (°C)	Dosificación típica de BE* (%)	Comentario
Canola	20-30	100-105	1-3	Alto en clorofila, requiere BE altamente activada.
Maíz	20-40	90-110	0,5-1,5	Refinado alcalino.
	20-40	90-110	1-3	Refinado físico.
Algodón	15-30	90-95	1,5-3	Aflaroxina, si está presente, se elimina con BE.
Palma	30-45	100-120	0,8-2	Empezar antes de 110°C si se usa BE altamente activadas.
Cártamo	20-30	95-100	0,2-0,4	Podría necesitar carbón activado si presenta PAHs**.
Soya	20-30	95-110	0,3-1,5	
Girasol	30-45	90-100	0,3-1,5	Requiere BE altamente activada; podría necesitar carbón activado si presenta PAHs.

\*BE = Tierra de blanqueo

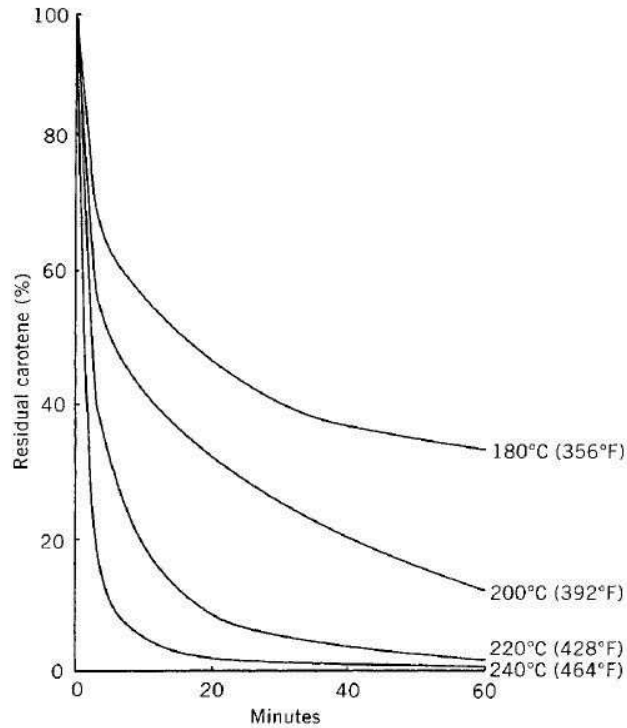
\*\*PAHs = Hidrocarburos aromáticos policíclicos

Taylor, 2 005

**Desodorización.** El aceite pretratado está listo para la desacidificación y desodorización. Este aceite conocido como RB (refinado y blanqueado) es primero desairado seguido de calentamiento entre 240-270°C en un intercambiador de calor externo antes de bombearlo dentro del deodorizador, el cual se mantiene a un vacío de 2-5 mmHg. Tradicionalmente fluidos térmicos eran comúnmente usados como medio de calentamiento, sin embargo, para eliminar el riesgo de una posible contaminación del aceite con el fluido, vapor de agua sobrecalentado a alta presión es ahora utilizado especialmente en las nuevas industrias [Basiron, 2 005; O'Brien, 2 009].

Temperaturas por encima de los 270°C se deben evitar para minimizar la pérdida de aceite neutro, tocoferoles/tocotrienoles y también para evitar la posibilidad de isomerización y reacciones termoquímicas indeseables. En tales condiciones y con la ayuda de arrastre con vapor de agua, los ácidos grasos libres que todavía están presentes en el aceite pretratado se destilan junto con los productos volátiles odoríferos y de oxidación como aldehídos y cetonas, que de alguna manera imparten olor y sabor al aceite. Al mismo tiempo, los carotenoides

residuales presentes son también descompuestos térmicamente (esto se puede apreciar en la figura 1.8) y el resultado final es la producción de un aceite de palma RBD suave de color claro [Basiron, 2 005; O'Brien, 2 009; Loft, 1 990; Bernardini, 1 993].



**Figura 1.8.** Destrucción térmica del  $\beta$ -caroteno (Basiron, 2 005)

Para maximizar la recuperación de energía térmica, el aceite desodorizado caliente se usa en el intercambiador de calor del aceite pretratado entrante, llegándose a enfriar hasta 120-150°C. El enfriamiento total se lleva a cabo con agua bajando la temperatura hasta 55-65°C antes de su almacenamiento [Basiron, 2 005; O'Brien, 2 009; Loft, 1 990; Bernardini, 1 993].

## 1.2. ARCILLAS DE BLANQUEO

### 1.2.1. INTRODUCCIÓN A LAS ARCILLAS MINERALES

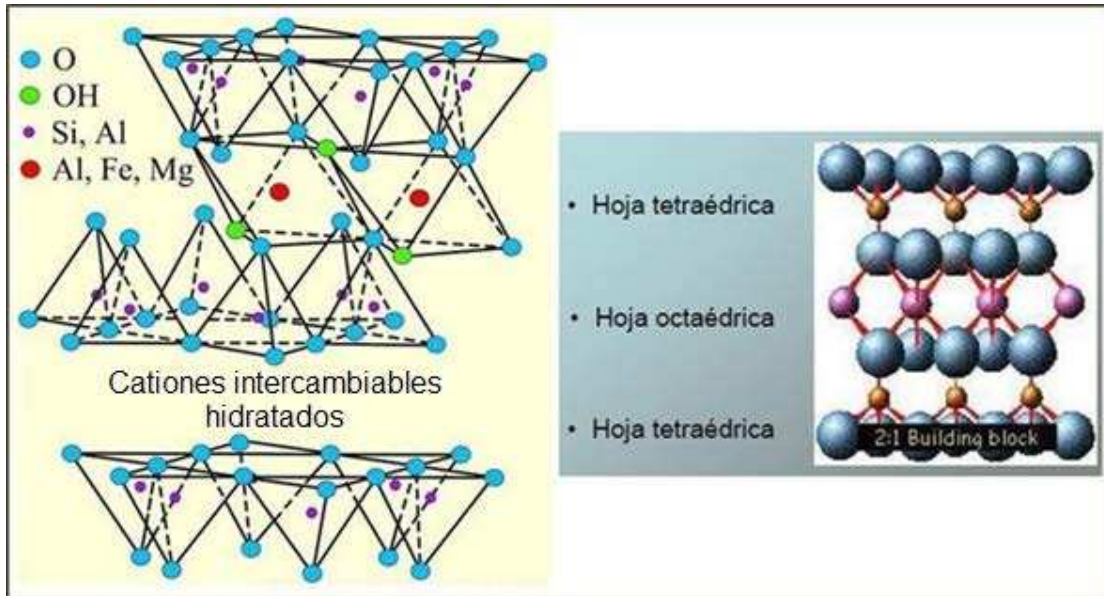
Las arcillas tienen diferentes significados dependiendo de sus aplicaciones:

- Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales de arcilla (filosilicatos en su mayor parte) cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).
- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria en la mayor parte de los casos de origen detrítico con características bien definidas.
- Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico que abarca los sedimentos (arcilla, óxidos hidratados y sustancias orgánicas) con un tamaño de partícula menor a 2  $\mu\text{m}$ .

Se consideran arcillas todas las fracciones con una granulometría inferior a 2  $\mu\text{m}$ , por lo tanto, todos los filosilicatos pueden considerarse arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 2  $\mu\text{m}$  [García y Suarez, 2 001; Bradanovic, 2 007; Besoain, 1 985].

#### 1.2.1.1. Estructura de los filosilicatos

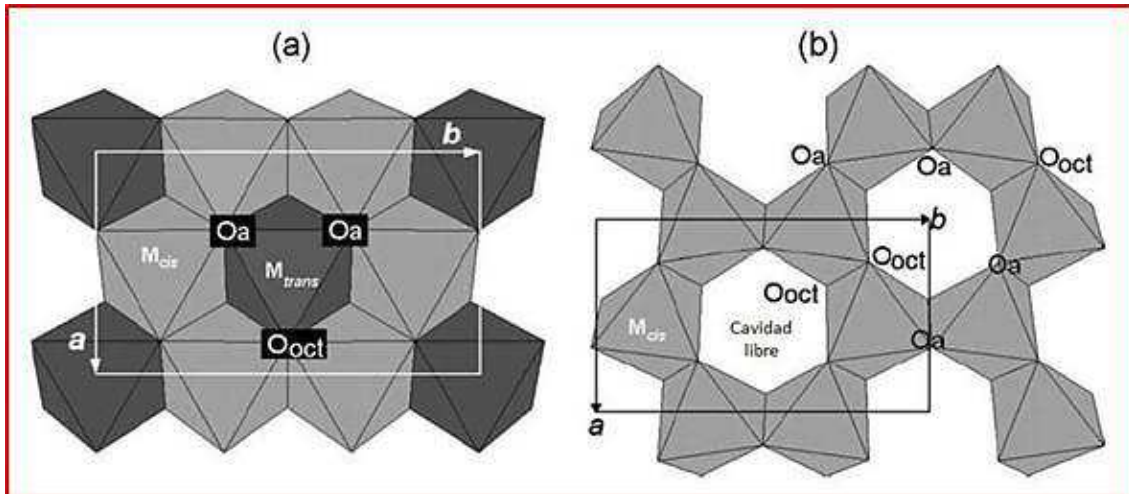
Las arcillas al igual que el resto de los filosilicatos presentan una estructura que consiste en apilamientos poliméricos tipo sándwich de capas de tetraedros y octaedros. Los grupos tetraédricos  $(\text{SiO})_4^{4-}$  se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas de extensión infinita y fórmula  $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$  que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos. En ellas los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El silicio tetraédrico puede estar en parte sustituido por  $\text{Al}^{3+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ . Estas capas tetraédricas se unen a otras octaédricas de tipo gibbsita o brucita. Las capas octaédricas están compuestas de Al-O y Al-(OH), el aluminio octaédrico puede ser sustituido por  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  y más raramente por  $\text{Li}^{1+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  o  $\text{Zn}^{2+}$ , como se aprecia en la figura 1.9 [García y Suarez, 2 001; Higuera y Oyarzun, 2 006; Brigatti *et al.*, 2 006].



**Figura 1.9.** Estructura de los filossilicatos del tipo 2:1 (TOT-TOT-...) como la esmectita (Montmorillonita) (Higuera y Oyarzun, 2 006)

Los filossilicatos se clasifican en dos tipos: 1:1 (bilaminares) y 2:1 (trilaminares). El tipo 1:1 consiste en una capa tetraédrica unida a una octaédrica (T-O); arcillas representativas de este tipo son las del grupo de la caolinita. La estructura tipo 2:1 consiste en una capa octaédrica cubierta a la manera de un sándwich por dos capas tetraédricas (T-O-T). Tres grupos de arcillas presentan esta estructura: illita, vermiculita y esmectita. A la unidad formada por la unión de una capa octaédrica más una o dos tetraédricas se la denomina lámina [Higuera y Oyarzun, 2 006; García y Suarez, 2 001].

Si todos los huecos octaédricos están ocupados, la lámina se denomina trioctaédrica ( $Mg^{2+}$  es el catión dominante en la capa octaédrica); si sólo están ocupadas dos tercios de las posiciones octaédricas y el tercio restante está vacante se denomina dioctaédrica (el  $Al^{3+}$  es el catión octaédrico dominante), esto se puede apreciar en la figura 1.10 [Higuera y Oyarzun, 2 006; García y Suarez, 2 001; Brigatti *et al.*, 2 006].



**Figura 1.10.** (a) Hoja trioctaédrica; (b) Hoja dioctaédrica de las arcillas minerales (Brigatti *et al.*, 2 006)

En algunos filosilicatos (esmeclitas, vermiculitas, micas, etc.) las láminas no son eléctricamente neutras debido a las sustituciones de unos cationes por otros de distinta carga. El balance de carga se mantiene por la presencia, en el espacio interlaminar o espacio existente entre dos láminas consecutivas, de cationes (como por ejemplo en el grupo de las micas), cationes hidratados (como en las vermiculitas y esmeclitas) o grupos hidroxilo coordinados octaédricamente, similares a las capas octaédricas como sucede en las cloritas. A estas últimas también se las denomina T-O-T-O o 2:1:1. La unidad formada por una lámina más la interlámina es la unidad estructural. Los cationes interlaminares más frecuentes son alcalinos (Na y K) o alcalinotérreos (Mg y Ca) (García y Suarez, 2 001).

### 1.2.1.2. Clasificación de los filosilicatos

Los filosilicatos se clasifican atendiendo a que sean bilaminares o trilaminares y dioctaédricos o trioctaédricos como se muestra en la tabla 1.9, donde puede observarse que pertenece a los filosilicatos grupos de arcillas minerales tan importantes como las micas [García y Suarez, 2 001; Lagaly y Bergaya, 2 006].

**Tabla 1.9.** Clasificación de los filosilicatos

	DIOCTAÉDRICOS		TRIOCTAÉDRICOS		CARGA
<b>BILAMINARES</b> <b>T:O</b> <b>1:1</b>	CANDITAS	Caolinita	SERPENTINA	Antigorita	X = 0
		Nacrita		Crisotilo	
		Dickita		Lizardita	
		Halloisita		Bertierina	
<b>TRILAMINARES</b> <b>T:O:T</b> <b>2:1</b>	Pirofilita		Talco		X = 0
	ESMECTITAS	Montmorillonita	ESMECTITAS	Saponita	X = 0,2-0,6
		Beidellita		Hectorita	
		Nontronita			
	Vermiculitas		Vermiculitas		X = 0,6-0,9
	Illitas				X = 0,9
	MICAS	Moscovita	MICAS	Biotita	X = 1
Paragonita		Flogopita			
		Lepidolita			
<b>T:O:T:O</b> <b>2:1:1</b>	CLORITAS				
<b>FIBROSOS</b>	Paligorskita		Sepiolita		

García y Suarez, 2 001

**1.2.1.3. Propiedades físicas y químicas de las arcillas minerales**

Las importantes aplicaciones industriales de las arcillas minerales radican en sus propiedades físicas y químicas. Dichas propiedades derivan principalmente de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).
- Su morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.
- La existencia de superficie tanto externa como interna [Bergaya y Lagaly, 2 006; García y Suarez, 2 001].



**Superficie específica.** La superficie específica de las arcillas minerales y de otros materiales es una de las propiedades más importantes que controla los fenómenos de superficie. El área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que exista) de las partículas constituyentes por unidad de masa expresada en  $\text{m}^2/\text{g}$ . La superficie específica de filosilicatos no hinchables y no microporosos va desde los  $100 \text{ m}^2/\text{g}$ . Valores altos de superficie se obtienen con arcillas minerales microporosas como la sepiolita y paligorskita y también con arcillas hinchables o expandibles. Las arcillas minerales juegan un papel importante en procesos naturales e industriales ya que pueden tomar moléculas orgánicas e inorgánicas en las interfaces sólido-líquido o sólido-gas, ésta propiedad depende directamente de su elevada superficie específica [Michot y Villiéras, 2 006; García y Suarez, 2 001].

A continuación se muestran algunos valores de superficies específicas de arcillas:

- ✓ Montmorillonita  $80\text{-}300 \text{ m}^2/\text{g}$
- ✓ Sepiolita  $100\text{-}240 \text{ m}^2/\text{g}$
- ✓ Paligorskita  $100\text{-}200 \text{ m}^2/\text{g}$
- ✓ Halloisita hasta  $60 \text{ m}^2/\text{g}$
- ✓ Illita hasta  $50 \text{ m}^2/\text{g}$
- ✓ Caolinita de baja cristalinidad hasta  $50 \text{ m}^2/\text{g}$
- ✓ Caolinita de elevada cristalinidad hasta  $15 \text{ m}^2/\text{g}$  (García y Suarez, 2 001).

**Capacidad de intercambio catiónico (CEC).** Se define como intercambio iónico a los procesos reversibles por los cuales las arcillas adsorben iones de la fase acuosa liberando al mismo tiempo cationes fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores su estructura. La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH; es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura laminar de los filosilicatos.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

La carga negativa generada por las sustituciones isomórficas es permanente e independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio y corresponde a un 80% de la carga neta de la partícula. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica, corresponden a bordes cristalinos químicamente activos y representan el 20% de la carga total de la lámina, por lo tanto es una carga variable [García y Suarez, 2 001; UNLPam, 2 011].

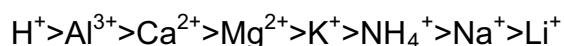
A continuación la tabla 1.10 muestra algunos valores de capacidad de intercambio catiónico de diferentes arcillas minerales:

**Tabla 1.10.** Capacidad de intercambio catiónico (CEC) de algunas arcillas minerales

Arcilla mineral	CEC (meq/100 g)
Vermiculita	130-210
Montmorillonita	70-120
Halloisita 4H <sub>2</sub> O	40-50
Illita	10-40
Clorita	10-40
Sepiolita y Paligorskita	20-30
Caolinita	3-15
Halloisita 2H <sub>2</sub> O	5-10
Micas (biotita, muscovita)	Hasta 5

Bergaya *et al.*, 2 006

El siguiente orden de cationes se acepta generalmente, están en orden de preferencia decreciente:

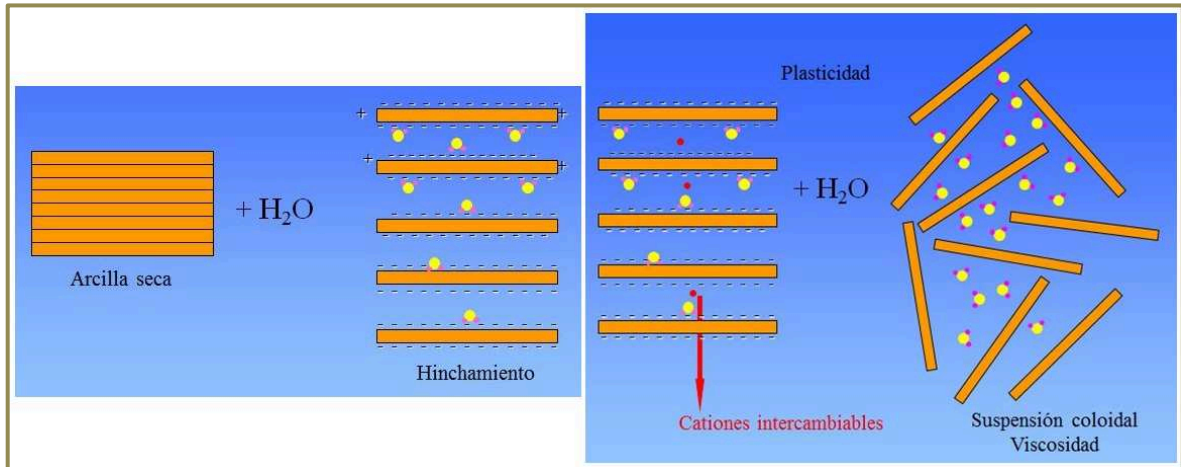


Los cationes de la izquierda ( $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ ) se remplazan con cualquier catión de la derecha ( $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Na^+$  y  $Li^+$ ), sin embargo, para reemplazar un catión de la izquierda con uno de la derecha se requiere una concentración de cationes mucho más alta del catión a la derecha. La temperatura puede tener efecto sobre el intercambio de cationes debido a las relaciones de la solubilidad con la temperatura (MYCO-AD, 2 011).

**Capacidad de adsorción.** Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los adsorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (como las esmectitas) o en los canales estructurales (como la sepiolita y paligorskita). La capacidad de absorción está directamente relacionada con la superficie específica y porosidad y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla y el adsorbato, en este caso el líquido o gas adsorbido) (García y Suarez, 2 001).

**Hidratación, hinchamiento y plasticidad.** La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. Cuando el catión interlaminar es el Na las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales; si por el contrario tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida. Por otro lado, la plasticidad de las arcillas se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. (García y Suarez, 2 001).

A continuación en la figura 1.11 se ilustran estas dos propiedades descritas:



**Figura 1.11.** Hidratación, hinchamiento y plasticidad de las arcillas minerales

#### 1.2.1.4. Usos de las arcillas minerales

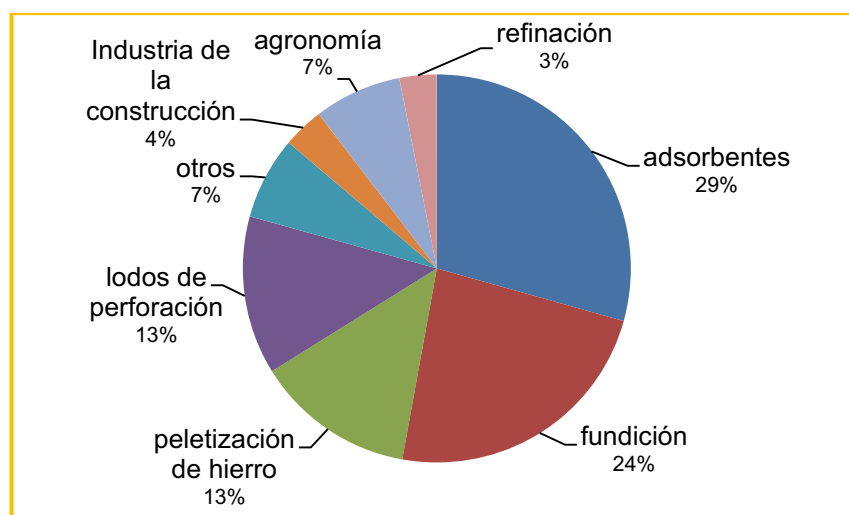
Cuatro tipos de arcilla de uso industrial se pueden distinguir. El primer grupo de arcillas denominadas “arcillas comunes” que abarca alrededor de un 90% de la producción se dedica, preferente, a la fabricación de materiales de construcción y agregados y están compuestas por dos o más minerales generalmente illita y esmectita con importantes cantidades de otras arcillas que no son filosilicatos (carbonatos y cuarzo). Sólo un 10% de la producción que corresponde a las tres clases de arcillas restantes que se las denomina “arcillas especiales” (caolines y arcillas caoliníferas, bentonitas, sepiolita y paligorskita), son arcillas constituidas fundamentalmente por un tipo de mineral y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese material. Estas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen suponen más del 70% del valor de las arcillas comerciales y son objeto de comercio internacional. La producción mundial de caolín procesado es de aproximadamente 20 millones de toneladas/año, la de bentonita es de 13 millones de toneladas/año, mientras que la de paligorskita y sepiolita es de 2 millones de toneladas/año, esto, para el año 1 993 [García y Suarez, 2 001; Harvey y Lagaly, 2 006].

**Bentonitas.** Una bentonita es una roca compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas que son filosilicatos del tipo 2:1 (T-O-T) que tienen

una carga negativa total entre 0,2 y 0,6. Los criterios de clasificación utilizados por la industria se basan en su comportamiento y propiedades físico-químicas; así la clasificación más aceptada establece tipos de bentonitas en función de su capacidad de hinchamiento en agua:

- Bentonitas altamente hinchables o sódicas.
- Bentonitas poco hinchables o cálcicas.
- Bentonitas moderadamente hinchables o intermedias [García y Suarez, 2 001; Brigatti *et al.*, 2 006].

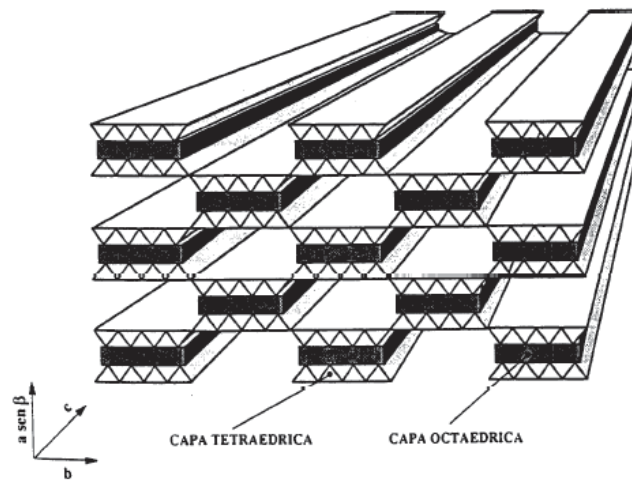
En la figura 1.12, se puede apreciar las diferentes aplicaciones industriales que tiene la bentonita a nivel mundial:



**Figura 1.12.** Porcentajes mundiales de los usos de la bentonita en el año 1993 (Harvey y Lagaly, 2 006)

**Paligorskita y Sepiolita.** La sepiolita y paligorskita son filosilicatos con un contenido de dichos materiales superior al 50%. Su estructura cristalina del tipo 2:1 (T-O-T) de hábito fibroso con canales paralelos a lo largo de la fibra les confiere una enorme área superficial debida tanto al pequeño tamaño de partícula como a la porosidad. La superficie específica teórica se calcula alrededor de los 900 m<sup>2</sup>/g, aunque la superficie accesible es muy inferior. Su peculiar estructura, como puede apreciarse en la figura 1.13, hace que sean poderosos decolorantes y absorbentes. Al igual que las esmectitas, estas arcillas son susceptibles a ser

activadas mediante tratamientos térmicos y ácidos [García y Suarez, 2 001; Brigatti *et al.*, 2 006].



**Figura 1.13.** Estructura fibrosa de la paligorskita y sepiolita (García y Suarez, 2 001)

#### 1.2.1.5. Modificación térmica de arcillas minerales

Activación ácida (tema descrito en la sección 1.2.2.1.) y tratamiento térmico (calentamiento) han sido usados durante mucho tiempo para producir materiales para ciertas aplicaciones prácticas (Theng *et al.*, 2 006).

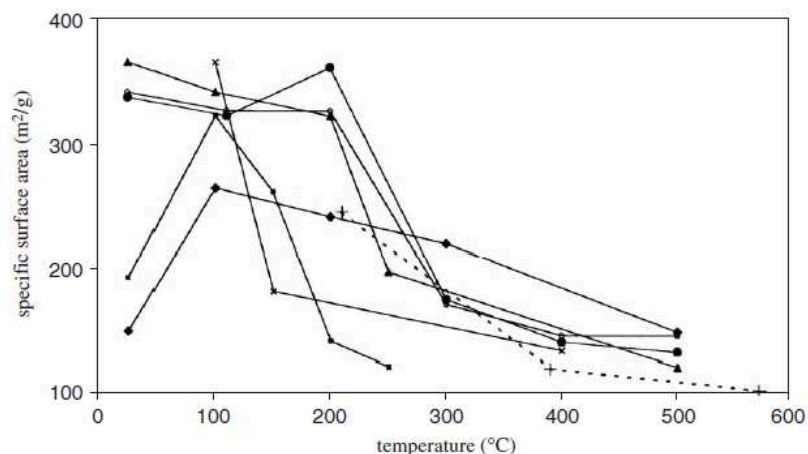
La estructura y composición de las arcillas minerales son modificadas por calentamiento; los cambios consiguientes que sufren las arcillas son usados para aplicaciones prácticas. Las temperaturas reales en las que se producen dichos cambios varían mucho de un grupo de minerales de arcilla a otro, e incluso para los diferentes tipos de arcillas dentro de un mismo grupo; estas temperaturas también dependerán del tamaño de las partículas y del régimen de calentamiento. Cuatro rangos principales de temperaturas en las cuales ocurren cambios significativos en la estructura de las arcillas minerales indican:

- Temperaturas suficientemente bajas para causar congelación parcial de una suspensión de arcillas ( $-5^{\circ}\text{C}$ ).

- Temperaturas por encima de la deshidratación pero por debajo de la deshidroxilación.
- Temperaturas por encima de la deshidroxilación pero por debajo de la destrucción completa de la estructura de la arcilla.
- Temperaturas a las cuales nuevas fases cristalizan (Heller, 2 006).

Las arcillas minerales pueden ser calentadas de diferentes maneras: (i) sin ningún tipo de aditivos o pretratamiento, (ii) mezclado con varios reactivos antes del calentamiento, (iii) después del tratamiento previo como la activación ácida y (iv) después del precalentamiento y pretratamiento, por ejemplo, primero activación ácida y después recalentamiento [Heller, 2 006; Taylor 2 005].

La activación ácida también incrementa la porosidad, por lo tanto, esta propiedad puede ser manipulada combinando el ataque ácido y el tratamiento térmico. La figura 1.14, muestra el efecto del calentamiento en la superficie específica ( $S_{total}$ ) determinado por adsorción de  $N_2$  para diferentes estudios. La superficie total comprende la superficie externa y la superficie de los poros a la que la molécula de  $N_2$  accede [Heller, 2 006; Taylor, 2 005].



**Figura 1.14.** Cambios en la superficie específica de la sepiolita con la temperatura en diferentes estudios realizados (Heller, 2 006)

La porosidad de los agregados minerales de arcilla está estrechamente vinculada a su contenido de agua. En el calentamiento el agua es retirada y la macro y

microporosidad se alteran, así como su plasticidad, los espacios interlaminares colapsan y la CEC (Capacidad de intercambio catiónico) se reduce, además, se incrementa la hidrofobicidad y la acidez superficial (Heller, 2 006).

### 1.2.2. INTRODUCCIÓN A LAS ARCILLAS DE BLANQUEO

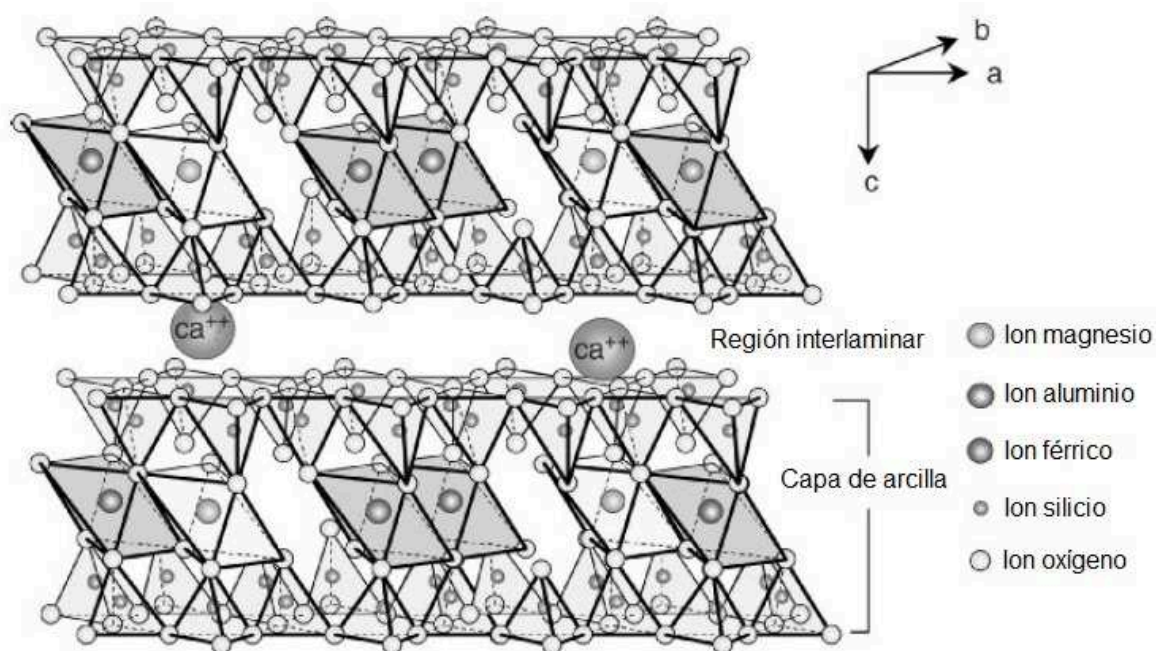
Arcillas de blanqueo, tierras de blanqueo y tierras del batán (fuller's earth) son los términos empleados para nombrar a ciertas arcillas minerales que pueden ser usadas en su estado natural o activadas con ácido para clarificar y reducir (mediante purificación por adsorción) el color intenso de las grasas y aceites. Aunque existen 7 grupos principales de arcillas y por lo menos 33 arcillas minerales específicas diferentes, sólo 2, montmorillonita cálcica (algunas veces llamada bentonita cálcica) y una mezcla particular que ocurre naturalmente de montmorillonita cálcica y atapulgita llama *hornita*, desempeñan un papel importante como arcillas de blanqueo comerciales [Taylor, 2 005; Zahrani, 2 000].

Las arcillas de blanqueo naturales pueden adsorber un 15% de su peso en pigmentos y otras impurezas, pero también retienen alrededor de un 30% de aceite. Estas arcillas naturales no elevan el contenido de ácidos grasos libres ni isomerizan grupos de ácidos grasos insaturados; sin embargo, para aceites de coloración oscura y con pigmentos difíciles de adsorber o impurezas, se requiere de niveles muy altos de tierras de blanqueo naturales (niveles prohibidos), esto hace a los materiales activados más atractivos (O'Brien, 2 009).

Las arcillas de blanqueo activadas son más propensas a dividir los residuos de jabón elevando el contenido de ácidos grasos libres, destruyendo peróxidos y productos de oxidación secundarios y además promueven la isomerización; este último efecto es más pronunciado a temperaturas superiores de 150°C, la cual está muy por encima de las condiciones óptimas de blanqueo. Estas tierras modificadas son especialmente usadas para blanquear aceites difíciles como el de palma, soya y canola o como parte de los procesos de pretratamiento en la refinación física para remover metales y fosfátidos [O'Brien, 2 009; Taylor, 2 005].

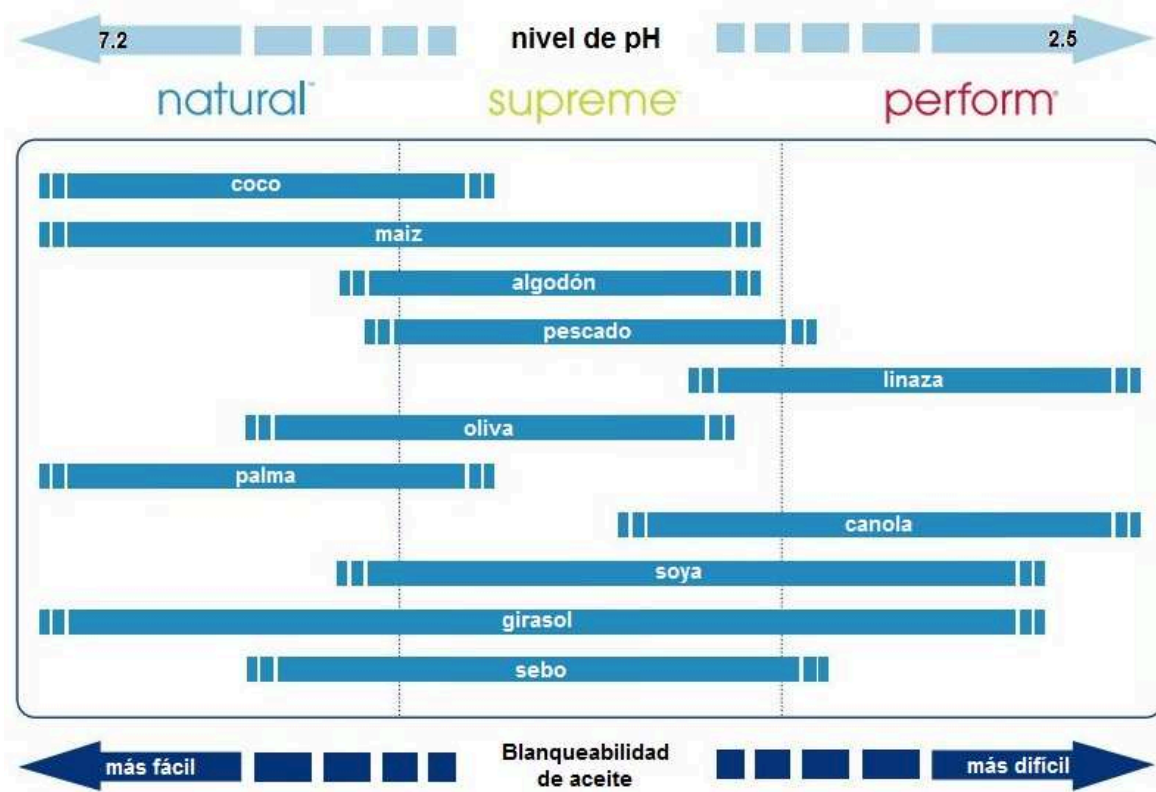


Aunque los términos bentonita y montmorillonita a menudo se emplean indistintamente, para ser perfectamente correctos, bentonita, denota un mineral de arcilla en el cual la montmorillonita es el principal componente. La bentonita ha sido encontrada en todo el continente excepto en Antártica. La hormita (mezcla de montmorillonita y atapulgita) es menos común y sólo se encuentra en pocos lugares alrededor del mundo. En los Estados Unidos existe casi exclusivamente en una pequeña área al sur de Georgia y al norte de Florida. En la figura 1.15 se presenta la configuración en tres dimensiones de la montmorillonita (Taylor, 2005):



**Figura 1.15.** Representación en tres dimensiones de la estructura atómica de montmorillonita de calcio (Taylor, 2005)

A continuación en la figura 1.16 se provee una guía de selección de los diferentes tipos de arcillas de blanqueo (referido a su estado natural o a su nivel de activación ácida) que se emplean en el blanqueo de aceites (la selección de la misma depende del nivel de dificultad en la remoción del color). Los fabricantes de arcillas de blanqueo proveen una amplia gama de calidades de productos que poseen una amplia gama de propiedades correspondientes. La tabla 1.11 muestra las propiedades típicas de las arcillas de blanqueo comerciales (Oil Dri, 2011):



**Figura 1.16.** Selección del tipo de arcilla de blanqueo dependiendo del nivel de dificultad en la remoción del color de un determinado aceite (Oil Dri, 2 011)

**Tabla 1.11.** Propiedades típicas de arcillas de blanqueo comerciales

Propiedades	Montmorillonita		Hormita	
	Acidificada	Natural	Acidificada	Natural
Humedad libre (%)	10-15	10-15	10-17	13-16
pH (2% de sólidos)	2,5-5,5	6-8	2,7-3,5	5-8,6
Acidez residual (mg KOH/g)	1-10	<1	1-10	<1
Área superficial (m <sup>2</sup> /g)	150-350	50-100	120-160	90-130
Volumen de poro (cc/g)	0,3-0,35	0,05-0,15	0,3-0,38	0,25-0,32
Densidad aparente (lb/ft <sup>3</sup> )	34-50	57-63	23-33	24-31
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	550-800	960-1200	370-530	385-500
% pasado malla 200 (75 µm)	70-100	70-100	>99,5	>99,5
% pasado malla 325 (45 µm)	60-75	60-75	74-82	83-87
Tamaño de partícula (diámetro, µm)	15-35	15-35	30-35	35-38
Retención de aceite (%)	30-40	23-35	32-45	34-45

### 1.2.2.1. Activación ácida de arcillas minerales

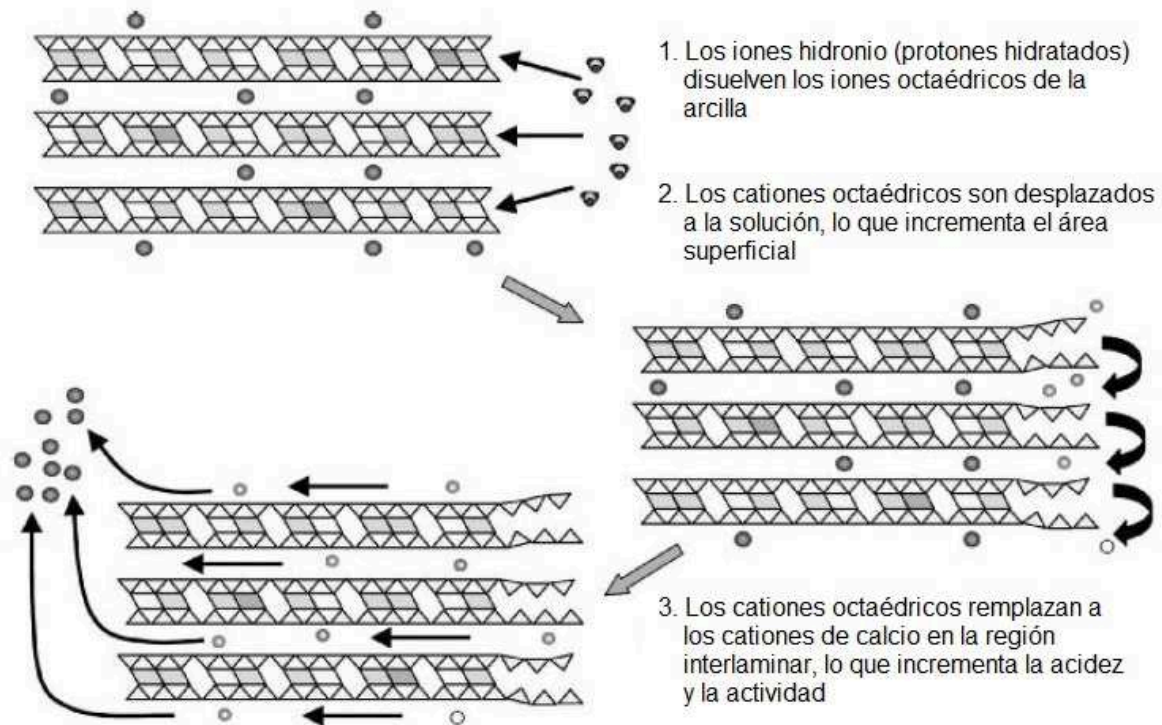
Una de las más comunes modificaciones químicas de arcillas empleadas para propósitos industriales y científicos es la activación ácida. Esto consiste en el tratamiento de la arcilla con una solución de ácido mineral usualmente HCl o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> durante un tiempo y temperatura determinados, luego se filtra, se lava, se seca y se muele la arcilla dependiendo de las especificaciones deseadas. Típicamente, altos niveles de ácido (mayor del 45%) en relación con la arcilla son requeridos para hacer más grados de activación. La tarea principal del ácido es disolver parcialmente el material para incrementar la superficie específica, porosidad y acidez superficial [Komadel y Madejová, 2 006; Taylor, 2 005].

Desde el punto de vista industrial, el término “activación ácida” fue reservado principalmente para el tratamiento ácido de bentonitas. Por lo general, una bentonita de calcio es tratada con ácidos inorgánicos para reemplazar los iones de calcio divalente por iones de hidrógeno monovalentes y lixiviar iones de aluminio, magnesio, férrico y ferroso, alterando así las capas de la esmectita e incrementando la superficie específica y la porosidad (como se puede observar en la figura 1.17). Esto es realizado para producir tierras de blanqueo para aplicaciones de decoloración o blanqueo que compiten con tierras de blanqueo naturales [Komadel y Madejová, 2 006; Taylor, 2 005].

El proceso de activación ácida se puede entender considerando la estructura y los cambios químicos que ocurre cuando la montmorillonita se somete a reacción con ácido fuerte. Durante el proceso de activación ácida, los protones ácidos o iones hidronio (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) disuelven los iones de magnesio, aluminio y hierro de la capa octaédrica. Dos importantes consecuencias ocurren:

- Los cationes alcalinos móviles de la tierra o cationes de cambio (Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) de la intercapa (región intermedia) son reemplazados (intercambiados) por más cationes metálicos ácidos (Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) lixiviados de la capa octaédrica, debido a esto,

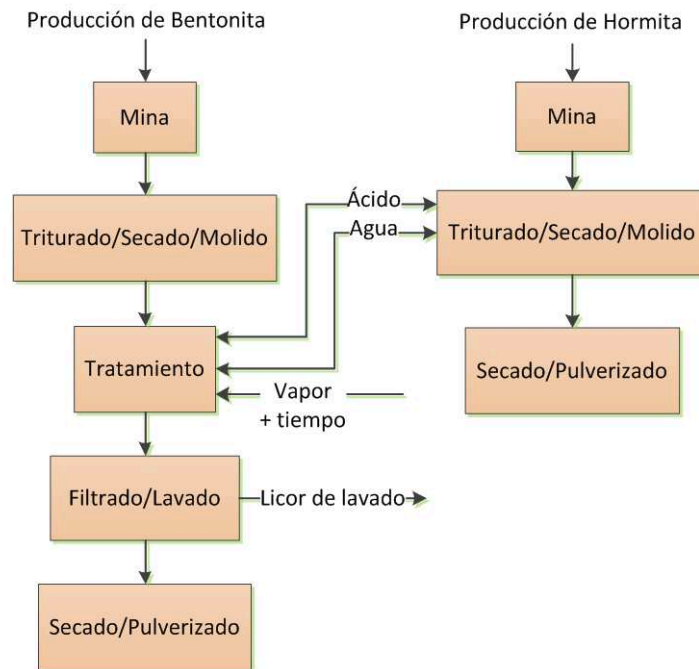
- Incrementa la superficie específica y la porosidad debido al proceso de disolución que abre sitios que antes eran inaccesibles en la estructura de la arcilla [Komadel y Madejová, 2 006; Taylor, 2 005; Mag, 1 990].



**Figura 1.17.** Activación de arcilla por disolución ácida e intercambio catiónico (Taylor, 2 005)

La arcilla hormita es naturalmente más susceptible a activación ácida que la montmorillonita; se requiere niveles menores de ácidos y puede ser directamente aplicado (por simple pulverización). Consecuentemente, la técnica de mezcla con solución descrita anteriormente no es requerida y los pasos de cocción, filtrado y lavado son eliminados.

La figura 1.18, muestra el proceso de manufactura de tierras de blanqueo activadas con ácido:



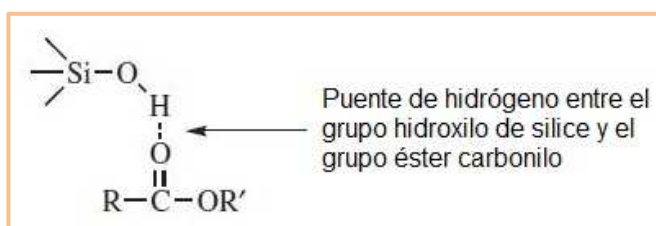
**Figura 1.18.** Bentonita vs. Hormita: Proceso de activación ácida (Taylor, 2 005)

### 1.2.2.2. Fundamentos de la purificación por adsorción

Para entender cómo las propiedades de los adsorbentes afectan al rendimiento, necesitamos conocer las superficies del adsorbente. La adsorción es un fenómeno de superficie regido por la superficie química del adsorbente. Las arcillas de blanqueo están dotadas de grupos hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ) superficiales; estos juegan un papel muy importante en las interacciones adsorbato-adsorbente. Las arcillas de blanqueo tienen diversos grupos hidroxilos: Si-OH, Mg-OH, Al-OH y Fe-OH. Con la activación ácida, adicionalmente se genera hidróxidos de superficie cuando las capas octaédricas se alteran por el proceso de lixiviación dejando atrás segmentos hidroxilados (silica tails) derivados de los remanentes de las capas tetraédricas, como puede apreciarse en la figura 1.19. También, los cationes de cambio de la intercapa pueden funcionar como fuertes sitios de superficie activa. El proceso de adsorción es dictado principalmente por la interacción entre las diversas especies superficiales y las moléculas del adsorbato (pigmentos de color, fosfolípidos, jabones, etc.). Dependiendo de la barrera de energía que participa, un adsorbato orgánico puede someterse a un enlace

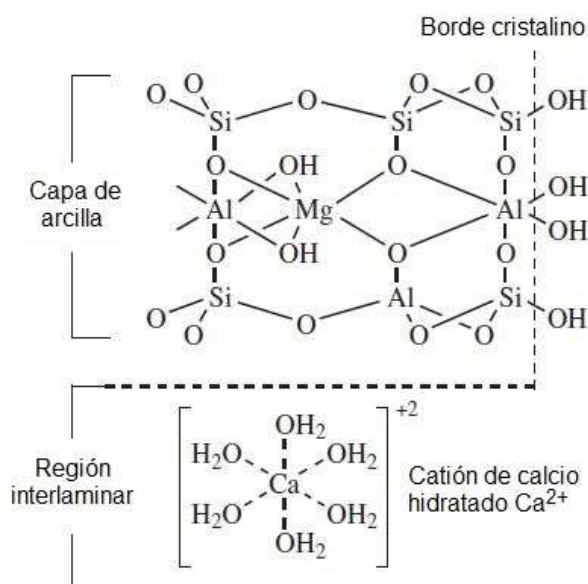
rompiendo o haciendo enlaces covalentes con la superficie del adsorbente (quimisorción), o puede interactuar a través de puentes de hidrógeno o fuerzas de Van der Waals (fisorción) [Taylor, 2 005; O'Brien, 2 009].

**Características superficiales de las tierras de blanqueo.** Las superficies de hidroxilos pueden interactuar con átomos altamente polares como O, N y S por medio de puentes de hidrógeno:



**Figura 1.19.** Puente de hidrógeno entre un grupo hidroxilo de sílice y un grupo éster carbonilo  
(Taylor, 2 005)

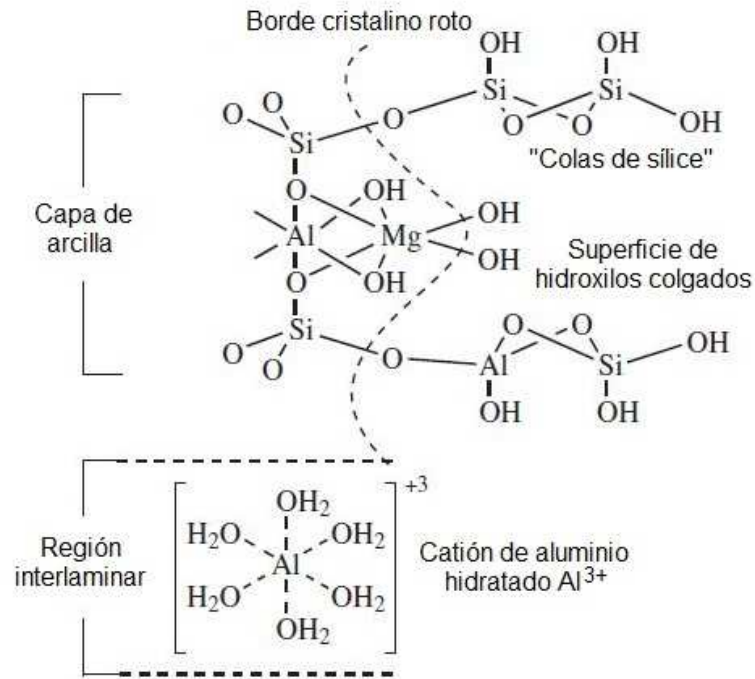
La figura 1.20, muestra los hidroxilos superficiales en los bordes cristalinos de la arcilla y el catión de calcio hidratado de la intercapa de una montmorillonita antes del proceso de activación:



**Figura 1.20.** Hidroxilos superficiales de los bordes cristalinos y catión hidratado de  $\text{Ca}^{2+}$  de la intercapa antes del proceso de activación con ácido  
(Taylor, 2 005)

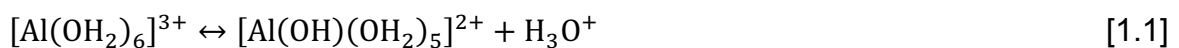


La figura 1.21, muestra una probable representación de los sitios de superficie activa después del proceso de activación ácida en donde el catión de calcio de la intercapa se cambia por cationes de aluminio lixiviados de la capa octaédrica:



**Figura 1.21.** Generación de nueva superficie de hidroxilos después de la activación ácida (Taylor, 2 005)

La situación con respecto a la adsorción de pigmentos de color (clorofila, fiofitinas, carotenoides) en sitios activos para las arcillas de blanqueo es algo compleja. Algunos autores muestran que el tipo de catión de la intercapa y su acidez asociada está relacionado fundamentalmente con la capacidad de adsorción de pigmentos. La tabla 1.12 muestra resultados cuando a arcillas activadas con ácido se les cambiaron completamente el catión de la intercapa por otros cationes diferentes. Como se aprecia, la presencia de cationes en la intercapa que poseen alta acidez superficial (medido por el consumo de n-butilamina usando indicador Hammett) da como resultado altos niveles en la adsorción de pigmentos. Los cationes de la intercapa pueden actuar como ácidos Bronsted (origen de protones) vía hidrolisis (Taylor, 2 005).



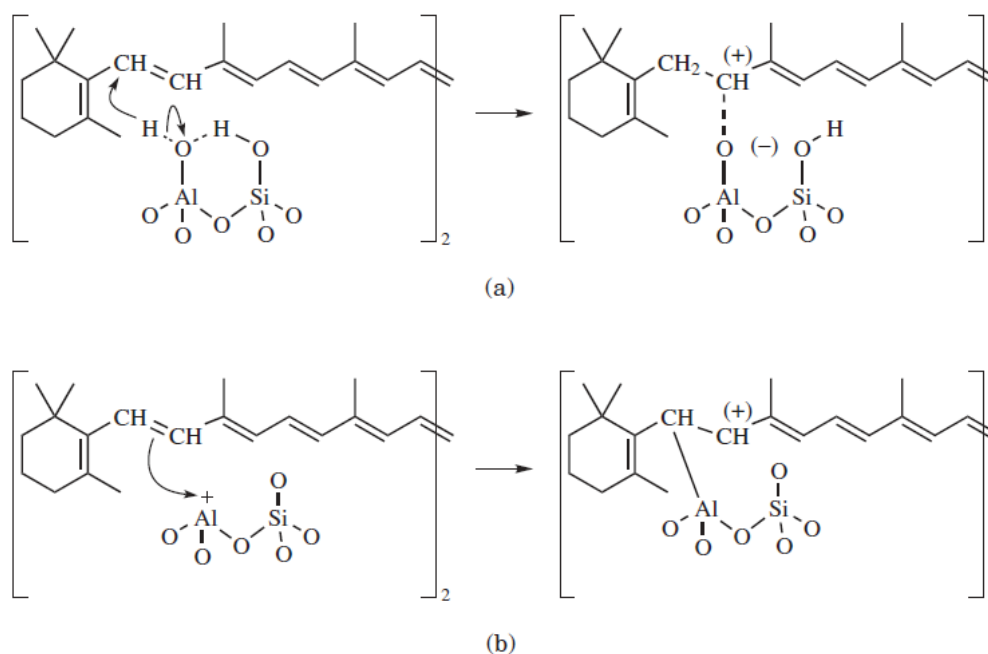
**Tabla 1.12.** Propiedades del blanqueo\* vs. Acidez superficial

Catión de cambio	Acidez superficial**	Caroteno adsorbido ( $\mu\text{mol/g}$ arcilla)	Clorofila adsorbida ( $\mu\text{mol/g}$ arcilla)
$\text{Al}^{3+}$	1,00	12,04	0,511
$\text{Mg}^{2+}$	0,56	10,90	0,509
$\text{Ca}^{2+}$	0,53	9,64	0,499
$\text{Na}^{+}$	0,45	9,33	0,489
$\text{K}^{+}$	0,38	7,77	0,474

\*Aceite de soya refinado. 330°F/20 min, vacío de 28,5 inHg

\*\*  $\mu\text{mol}$  n-butilamina titulada/g de arcilla, usando indicador Hammett de pKa +5  
Taylor, 2 005

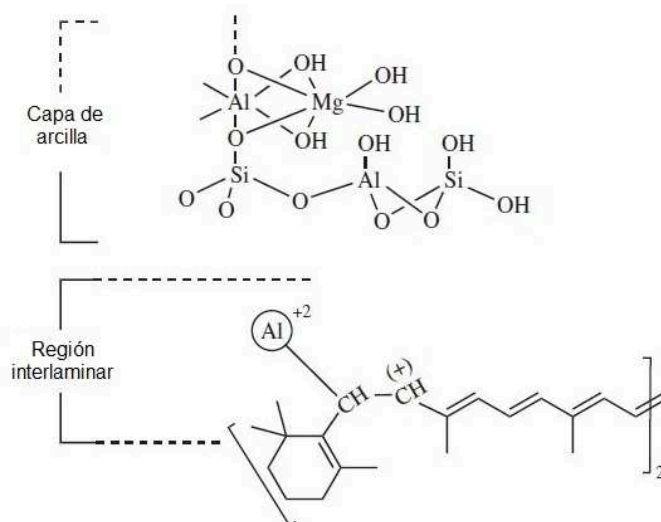
Sarier y Guler estudiaron el mecanismo de adsorción de  $\beta$ -caroteno en arcilla de blanqueo ácido-activada usando espectrometría infrarroja y ultravioleta y técnicas de adsorción. En base a sus estudios ellos concluyeron que en la protonación de 7 a 8 dobles enlaces del  $\beta$ -caroteno se obtiene un ion carbonio, el cual es después quimisorbido vía unión electrostática con sitios ácidos Bronsted, Lewis o enlaces coordinados respectivamente en la capa tetraédrica de la arcilla, como se puede apreciar en la figura 1.22:



**Figura 1.22.** (a) Quimisorción de  $\beta$ -caroteno vía atracción electrostática en la superficie de tetraedros, (b) Quimisorción de  $\beta$ -caroteno vía enlace coordinado en la superficie de tetraedros  
(Taylor, 2 005)



Aunque la formación del ion carbonio es razonable, este autor es de la opinión de que la unión más probablemente sería con los sitios del catión aluminio (ácido de Lewis) en la capa o región intermedia, como se aprecia en la figura 1.23:



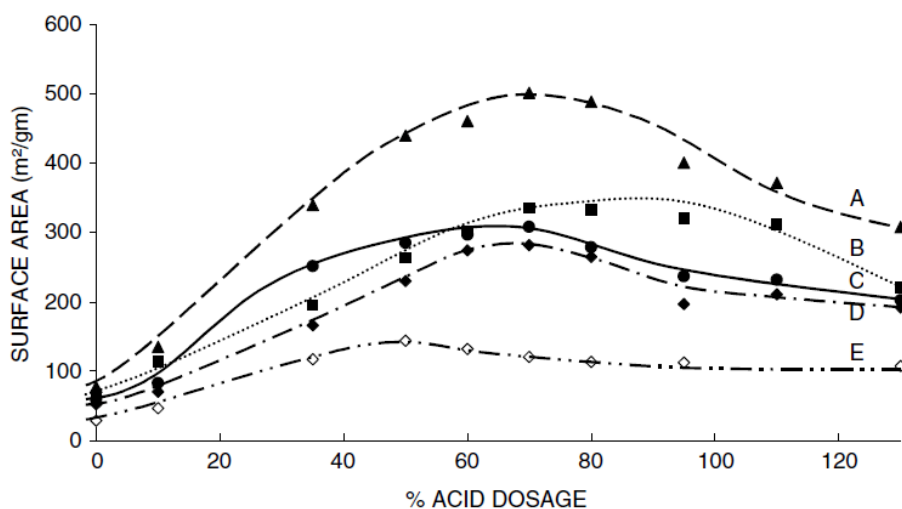
**Figura 1.23.** Quimisorción de  $\beta$ -caroteno vía enlace de coordinación en la región de la intercapa  
(Taylor, 2 005)

Esta opinión se basa en el conocimiento de que el aumento de los niveles de activación ácida eventualmente destruye la actividad de blanqueo, la cual se refleja en la pérdida de cationes intercambiables de la intercapa. Sitios de ácidos Bronsted y Lewis en la capa tetraédrica, continúan incrementando con el incremento de la activación. Si esos sitios fueran solo los responsables de la adsorción del caroteno debería esperarse que la adsorción del caroteno incremente con el incremento de la activación ácida, pero esto no ocurre realmente (Taylor, 2 005).

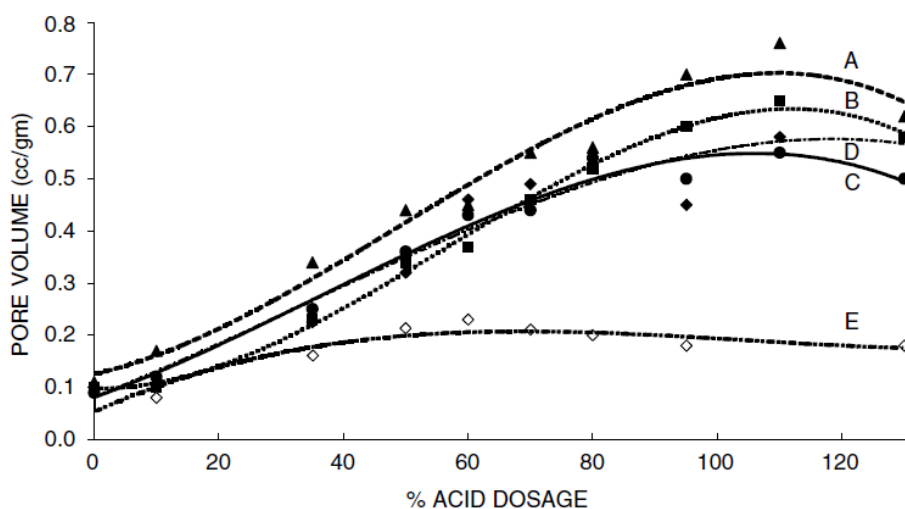
### **Relación entre las propiedades del adsorbente y la eficiencia de adsorción.**

Las propiedades de las arcillas de blanqueo (área superficial, porosidad, CEC y acidez superficial) varían considerablemente dependiendo del grado de activación ácida. Taylor y Jenkis muestran que el área superficial y la porosidad incrementan algunas veces dramáticamente para una serie de arcillas montmorillonitas de diferente procedencia, cuando se somete a incrementos en la dosificación de ácido. Sin embargo, se puede observar en la figura 1.24 y 1.25, que la superficie

específica y la porosidad decrecen cuando se incrementa el grado de lixiviación. A pesar de que todas las arcillas de este estudio son montmorillonita, cada una de ellas reacciona de una manera diferente a la lixiviación con ácido, sobre todo las montmorillonitas de calcio (A-D) que alcanzan valores de superficie específica y porosidad más altos que la montmorillonita de sodio (E), también se observa que el requerimiento de ácido para lograr una máxima superficie varía de una arcilla a otra [Taylor, 2 005; Taylor, 1 993; Komadel y Madejová, 2 006].

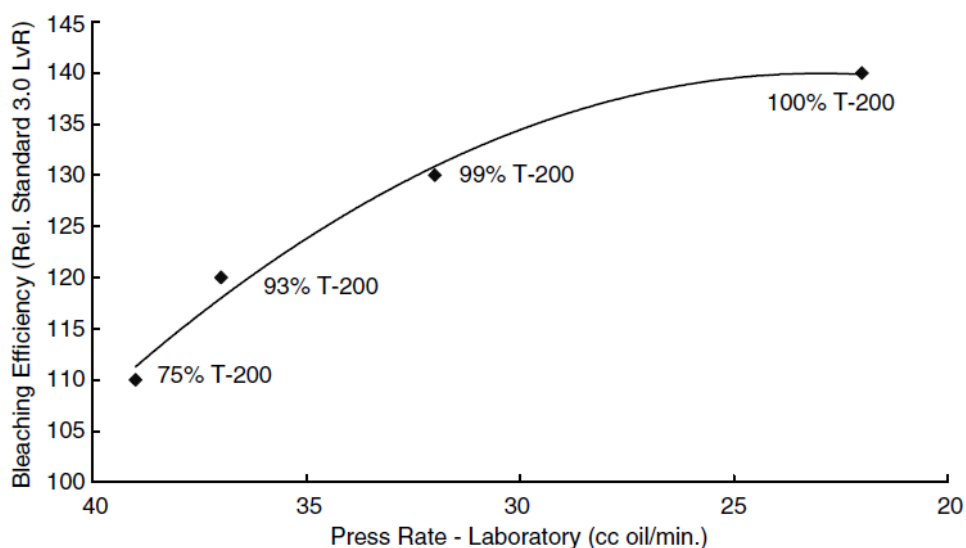


**Figura 1.24.** Efecto de la dosificación de ácido en la superficie específica de varias arcillas montmorillonitas de calcio (A-D) y de sodio (E) (Taylor, 2 005)



**Figura 1.25.** Efecto de la dosificación de ácido en el volumen del poro de varias arcillas montmorillonitas de calcio (A-D) y de sodio (E) (Taylor, 2 005)

El efecto del tamaño de partícula en la eficiencia de blanqueo es conocido; partículas muy pequeñas (granos finos) dan mejores eficiencias en el blanqueo, pero mala filtración. La mejora de la eficiencia en el blanqueo se puede entender como una consecuencia positiva de incrementar el número de sitios de cationes de cambio disponibles que se exponen (en el caso de tamaños de partículas muy finas), esto se puede apreciar en la figura 1.26:



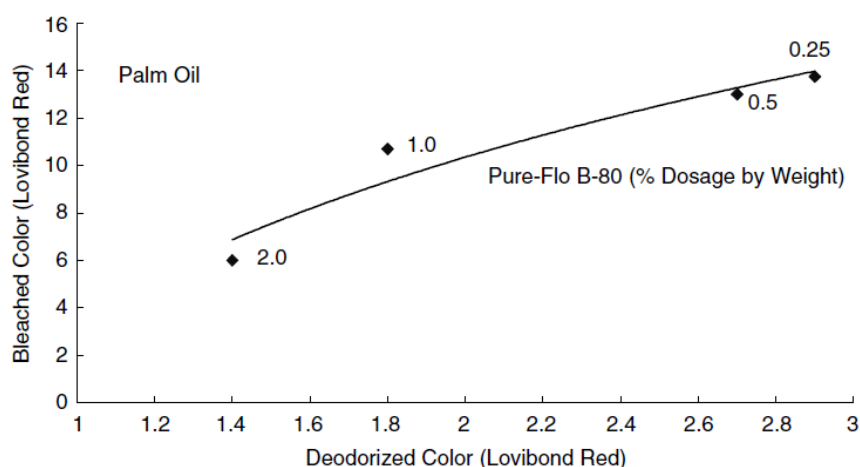
**Figura 1.26.** Efecto del tamaño de partícula en la eficiencia de blanqueo y en la velocidad de prensado (Taylor, 2 005)

Como se indicó anteriormente en la tabla 1.11, las arcillas de blanqueo poseen alrededor entre 10 y 15% de humedad libre. Aunque esta humedad se elimina durante el curso del proceso de blanqueo, es necesaria. Sin embargo, es posible eliminar la humedad durante la manufactura de las arcillas de blanqueo, pero las arcillas de blanqueo que no contienen humedad muestran ineficiencia en el blanqueo. La optimización de la técnica de activación ácida requiere hacer poros suficientemente amplios para garantizar el acceso de moléculas grandes, mientras se mantiene suficiente área superficial que representa muchos sitios de adsorción posibles; si los poros son demasiado grandes el área superficial puede verse afectada negativamente y si los poros son muy pequeños el acceso al interior del adsorbente también puede verse afectado [Taylor, 2 005; Taylor, 1 993; Komadel y Madejová, 2 006].

### 1.2.2.3. Efecto de las condiciones de procesamiento en la eficiencia de blanqueo

El aceite de palma, el cual se caracteriza por tener bajos niveles de fosfolípidos y altos niveles de carotenoides se presta para refinarlo físicamente y usualmente sólo se requiere el uso de arcillas de baja actividad (arcillas de blanqueo naturales). Una ventaja del uso de arcillas de blanqueo naturales en el procesamiento de aceite de palma es que no aumenta el contenido de ácidos grasos libres [Taylor, 2 005; Taylor, 1 993].

La figura 1.27 muestra el efecto de la dosificación de arcilla natural en el color del aceite de palma blanqueado y desodorizado:



**Figura 1.27.** Aceite de palma blanqueado con arcilla natural: Efecto de la dosificación en el color del aceite blanqueado y desodorizado (Taylor, 2 005)

Donde:

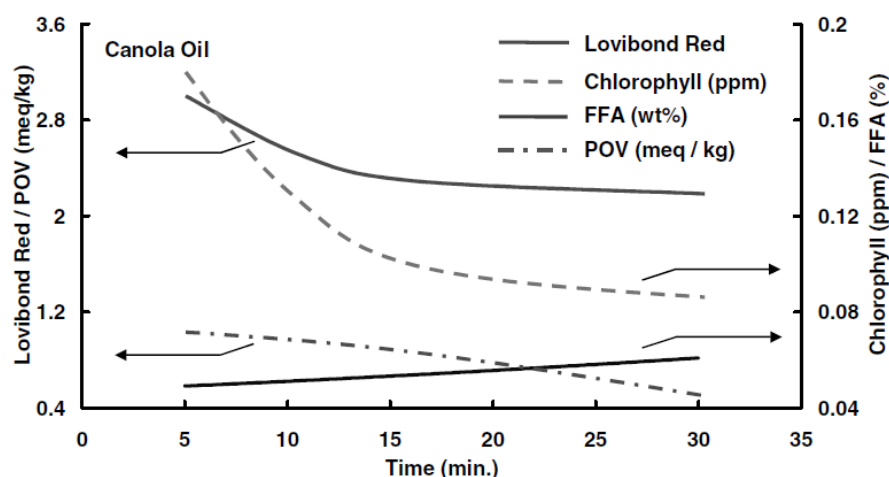
Lovibond red = unidades de color rojo Lovibond

Las figuras 1.28 y 1.29, muestran el efecto del tiempo y de la temperatura de blanqueo en la calidad del aceite de canola blanqueado, respectivamente:

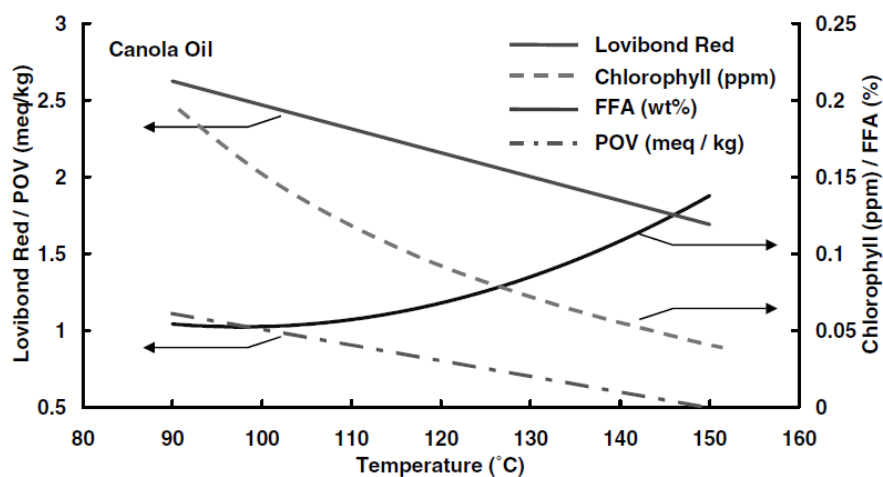
Donde:

POV = Valor de oxidación de peróxidos.

FFA = Ácidos grasos libres



**Figura 1.28.** Aceite de canola: Efecto del tiempo de blanqueo a las condiciones: 1,5% de arcilla Clarion 470/vacío/temperatura de blanqueo 110°C (Taylor, 2 005)



**Figura 1.29.** Aceite de canola: Efecto de la temperatura de blanqueo a las condiciones: 1,5% de arcilla Clarion 470/vacío/30 min de blanqueo (Taylor, 2 005)

### 1.3. MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE ARCILLAS DE BLANQUEO USADAS

#### 1.3.1. DISPOSICIÓN FINAL DE LAS ARCILLAS DE BLANQUEO USADAS

Las tierras de blanqueo usadas, que a menudo contienen un 30% en peso de aceite más pigmentos de color, compuestos polares y otras impurezas deberían

ser tratadas. Las tierras usadas en su mayoría son depositadas como residuo en “rellenos sanitarios” en todo el mundo. Un estimado afirma que anualmente no menos de 100 mil toneladas de grasas y aceites se desperdician por estar contenidos en las tierras. Este desecho tiene potencial como aditivo para piensos de animales y se puede extraer su contenido de grasa (pero se debe tener cuidado de usarla, ya que las arcillas adsorben pesticidas y micotoxinas) o se podría quemarlas para darles otro valor alimenticio (Hertrampf y Piedad, 2 000).

Por el lado negativo, las arcillas usadas son (bajo ciertas condiciones) espontáneamente inflamables, una fuente de olores nocivos y a menudo contienen niveles significativos de impurezas indeseables del proceso de refinación. El blanqueo es una de las dos válvulas de seguridad del procesamiento de aceites (la otra es el acumulado potencial en el destilado condensado del desodorizado). La disposición en “rellenos sanitarios” es cada vez más difícil. Su manejo ahora y en el futuro es un reto de la industria [Hertrampf y Piedad, 2 000; Lusas, 2 003; Applewhite, 1 986].

### **1.3.2. MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE TIERRAS DECOLORANTES USADAS**

Desde hace mucho tiempo se conoce que las arcillas de blanqueo usadas descargadas luego del proceso de filtración, aún están activas. La gran cantidad de aceite retenido por la arcilla de blanqueo se debe, principalmente, a la eficiencia del equipo de filtración. Algunas propiedades de la arcilla de blanqueo particularmente porosidad y tamaño de partícula pueden influenciar en la gran cantidad de aceite retenido. Típicamente después de descargar la arcilla usada, está contiene entre 25-35% de aceite retenido. La estrategia de manejo de este desecho que cualquier planta quiera adoptar dependerá de algunos factores relacionados con la localización y operación de la planta, regulaciones ambientales y consideraciones económicas [O'Brien, 2 009; Taylor, 2 005].

### 1.3.2.1. Tratamiento de la arcilla usada con solventes orgánicos

**Extracción con percloroetileno.** El proceso de extracción para aceite de soya se lo realiza a las siguientes condiciones: Una parte de arcilla de blanqueo desechada con dos volúmenes de solvente (percloroetileno) se agita levemente durante 15 min a 20°C, luego se filtra y el resultado que se obtiene es un contenido de aceite residual del 2,8%. Si adicionalmente se realiza otra extracción bajo similares condiciones se obtiene un 0,3% de aceite retenido en la arcilla. Si al realizar una sola extracción a similares condiciones pero ahora a 70°C el resultado obtenido es de 2% de aceite remanente (Klein, 1 986).

**Extracción con hexano.** Después de la extracción con hexano se separa los residuos de solvente del aceite y se obtiene un aceite de calidad comparable al aceite crudo. Otro método se realiza de esta forma: 5-10% de arcilla con hexano se mezclan en un autoclave a 235°C durante 3-6 horas. La arcilla de blanqueo recuperada después de este tratamiento tiene alrededor de un 80% de actividad con respecto a la arcilla pura. De la misma forma, 5-10% de arcilla con hexano se mezclan en un autoclave pero ahora a 200°C durante 2 horas manteniendo una presión parcial de oxígeno de 0,5 MPa. En este caso, la tierra recuperada tiene una actividad del 100% respecto a la arcilla fresca (Taylor, 2 005).

**Extracción con solventes y posterior calcinación.** En este método se emplearon 4 solventes orgánicos (metiletilcetona, acetona, éter de petróleo y hexano), con los que se determinó el máximo porcentaje de aceite extraído (con metiletilcetona se obtuvo el máximo porcentaje de extracción de aceite). Posteriormente, la arcilla fue sometida a calcinación a temperaturas mayores de 400°C hasta los 600°C durante varios tiempos de calcinación (de 0-200 minutos). Para cada solvente empleado se determinó un tiempo y una temperatura de calcinación con la que se obtiene un máximo porcentaje de blanqueo de aceite de soya. La máxima eficiencia fue obtenida con el uso de acetona. A 120 min y 500°C la arcilla desaceitada da como resultado un porcentaje de blanqueo del 94% con respecto a la arcilla fresca (Zahrani y Daous, 2 000).

### 1.3.2.2. Tratamiento de la arcilla usada con agua

**Extracción acuosa con carbonato de sodio.** Una parte de arcilla usada se mezcla con una parte de solución acuosa al 5% de carbonato de sodio. La mezcla es calentada a 95°C y agitada lentamente durante 30 min. Al realizar una primera extracción se obtiene un residual de aceite del 10%; con una segunda extracción, la arcilla contiene 3,6% de aceite retenido, finalmente, realizando una tercera extracción se obtiene un 3,1% de aceite residual. Ahora se trabaja con un autoclave a presión entre 3-30 bares con el uso de NaOH; la extracción se la realizó de la siguiente manera: A una mezcla (arcilla-agua 1:2) se adicionan 1-2 partes de NaOH puro por cada 100 partes de arcilla desechada, se agita lentamente durante 2 horas bajo una presión de 15 bares. Los resultados que se obtienen son un residual de aceite de baja calidad en la arcilla de menos del 3% que puede usarse para producción de ácidos grasos [Klein, 1 986; Taylor, 2 005].

**Extracción a altas temperaturas.** 40% de arcilla desechada se mezcla con agua en un autoclave a 240°C por 2 horas, esto directamente genera ácidos grasos. En este caso, la arcilla sólo contiene de 0,5-1% de aceite residual. Una patente que se trata de un proceso multipasos, emplea extracción acuosa a alta presión seguida de un tratamiento oxidativo y una regeneración de la arcilla recuperada con ácido, obteniendo una tierra del 98-100% de actividad (Taylor, 2 005).

### 1.3.2.3. Tratamiento de la arcilla usada con fluido supercrítico

**Extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico.** En este estudio se usó CO<sub>2</sub> supercrítico a alta presión, el aceite extraído por este proceso tiene buena calidad pero la arcilla recuperada sólo posee un 50% de actividad, conteniendo aún un 5% de aceite. Los autores concluyeron que esta actividad tan baja se debe a que los carotenoides están fuertemente unidos a la arcilla y no pueden ser removidos usando dióxido de carbono supercrítico (Taylor, 2 005).



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se buscó recuperar la arcilla de blanqueo empleada en la decoloración de aceite de palma. La materia prima de este estudio fue una arcilla comercial llamada Pure Flo B80 natural que luego del proceso industrial de blanqueo se desecha al campo. Este material además de adsorber pigmentos carotenoides, fosfolípidos del proceso de desgomado, trazas de metales, entre otras impurezas, retiene una gran cantidad de aceite (sección 1.1.4.2.).

Inicialmente se realizó la caracterización física, química y mineralógica de la arcilla usada y de la arcilla pura. En la caracterización física se determinaron propiedades como: densidad, humedad, material volátil, cenizas, carbón fijo, pH y porcentaje de aceite retenido. En la caracterización química se analizaron la presencia de elementos como el Si, Fe, Al, Ca, Mg, Na y con la caracterización mineralógica se determinaron los compuestos con cristalización definida de este adsorbente.

El primer método ensayado para la recuperación de arcillas usadas consistió en eliminar el aceite de la tierra mediante un sistema de extracción soxhlet con acetona. Después, se calcinó el material a diferentes temperaturas y tiempos. Una segunda alternativa de tratamiento consistió en prensar la tierra para extraer el aceite retenido y posteriormente tratar el material ya sea con agua o con vapor de agua (además, se realizaron ensayos sin prensado previo).

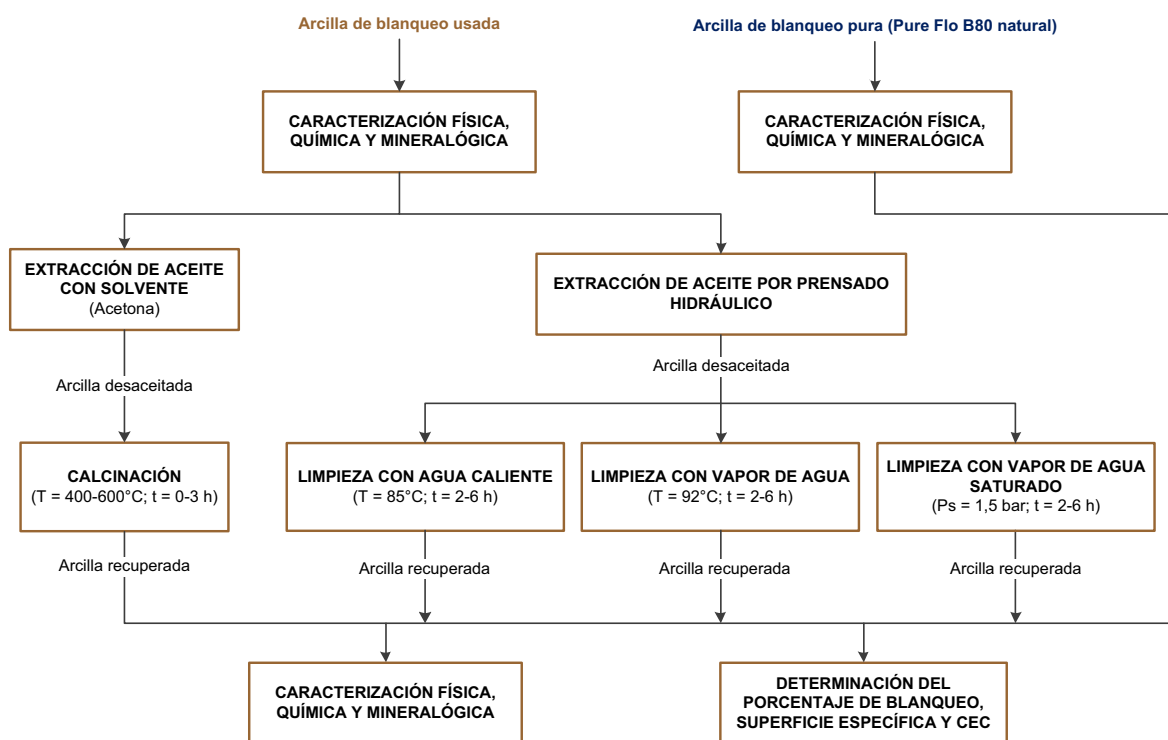
Con las arcillas recuperadas por los diferentes métodos se determinaron nuevos valores de eficiencia en el blanqueo de aceite palma. Por otro lado, se encontraron las capacidades de intercambio catiónico (CEC) y las superficies específicas, que son propiedades muy importantes de las tierras decolorantes.

Al igual que con la tierra usada y la tierra pura, se realizaron las caracterizaciones físicas, químicas y mineralógicas de las arcillas recuperadas, para finalmente, mediante criterios de selección (porcentaje de blanqueo, capacidad de intercambio catiónico, superficie específica, etc.) de la técnica de tratamiento,

diseñar conceptualmente la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas.

Se realizó el balance de masa y el diagrama de flujo de la planta y con las capacidades de los equipos requeridos, se evaluó la factibilidad económica de este proyecto mediante índices financieros como el TIR (tasa interna de retorno), el VAN (Valor actual neto) y la relación beneficio/costo.

A continuación en la figura 2.1, se presenta un diagrama de bloques donde se ilustran los métodos seguidos descritos anteriormente:



**Figura 2.1.** Metodología experimental seguida para la recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Donde:

CEC = Capacidad de intercambio catiónico

## **2.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE MUESTRAS DE ARCILLA DE BLANQUEO PURA Y DE ARCILLA DE BLANQUEO USADA**

De una planta de refinación de aceite de palma ubicada en la provincia de Esmeraldas se tomaron 30 kg de arcilla de blanqueo usada de un lote diario de menos de 1 ton (lote homogéneo), 1 kg de tierra decolorante pura (Pure Flo B80 natural) que estaba contenida en sacos de 25 kg y 10 L de aceite crudo de palma. La tierra usada fue homogenizada y cuarteada en un cuarteador (John) y se obtuvieron varias bolsas de 5 kg cada una para los análisis y ensayos posteriores.

### **2.1.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE ARCILLA DE BLANQUEO PURA Y DE ARCILLA DE BLANQUEO USADA**

La caracterización física se realizó mediante el método estándar del Departamento de Metalurgia Extractiva.

#### **2.1.1.1. Determinación de humedad, material volátil, cenizas y carbón fijo en muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada**

Para la determinación de humedad se procedió de la siguiente manera:

- Se secó en un crisol de porcelana previamente tarado y pesado 1 gramo de muestra en una estufa (FISHER ECONOTEMP™) a 110°C por 2 horas.
- Se retiró el crisol de la estufa y se dejó enfriar 30 min en un desecador.
- Se registró su peso en una balanza analítica (Sartorius).

Para determinar material volátil, cenizas y carbón fijo, se realizó lo siguiente:

- Se colocó 1 gramo de muestra en un crisol de porcelana tarado y pesado.

- Se calcinó la arcilla a 950°C durante 7 min en una mufla eléctrica (LINDBERG/BLUE M).
- Al finalizar los 7 min, se retiró el crisol de la mufla y se dejó enfriar 30 min en un desecador.
- Se registró su peso y se introdujo nuevamente en la mufla el crisol con muestra pero ahora se calcinó por 2 horas.
- Al finalizar las 2 horas, se dejó enfriar nuevamente y se pesó.
- Se realizó un ensayo en paralelo.

La humedad y pérdidas por calcinación se determinaron con las siguientes ecuaciones:

La ecuación 2.1, se empleó para determinar la humedad:

$$H = \frac{W_1 - (W_3 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad [2.1]$$

Donde:

H = Humedad de la muestra expresada en porcentaje.

$W_1$  = Peso inicial de la muestra.

$W_2$  = Peso del crisol vacío y tarado.

$W_3$  = Peso del crisol más muestra a 110°C después de 2 horas.

Para la determinación de material volátil, cenizas y carbón fijo:

$$M_v = \frac{W_1 - (W_3 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad [2.2]$$

Donde:

$M_v$  = Material volátil de la muestra expresado en porcentaje.

$W_1$  = Peso inicial de la muestra.

$W_2$  = Peso del crisol vacío y tarado.

$W_3$  = Peso del crisol más muestra a 950°C después de 7 min.

$$C_z = \frac{W_4 - W_2}{W_1} \times 100 \quad [2.3]$$

Donde:

$C_z$  = Cenizas de la muestra expresada en porcentaje.

$W_4$  = Peso del crisol más muestra a 950°C después de 2 horas.

$W_2$  = Peso del crisol vacío y tarado.

$W_1$  = Peso inicial de la muestra.

$$C_f = 100 - M_v - C_z \quad [2.4]$$

Donde:

$C_f$  = Carbón fijo de la muestra expresado en porcentaje.

La figura 2.2 ilustra el equipo empleado en este análisis:



**Figura 2.2.** Mufla eléctrica utilizada para la calcinación de la muestra

#### 2.1.1.2. Determinación de densidad aparente de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada

La densidad aparente se determinó con la siguiente metodología:

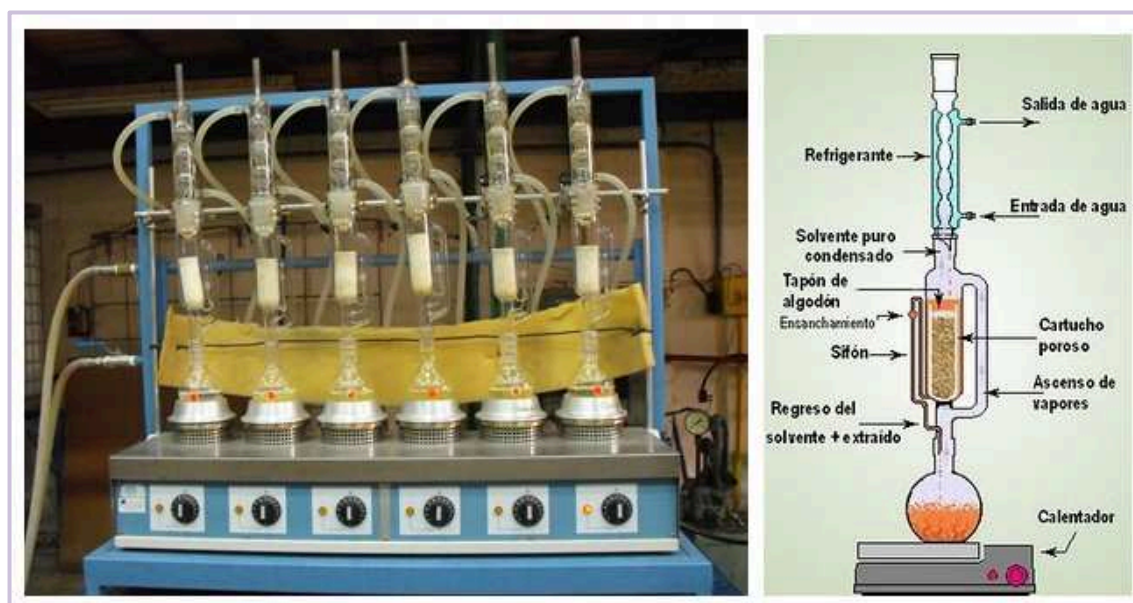
- Se pesó una probeta de 1 litro limpia y seca.

- Se añadió en la probeta la muestra hasta completar su volumen.
- Se pesó la probeta con la muestra y se registró su peso.

Se calculó la densidad aparente con la relación de masa registrada y volumen.

### 2.1.1.3. Determinación del porcentaje de aceite retenido en la arcilla de blanqueo usada

Se empleó un equipo de extracción soxhlet (marca Selecta y capacidad de 250 mL) que está constituido principalmente de: un balón de 250 mL, el cuerpo del extractor, un refrigerante (con alimentación y salida de agua), un cartucho de celulosa y una plancha de calentamiento, para la determinación del contenido de aceite retenido en la tierra decolorante usada. En la siguiente figura se puede apreciar el equipo empleado, así como sus componentes:



**Figura 2.3.** Equipo de extracción soxhlet empleado para limpiar la arcilla usada

A continuación se presentan los pasos seguidos en esta metodología:

- Se pesaron 10 g de muestra y se colocaron en el cartucho de celulosa.
- Se pesó el balón de 250 mL vacío, limpio y seco.

- Se midieron 130 mL de acetona y se colocaron en el balón.
- Se inició el proceso de extracción y después de 6 horas de extracción aproximadamente (hasta que el solvente contenido en el cuerpo del extractor esté sin residuos de aceite), se apagó el equipo.
- Se retiró el cartucho de celulosa y se recuperó el solvente.
- Se secó la muestra a 110°C durante 4 horas y se dejó enfriar en un desecador por 30 min.
- Se pesó la muestra y también se pesó el balón con el aceite extraído.

Con la diferencia de pesos de la muestra antes y después de la extracción, se determinó el porcentaje de aceite retenido en la arcilla de blanqueo usada.

#### **2.1.1.4. Determinación del pH de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada**

Para determinar el pH, se preparó una pulpa con la muestra al 40% de sólidos en agua destilada y se registró la medida de pH con el pHmetro (INOLAB pH720).

#### **2.1.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE ARCILLA DE BLANQUEO PURA Y DE ARCILLA DE BLANQUEO USADA**

Para determinar la composición química de las muestras se empleó el método estándar de disgregación ácida en microondas del Departamento de Metalurgia Extractiva para posteriormente analizar, por absorción atómica en el equipo AAnalyst 300, la concentración de elementos presentes en la arcilla de blanqueo.

A continuación se describe la técnica empleada:

- Se pesaron 100 mg de muestra en un reactor de teflón.
- Se agregaron 3 mL de HNO<sub>3</sub> y 3 mL de HF en ese orden y se cerró el reactor.

- Se colocó el reactor de teflón dentro de un horno de microondas (Potencia de 50 W), junto con 100 mL de agua fría en un vaso de precipitación y se calentó el reactor por 2 min y 30 s.
- Se retiró y se dejó enfriar el reactor durante 20 min en un congelador.
- Se abrió el reactor y se colocaron 5 mL de HCl.
- Se cerró nuevamente el reactor de teflón y se repitió la disgregación con los dos ácidos.
- Finalizado el calentamiento del reactor en el microondas, se colocó su contenido en un matraz de 100 mL hasta aforarlo con agua destilada.
- Se analizó la solución obtenida para determinar el contenido de elementos como Si, C, Na, Ca, K, Fe, Mg y Al.

Adicionalmente se utilizó un equipo (Innov X Systems) que analiza la composición química mediante fluorescencia de rayos X para la determinación de: Si, C, Na, Ca, K, Fe, Mg y Al por el método estándar del Departamento de Metalurgia Extractiva.

En la figura 2.4 se presentan los equipos utilizados en la caracterización química:



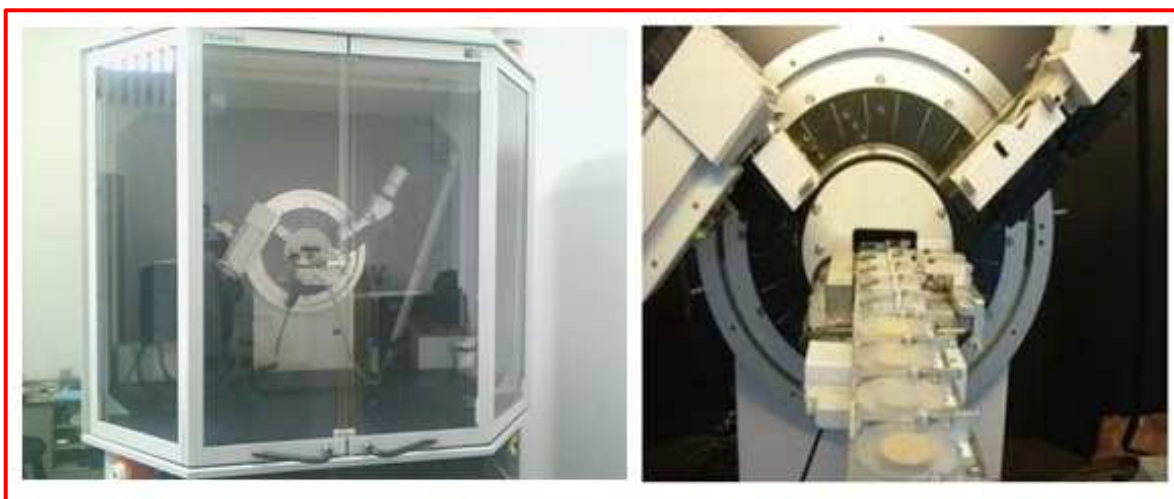
**Figura 2.4.** Equipos utilizados para la determinación de la composición química de la arcilla de blanqueo



### **2.1.3. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA ARCILLA DE BLANQUEO PURA**

#### **2.1.3.1. Determinación de compuestos con cristalización definida en la arcilla de blanqueo pura**

La determinación de compuestos con cristalización definida presentes en la arcilla de blanqueo, se realizó con un difractómetro de rayos X (D8 Advance) y el programa Diffrac plus para la cualificación y cuantificación. La siguiente figura muestra el equipo empleado en la caracterización mineralógica:



**Figura 2.5.** Difractómetro de rayos X empleado para analizar compuestos con cristalización definida

#### **2.1.3.2. Análisis con microscopía electrónica de barrido**

Se utilizó un microscopio electrónico de barrido (Vega-Tescan) con analizador de rayos X (Quantax) para realizar un análisis semicuantitativo elemental con lo que se determinaron elementos como: Si, C, Na, Ca, K, Fe, Mg y Al, mediante el programa Espirit 1.8 (Bruker). Se obtuvieron también imágenes de la estructura de esta arcilla.

El equipo empleado se presenta a continuación en la figura 2.6:



**Figura 2.6.** Microscopio electrónico de barrido utilizado para la caracterización química de la arcilla de blanqueo

#### **2.1.4. SUPERFICIE ESPECÍFICA Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DE LA ARCILLA DE BLANQUEO PURA**

Una vez recuperado este adsorbente, también se determinaron estas dos propiedades en muestras de arcillas de blanqueo recuperadas.

##### **2.1.4.1. Superficie específica: Método de adsorción de agua**

Se determinó la superficie específica de la arcilla de blanqueo pura, mediante el método de higroscopicidad (Rosalén, 2 004), que se basa en la adsorción de moléculas de agua en la superficie externa e interna de la arcilla. La técnica consiste principalmente en secar la muestra de arcilla para eliminar el agua que contiene y rehidratarla después; la tierra adquiere la cantidad de moléculas de agua suficientes para cubrir toda la superficie tanto externa como interna.

A continuación, se detalla la metodología experimental que se utilizó:

- Con una balanza de 0,1 mg de precisión se pesaron 0,2 g de una muestra de arcilla de blanqueo en una capsula de porcelana.

- Se colocó la arcilla de blanqueo en una estufa de secado a 110°C durante 24 horas.
- Se enfrió la muestra en un desecador durante 30 min y se pesó nuevamente.
- En un vaso de precipitación se preparó 200 mL de una solución saturada de NaCl (50%).
- Se introdujo la solución en un desecador (limpio y vacío) con el fin de obtener una humedad relativa del 85%.
- Se colocó la muestra seca en el desecador y cada 12 h se controló el peso de la arcilla hasta que sea constante.

La higroscopicidad (%H) viene dada por el aumento de peso que experimenta la muestra al adsorber agua, expresada como porcentaje:

$$\%H = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100 \quad [2.5]$$

Donde:

%H = Higroscopicidad de la arcilla de blanqueo expresada como porcentaje.

$P_f$  = Peso de la muestra solvatada con vapor de agua.

$P_i$  = Peso de la muestra seca a 110°C.

Con la sección de una molécula de agua y el número de moléculas adsorbidas, se puede calcular la superficie específica recubierta (S):

$$S = \frac{\%H \cdot N_A \cdot \sigma}{M \cdot 10^{22}} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{g}} \right] \quad [2.6]$$

Donde:

S = Área superficial.

%H = Higroscopicidad de la muestra expresada en porcentaje.

$N_A$  = Número de Avogadro ( $6,023 \times 10^{23}$  moléculas/mol).

M = Peso molecular del agua (18 g/mol).

$\sigma$  = Sección de la molécula de agua ( $10,6 \text{ \AA}^2$ /molécula).

En la figura 2.7, se pueden apreciar los materiales y equipos utilizados en este ensayo:



**Figura 2.7.** Materiales y equipos utilizados para la determinación de la superficie específica de la arcilla de blanqueo

#### 2.1.4.2. Capacidad de intercambio catiónico (CEC)

Se empleó el método de la Natural Resources Conservation Service [UNLPam, 2011 y NRCS, 2011] que consiste en liberar y desplazar los cationes propios de la arcilla con una solución concentrada de amonio, para luego saturar la tierra con una solución de alta concentración de sodio y desplazar el sodio del complejo saturado con la solución de amonio. La valoración del sodio en la solución extraída representa el total de cargas disponibles para el intercambio catiónico expresado en meq Na/100 g de arcilla.

A continuación se explica detalladamente la metodología empleada:

- Se secaron 3 gramos de arcilla a 110°C durante 4 horas.
- Se pesaron 77,08 g y 58,45 g de acetato de amonio y cloruro de sodio respectivamente para preparar 2 soluciones de 1 L cada una.
- Se ajustaron los pHs de las soluciones hasta un valor de 7 (ácido acético puro para disminuir el pH e hidróxido de amonio puro para aumentarlo).

- En uno de los tubos de una centrifuga (SIGMA 2-6) se colocó la muestra y se agregaron 20 mL de solución 1M de acetato de amonio.
- Se agitó la mezcla manualmente con una varilla de vidrio durante 5 min.
- Se centrifugó la mezcla a 1 000 rpm durante 5 min.
- El líquido sobrenadante (este líquido contiene los cationes intercambiables desplazados por el amonio) se colocó en un matraz de 250 mL. Se repitieron 2 veces este paso y con la solución de acetato de amonio se aforó el matraz.
- Se determinó a partir de 10 mL de solución la concentración de los cationes de cambio ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , etc.) liberados y desplazados de la arcilla por el amonio mediante absorción atómica.
- Se agregaron 20 mL de solución 1M de cloruro de sodio a la arcilla decantada con la centrifugación y se agitó manualmente la mezcla por 5 min.
- Se centrifugó la mezcla a 1 000 rpm durante 5 min.
- Se descartó el líquido sobrenadante. Se repitieron 2 veces este paso para desplazar los cationes de amonio adsorbidos y saturar la arcilla con cationes de sodio.
- Se agregaron 20 mL de alcohol etílico (al 95%) a la arcilla decantada y se agitó la mezcla durante 5 min.
- Se colocó el tubo en la centrifuga y se centrifugó a 1 000 rpm por 5 min.
- Se descartó el líquido sobrenadante. Se repitieron este paso 2 veces para lavar el exceso de sodio con etanol.
- Nuevamente se agregaron 20 mL de solución 1M de acetato de amonio a la muestra decanta y se agitó la mezcla con una varilla de vidrio durante 5 min.
- Se centrifugó la mezcla a 1 000 rpm por 5 min.
- Se recogió la solución sobrenadante que contiene los cationes de sodio desplazados por el amonio en un matraz aforado de 250 mL. Se repitieron 2 veces este paso y se aforó el matraz con la solución de acetato de amonio.

- Se determinó a partir de 10 mL de solución la concentración de sodio por absorción atómica.

A partir de la concentración de sodio obtenida se determinó la CEC en meq Na/100 g de muestra con la ecuación 2.7:

$$CEC = \frac{C_{Na} * D * V_a}{10 * M_{Na} * M_i} \quad [2.7]$$

Donde:

CEC = Capacidad de intercambio catiónico de la arcilla de blanqueo (meq/100 g).

$C_{Na}$  = Concentración de sodio obtenido de la absorción atómica (ppm).

D = Dilución realizada en el análisis por absorción atómica.

$V_a$  = Volumen de aforo (250 mL).

$M_{Na}$  = Peso molecular del sodio (23 g/mol).

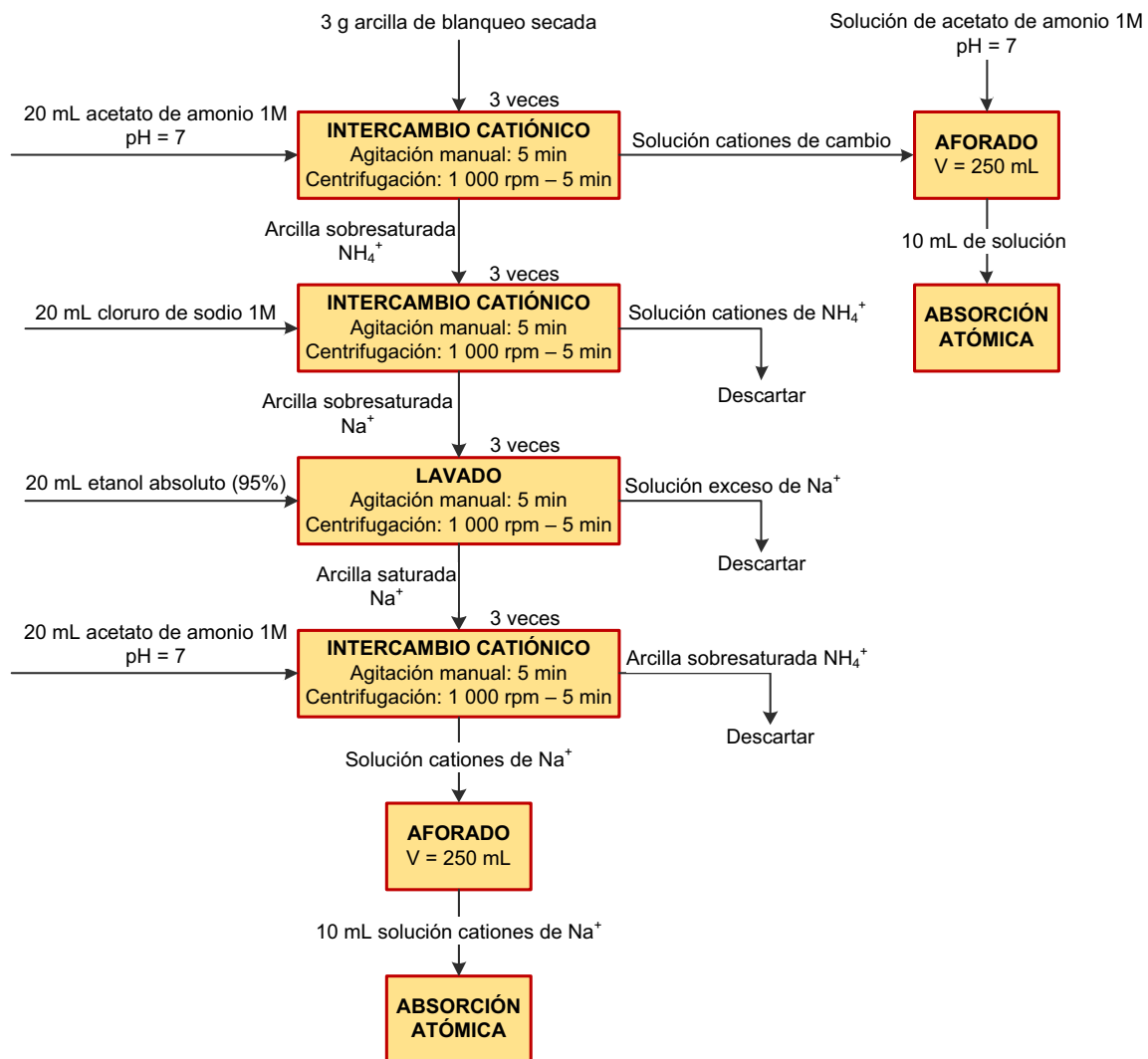
$M_i$  = Peso de la muestra de arcilla (3 g).

El equipo utilizado para realizar las centrifugaciones se ilustra a continuación en la figura 2.8:



**Figura 2.8.** Centrifuga utilizada para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CEC)

En el esquema de la figura 2.9 se presenta los pasos seguidos para la determinación de la CEC:



**Figura 2.9.** Esquema de la determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CEC)

## 2.2. ENSAYOS DE SEPARACIÓN DE ACEITE PRESENTE EN LA ARCILLA DE BLANQUEO USADA POR EXTRACCIÓN CON SOLVENTE Y POSTERIOR CALCINACIÓN DE LA ARCILLA DE BLANQUEO RECUPERADA

Los ensayos de separación de aceite de la arcilla usada por extracción con solvente se realizaron de igual manera con un extractor soxhlet. A continuación se presentan los pasos seguidos en esta metodología:

- Se pesaron 10 g de muestra y se colocaron en el cartucho de celulosa.
- Se pesó el balón de 250 mL vacío, limpio y seco.
- Se midieron 130 mL de acetona y se colocaron en el balón.
- Se inició el proceso de extracción y después de 6 horas de extracción aproximadamente (hasta que el solvente contenido en el cuerpo del extractor esté sin residuos de aceite), se apagó el equipo.
- Se retiró el cartucho de celulosa y se recuperó el solvente.
- Se secó la muestra a 110°C durante 4 horas.

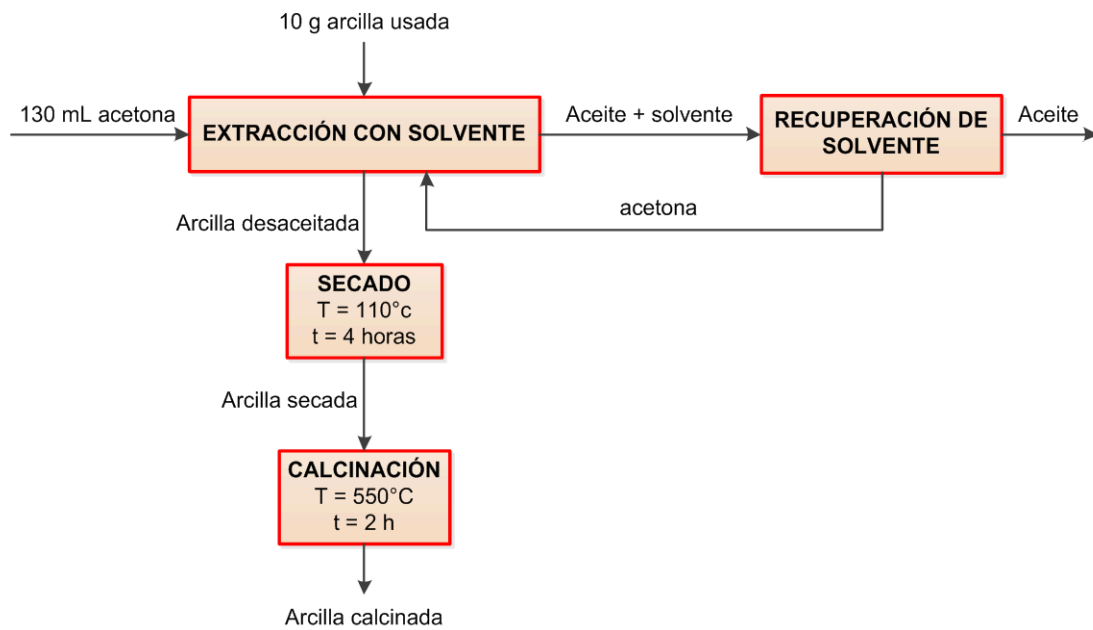
Las pruebas de calcinación del material desaceitado con acetona se realizaron a diferentes temperaturas y tiempos (Temperaturas: 400, 500, 550 y 600°C; tiempos: 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 y 3 h). El procedimiento experimental seguido se describe a continuación:

- 10 g de arcilla recuperada de extracción por solvente se pesaron en una cápsula de porcelana limpia y seca.
- Se introdujo la cápsula en una mufla eléctrica y se calcinó el material a una temperatura y tiempo.
- Se dejó enfriar la muestra calcinada durante 30 min en un desecador.

Una vez realizadas todas las calcinaciones para cada una de las temperaturas y tiempos de operación, se almacenaron las arcillas en fundas plásticas para posteriormente evaluar su eficiencia en el blanqueo de aceite de palma.

En la figura 2.10 se ilustra un diagrama de flujo con los ensayos experimentales realizados para la recuperación de la arcilla de blanqueo usada mediante extracción con solvente y calcinación posterior a una condición de temperatura y tiempo.





**Figura 2.10.** Esquema de la separación de aceite con solvente y posterior calcinación del material recuperado

### 2.3. ENSAYOS DE PRENSADO HIDRÁULICO PARA LA ARCILLA DE BLANQUEO USADA Y TRATAMIENTO POSTERIOR DE LA ARCILLA RECUPERADA CON AGUA CALIENTE Y CON VAPOR DE AGUA

Cabe indicar inicialmente que también se realizaron tratamientos con agua caliente y con vapor de agua directamente a la arcilla de blanqueo usada.

#### 2.3.1. ENSAYOS DE PRENSADO HIDRÁULICO PARA LA ARCILLA DE BLANQUEO USADA

Las pruebas de prensado se realizaron en una prensa hidráulica de accionamiento manual (Wickert and Sohne) de placas horizontales. Los pasos seguidos en este ensayo se detallan a continuación:

- Se fijó la temperatura de cada placa de la prensa hidráulica en 75°C.
- Se pesaron 100 g de tierra usada y se colocaron sobre tela filtrante (tela cruda).
- Se prensó el material a una presión de 100 atm.
- Se recogió el aceite extraído en un vaso de precipitación.
- Se pesó la torta de arcilla obtenida y se secó en una estufa a 110°C por 4 horas.
- Se pulverizó el material durante un 1 min en un pulverizador (Bleuler-Mill).

El equipo utilizado se presenta en la siguiente figura junto con un esquema de la metodología experimental utilizada:



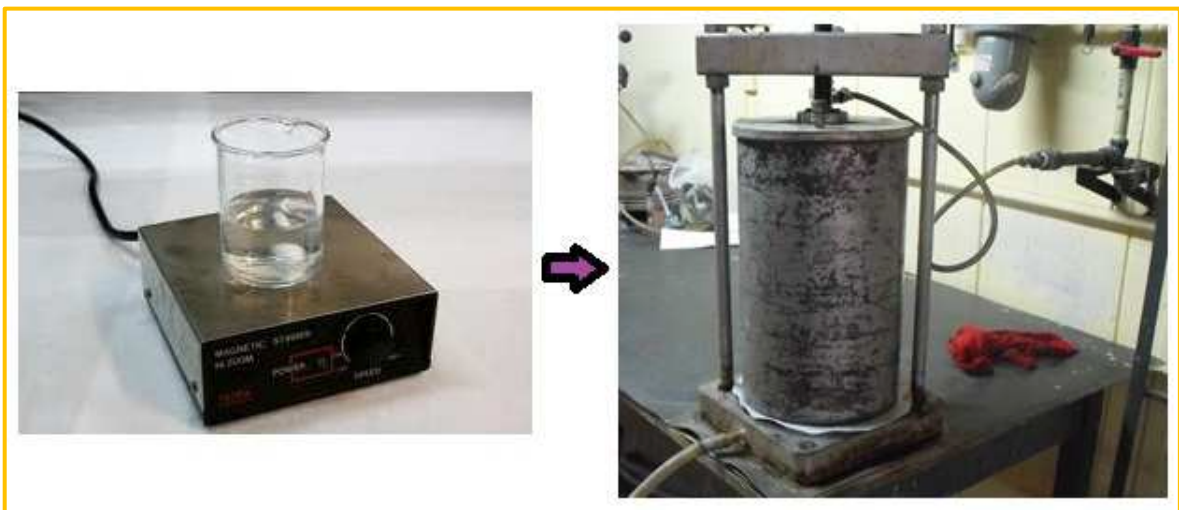
**Figura 2.11.** Prensa hidráulica y esquema de la metodología experimental empleada en los ensayos de prensado de la arcilla de blanqueo usada

### 2.3.2. TRATAMIENTO DE LA ARCILLA PRENSADA CON AGUA CALIENTE

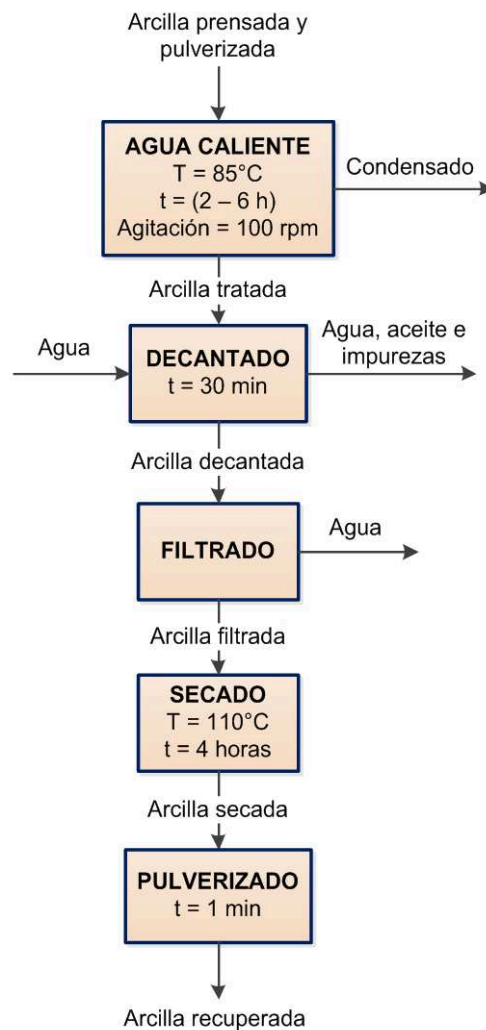
Este tratamiento de la arcilla prensada se realizó a diferentes tiempos (2-6 h). El procedimiento experimental se explica a continuación:

- Se pesaron 100 g de arcilla en un vaso de precipitación de 500 mL.
- Se agregaron 2 L de agua destilada, previamente calentados en una plancha de calentamiento (LabTech Multi-Position) hasta 85°C.
- Se inició el tratamiento a una temperatura y agitación (con agitador magnético) de la mezcla de 85°C y 100 rpm respectivamente, durante varias horas (2-6 h).
- Se dejó decantar la mezcla 30 min y se filtró con un filtro de aire a presión (Sepor).
- La torta de arcilla recuperada se secó en una estufa a 110°C por 4 horas y se pulverizó durante 1 min.
- Finalmente, se determinó el remanente de aceite en la arcilla tratada con agua caliente con la técnica descrita en la sección 2.1.1.3.

La arcilla recuperada de este ensayo se almacenó para posteriormente evaluar su eficiencia en el blanqueo de aceite de palma. En la figura 2.12 se muestran los materiales y equipos utilizados en el tratamiento de la arcilla de blanqueo prensada con agua caliente y en la figura 2.13 se puede apreciar un diagrama de bloques de los ensayos experimentales realizados a la tierra:



**Figura 2.12.** Plancha de calentamiento y filtro de aire a presión empleados para el tratamiento de la arcilla prensada con agua caliente



**Figura 2.13.** Esquema del tratamiento de la arcilla de blanqueo prensada con agua caliente

### 2.3.3. TRATAMIENTO DE LA ARCILLA PRENSADA CON VAPOR DE AGUA

#### 2.3.3.1. Tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua en un sistema abierto a la atmósfera

- Se armó el equipo que se aprecia en la figura 2.14 con los siguientes materiales: Matraz de 500 mL, corcho de caucho, papel filtro y un tubo de vidrio.
- Se pesaron 10 g de muestra y se colocaron en cartucho de papel filtro.

- Se introdujo el cartucho en un tubo de vidrio y se colocaron 500 mL de agua destilada en un matraz de 500 mL.
- Se generó el vapor (Temperatura de 92°C y presión atmosférica local) con calentamiento del matraz.
- Se realizó varios ensayos a diferentes tiempos (2-6 h).
- Una vez finalizada la prueba, se secó la muestra a 110°C durante 4 horas.
- Se pulverizó el material durante 1 min.
- Finalmente, se determinó el remanente de aceite en la arcilla tratada con vapor de agua con la técnica descrita en la sección 2.1.1.3.

La arcilla recuperada de este ensayo se almacenó para posteriormente evaluar su eficiencia en el blanqueo de aceite de palma.

El equipo utilizado para tratar la arcilla prensada con vapor de agua se muestra a continuación en la figura 2.14, junto con el esquema de la metodología empleada:



**Figura 2.14.** Materiales y metodología utilizados para el tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua en un sistema abierto a la atmósfera

### 2.3.3.2. Tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua a presión

A continuación se detalla el procedimiento experimental empleado:

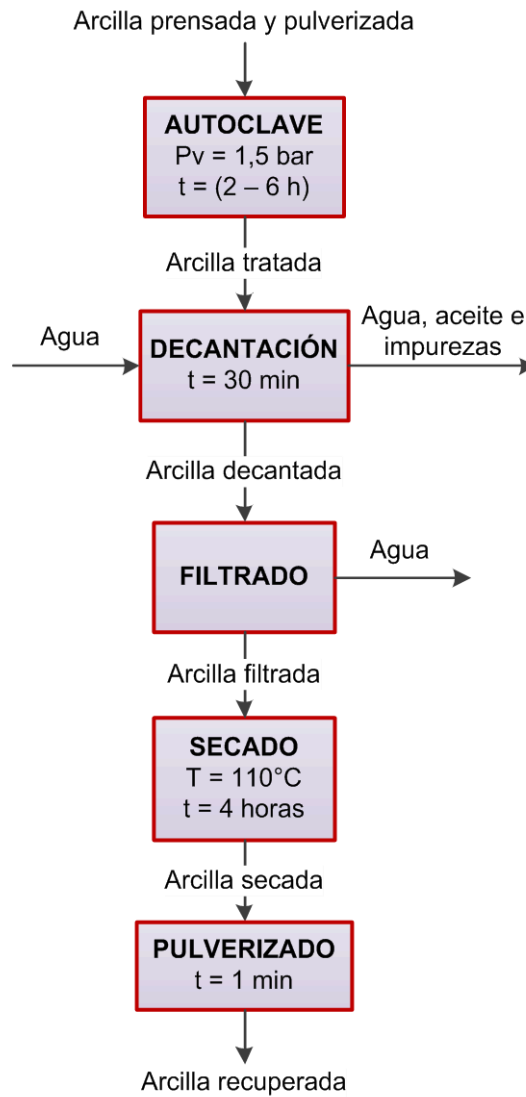
- 100 g de arcilla prensada se pesaron y se introdujeron en un autoclave y con vapor de agua saturado se realizó el tratamiento (Webeco).
- Se trabajó a una presión de saturación de 1,5 bares (La temperatura de saturación correspondiente es de:  $T_s = 111^\circ\text{C}$ ) y se realizaron ensayos a diferentes tiempos (2-6 h).
- Se recuperó la arcilla tratada y se agregaron 200 mL de agua destilada.
- Se decantó la solución durante 30 min y se filtró.
- Se recuperó la arcilla y se secó a  $110^\circ\text{C}$  durante 4 h.
- La torta de arcilla secada se pulverizó durante 1 min.
- Finalmente, se determinó el remanente de aceite en la arcilla tratada con vapor de agua a presión con la técnica descrita en la sección 2.1.1.3.

La arcilla recuperada de este ensayo se almacenó para posteriormente evaluar su eficiencia en el blanqueo de aceite de palma. El autoclave utilizado en esta experimentación se presenta a continuación en la figura 2.15:



**Figura 2.15.** Autoclave empleado en el tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua saturado

El esquema de la figura 2.16 ilustra la metodología seguida en el tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua a presión:



**Figura 2.16.** Esquema del tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua en un autoclave

Donde:

Pv = Presión de vapor saturado

## **2.4. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA DECOLORACIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA AL EMPLEAR LA ARCILLA DE BLANQUEO RECUPERADA**

Los pasos que se siguieron para realizar las pruebas de blanqueo se explican a continuación:

- Se armó el equipo ilustrado en la figura 2.17 con los siguientes materiales y equipos: Plancha de calentamiento (PMC), bomba de vacío (Boeco R-300), kitasato de 250 mL, termómetro, agitador magnético y un corcho de celulosa.
- Se pesaron 100 g de aceite crudo de palma en un kitasato de 250 mL con un agitador magnético en su interior.
- Se pesó 1 g de arcilla de blanqueo que corresponde al 1% en peso con respecto a la masa del aceite.
- Se prendió la bomba de vacío y se calentó el aceite con una plancha de calentamiento hasta alcanzar una temperatura de 110°C.
- Se agregó la arcilla de blanqueo y se realizó la decoloración de aceite durante 30 min.
- Finalizado el proceso, se filtró el aceite y se eliminó la arcilla decolorante usada.
- Se utilizó una balanza (Sartorius) de 0,1 mg de precisión para pesar 1 g de aceite blanqueado en un matraz de 10 mL.
- Se aforó el matraz con hexano y se agitó el envase para homogenizar la mezcla.
- Se colocó un poco de mezcla (hexano/aceite) en una celda fotométrica de 1 cm.
- Se determinó la absorbancia del aceite decolorado a una longitud de onda de 446 nm con un espectrofotómetro UV-VIS (Hitachi). Se utilizó hexano como blanco. También se determinó la absorbancia a 446 nm del aceite crudo de palma.



El porcentaje o eficiencia de blanqueo se determinó con la siguiente ecuación:

$$PB = \frac{A_c - A_r}{A_c - A_p} \times 100 \quad [2.8]$$

Donde:

PB = Porcentaje de blanqueo de aceite de palma.

$A_c$  = Absorbancia medida en el aceite crudo de palma.

$A_r$  = Absorbancia medida en el aceite blanqueado con arcilla recuperada.

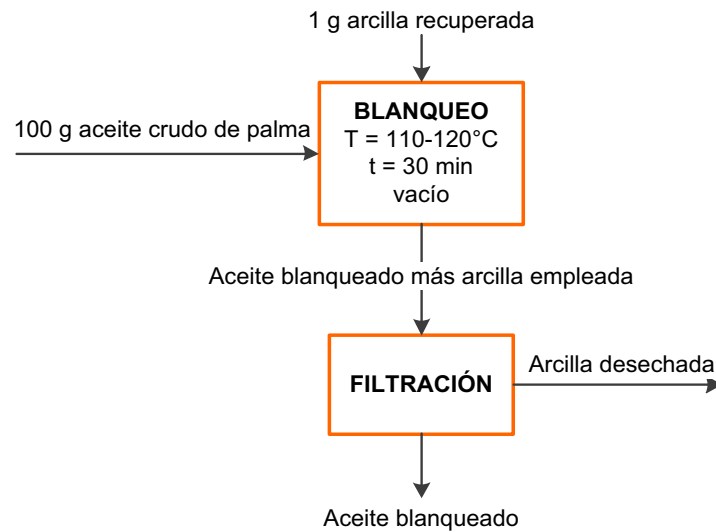
$A_p$  = Absorbancia medida en el aceite blanqueado con arcilla pura.

En la figura 2.17 se presentan los materiales y equipos utilizados en los ensayos de decoloración de aceite con arcillas recuperadas y con arcilla pura (Pure Flo B80 natural):



**Figura 2.17.** Materiales y equipos utilizados para realizar los ensayos de blanqueo de aceite de palma

La figura 2.18 muestra la metodología experimental empleada para realizar los ensayos de blanqueo de aceite de palma:



**Figura 2.18.** Diagrama de bloques de los ensayos de blanqueo de aceite de palma realizados

## 2.5. DEFINICIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO, DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR

El diseño conceptual de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo empleadas en la decoloración de aceites vegetales comestibles, se realizó sobre la base de los mejores resultados obtenidos y además se consideró la complejidad de la planta de tratamiento y los costos de inversión.

La definición del diagrama de flujo del proceso de tratamiento de las arcillas de blanqueo usadas, inició con la investigación de la cantidad de materia prima (desecho arcilloso) que en el Ecuador generan todas las industrias que refinan aceite crudo de palma.

Se realizó el balance de masa en cada operación unitaria y un balance global en la planta mediante la siguiente ecuación:

$$E - S + G - C = A$$

[2.9]

Donde:

E = Entrada de materia

S = Salida de materia

G = Generación de materia

C = Consumo de materia

A = Acumulación de materia

Debido a que no existe ninguna reacción química involucrada en el tratamiento de la arcilla se utilizó la ecuación:

$$E = S \quad [2.10]$$

Con la ecuación de conservación de energía que es similar a la ecuación de conservación de masa, se determinó el consumo diario de energía eléctrica (KWh) por parte de los equipos:

$$\begin{bmatrix} \text{Acumulación} \\ \text{de energía} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Transferencia} \\ \text{de energía} \\ \text{hacia el} \\ \text{sistema} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Transferencia} \\ \text{de energía} \\ \text{fuera del} \\ \text{sistema} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Generación} \\ \text{de energía} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Consumo} \\ \text{de energía} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{bmatrix} \quad [2.11]$$

Una vez definido el diagrama de flujo del proceso se diseñaron los equipos principales como el autoclave, el decantador y la estufa de secado y se determinaron las capacidades y tamaños requeridos; además se consultaron proformas con las especificaciones. También se realizó el plano de la planta, con lo que se determinó los metros cuadrados de terreno necesarios para la instalación de la industria.

La evaluación económica preliminar se efectuó a partir los aspectos tecnológicos de la planta (balance de masa, balance de energía, catálogos y distribución de los equipos en planta, mano de obra requerida, terreno y construcción y materiales indirectos). Las siguientes ecuaciones se emplearon para determinar los índices financieros: VAN, TIR y B/C, sobre la base de los cuales se discutió la factibilidad del negocio:

El valor actual neto (VAN) que es la diferencia entre la inversión inicial del negocio y los flujos de cajas anuales, se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{VAN} = -I_0 + \sum_{t=1}^n F_t(1+i)^{-t} \quad [2.12]$$

Donde:

VAN = Valor actual neto del proyecto.

$I_0$  = Inversión inicial del negocio (corresponde al flujo de caja en el año cero).

$n$  = Número de periodos considerados para la evaluación financiera (años).

$F_t$  = Flujo de caja del proyecto en cada periodo "t".

$i$  = Tasa de interés o descuento.

La tasa interna de retorno o tasa de rendimiento de un negocio se calcula cuando el VAN es igual a cero:

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n F_t(1+\text{TIR})^{-t} \quad [2.13]$$

Donde:

TIR = Tasa interna de retorno de la inversión (determinado para un VAN = 0).

La relación beneficio costo es un indicador financiero que relaciona las ventas totales con los costos totales del proyecto, su valor nos indica los dólares que se obtienen de ganancia por cada dólar invertido en el negocio. Con la siguiente ecuación se determinó dicho índice:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^n V_t(1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_t(1+i)^{-t}} \quad [2.14]$$

B/C = Relación beneficio-costo.

$V_t$  = Ventas totales en cada periodo "t".

$C_t$  = Costos totales en cada periodo "t".

$n$  = Número de periodos considerados para la evaluación financiera (años).

$i$  = Tasa de interés social (12%).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE MUESTRAS DE ARCILLA DE BLANQUEO PURA Y DE ARCILLA DE BLANQUEO USADA

Como primer paso se realizó la caracterización física, química y mineralógica de la arcilla de blanqueo usada, a partir de lo cual se determinó las condiciones iniciales y se estableció los procesos de recuperación de este desecho. Por otro lado, también se caracterizó la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural), lo cual es el referente de la discusión de resultados.

##### 3.1.1. PROPIEDADES TÍPICAS DE LA ARCILLA DE BLANQUEO PURA (PURE FLO B80 NATURAL)

Las propiedades típicas de la tierra decolorante Pure Flo B80 natural que se encuentran en la ficha técnica de este producto (Oil Dri, 2 011) se presentan a continuación en la tabla 3.1:

**Tabla 3.1.** Propiedades típicas de la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)

<b>PRODUCTO</b>	Pure Flo B80 natural
<b>HUMEDAD LIBRE</b> (% en peso a 105°C)	15,50
<b>pH</b> (5% de sólidos en agua destilada)	7,2
<b>DENSIDAD APARENTE</b>	0,6880 g/mL
<b>PORCENTAJE INFERIOR A 45 µm</b> (Malla 325: <45 µm en % en peso)	83,00%

Oil Dri, 2 011

Podemos apreciar en la tabla 3.1 que la tierra decolorante comercial Pure Flo B80 natural es un producto que no ha sido activado con ácido, ya que su pH es neutro

(7,2). Existen productos como la tierra de blanqueo Pure Flo B81 Supreme que tienen valores de pH de 4,4, debido al tratamiento con ácido al que son sometidos para activarlos (Oil Dri, 2 011).

Se observa en la tabla anterior que el 83,00% del material tiene un tamaño de partícula inferior a 45  $\mu\text{m}$ . Se encontró en bibliografía (Taylor, 2 005) que con tamaños pequeños de granos se aumenta la superficie específica de la arcilla pero se retiene más aceite, es por esto que se debe mantener una relación entre estos dos parámetros para evitar pérdidas de aceite en la industria.

La humedad libre de la tierra de blanqueo pura (15,50%) de algún modo mejora positivamente la eficiencia en el proceso de decoloración de aceite con respecto a una arcilla que no la posea (en la sección 1.2.2.2 de la parte de teórica se describe el efecto de la humedad en el proceso de blanqueo).

### **3.1.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE MUESTRAS DE ARCILLA DE BLANQUEO PURA Y DE ARCILLA DE BLANQUEO USADA**

#### **3.1.2.1. Determinación de humedad, material volátil, cenizas, carbón fijo, densidad aparente, aceite retenido y pH en muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada**

La caracterización física se efectuó con base en la metodología experimental descrita en la sección 2.1. Se determinó la humedad, material volátil, cenizas, carbón fijo, densidad aparente, aceite retenido y pH. Los resultados obtenidos se ilustran en la tabla 3.2. En el Anexo I se encuentran los detalles completos de los cálculos realizados.

Las arcillas de blanqueo poseen valores elevados de superficie específica y porosidad, propiedades que le confieren una gran capacidad de adsorción; debido a esto, en la tabla 3.2 se puede apreciar que la tierra decolorante usada contiene 48,86% de material volátil que está compuesto en gran cantidad de aceite

retenido (38,13%) e impurezas adsorbidas del aceite (según bibliografía revisada en la sección 1.1.4.2 se trata de fosfolípidos del proceso de desgomado, carotenoides, trazas de metales, etc.) que corresponden al 10,73% restante. Si se realiza una correcta operación de filtrado de la suspensión arcilla/aceite en la industria, la cantidad de aceite retenido no debería exceder del 25-35% (Taylor, 2005). Para el caso de la arcilla de blanqueo pura se determinó 8,98% de volátiles que podrían ser compuestos orgánicos adheridos a la tierra.

**Tabla 3.2.** Resultados de la caracterización física de la arcilla de blanqueo pura y de la arcilla de blanqueo usada

ANÁLISIS REALIZADO	VALOR OBTENIDO	
	Arcilla de blanqueo usada	Arcilla de blanqueo pura
Humedad	10,22%	11,93%
Material volátil*	48,86%	8,98%
Cenizas	40,48%	78,73%
Carbón fijo	0,44%	0,36%
<b>Total</b>	100%	
Densidad aparente	0,7368 g/mL	0,5116 g/mL
Aceite retenido*	38,13%	No aplica
pH	4,5	7,1

\* Valor expresado en base seca

La humedad que contiene este desecho es del 10,22% y la humedad determinada en la arcilla pura es del 11,93% (valor que se aproxima al presentado en la tabla 3.1 que es del 15,50%).

El alto porcentaje de cenizas (78,73%) de la arcilla de blanqueo pura se debe a que este material sólo contiene un 8,98% de volátiles. Por otro lado, a consecuencia del 48,86% de material volátil de la tierra usada el porcentaje de cenizas es menor (40,48%), ya que a 950°C se volatiliza toda la materia orgánica adsorbida por parte de la tierra decolorante.

Por el lado del pH, se obtuvieron medidas de 4,6 y 7,1, para la arcilla de blanqueo usada y para la arcilla de blanqueo pura respectivamente. Debido a la presencia

de aceite retenido en la tierra usada el pH es ácido (4,6), mientras que en la arcilla pura el pH es neutro puesto que este adsorbente es natural (como se explicó anteriormente en la sección 3.1, esta arcilla no ha sido tratada con ningún tipo de ácido).

Finalmente, se puede apreciar en la tabla 3.2 que la densidad de la tierra de blanqueo aumenta de 0,5116 g/mL (para la arcilla pura) a 0,7368 g/mL (para la arcilla usada), por motivo de la adsorción de impurezas y aceite retenido en el proceso de blanqueo de aceite de palma.

### 3.1.2.2. Superficie específica y capacidad de intercambio catiónico (CEC) de la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)

En la siguiente tabla se muestran la superficie específica y la capacidad de intercambio catiónico de la arcilla de blanqueo comercial Pure Flo B80 natural que emplea la industria ecuatoriana en el proceso de decoloración de aceite de palma.

Cabe resaltar inicialmente que la tierra adsorbente está compuesta de varias arcillas específicas entre ellas la montmorillonita y la paligorskita (en la sección 3.1.4.1 se encuentra el resultado del análisis mineralógico).

**Tabla 3.3.** Superficie específica y capacidad de intercambio catiónico de la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)

ENSAYO REALIZADO	VALOR OBTENIDO
Superficie específica	531,85 m <sup>2</sup> /g
Capacidad de intercambio catiónico (CEC)	72,17 meq Na/100 g

En la sección 1.2.1.3 se presentan valores de superficie específica y capacidad de intercambio catiónico (CEC) de diferentes arcillas minerales, por ejemplo: la Montmorillonita tiene un área superficial entre 80 - 300 m<sup>2</sup>/g y una capacidad de intercambio catiónico entre 70 – 120 meq/100 g.



La capacidad de intercambio catiónico se la realizó mediante el método estándar de la Natural Resources Conservation Service [UNLPam, 2 011 y NRCS, 2 011], con lo que se obtuvo un valor de 72,17 meq/100 g.

Se empleó la técnica de higroscopicidad para determinar la superficie específica de la arcilla de blanqueo con la que se encontró un valor de 531,85 m<sup>2</sup>/g. Esta metodología sólo ofrece resultados aproximados, en cambio si se utilizara la técnica estándar BET de adsorción de nitrógeno se obtendrían valores cercanos a los mostrados en bibliografía (Sección 1.2.1.3).

### 3.1.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS DE ARCILLA DE BLANQUEO PURA Y DE ARCILLA DE BLANQUEO USADA

#### 3.1.3.1. Determinación de la composición química de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcilla de blanqueo usada

En la tabla 3.4 se presentan los resultados obtenidos del análisis químico realizado a la arcilla de blanqueo pura y a la arcilla de blanqueo usada mediante las técnicas descritas en la sección 2.1.2.1.

**Tabla 3.4.** Resultados del análisis químico realizado a la arcilla de blanqueo pura y a la arcilla de blanqueo usada

ELEMENTO	VALOR OBTENIDO (%)	
	Arcilla de blanqueo usada	Arcilla de blanqueo pura
C	63,27	< 0,01
Si	12,68	35,59
Al	3,97	10,52
Fe	2,47	6,53
K	< 0,01	1,43
Mg	1,78	4,39
Na	0,40	0,12
Ca	0,69	0,86

Existe una alta concentración de carbono en la tierra de blanqueo usada (63,27%) que podría deberse a la gran cantidad de aceite retenido e impurezas del aceite como los fosfolípidos.

En los resultados de la tabla 3.4 se puede apreciar que la arcilla de blanqueo es rica en Al, Fe, Mg, K y Ca, con concentraciones de 10,52%, 6,53%, 4,39%, 1,43% y 0,86% respectivamente. La alta concentración de aluminio se debe a que este catión conforma la estructura octaédrica de la montmorillonita, así como también el hierro y el magnesio. Los iones metálicos alcalinos (Na y K) y alcalino térreos (Mg y Ca) están en el espacio interlaminar de estas arcillas de blanqueo [García y Suarez, 2 001; Higuera y Oyarzun, 2 006; Brigatti *et al.*, 2 006].

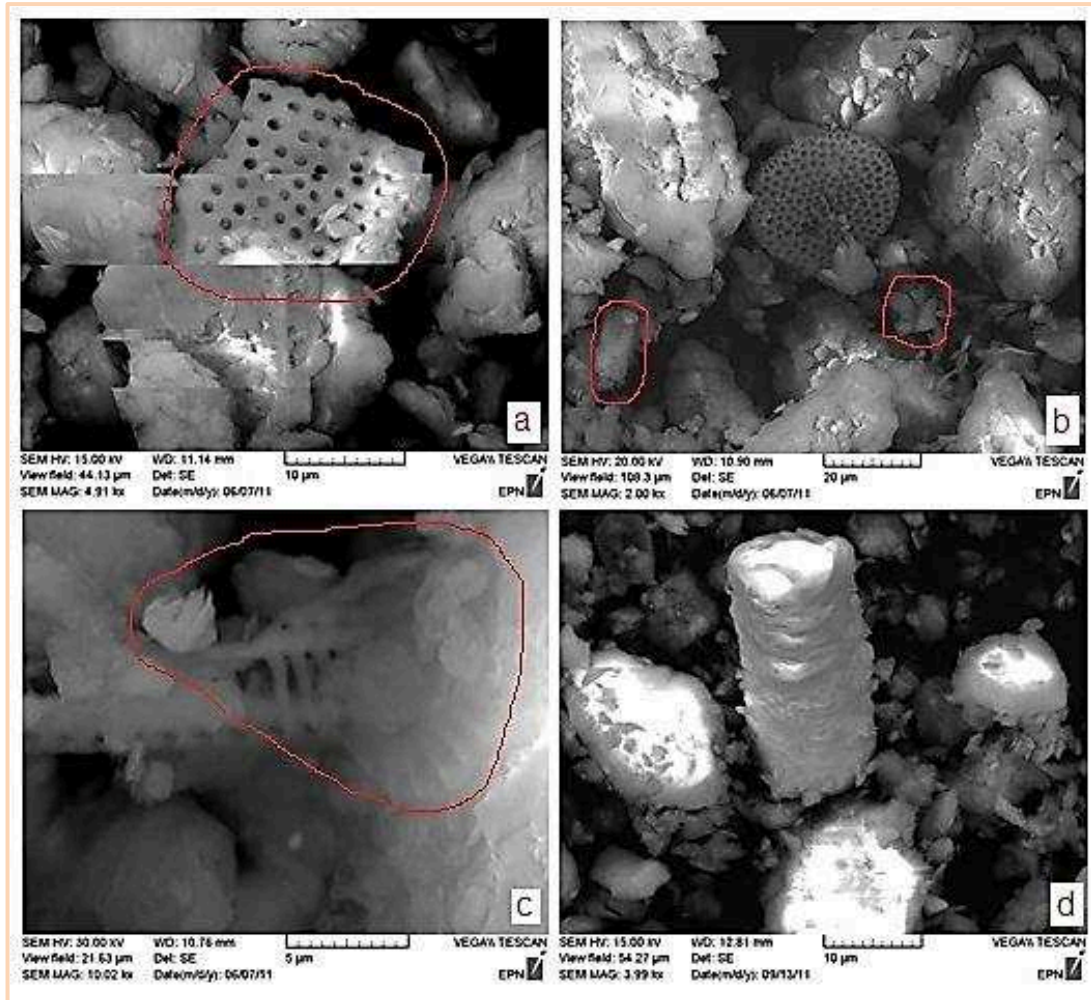
### **3.1.3.2. Imágenes obtenidas del análisis químico realizado a la arcilla de blanqueo pura por microscopia electrónica de barrido**

En la figura 3.1 se recopiló imágenes que se obtuvieron de la caracterización química realizada a la arcilla de blanqueo pura mediante microscopia electrónica de barrido. En el Anexo VI se encuentra el espectro de rayos X y la composición química de la tierra pura.

La arcilla de blanqueo empleada en el proceso de decoloración de aceite crudo de palma tiene porosidad que pudo ser observada con el uso de un microscopio electrónico de barrido. En la figura 3.1(a) se evidencian poros con disposiciones ordenadas que dan muestra de la estructura cristalina de este tipo de arcilla.

Además, se aprecia en la figura 3.1(d) que la tierra adsorbente está constituida de capas o láminas superpuestas (según bibliografía presentada en la sección 1.2.1.1, la estructura de las arcillas minerales consiste de apilamientos poliméricos tipo sándwich de dos capas tetraédricas y una capa octaédrica que conforman la unidad estructural o lámina).

Se puede observar también en la figura 3.1(b) que existen granos dispersos que no tienen forma alguna, lo que podría dar a entender la presencia de material amorfo en la arcilla pura (Pure Flo B80 natural).



**Figura 3.1.** Fotografías obtenidas del análisis químico realizado a la arcilla de blanqueo pura mediante microscopía electrónica de barrido

Es conocido que la arcilla proveniente de suelos contiene materia orgánica conocida como humus, compuesta frecuentemente de ácidos húmicos, fúlvicos, enzimas y otras que provienen de la descomposición de microorganismos (hongos y bacterias) que se agrupan en y dentro de la superficie del suelo debido a que la arcilla es rica en iones, agua y materia orgánica. Por otro lado, la Biomineralización es el proceso por el cual los organismos vivos convierten una solución de iones en minerales sólidos; este proceso es el resultado de las actividades celulares que permiten que ciertos cambios fisicoquímicos ocurran, lo

que sería como el “Génesis” de las arcillas [Besoain, 1 985; Tazaki, 2 006]. En la figura 3.1(c) se pueden apreciar fósiles de seres inertes que corroboran la teoría descrita anteriormente.

### 3.1.4. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA ARCILLA DE BLANQUEO PURA

Mediante el uso de un difractor de rayos X se determinó la composición de arcillas minerales cristalinas que conforman la tierra de blanqueo. Los resultados obtenidos se presentan a continuación en la tabla 3.5:

**Tabla 3.5.** Resultados de la difracción de rayos X realizada a la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)

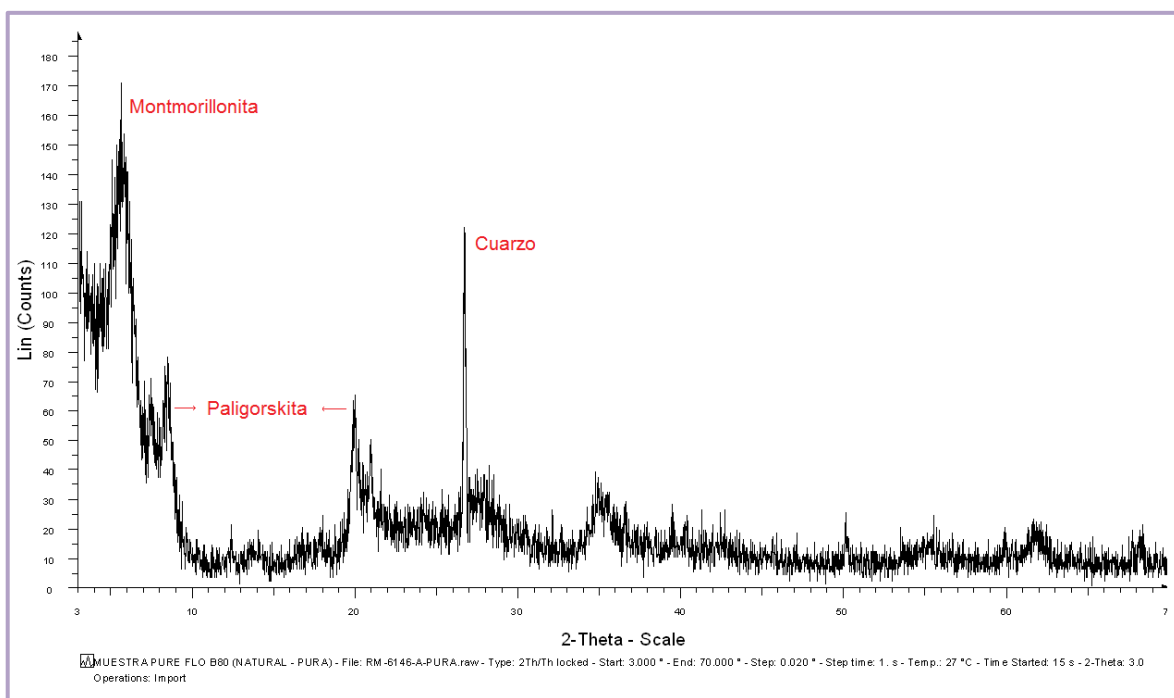
MINERAL DE ARCILLA	FÓRMULA	CONTENIDO (%)
Montmorillonita (Grupo esmectita)	$(Al,Mg,Na)(OH)_2Si_4O_{10}.4H_2O$	37
Paligorskita	$(Mg,Al)_2OHSi_4O_{10}.4H_2O$	26
Cuarzo	$SiO_2$	10
Dickita	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	9
Muscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	9
Grupo plagioclasa (Albita, andesita, anortita)	$(Na,Ca)Al(Si,Al)Si_2O_8$	4
Clorita	$(Mg,Fe)_5Al(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	3
Caolinita	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	3

\* Existe material amorfo no cuantificado por esta técnica de análisis

Del resultado mineralógico se destaca que 2 arcillas minerales están presentes en concentraciones elevadas, estas son: montmorillonita (37%) y paligorskita (26%). Con este análisis es posible confirmar lo que se indica en la ficha técnica de esta tierra de blanqueo que usa la industria (Oil Dri, 2 011), en donde se estipula que la arcilla Pure Flo B80 natural es una mezcla de minerales de hormita (montmorillonita y paligorskita) y esmectita (montmorillonita).

Estas 2 arcillas tienen, como ya se mencionó inicialmente en la sección 1.2.1.3, una gran superficie específica (para montmorillonita: 80-300 m<sup>2</sup>/g y para paligorskita: 100-200 m<sup>2</sup>/g) y porosidad, pero además, una propiedad que vale resaltar es la capacidad de intercambio catiónico (para montmorillonita: 80-200 meq/100 g y para paligorskita: 20-35 meq/100 g), ya que el proceso de adsorción de impurezas del aceite no sólo se da en la superficie de la arcilla, sino también en el espacio interlaminar en donde están los cationes de cambio hidratados (Taylor, 2 005).

La tierra decolorante Pure Flo B80 natural que se usa en la refinación de aceite de palma está compuesta de arcillas cristalinas y también de material amorfo a los rayos X. Esto lo podemos apreciar a continuación en la figura 3.2 en donde se ilustra el difractograma obtenido del análisis de difracción de rayos X realizado:



**Figura 3.2.** Difractograma obtenido del análisis de difracción de rayos X de la arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)

Montmorillonita, paligorskita y cuarzo son los principales compuestos cristalinos que posee esta tierra de blanqueo. Sin embargo, en el difractograma presentado en la figura anterior se puede evidenciar que este adsorbente posee compuestos

amorfos (esto se debe al ruido producido al analizar la muestra ya que no se consiguen picos bien definidos).

### **3.2. ENSAYOS DE SEPARACIÓN DE ACEITE PRESENTE EN LA ARCILLA DE BLANQUEO USADA POR EXTRACCIÓN CON SOLVENTE Y POSTERIOR CALCINACIÓN DE LA ARCILLA DE BLANQUEO RECUPERADA**

Con la caracterización física de la arcilla de blanqueo usada se determinó que este desecho contiene un alto porcentaje de material volátil (48,86%) con respecto a la arcilla pura que tiene 8,98%. Es por esto que se realizó la limpieza de la tierra usada con acetona y posteriormente se calcinó el material para evaluar su eficiencia en el blanqueo de aceite de palma.

#### **3.2.1. ENSAYOS DE SEPARACIÓN DE ACEITE PRESENTE EN LA ARCILLA DE BLANQUEO USADA POR EXTRACCIÓN CON SOLVENTE**

Para separar el aceite retenido de la arcilla de blanqueo usada se empleó un extractor soxhlet que con el uso de acetona limpió la tierra decolorante (la metodología seguida se encuentra descrita en la sección 2.2).

En la tabla 3.6 se realiza una comparación de la tierra de blanqueo y el aceite recuperado de la extracción por solvente con la arcilla pura y la arcilla usada y con el aceite de palma respectivamente.

La tierra decolorante pura (Pure Flo B80 natural) utilizada en el proceso de blanqueo de aceite de palma tiene un color blanco hueso. Al finalizar el proceso de blanqueo y luego de la filtración de la suspensión aceite-arcilla, el desecho que es de coloración café con zonas negras contiene 48,35% de aceite retenido.

**Tabla 3.6.** Comparación del aceite extraído por solvente y la arcilla recuperada de los ensayos de separación de aceite con la tierra pura, la tierra usada y el aceite de palma

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	FOTOGRAFÍA
Arcilla de blanqueo pura	Producto empleado en el proceso de decoloración de aceite de palma.	Tiene una textura harinosa. Es de color blanco hueso.	
Arcilla de blanqueo usada	Residuo arcilloso del proceso de blanqueo de aceite de palma.	Tiene una textura grasosa Es de color café con zonas oscuras	
Arcilla de blanqueo recuperada	Producto recuperado de los ensayos de separación de aceite por extracción con solvente.	Tiene una textura harinosa. Es de coloración café claro.	
Aceite de palma	Aceite extraído del mesocarpio de la fruta de la palma <i>Elaeis Guineensis</i> .	Tiene una textura viscosa. Es de coloración rojo anaranjado intenso.	
Aceite de palma recuperado con solvente	Aceite de palma extraído con acetona de la arcilla de blanqueo usada.	Tiene una textura viscosa. Es de color negro.	

Después de la limpieza de la tierra de blanqueo usada con acetona se recupera la tierra que adquiere una coloración café claro. Por otro lado, el aceite extraído tiene una coloración oscura que evidencia una oxidación de la grasa, ya que el aceite de palma tiene un color rojo anaranjado intenso debido a su gran contenido de pigmentos carotenoides (O'Brien, 2 009).

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en cuanto a porcentajes de aceite extraído y de arcilla recuperada:

**Tabla 3.7.** Resultados de los ensayos de separación de aceite de la arcilla de blanqueo usada por extracción con solvente

	<b>VALOR OBTENIDO (%)</b>
Aceite extraído de la arcilla usada*	48,35
Arcilla recuperada de la extracción	52,35

\* Valor determinado en base húmeda (H = 10,22%)

### **3.2.2. CALCINACIÓN POSTERIOR DE LA ARCILLA DE BLANQUEO RECUPERADA DEL PRENSADO HIDRÁULICO**

Como se indica en la metodología experimental de la sección 2.2, la arcilla de blanqueo recuperada luego del prensado realizado fue sometida a calcinación a diferentes temperaturas (400, 500, 550 y 600°C) y tiempos (0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 y 3 h). De los ensayos de calcinación a altas temperaturas se obtuvieron materiales con diferentes coloraciones. Del mismo modo, en la tabla 3.8 se realiza una comparación de las diferentes arcillas obtenidas con la arcilla pura, la arcilla recuperada de la extracción con solvente y la arcilla usada.

Podemos apreciar en la tabla 3.8 que la tierra decolorante recuperada de la extracción con solvente se aclara a medida que se incrementa la temperatura de calcinación. Si se trabaja a 400°C durante 2 h se pasa de una coloración café a una coloración negra, como se observa en la tabla 3.8. A 550°C durante 1,5 h el material se hace más claro y ahora su color es gris.

Finalmente, si se sube la temperatura a 600°C por 3 h, la arcilla adsorbente adquiere una coloración amarillenta. Estos cambios de color se deben a que la arcilla de blanqueo con el calentamiento pierde los compuestos volátiles que no se eliminan de la extracción con acetona.



**Tabla 3.8.** Comparación de las arcillas obtenidas de la calcinación realizada a la arcilla prensada con la tierra pura y la tierra usada

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	FOTOGRAFÍA
Arcilla de blanqueo pura	Producto empleado en el proceso de decoloración de aceite de palma.	Tiene una textura harinosa. Es de color blanco hueso.	
Arcilla de blanqueo usada	Residuo arcilloso del proceso de blanqueo de aceite de palma.	Tiene una textura grasosa. Es de color café con zonas oscuras.	
Arcilla de blanqueo recuperada	Producto recuperado de los ensayos de separación de aceite por extracción con solvente.	Tiene una textura harinosa. Es de coloración café.	
Arcilla calcinada (T = 400°C; t = 2 h)	Arcilla calcinada luego de los ensayos de separación de aceite presente en la tierra de blanqueo usada por extracción con solvente	Tiene una textura harinosa. Es de coloración negra.	
Arcilla calcinada (T = 550°C; t = 1,5 h)	Arcilla calcinada luego de los ensayos de separación de aceite presente en la tierra de blanqueo usada por extracción con solvente	Tiene una textura harinosa. Es de coloración gris.	
Arcilla calcinada (T = 600°C; t = 3 h)	Arcilla calcinada luego de los ensayos de separación de aceite presente en la tierra de blanqueo usada por extracción con solvente	Tiene una textura harinosa. Es de coloración amarillenta.	

### 3.3. ENSAYOS DE PRENSADO HIDRÁULICO PARA LA ARCILLA DE BLANQUEO USADA Y TRATAMIENTO POSTERIOR DE LA ARCILLA RECUPERADA CON AGUA CALIENTE Y CON VAPOR DE AGUA

#### 3.3.1. ENSAYOS DE PRENSADO HIDRÁULICO PARA LA ARCILLA DE BLANQUEO USADA

En este ensayo se empleó una prensa hidráulica de placas calientes a 75°C (la temperatura disminuye la viscosidad del aceite y facilita su prensado). Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla. Los datos experimentales de este ensayo se ilustran en el Anexo II.

**Tabla 3.9.** Resultados del prensado hidráulico en caliente de la arcilla de blanqueo usada  
(T = 75°C; t < 5 min)

	VALOR OBTENIDO (%)	
	Presión = 100 atm	Presión = 200 atm
Aceite extraído de la arcilla usada*	30,99	31,77
Arcilla recuperada del prensado	69,01	68,23
Aceite remanente en la arcilla recuperada**	17,05	17,82



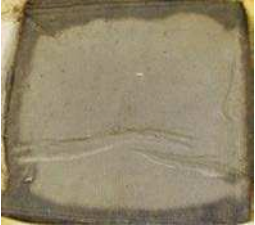


\* En base húmeda (la humedad de la arcilla usada es 10,22%)

\*\* Porcentaje determinado por extracción soxhlet

Se logra extraer 30,99% de aceite presente en la arcilla de blanqueo usada mediante una prensa hidráulica (temperatura de las placas = 75°C) a una presión de 100 atm. La tierra que se recupera del prensado tiene 17,05% de aceite que fue eliminado posteriormente con agua y con vapor de agua, junto con las impurezas que adsorbe la tierra decolorante. También se puede observar en la tabla 3.9 que no existe una diferencia significativa en el porcentaje de aceite extraído si se aplica una presión mayor (200 atm).

A continuación se presenta una comparación de la arcilla recuperada y el aceite extraído del prensado hidráulico con la arcilla pura, la arcilla usada y aceite crudo de palma:

**Tabla 3.10.** Comparación de la arcilla obtenida del prensado hidráulico y el aceite extraído con la tierra pura, la tierra usada y el aceite de palma

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	FOTOGRAFÍA
Arcilla de blanqueo pura	Producto empleado en el proceso de decoloración de aceite de palma.	Tiene una textura harinosa. Es de color blanco hueso.	
Arcilla de blanqueo usada	Residuo arcilloso del proceso de blanqueo de aceite de palma.	Tiene una textura grasosa Es de color café con zonas oscuras.	
Arcilla de blanqueo prensada (T = 75°C; t < 5 min)	Producto recuperado luego del prensado en caliente realizado a la arcilla de blanqueo usada.	Tiene un aspecto de una torta dura. Es de color café claro con bordes más oscuros.	
Aceite de palma	Aceite extraído del mesocarpio de la fruta de la palma <i>Elaeis Guineensis</i> .	Tiene una textura viscosa. Es de coloración rojo anaranjado intenso.	
Aceite de palma recuperado por prensado hidráulico	Aceite extraído de la arcilla de blanqueo usada mediante una prensa hidráulica.	Tiene una textura viscosa. Es de coloración amarillenta.	

Al realizar este ensayo de prensado hidráulico se logró extraer aceite de palma sin impurezas de coloración amarillenta, esto se puede apreciar en la tabla 3.10, lo cual evidencia una disminución del contenido de carotenos que posiblemente se encuentran retenidos en la torta de arcilla recuperada, al igual que los demás compuestos adsorbidos en el proceso de blanqueo (fosfolípidos, trazas de metales, aldehídos, cetonas, etc.) (Taylor, 2 005).

En la siguiente figura se puede comparar el aceite extraído con solvente y con prensado con el aceite crudo de palma:



**Figura 3.3.** (a) Aceite crudo de palma. (b) Aceite extraído por prensado hidráulico. (c) Aceite extraído con solvente

La principal ventaja de usar una prensa hidráulica se ve reflejada en el aspecto del aceite que se recupera, ya que se puede decir que es de mejor calidad con respecto al que se extrae con acetona. En la industria la suspensión aceite/arcilla que sale del proceso de decoloración es llevada a un filtro de hojas en donde se retiene la tierra adsorbente. El aceite filtrado pasa por un filtro prensa con lo que se eliminan partículas de arcilla que pueda contener (Taylor, 2 005). Con base en los resultados de la investigación, si se emplea una prensa hidráulica como un equipo auxiliar en el proceso de blanqueo de aceite se podrían evitar pérdidas de aceite (30,99%) y descargar la tierra usada con un 17,05% de aceite retenido.

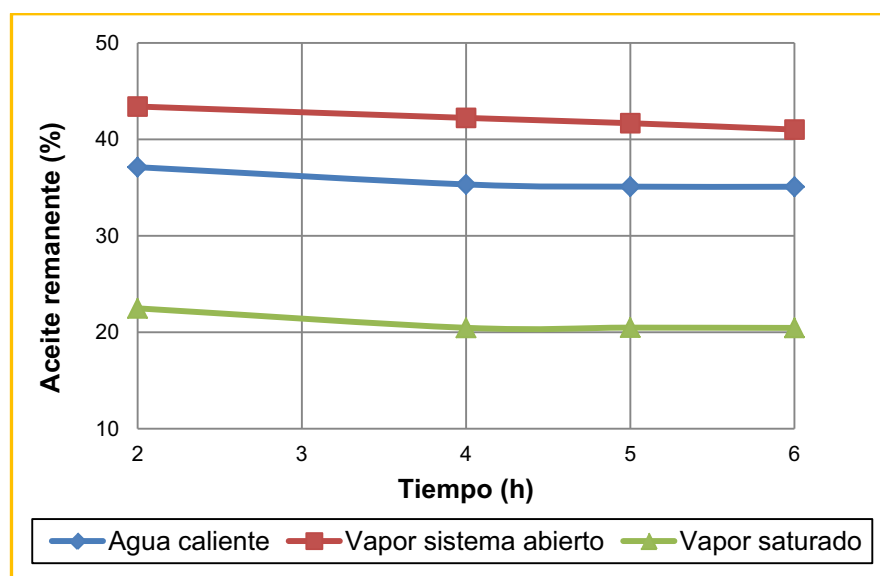
### **3.3.2. TRATAMIENTO DE LA ARCILLA PRENSADA CON AGUA CALIENTE Y CON VAPOR DE AGUA**

El agua caliente al igual que el vapor de agua consigue separar el aceite retenido y las impurezas de la arcilla, mientras que con vapor de agua en un sistema abierto a la atmósfera no se obtienen buenos resultados, esto lo podemos observar en la tabla 3.11 y en la figura 3.4 presentados a continuación:

**Tabla 3.11.** Aceite remanente en la arcilla recuperada luego del tratamiento con agua caliente y con vapor de agua

TIPO DE TRATAMIENTO APLICADO A LA ARCILLA USADA	ACEITE REMANENTE* (%)			
	t = 2 h	t = 4 h	t = 5 h	t = 6 h
Agua usada tratada con agua caliente (T = 85°C; agitación = 100 rpm)	37,12	35,33	35,10	35,09
Arcilla usada tratada con vapor de agua en sistema abierto (T = 92°C; P = atmosférica local)	43,41	42,23	41,68	41,02
Arcilla usada tratada con vapor de agua a presión en un autoclave (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C)	22,48	20,46	20,48	20,45

\* Porcentaje determinado por extracción soxhlet



**Figura 3.4.** Porcentaje de aceite remanente en la arcilla recuperada luego del tratamiento con agua y con vapor de agua

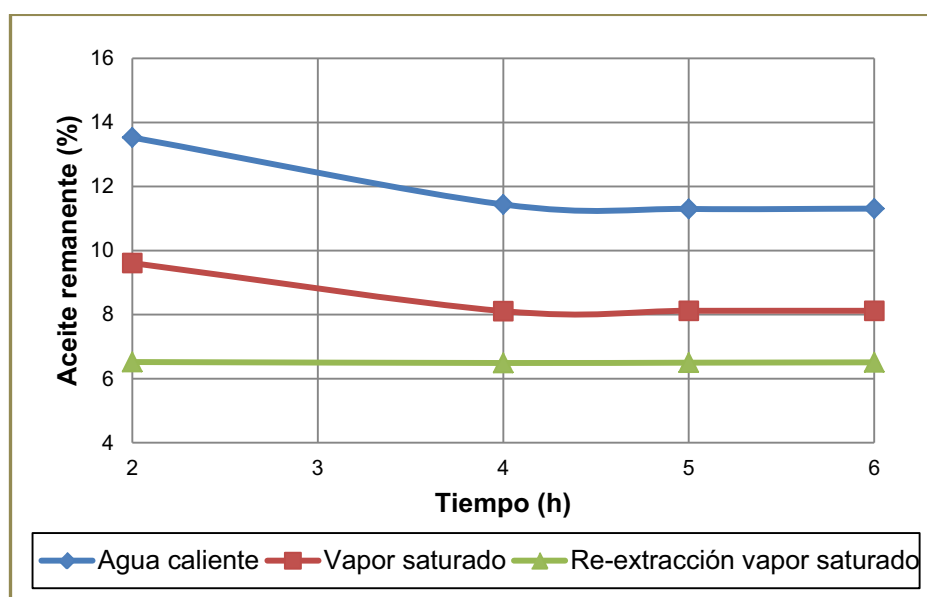
La arcilla de blanqueo usada desechada luego del proceso de decoloración de aceite de palma en la industria contiene 48,35% de aceite retenido, es por esto que lo ideal sería eliminar completamente el aceite y las impurezas adsorbidas. Podemos apreciar en la tabla 3.11 que al aplicar directamente a la tierra usada vapor de agua en un autoclave a una presión de saturación de 1,5 bares (T = 111°C) durante 6 horas, se recupera la arcilla con un contenido de aceite del 20,45%. Por otro lado, a 6 horas de tratamiento de la tierra usada con agua caliente a 85°C se obtiene un material con un 35,09% de aceite remanente.

Debido a que se consiguieron resultados favorables se realizaron ensayos para la arcilla de blanqueo recuperada del prensado hidráulico y estos se encuentran en la tabla 3.12 y en la figura 3.5:

**Tabla 3.12.** Resultados del tratamiento de la arcilla prensada con agua caliente y con vapor de agua

TIPO DE TRATAMIENTO APLICADO A LA ARCILLA PENSADA	ACEITE REMANENTE* (%)			
	t = 2 h	t = 4 h	t = 5 h	t = 6 h
Arcilla prensada y tratada con agua caliente (T = 85°C; agitación = 100 rpm)	13,53	11,44	11,30	11,31
Arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión en un autoclave (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C)	9,61	8,11	8,12	8,12
Re-limpieza de la arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión en un autoclave (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C)	6,52	6,49	6,50	6,51

\* Porcentaje determinado por extracción soxhlet







**Figura 3.5.** Porcentaje de aceite remanente en la arcilla recuperada luego del tratamiento con agua y con vapor de agua previo prensado realizado

Con vapor de agua a presión (Ps = 1,5 bares) durante 4 horas se elimina más aceite e impurezas que con agua caliente a 85°C por 5 horas, ya que la arcilla recuperada tiene 8,11% y 11,31% de aceite remanente respectivamente. Si se vuelve a tratar la tierra con vapor de agua en un autoclave durante 4 horas, se

aprecia en la tabla 3.12 y en la figura 3.5, que se consigue bajar el contenido de aceite hasta un 6,49%. Probablemente se conseguirían mejores resultados si se emplea un autoclave industrial que por lo general trabaja a presiones de saturación elevadas alrededor de los 4 bares. El proceso de adsorción de sustancias superficiales del aceite (carotenoides, fosfolípidos, etc.) por parte de la arcilla implica procesos físicos (fisisorción) y químicos (quimisorción), en donde están presentes puentes de hidrógeno o fuerzas de Van der Waals para el fenómeno físico y para el fenómeno químico ocurre ruptura o formación de enlaces covalentes entre el adsorbato y el adsorbente (Taylor, 2 005). A partir de esto, se puede inferir que el vapor de agua ingresa por los poros de la tierra decolorante y rompe el mecanismo de adsorción de los compuestos menores presentes en el aceite de palma [O'Brien, 2 009; Taylor, 2 005] y además se separa el aceite retenido.

**Tabla 3.13.** Comparación de la arcilla obtenida del tratamiento con vapor de agua a presión con la tierra pura, la tierra usada y la tierra calcinada

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	FOTOGRAFÍA
Arcilla de blanqueo pura	Producto empleado en el proceso de decoloración de aceite de palma.	Tiene una textura harinosa. Es de color blanco hueso.	
Arcilla de blanqueo usada	Residuo arcilloso del proceso de blanqueo de aceite de palma.	Tiene una textura grasosa Es de color café con zonas oscuras.	
Arcilla calcinada (T = 550°C; t = 1,5 h)	Arcilla calcinada luego de los ensayos de separación de aceite presente en la tierra de blanqueo usada por extracción con solvente	Tiene una textura harinosa. Es de coloración gris.	
Arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión en un autoclave (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; 4 h)	Arcilla tratada con vapor de agua saturado luego de los ensayos de prensado hidráulico de la arcilla de blanqueo usada.	Tiene una textura harinosa. Es de coloración café claro.	



Se evidencia en la siguiente tabla que el producto recuperado del tratamiento con vapor de agua saturado realizado a la arcilla prensada tiene una coloración café claro lo que da a entender que gran cantidad de materia orgánica presente en la tierra de blanqueo usada se ha eliminado.

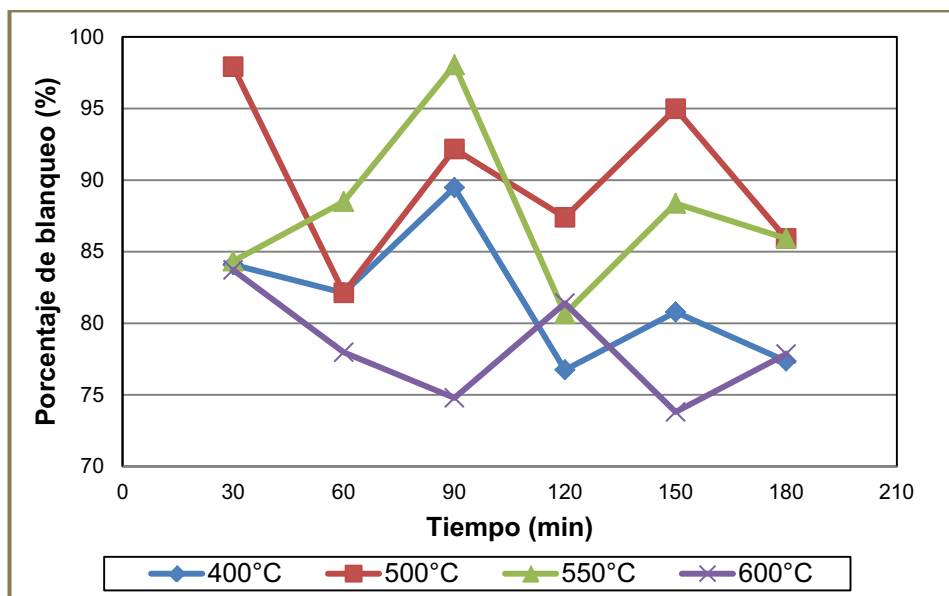
### **3.4. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA DECOLORACIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA AL EMPLEAR LA ARCILLA DE BLANQUEO RECUPERADA**

Uno de los propósitos de las arcillas de blanqueo es adsorber los pigmentos carotenoides de los aceites vegetales, como la clorofila, el  $\beta$ -caroteno, etc. En el caso de aceite de palma, el  $\beta$ -caroteno y el  $\alpha$ -caroteno, son los carotenos que se encuentran en mayor concentración, 377,01 y 236,62 ppm respectivamente. Estos compuestos le dan al aceite de palma una coloración rojo anaranjado intenso (Taylor, 2 005). Debido a esto, se realizaron ensayos de blanqueo de aceite para determinar la eficiencia en la decoloración que se consigue con las tierras recuperadas.

#### **3.4.1. ENSAYOS DE DECOLORACIÓN DE ACEITE DE PALMA CON ARCILLAS DE BLANQUEO CALCINADAS**

En la figura 3.6 se puede observar el porcentaje de blanqueo (PB) que se consigue al realizar la decoloración de aceite de palma con cada una de las arcillas calcinadas. La mayor eficiencia en el blanqueo de aceite se logra con la arcilla calcinada a 550°C durante 1,5 h (98,04%), pero se puede apreciar en la figura 3.6 que a 500°C durante 30 min se obtiene un porcentaje del 97,92%.





**Figura 3.6.** Porcentaje de blanqueo obtenido con arcillas de blanqueo calcinadas durante varios tiempos

Con base en la absorbancia del aceite crudo de palma y la absorbancia del aceite blanqueado con la arcilla pura presentada en la tabla 3.14, es posible asegurar que el contenido de carotenos disminuye en un 52,17%.

Para una misma temperatura no existe una tendencia a aumentar el porcentaje de blanqueo con el tiempo de calcinación. Se evidencia en la figura 3.6 presentada anteriormente que a 500°C y a 550°C se obtiene en promedio una eficiencia de aproximadamente 87% respectivamente, por lo que al parecer la variación de 50°C no es significativa. A 400°C la arcilla calcinada no ofrece una buena decoloración de aceite, ya que se obtiene 80% de eficiencia. A 600°C se aprecia en la figura 3.6 que decae el porcentaje de blanqueo a valores inferiores al 80%, con lo que se podría asegurar, con base a la información presentada en la sección 1.2.1.5, que las arcillas minerales cristalinas de la tierra adsorbente tienden a convertirse en amorfas a elevadas temperaturas, ya que las estructuras colapsan y además se pierde la humedad de los cationes hidratados del espacio interlaminar, lo que afecta directamente a la adsorción.

**Tabla 3.14.** Porcentaje de blanqueo determinado para el aceite de palma decolorado con arcillas de blanqueo calcinadas

(Dosis = 1% arcilla; T = 110°C; vacío; agitación = 100 rpm)

<b>TIPO DE ARCILLA EMPLEADA</b>	<b>ABSORBANCIA DEL ACEITE A 446 nm</b>	<b>PORCENTAJE DE BLANQUEO (%)</b>
Arcilla calcinada a 400°C por 0,5 h	1,021	84,09
Arcilla calcinada a 400°C por 1 h	1,037	82,13
Arcilla calcinada a 400°C por 1,5 h	0,977	89,47
Arcilla calcinada a 400°C por 2 h	1,081	76,74
Arcilla calcinada a 400°C por 2,5 h	1,048	80,78
Arcilla calcinada a 400°C por 3 h	1,076	77,36
Arcilla calcinada a 500°C por 0,5 h	0,908	97,92
Arcilla calcinada a 500°C por 1 h	1,037	82,13
Arcilla calcinada a 500°C por 1,5 h	0,955	92,17
Arcilla calcinada a 500°C por 2 h	0,994	87,39
Arcilla calcinada a 500°C por 2,5 h	0,932	94,98
Arcilla calcinada a 500°C por 3 h	1,006	85,92
Arcilla calcinada a 550°C por 0,5 h	1,019	84,33
Arcilla calcinada a 550°C por 1 h	0,985	88,49
Arcilla calcinada a 550°C por 1,5 h	0,907	98,04
Arcilla calcinada a 550°C por 2 h	1,049	80,66
Arcilla calcinada a 550°C por 2,5 h	0,986	88,37
Arcilla calcinada a 550°C por 3 h	1,006	85,92
Arcilla calcinada a 600°C por 0,5 h	1,024	83,72
Arcilla calcinada a 600°C por 1 h	1,071	77,97
Arcilla calcinada a 600°C por 1,5 h	1,097	74,79
Arcilla calcinada a 600°C por 2 h	1,043	81,40
Arcilla calcinada a 600°C por 2,5 h	1,105	73,81
Arcilla calcinada a 600°C por 3 h	1,072	77,85
Arcilla pura (Pure Flo B80 natural)	0,891	100,00
Arcilla recuperada de extracción soxhlet	1,247	56,43
Aceite crudo de palma	1,708	-

Se podría mejorar la eficiencia en el blanqueo de aceite de palma si se combina la calcinación con la activación ácida, debido a que se consigue aumentar la superficie específica (Taylor, 2 005).

### 3.4.2. ENSAYOS DE DECOLORACIÓN DE ACEITE DE PALMA CON ARCILLAS DE BLANQUEO TRATADAS CON AGUA CALIENTE Y CON VAPOR DE AGUA

Del trabajo experimental realizado se llegó a determinar que se consiguen mejores resultados cuando se prensa primero la arcilla de blanqueo usada (con esto se extrae 30,99% de aceite) y posteriormente se trata el material con vapor de agua saturado (con lo que se eliminan impurezas y más aceite retenido), a consecuencia de que se obtiene una eficiencia en la decoloración de aceite de palma del 80,36%. Por otra parte, si se realiza una re-limpieza adicional, se limpia aún más la tierra lo que aumenta el porcentaje de blanqueo hasta un valor del 86,59%.

**Tabla 3.15.** Porcentaje de blanqueo determinado para el aceite de palma decolorado con arcillas de blanqueo tratadas con agua caliente y con vapor de agua  
(Dosis = 1% arcilla; T = 110°C; vacío; agitación = 100 rpm)

TIPO DE ARCILLA EMPLEADA	ABSORBANCIA DEL ACEITE A 446 nm	PORCENTAJE DE BLANQUEO (%)
Arcilla prensada y tratada con agua caliente (T = 85°C; t = 5 h)	1,134	70,21%
Arcilla prensada y tratada con vapor agua en un autoclave (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h)	1,051	80,36%
Re-limpieza de la arcilla prensada y tratada con vapor de agua en un autoclave (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h)	1,001	86,59%

Se puede apreciar en la tabla anterior que si se emplea el método de tratamiento con agua caliente la arcilla que se recupera no ofrece una eficiencia muy alta en el blanqueo (70,21%), esto se debe a que por esta técnica no se consiguen eliminar completamente las impurezas del material, lo que afecta directamente a la capacidad de adsorción de la tierra decolorante. A consecuencia de que con la calcinación a 550°C por 1,5 h se consiguió una eficiencia en el blanqueo de aceite de palma del 98,04%, se podría combinar esta técnica con el tratamiento de la

arcilla usada con vapor de agua a presión y así aumentar el porcentaje de decoloración obtenido (80,36%).

### 3.4.3. SUPERFICIE ESPECÍFICA Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CEC) DE LAS ARCILLAS DE BLANQUEO RECUPERADAS

Estas 2 propiedades que tienen las arcillas minerales son muy importantes determinar, ya que por un lado la superficie específica nos indica el espacio existente para la adsorción y por el otro lado la capacidad de intercambio catiónico (CEC) es una propiedad fundamental de las esmectitas que son capaces de cambiar sus iones fijados en la superficie externa de sus cristales, en el espacio interlaminar (donde están los cationes hidratados que también intervienen en el mecanismo de adsorción de impurezas del aceite) y en otros espacios interiores por otros presentes en soluciones (García y Suarez, 2 001). Los resultados obtenidos de la capacidad de intercambio catiónico se presentan a continuación en la tabla 3.16 y 3.17. Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo IV junto con los datos experimentales a partir de los cuales se determinó la CEC.

**Tabla 3.16.** Capacidad de intercambio catiónico (CEC) de las arcillas de blanqueo recuperadas y de la arcilla de blanqueo pura

TIPO DE ARCILLA	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (meq Na/100g)
Arcilla pura (Pure Flo B80 natural)	72,17
Arcilla recuperada de extracción soxhlet	42,03
Arcilla calcinada previa extracción de aceite con solvente (T = 550°C; t = 1,5 h)	58,70
Arcilla prensada y tratada con agua caliente (T = 85°C; t = 4 h)	29,71
Arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h)	38,41

CEC = Capacidad de intercambio catiónico

La CEC es una propiedad muy considerada en la elaboración de arcillas de blanqueo activadas, en donde se lixivia con ácido los iones de aluminio de la capa octaédrica y estos a su vez desplazan los cationes de la intercapa, con lo que se elabora una tierra de blanqueo activada que tiene aluminio como catión de cambio en la región interlamina que mejora la adsorción de impurezas. Este material activado ofrece más capacidad de adsorción debido al incremento de la superficie específica y porosidad y también a consecuencia del aumento de la capacidad de intercambio catiónico, pero como se menciona en bibliografía, este tipo de arcillas son empleadas para otros aceites como el de soya (Taylor, 2 005). A partir de los resultados mostrados en la tabla 3.16, se confirma una disminución de la CEC que podría deberse a que no se consigue limpiar completamente la tierra usada.

**Tabla 3.17.** Cationes de cambio de las arcillas de blanqueo recuperadas y de la arcilla pura

ITEM	Concentración de cationes de cambio de arcillas de blanqueo			
	Ca (mg/g arcilla)	Mg (mg/g arcilla)	Fe (mg/kg arcilla)	Al (mg/kg arcilla)
M <sub>1</sub>	11,58	4,25	3,33	< 8,33
M <sub>2</sub>	6,17	3,33	2,50	< 8,33
M <sub>3</sub>	9,92	3,83	2,50	< 8,33
M <sub>4</sub>	3,42	1,83	6,67	< 8,33
M <sub>5</sub>	9,75	3,83	4,17	< 8,33

Donde:

M<sub>1</sub> = Arcilla pura Pure Flo B80 natural.

M<sub>2</sub> = Arcilla recuperada de extracción soxhlet.

M<sub>3</sub> = Arcilla calcinada (T = 550°C; t = 1,5 h).

M<sub>4</sub> = Arcilla prensada y tratada con agua caliente (T = 85°C; t = 4 h).

M<sub>5</sub> = Arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión en un autoclave  
(Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h).

Sobre la base de los resultados presentados en la tabla 3.17, se puede confirmar que la arcilla de blanqueo Pure Flo B80 natural, es una arcilla de origen natural que contiene principalmente iones de calcio y de magnesio como cationes de

cambio, en comparación a las arcillas ácido activadas que tienen una gran cantidad de cationes de aluminio principalmente en el espacio interlaminar (Taylor, 2 005). Cabe resaltar que las concentraciones de hierro y aluminio están expresadas en mg/kg debido a que en mg/g su valor es muy pequeño. Para el caso de superficie específica, en la siguiente tabla se presentan los valores determinados para las principales arcillas de blanqueo recuperadas.

**Tabla 3.18.** Superficie específica de las arcillas de blanqueo recuperadas y de la arcilla pura

TIPO DE ARCILLA	SUPERFICIE ESPECÍFICA (m <sup>2</sup> /g)
Arcilla pura (Pure Flo B80 natural)	531,85
Arcilla calcinada previa extracción de aceite con solvente (T = 550°C; t = 1,5 h)	467,07
Arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h)	226,67
Re-limpieza de la arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h)	226,20

Como podemos apreciar en la tabla anterior, con la arcilla calcinada a 550°C durante 4 horas se consigue un valor de área superficial del 467,07 m<sup>2</sup>/g, muy cercano al que tiene la tierra decolorante pura (531,85 m<sup>2</sup>/g); en cambio, la tierra recuperada con vapor de agua saturado ofrece una superficie específica de 226,67 m<sup>2</sup>/g (casi el 50% de la arcilla pura), este valor se debe a que la tierra recuperada aún contiene aceite retenido alrededor del 8,11%.

### 3.4.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DE BLANQUEO RECUPERADAS

#### 3.4.4.1. Caracterización física de las arcillas de blanqueo recuperadas

Sobre la base de los resultados obtenidos de la caracterización física presentados a continuación en la tabla 3.19, es posible afirmar que entre más se eliminen las

impurezas y el aceite retenido de la arcilla de blanqueo usada mayor será la eficiencia en la decoloración de aceite de palma, debido a que la superficie y la porosidad de la tierra estarían libres de compuestos adsorbidos.

**Tabla 3.19.** Caracterización física de las arcillas de blanqueo recuperadas

TIPO DE ARCILLA	VALOR OBTENIDO (%)			
	Humedad	Volátiles	Cenizas	Carbón fijo
Arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)	11,93	8,98	78,73	0,36
Arcilla de blanqueo usada	10,22	48,86	40,48	0,44
Arcilla calcinada previa extracción de aceite por solventes (T = 550°C; t = 1,5 h)	3,89	6,49	89,43	0,18
Arcilla prensada y tratada con agua vapor de agua a presión (Ts = 111°C; Ps = 1,5 bares; t = 4 h)	3,01	25,50	70,44	1,06
Re-limpieza de la arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h)	5,85	24,25	69,60	0,29

Con la arcilla calcinada a 550°C durante 1,5 h se consiguió la máxima eficiencia en la decoloración de aceite de palma (98,04%), por causa de que esta tierra recuperada es la que tiene menos material volátil (6,49%) en comparación a la arcilla obtenida del tratamiento con vapor de agua saturado que contiene 25,50%, como se puede observar en la tabla anterior. Se realizó una re-limpieza del material tratado con vapor de agua y se consiguió eliminar más impurezas hasta quedar 24,25% de volátiles, es decir se redujo el 1,25%.

#### 3.4.4.2. Caracterización química de las arcillas de blanqueo recuperadas

Puesto que no se trabajó con ningún tipo de ácido mineral que lixivie los cationes de la tierra de blanqueo y los elimine del material (lo que podría alterar la composición química) estos prácticamente se mantiene constante, como se aprecia en la tabla 3.20:

**Tabla 3.20.** Caracterización química de las arcillas de blanqueo recuperadas

ELEMENTO	VALOR OBTENIDO (%)		
	Arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)	Arcilla de blanqueo calcinada (T = 550°C; t = 1,5 h)	Arcilla de blanqueo prensada y tratada con vapor de agua a presión (Ps = 1,5 bares; T = 111°C; t = 4 h)
Si	35,59	35,15	38,15
Al	10,52	10,23	7,59
Fe	6,53	6,65	5,51
K	1,43	1,47	0,85
Mg	4,39	4,62	3,55
Na	0,12	0,13	0,10
Ca	0,86	1,69	0,90

#### 3.4.4.3. Caracterización mineralógica de las arcillas de blanqueo recuperadas

En la tabla 3.21 se evidencia que cuando se calcina la tierra de blanqueo a 550°C durante 1,5 h el contenido de Montmorillonita disminuye del 37% (para la arcilla pura) al 10% (para la arcilla calcinada), al parecer este mineral es muy susceptible a deteriorarse con la temperatura. Por otro lado, para la arcilla tratada con vapor de agua en un autoclave el porcentaje de este compuesto baja hasta un 25%, dando a entender de igual manera que como se trabajó con vapor saturado a una temperatura de 111°C también se altera la estructura.

La estructura cristalina de la Paligorskita no se ve afectada con los tratamientos realizados, es decir, soporta temperaturas elevadas y debido a que en la tierra de blanqueo calcinada la Montmorillonita se hace amorfa, la paligorskita se concentra desde 26% (para la arcilla pura) hasta 33% (para la arcilla calcinada a 550°C durante 1,5 h).



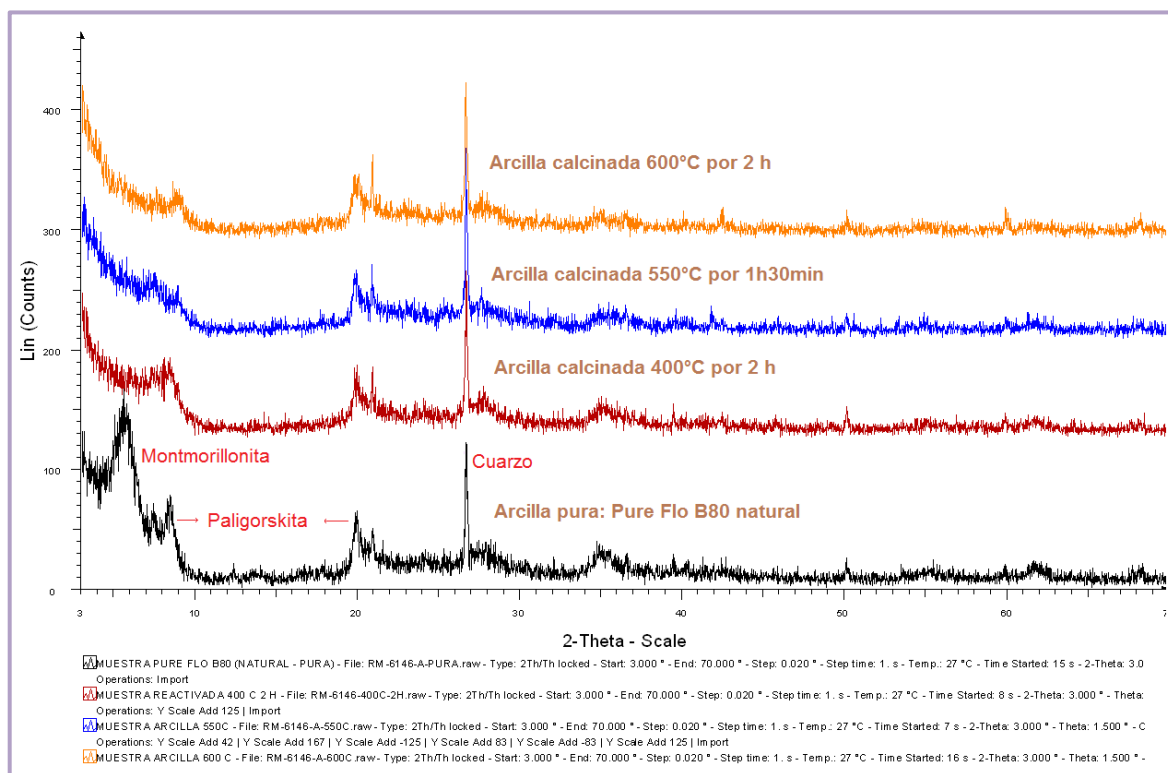
**Tabla 3.21.** Caracterización mineralógica de las arcillas de blanqueo recuperadas

MINERAL DE ARCILLA	CONTENIDO (%)		
	Arcilla de blanqueo pura (Pure Flo B80 natural)	Arcilla de blanqueo calcinada (T = 550°C; t = 1,5 h)	Arcilla de blanqueo prensada y tratada con vapor de agua a presión (Ps = 1,5 bares; T = 111°C; t = 4 h)
Montmorillonita (Grupo esmectita)	37	10	25
Paligorskita	26	33	27
Cuarzo	10	15	11
Dickita	9	10	10
Muscovita	9	12	10
Grupo plagioclasa (Albita, andesita, anortita)	4	7	5
Clorita	3	5	5
Caolinita	3	8	7

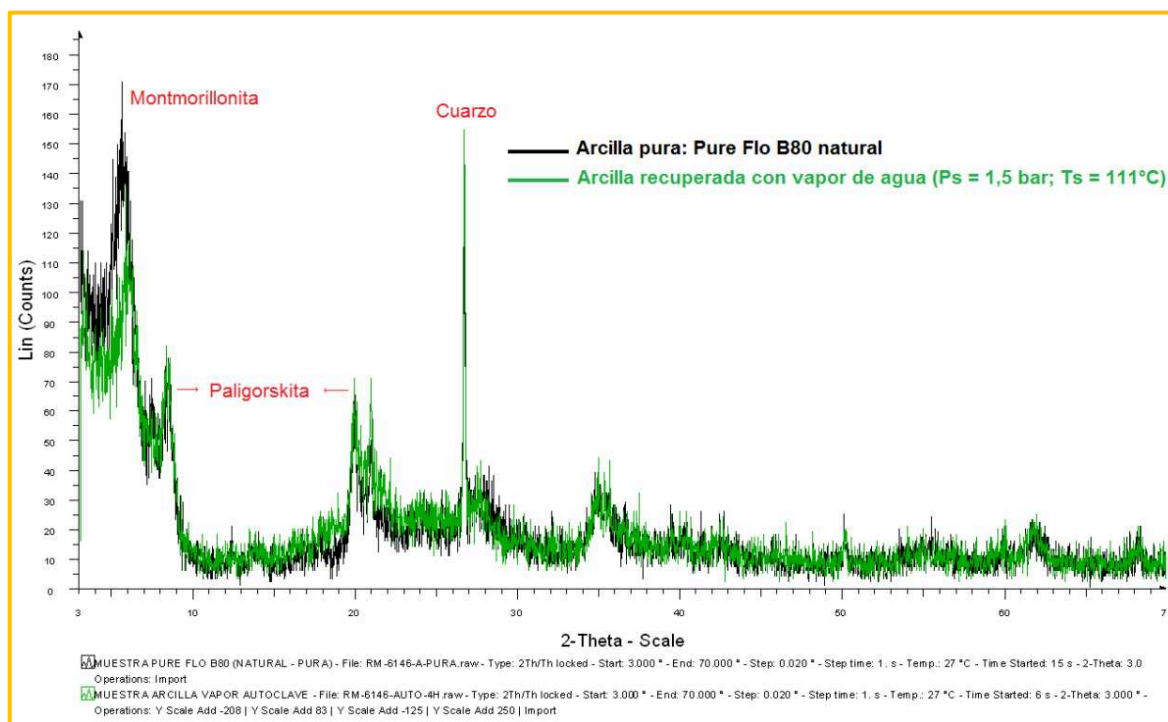
Para apreciar de mejor manera el cambio de la estructura de los distintos minerales de arcilla, a continuación, se presentan una serie de espectros de rayos X obtenidos para algunas arcillas recuperadas por diferentes métodos.

Se puede apreciar en la figura 3.7, que cuando se somete a calcinación la arcilla de blanqueo recuperada de la extracción por solventes, se altera su estructura y aparece material amorfo, a consecuencia de que picos como el de la montmorillonita colapsan. Los minerales cuarzo y paligorskita no se ven muy afectados con el aumento de temperatura, ya que al parecer soportan temperaturas muy elevadas.

Con el método de vapor de agua se consigue recuperar la arcilla de blanqueo sin alterar en gran medida su estructura cristalina. Esto tiene una principal ventaja, que es, la posibilidad de volver a recuperar este desecho por segunda ocasión, ya que como se trabaja a una temperatura de 111°C, al parecer la tierra conserva su estructura como se evidencia en la figura 3.8:

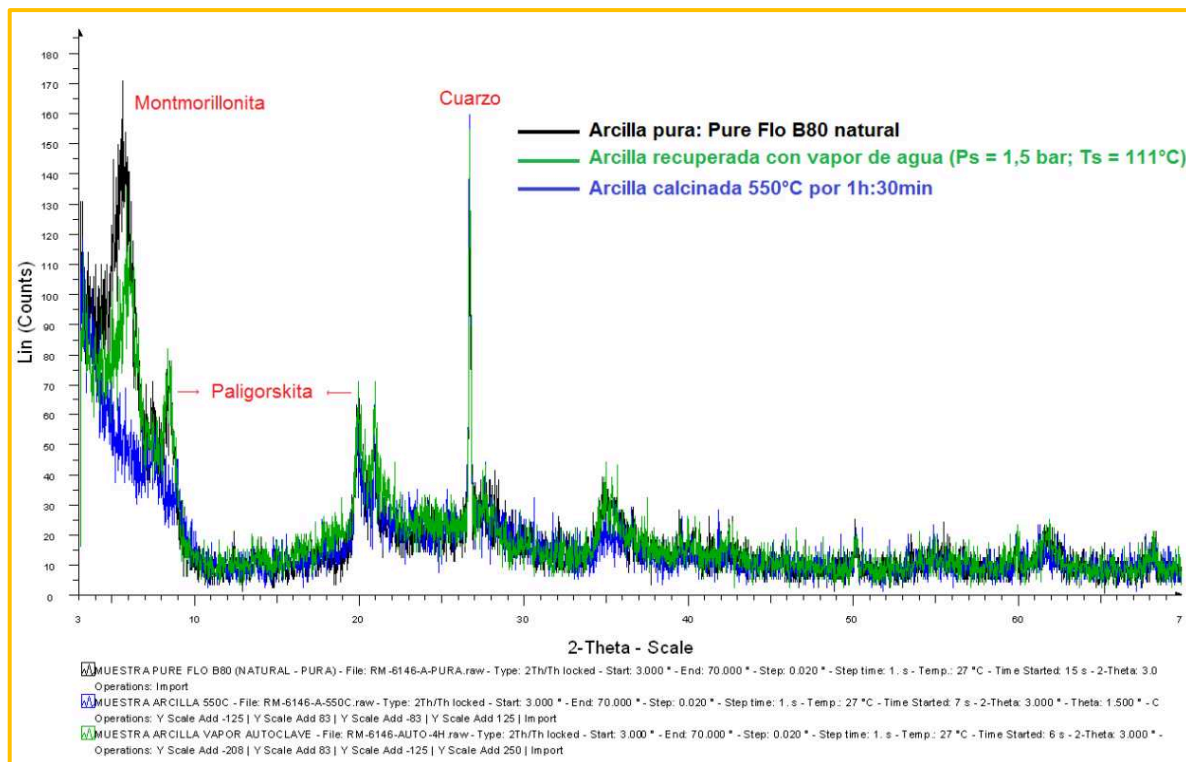


**Figura 3.7.** Espectros de rayos X de varias muestras de arcillas de blanqueo calcinadas a diferentes temperaturas y tiempos



**Figura 3.8.** Espectro de rayos X obtenido de la arcilla prensada y tratada con vapor de agua en un autoclave

En la figura 3.9 se analizan los espectros de rayos X obtenidos de la caracterización mineralógica de dos muestras de arcillas recuperadas y 1 muestra de arcilla pura:



**Figura 3.9.** Comparación de espectros de rayos X de las arcillas recuperadas por 2 métodos que ofrecen un alto porcentaje de blanqueo de aceite

Prácticamente la tierra que se recupera por el método de vapor de agua tiene la misma estructura que la arcilla pura, en cambio, el material calcinado a 550°C durante 1,5 h presenta un colapso de la estructura de montmorillonita y también de paligorskita. El deterioro de la estructura de los minerales de arcilla genera material amorfo a los rayos X.

### **3.5. DEFINICIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO, DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR**

#### **3.5.1. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE RECUPERACIÓN DE ARCILLAS DE BLANQUEO USADAS**

Este estudio tiene como finalidad ofrecer una alternativa de tratamiento adaptable técnica y económicamente para la industria ecuatoriana, donde no sólo se recupera la tierra de blanqueo sino también el aceite retenido. Dos métodos de tratamiento de las arcillas de blanqueo usadas ofrecen buenos resultados con respecto al blanqueo de aceite y a la superficie específica, estos son:

- Extracción de aceite por solvente y calcinación posterior de la arcilla recuperada a alta temperatura.
- Extracción de aceite por prensado hidráulico y tratamiento con vapor de agua a presión en un autoclave.

La extracción por solvente y calcinación posterior de la tierra de blanqueo, es la mejor alternativa, ya que con acetona se consigue limpiar el material y con la calcinación a altas temperaturas se elimina gran cantidad de materia volátil que contiene la arcilla. Emplear esta técnica ofrece una eficiencia en el blanqueo de aceite del 98,04% y 467,07 m<sup>2</sup>/g de área superficial (como se aprecia en la tabla 3.22), pero se requeriría de una compleja planta de tratamiento que estaría compuesta de los siguientes equipos principales: 1 extractor de aceite de la arcilla usada, 1 desolventizador para el material desaceitado en donde se recuperaría el solvente, 1 destilador/evaporador de la micela (mezcla de aceite y solvente) para reutilizar el disolvente, 1 horno para calcinar el material y 1 pulverizador (como se presenta en la figura 1.4). Por otro lado, la inversión inicial sería costosa y la ubicación de la industria debería ser en un lugar aislado y controlado, ya que se trabajaría con un solvente orgánico que es explosivo [Kemper, 2 005; Anderson, 2 005].

Sin embargo, la segunda alternativa que es emplear vapor de agua saturado recupera la arcilla decolorante que tiene un porcentaje de blanqueo del 80,36% y una superficie específica de 226,67 m<sup>2</sup>/g (como se aprecia en la tabla 3.22). Las operaciones unitarias principales para la recuperación de este desecho serían: prensado hidráulico del material para recuperar 30,99% de aceite, extracción de aceite residual e impurezas con vapor de agua en un autoclave, decantación de aceite e impurezas, filtrado de la suspensión arcilla/agua, secado y pulverizado del material recuperado (como se aprecia en la figura 3.11). Este procedimiento es adaptable a la industria aceitera ecuatoriana, ya que requeriría menor inversión y el manejo de la planta no sería tan complejo en comparación con el método de extracción de aceite por solvente y calcinación, por lo tanto, se realizó el diseño conceptual de la planta a partir de la segunda técnica que es: prensar la arcilla usada y aplicar vapor de agua a presión para limpiar el material.

**Tabla 3.22.** Comparación de los principales resultados obtenidos del tratamiento de la arcilla de blanqueo usada por diferentes métodos

RESULTADO OBTENIDO	MÉTODO DE TRATAMIENTO	
	Extracción de aceite por solvente y posterior calcinación (T = 550°C; t = 1,5 h)	Prensado hidráulico y limpieza posterior con vapor de agua saturado (Ps = 1,5 bares; t = 4 h)
Porcentaje de blanqueo de aceite de palma	98,04%	80,36%
Porcentaje de material volátil	6,49%	25,50%
Superficie específica	467,07 m <sup>2</sup> /g	226,67 m <sup>2</sup> /g
Capacidad de intercambio catiónico (CEC)	58,70 meq Na/100g	38,41 meq Na/100g

### 3.5.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ARCILLAS DE BLANQUEO USADAS

Alrededor de 600 toneladas por día de aceite crudo de palma son refinadas por las industrias aceiteras ecuatorianas para elaborar aceite vegetal comestible y demás subproductos con aplicaciones alimenticias e industriales (Ancupa, 2 011).

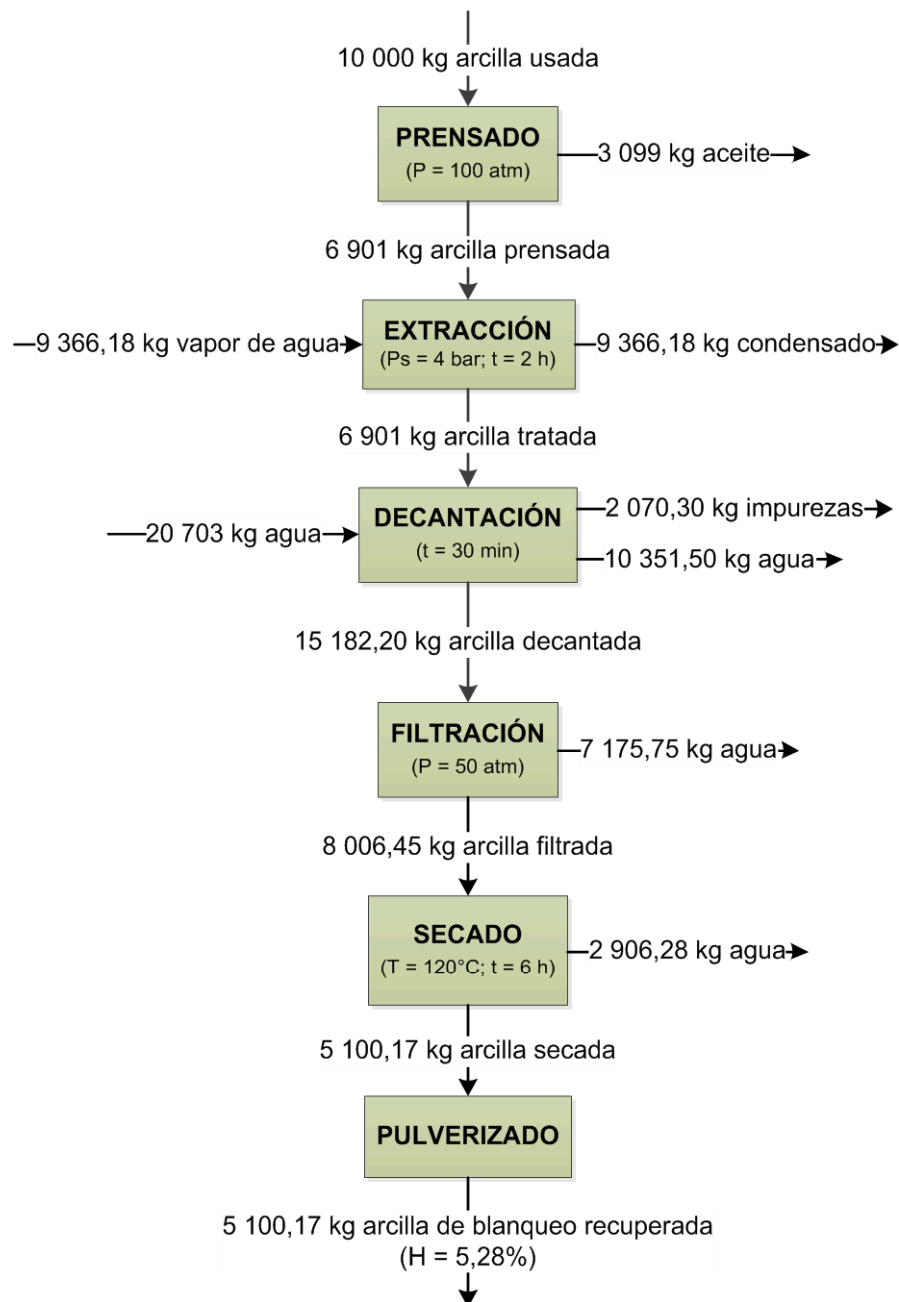
Debido a que se emplea en promedio 1% de arcilla de blanqueo por tonelada de aceite crudo, cerca de 6 toneladas diarias de tierras decolorantes son desechadas en el Ecuador luego de ser empleadas en el proceso de decoloración de aceite.

Estas arcillas adsorben impurezas presentes en el aceite rojo de palma (principalmente fosfolípidos del proceso de desgomado, pigmentos carotenoides, productos de oxidación y traza de metales) y además retienen alrededor de un 50% de aceite que la industria no recupera [Ancupa, 2 011; Taylor, 2 005].

Entre las principales refinerías de aceite de palma tenemos: Danec S.A., La Fabril, Industrias Ales, Epacem, Oliojoya Cia. Ltda., en entre otras. Sólo Danec se encuentra en la región Andina del Ecuador, el resto de industrias se encuentran en la región Costa. Existen 2 tipos de tierras de blanqueo que son: natural y activada con ácido.

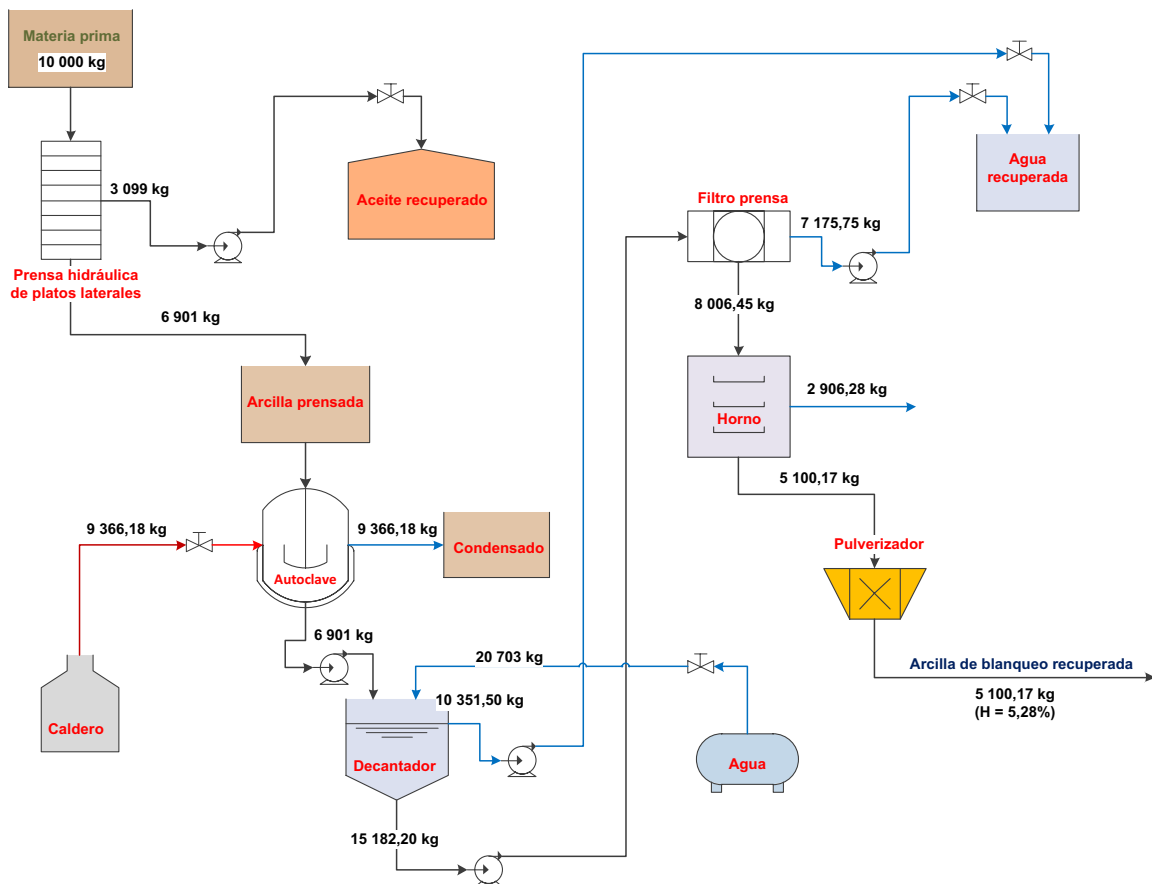
La refinería Oliojoya emplea un material comercial llamado Pure Flo B80 natural elaborado por la compañía Oil Dri Corporation, por otro lado, Industrias Ales utiliza una arcilla que se conoce como tierra Tonsil Optimum 320FF, la cual es una montmorillonita activada con ácido que la elabora la empresa Refil S.A. Estos adsorbentes provienen de los EE.UU., que es de donde se importa el adsorbente para poder usarlo en el proceso de blanqueo de aceite de palma (Ancupa, 2 011).

Cabe resaltar que alrededor de 6 toneladas por día de arcilla decolorante se emplean en el Ecuador (Ancupa, 2 011). Pero debido a las impurezas y al aceite que adsorbe este material su peso aumenta casi en un 50% (la tierra usada tiene 48,86% de material volátil), es por esto, que a continuación se presenta el balance de masa realizado para un flujo diario de 10 toneladas de arcilla usada, que es aproximadamente lo que se desecharía en el país.



**Figura 3.10.** Balance de masa de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Se observa en la figura 3.10 que la planta procesa 10 toneladas diarias de desecho, del cual 4 000 kg corresponden a la tierra pura, pero se recupera 5 100,17 kg (más de lo que se empleó), es decir, hay un exceso del 21,57%, del cual 8,54% es aceite que no se separó durante el tratamiento y el resto (13,03%) son impurezas y humedad (5,28%). En la siguiente figura se presenta el diagrama de los equipos requeridos en la planta de tratamiento:



**Figura 3.11.** Diagrama de flujos y equipos requeridos en la planta

La planta de tratamiento de desechos arcillosos de la industria aceitera, consiste en realizar primeramente un prensado hidráulico del adsorbente, con lo que se recupera 30,99% de aceite que podría ser reutilizado siempre y cuando se trabaje con arcilla usada fresca, seguido de una extracción de aceite remanente e impurezas (principalmente fosfolípidos del proceso de desgomado y compuestos carotenoides) con vapor de agua en un autoclave.

Luego se decanta la parte sólida que corresponde a la arcilla recuperada y la parte líquida superior que contiene las impurezas extraídas (incluye aceite), posteriormente se recupera la arcilla de blanqueo mediante un filtro prensa, se seca y se pulveriza la tierra decolorante recuperada (Taylor, 2 005).



### 3.5.3. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS EN LA PLANTA DE RECUPERACIÓN DE ARCILLAS DE BLANQUEO USADAS

En la tabla 3.23 se presentan las características de los equipos requeridos en la planta y en el Anexo VII se pueden observar los cálculos realizados para el dimensionamiento así como también los catálogos con las especificaciones técnicas de los mismos:

**Tabla 3.23.** Resultados del dimensionamiento de los equipos requeridos en la planta

NOMBRE DEL EQUIPO	CAPACIDAD REQUERIDA	CONDICIONES DE OPERACIÓN
Prensa hidráulica de platos laterales	10 ton/día	Presión = 100 atm
Autoclave	9,36 m <sup>3</sup>	Presión del vapor = 4 bares Tiempo = 4 h
Decantador	27,06 m <sup>3</sup>	Tiempo de residencia = 30 min
Filtro prensa	2 ton/h	Sólidos = 30%
Estufa de secado	9,37 m <sup>3</sup>	Temperatura = 120°C Tiempo = 4 h
Pulverizador	500 kg/h	Tamaño de partícula < 45 µm

El proceso productivo comienza con la recepción de la materia prima, que en este caso es la tierra de blanqueo usada. Mediante una prensa hidráulica de platos laterales se recupera un 30,99% de aceite que aún contiene este desecho, las tortas de arcillas obtenidas del prensado ingresan a un autoclave de 5 m<sup>3</sup> de capacidad que trabaja a una presión máxima de 4 bares, por lo que sólo se requieren 2 horas para extraer con vapor de agua las impurezas de la arcilla prensada.

Posteriormente, se traslada con una bomba de lodos la tierra y el condensado del autoclave hacia un tanque decantador de 30 m<sup>3</sup>, donde se agrega agua para conseguir después de 30 min separar la fase de lodos de la fase de impurezas que también contiene aceite extraído con vapor de agua. Una vez más, con una bomba de lodos se conduce la fase inferior del decantador que corresponde a la

arcilla libre de impurezas hacia un filtro prensa para recuperar el agua del proceso de clarificación. Las tortas descargadas de la filtración se secan de 4 - 6 horas a una temperatura de 120°C en una estufa de secado de 10 m<sup>3</sup>. Finalmente, con un molino pulverizador que tiene una capacidad de 500 – 3 500 kg/h se prepara la arcilla de blanqueo recuperada que tiene un tamaño de partícula de menos de 45 µm. A continuación se presentan las características del producto obtenido:

**Tabla 3.24.** Propiedades típicas de la arcilla de blanqueo recuperada con vapor de agua a presión en un autoclave

<b>PRODUCTO</b>	Pure Flo B80 natural (recuperado)
<b>HUMEDAD</b>	5,28%
<b>DENSIDAD APARENTE</b>	690,5 g/l
<b>pH</b>	6,5
<b>MATERIAL VOLÁTIL</b>	28,51%
<b>CONTENIDO DE ACEITE</b>	8,11%
<b>SUPERFICIE ESPECÍFICA</b>	226,67 m <sup>2</sup> /g
<b>CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CEC)</b>	38,41 meq/100g
<b>PORCENTAJE DE BLANQUEO (PB)</b>	80,36%

Este material recuperado tiene características similares a la tierra pura, a consecuencia de esto realiza la misma función del adsorbente que es: adsorber impurezas del aceite de palma (fosfolípidos, carotenos, etc.).

La eficiencia en el blanqueo que ofrece esta arcilla es del 80,36%, podría aumentar aún más su valor hasta el 86,59%, si se realiza una segunda extracción, sin embargo, se debería evaluar económicamente la realización de esta segunda etapa.

A partir de las dimensiones se realizó el plano de la planta con el fin de determinar la capacidad del terreno requerido. En la siguiente figura se ilustra la distribución de los equipos requeridos en la industria.

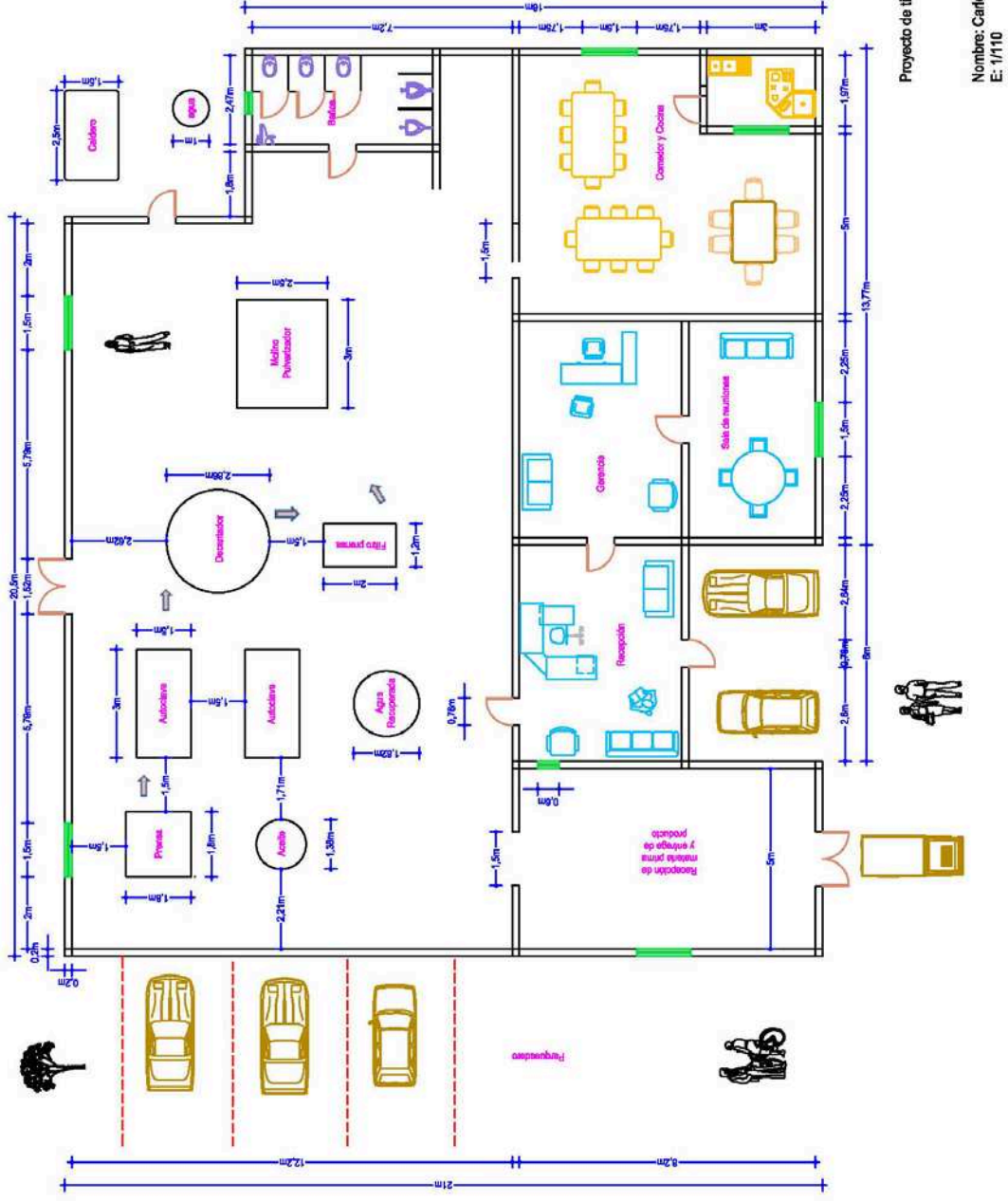


Figura 3.12. Distribución de los equipos requeridos en la planta de tratamiento de arcillas de blanqueo usadas

### 3.5.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR DE LA PLANTA DE RECUPERACIÓN DE ARCILLAS DE BLANQUEO USADAS

La evaluación económica preliminar se efectuó a partir de los aspectos tecnológicos del negocio (balance de masa, de energía y dimensiones de los equipos). La tabla de los parámetros del negocio se encuentra en el Anexo VIII, así como también el flujo de caja del proyecto.

#### 3.5.4.1. Área del terreno requerido y gastos de construcción de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

A partir del plano de la planta, es posible determinar el área necesaria para la implantación de los equipos que conformarán el proceso productivo. En la tabla 3.25, se presenta el costo del terreno y los gastos de construcción:

**Tabla 3.25.** Área del terreno requerido y gastos de construcción necesarios para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Designación	Área (m <sup>2</sup> )	Valor/m <sup>2</sup>	Valor total (USD)	Dividendo de amortización (USD)
Terreno	1 509,35	40,00	60 374,00	
Construcciones				
Galpón fabril	253,44	50,00	12 672,00	1 267,20
Oficinas	162,36	50,00	8 118,00	811,80
<b>Total construcciones</b>			<b>20 790,00</b>	<b>2 079,00</b>
<b>TOTAL TERRENO Y CONSTRUCCIONES</b>			<b>81 164,00</b>	

Se puede apreciar en la tabla anterior que el costo del terreno es de 40 USD/m<sup>2</sup> y que la construcción de la planta tiene un valor de 50 USD/m<sup>2</sup> (estos datos son estimados).

### 3.5.4.2. Costos de materia prima requerida en la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

La materia prima se encuentra disponible todos los días en las diferentes industrias aceiteras ecuatorianas, de donde se la transporta hacia la planta de tratamiento. Se fijó un costo 0,03 USD/kg que incluye gastos de manejo y transporte.

**Tabla 3.26.** Requerimiento y costos de la arcilla de blanqueo usada para la planta de recuperación

<b>Costo de materia prima (USD/kg)</b>		
	<b>0,03</b>	
	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>Costo (USD)</b>
Materia prima por día	10 000,00	300,00
Materia prima por mes	300 000,00	9 000,00
Materia prima por año	3 600 000,00	108 000,00

### 3.5.4.3. Costos de suministros requeridos para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

A partir del balance de masa, se determinaron las cantidades de agua, vapor de agua y energía eléctrica que consume la planta. En la tabla 3.27, se puede apreciar el costo anual total. En el anexo VII se detalla el cálculo realizado para determinar la cantidad de suministros requeridos.

**Tabla 3.27.** Requerimiento de suministros para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

<b>Suministro</b>	<b>Costo unitario (USD)</b>	<b>Cantidad mensual</b>	<b>Costo anual (USD)</b>
Agua y vapor de agua (m <sup>3</sup> )	0,50	1 000	6 000,00
Energía eléctrica (Kwh)	0,25	1 427	4 280,40
<b>TOTAL</b>			<b>10 280,40</b>

#### 3.5.4.4. Costos de los equipos requeridos para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

A partir del dimensionamiento de los equipos requeridos en la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas se consultaron proformas con las cuales se determinaron los costos unitarios y el costo total, así como también el número de unidades necesarias. A continuación en la tabla 3.28 se presentan estos valores:

**Tabla 3.28.** Requerimiento de equipos para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Designación del equipo	Número de unidades	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)	Dividendo de amortización (USD)
Prensa hidráulica	1	28 000,00	28 000,00	5 600,00
Autoclave	2	27 000,00	54 000,00	10 800,00
Filtro prensa	1	18 000,00	18 000,00	3 600,00
Pulverizador	1	20 958,50	20 958,50	4 191,70
Tanque decantador	1	1 000,00	1 000,00	200,00
Estufa de secado	1	24 975,00	24 975,00	4 995,00
Tanques para almacenamiento	2	800,00	1 600,00	320,00
Bomba de lodos	1	400,00	400,00	80,00
<b>TOTAL</b>			<b>148 933,50</b>	<b>29 386,70</b>

#### 3.5.4.5. Mano de obra directa e indirecta requerida para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

La jornada diaria de trabajo es de 8 horas diarias, debido a que se ocupan 2 autoclaves que operan 4 horas cada uno. En la tabla 3.29 se presenta el personal requerido para el proceso de producción, así como también los sueldos a pagar.

Como puede apreciarse en la siguiente tabla, se requiere 14 empleados que se encargan de la parte productiva de la planta.

**Tabla 3.29.** Nómina de fuerza laboral requerida para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Unidad operativa	Número de operarios	Salario mensual (USD)	Aporte al IESS (USD)	Total anual* (USD)
Prensa	2	260,00	28,99	4 461,60
Autoclave	2	260,00	28,99	4 461,60
Decantador	2	260,00	28,99	4 461,60
Filtro prensa	2	260,00	28,99	4 461,60
Secado	2	260,00	28,99	4 461,60
Pulverizador	2	260,00	28,99	4 461,60
Empacado	2	260,00	28,99	4 461,60
<b>TOTAL</b>				<b>31 231,17</b>

\* Incluye bonificaciones de ley como décimos sueldos y vacaciones

Con respecto a la mano de obra indirecta, a continuación se presenta el personal necesario para la administración de la empresa:

**Tabla 3.30.** Nómina de fuerza administrativa requerida para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Puesto de trabajo	Número de empleados	Sueldo mensual (USD)	Aporte al IESS (USD)	Total anual* (USD)
Chofer	1	260,00	28,99	4 435,86
Contadora	1	260,00	28,99	4 435,86
Gerente General	1	1 200,00	133,80	20 473,20
Secretaria	1	260,00	28,99	4 435,86
Guardia	1	260,00	28,99	4 435,86
<b>TOTAL</b>				<b>38 216,64</b>

\* Incluye bonificaciones de ley como décimos sueldos y vacaciones

#### 3.5.4.6. Costos de producción y capital de operación mensual de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Una vez determinados los costos de terreno y construcción, materia prima, suministros, equipos requeridos y mano de obra, se encontraron los costos mensuales y anuales de producción y además se consideraron amortizaciones,

depreciaciones y gastos de mantenimiento. Se requiere de un capital de operación de USD 20 250,44 para cubrir la producción mensual de arcillas de blanqueo recuperadas. Por otro lado, podemos apreciar en la siguiente tabla que USD 243 005,30 se necesitan para un año de proceso:

**Tabla 3.31.** Costos anuales de producción y capital de operación mensual de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

<b>Designación del rubro</b>	<b>Valor (USD)</b>	<b>Capital de operación mensual (USD)</b>
Materiales directos	108 000,00	9 000,00
Mano de obra directa	31 231,17	2 602,60
Carga fabril		
Mano de obra indirecta	38 216,64	3 184,72
Materiales indirectos	7 344,24	612,02
Depreciaciones		
Construcciones	2 079,00	173,25
Maquinaria y equipo	29 386,70	2 448,89
Muebles y equipos de oficina	1 222,00	101,83
Otros activos	0,00	0,00
Mantenimiento		
Maquinaria y equipo	7 446,68	620,56
Repuestos para maquinaria y Equipo	2 978,67	248,22
Edificios	415,80	34,65
Reparación de maquinaria	2 978,67	248,22
Suministros	10 280,40	856,70
Seguros		
Transporte de materiales directos	540,00	45,00
Transporte de materiales indirectos	36,72	3,06
Edificios	103,95	8,66
Maquinaria y equipo	744,67	62,06
<b>SUB-TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>243 005,30</b>	<b>20 250,44</b>
Imprevistos	0,00	0,00
<b>TOTAL COSTOS ANUALES DE PRODUCCIÓN</b>	<b>243 005,30</b>	<b>20 250,44</b>



Podemos observar en la tabla anterior, que el mayor gasto se produce en la adquisición de la materia prima que es la arcilla de blanqueo usada (USD 108 000,00), por otro lado, la mano de obra directa e indirecta generan costos anuales de USD 31 231,17 y USD 38 216,64 respectivamente.

#### 3.5.4.7. Inversión total del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo empleadas en la decoloración de aceites vegetales comestibles

Por el lado de las inversiones, en la siguiente tabla se indica la cantidad requerida para implementar la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas:

**Tabla 3.32.** Inversión total del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Denominación	Valor (USD)	Contribución porcentual (%)
Inversión fija		
Terreno y construcciones	81 164,00	31,65
Maquinaria y equipo	148 933,50	58,07
Equipo y muebles de oficina	6 110,00	2,38
Otros activos	0,00	0,00
Capital de operación	20 250,44	7,90
<b>TOTAL INVERSIONES</b>	<b>256 457,94</b>	<b>100,00</b>

Se necesitan de USD 256 457,94 para la puesta en marcha del negocio, con lo que se compraría el terreno, la maquinaria y se construiría el galpón fabril y las oficinas de la planta de tratamiento de tierras de blanqueo usadas.

También se presenta en la tabla 3.32 la contribución porcentual de cada denominación, donde se puede apreciar que alrededor del 50% de la inversión corresponde a los equipos requeridos (58,07%) y el 31,65% se destina a la adquisición del terreno y la construcción de la industria.

### 3.5.4.8. Estado de pérdidas y ganancias de la evaluación económica preliminar del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

El precio de venta de la arcilla recuperada es de 0,25 USD/kg, que corresponde al 50% menos del costo de la arcilla pura Pure Flo B80 natural que es de 0,5 USD/kg (Ancupa, 2 011). A partir de los ingresos por ventas anuales y costos anuales de producción, se determinaron las utilidades netas por operaciones, lo que incluye el impuesto a la renta.

**Tabla 3.33.** Estado de pérdidas y ganancias del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

<b>Designación</b>	<b>Valor (USD)</b>
Ventas	459 015,30
(-) Costos de producción	243 005,30
Utilidad bruta por ventas	216 010,00
(-) Gastos por ventas	0,00
Utilidad neta por ventas	216 010,00
(-) Gastos de administración	38 216,64
Utilidad bruta en operaciones	177 793,36
(-) Impuesto a la renta	80 007,01
<b>Utilidad Neta en Operaciones</b>	<b>97 786,35</b>

Se observa en la tabla 3.33 que para un año de producción se obtiene una utilidad anual de USD 97 786,35. Además, se aprecia que las ventas anuales por concepto de arcilla de blanqueo recuperada son de USD 459 015,30.

### 3.5.4.9. Índices financieros de la evaluación económica preliminar de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

A partir del flujo de caja que se encuentra en el Anexo VIII, se determinaron la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y la relación beneficio/costo (B/C) del proyecto de inversión.

Con estos índices financieros es posible analizar la factibilidad económica del negocio. A continuación, en la tabla 3.34 se ilustran los valores obtenidos:

**Tabla 3.34.** Índices financieros de evaluación económica preliminar de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

ÍNDICE FINANCIERO	SÍMBOLO	VALOR
Tasa interna de retorno	TIR	31,50%
Valor actual neto	VAN	USD 274 239,79
Relación beneficio - costo	B/C	1,41

En la tabla 3.33, se aprecia que la tasa interna de retorno del proyecto es del 31,50%. Para que un negocio sea factible, la TIR debe ser mayor a la tasa de descuento o tasa nominal de inversión más el riesgo país, es decir mayor al 16% aproximadamente. Entre mayor sea la tasa interna de retorno mejor será el proyecto, ya que el retorno porcentual a los inversionistas con respecto a la inversión sería más alto, sin embargo, una tasa superior al 35% generaría desconfianza. Por otro lado, si la rentabilidad es demasiado alta podría considerarse que el nivel de riesgo asumido es significativo.

Se evidencia en la tabla anterior que el valor actual neto obtenido es de USD 274 239,79 (en los criterios de selección de un proyecto el VAN debe ser positivo) y la inversión total inicial del negocio es de USD 256 457,94.

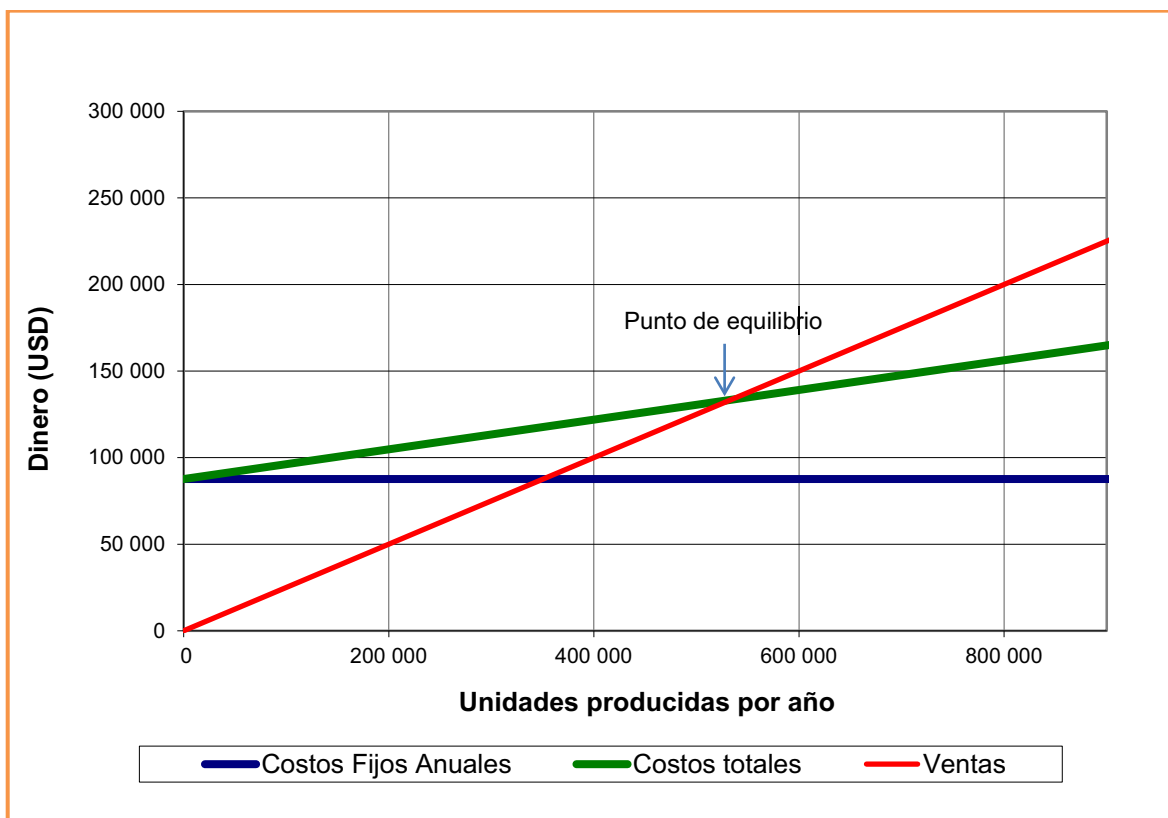
Finalmente, la relación beneficio – costo ( $B/C = 1,41$ ) nos indica que por cada dólar invertido se obtiene USD 0,41 de ganancia, es decir se supera en un 41% los gastos de inversión y operación.

#### **3.5.4.10. Punto de equilibrio del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas**

Para que la empresa comience a generar utilidades se requiere producir 540 000 kg de arcilla de blanqueo recuperada al año (1 388,88 kg/día), cantidad inferior a

lo producido (5 100,17 kg/día), por lo tanto en aproximadamente 4 meses de labores la industria empezaría a obtener réditos por operaciones, es decir, se recuperaría la inversión.

En la figura 3.13 se presenta el punto de equilibrio del proyecto de recuperación de tierras de blanqueo usadas:



**Figura 3.13.** Punto de equilibrio del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que la arcilla de blanqueo Pure Flo B80 natural tiene silicio (35,6%), aluminio (10,5%), hierro (6,5%), magnesio (4,4%), potasio (1,4%), calcio (0,9%) y sodio (0,1%) y que las fases mineralógicas principales son montmorillonita 37%, paligorskita 26% y cuarzo 10%, además, este adsorbente contiene cantidades menores (aproximadamente 10%) de restos fósiles de estructura amorfa.
- La arcilla de blanqueo Pure Flo B80 natural usada en la decoloración industrial de aceite de palma adsorbe 59% de su peso en impurezas, de las cuales 48% son aceite retenido. Esta arcilla puede ser recuperada ya sea por extracción con solvente (acetona) o por medio de lavados con vapor de agua.
- Se pudo recuperar el 31% del aceite contenido en la arcilla usada con una prensa hidráulica de placas calientes a 75°C y a una presión de 100 atm. Este aceite, debido a sus características (amarillo claro que refleja un bajo contenido de carotenos, fosfolípidos, aldehídos, entre otros.) puede continuar el proceso de refinación industrial.
- Se pudo recuperar el 48% del aceite contenido en la arcilla usada por extracción soxhlet con acetona, este aceite probablemente no puede continuar el proceso de refinación industrial, debido a sus características físico-químicas (coloración negra por oxidación de grasas y residuos de acetona).
- La arcilla recuperada por extracción soxhlet con acetona que fue posteriormente calcinada a 550°C durante 1,5 h en una mufla eléctrica, permitió obtener un porcentaje de blanqueo de aceite de palma del 98% al

ser reutilizada. Temperaturas de calcinación superiores 550°C generaron arcillas con excesiva alteración de su estructura cristalina y por tanto con menor eficiencia de decoloración de aceite.

- La arcilla prensada y lavada con vapor de agua saturado a 1,5 bares de presión durante 4 horas reutilizada para el blanqueo de aceite, ofreció una eficiencia de decoloración del 80%, esto debido a que la arcilla recuperada por este método contiene 8% de aceite remanente, sin embargo, al realizar una re-limpieza se aumentó el porcentaje de blanqueo hasta un 87% y se redujo el contenido de aceite a un 6%.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que la técnica de recuperación de arcillas usadas en la decoloración de aceite de palma con posibilidades de aplicación industrial es el prensado hidráulico con placas calientes a 75°C, presión de 100 atm y posterior lavado con vapor de agua saturado a 1,5 bares de presión durante 4 horas, por tanto, el diseño conceptual de la planta de recuperación se realizó bajo estas consideraciones.
- Para una planta de recuperación de arcillas de blanqueo de 10 toneladas diarias se determinó que se requieren los procesos de prensado hidráulico, lavado, decantado, prensado, secado y pulverizado, con equipos de capacidad: prensa hidráulica de platos laterales 10 ton/día, autoclave 10 m<sup>3</sup>, decantador 27 m<sup>3</sup>, filtro prensa 2 ton/h, estufa de secado 10 m<sup>3</sup> y molino pulverizador de 500 kg/h.
- Para la implementación de la planta de recuperación de arcillas usadas, se calculó que se necesita de una inversión inicial del proyecto de USD 256.457,94. Se obtuvo una utilidad anual de USD 97 786,35 al producir diariamente 5 100,17 kg de tierra decolorante recuperada y el producto se comercializa a 0,25 USD/kg. Los índices financieros obtenidos: VAN = USD 274 239,79, TIR = 31,50% y B/C = 1,41 permitieron analizar la factibilidad del negocio y concluir que se podría realizarlo.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Desarrollar pruebas de tratamiento de la arcilla de blanqueo usada con vapor de agua saturado en autoclave industrial para determinar si se logra limpiar el material completamente.
- Efectuar análisis con ultra sonido aplicado a la arcilla usada con el fin de romper el mecanismo de adsorción de impurezas por parte de la tierra y facilitar su separación.
- Profundizar el estudio de los equipos de filtrado disponibles (tasas de filtración) empleados para filtrar la suspensión aceite/arcilla luego del proceso de blanqueo, con el objetivo de disminuir el porcentaje de aceite retenido en la tierra decolorante usada.
- Evaluar la reutilización o disposición final del aceite separado de la arcilla de blanqueo usada por extracción con solvente y también del aceite recuperado de la limpieza de la tierra usada con vapor de agua saturado.
- Desarrollar una investigación de las posibles aplicaciones (que no sea la reutilización) que podrían tener las tierras de blanqueo recuperadas por los diferentes métodos ensayados.
- Evaluar la contaminación ambiental que generan las tierras de blanqueo usadas desechas por las refinerías de aceite del país.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ancupa (Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana), 2 011, "Producción mundial de aceites y grasas", <http://www.ancupa.com/index.shtml?s=M&n=68&k=54&m=Archivos&apc=l---xx-xx-xx-xx1->, (Julio, 2 011).
2. Anderson, D., 2 005, "A Primer on Oils Processing Technology", en Shahidi, F., "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", sexta edición, Wiley-Interscience, New Jersey, USA, pp. 5, 6.
3. Applewhite, T., 1 986, "Nutritional and Consumer Concerns" en American Oil Chemists' Society y Baldwin, A., "World Conference on Emerging Technologies in the Fats and Oils Industry", AOCS Press, Illinois, USA, p. 5.
4. Bailey, A., 1 961, "Aceites y grasas industriales", segunda edición, editorial Reverté, Barcelona-Buenos Aires-México, pp. 4-8, 128, 422, 440-447.
5. Basiron, Y., 2 005, "Palm Oil", en Shahidi, F., "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", sexta edición, Wiley-Interscience, New Jersey, USA, pp. 340, 342-344, 357, 358, 372-382.
6. Belitz, H., *et al.*, 2 009, "Food Chemistry", 4<sup>th</sup> revised and extended Edition, Springer, Berlin, Germany, p. 158.
7. Bergaya, F., *et al.*, 2 006, "Cation and Anion Exchange", en Bergaya, F., *et al.*, "Handbook of Clay Science", primera edición, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, p. 989.
8. Bernardini, M., 1 993, "Deodorization", en Applewhite, T., "Proceedings of the World Conference on Oilseed Technology and Utilization", AOCS Press, Illinois, USA, pp. 186-190.
9. Besoain, E., 1 985, "Mineralogía de arcillas de suelos", IICA, San José, Costa Rica, p. 17.
10. Bradanovic, T., 2 007, "Arcillas y Bentonitas", <http://www.bradanovic.cl/fortuna/bentonita.pdf>, (junio, 2 011).
11. Brigatti, M., *et al.*, 2 006, "Structures and Mineralogy of Clay Mineral", en Bergaya, F., *et al.*, "Handbook of Clay Science", primera edición, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, pp. 19-21.



12. Chakrabarty, M., 2 003, "Chemistry and Technology of Oils and Fats", Allied Publishers PVT. LTD., Nueva Delhi, India, pp. 125, 157, 158.
13. Dijkstra, A., 1 993, "Degumming, Refining, Washing and Drying Fats and Oils", en Applewhite, T., "Proceedings of the World Conference on Oilseed Technology and Utilization", AOCS Press, Illinois, USA, pp. 138-151.
14. FCEN (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales), 2 011, "Minerales de arcilla: características, propiedades y clasificación", <http://www.gl.fcen.uba.ar/materias/electivas/edafologia/arcillas.pdf>, (Junio, 2 011).
15. FKC (Fukoku Kogyo Company), 2 011, "Screw Press Introduction", <http://www.fkcscrowpress.com/spintro.html>, (Junio, 2 011).
16. García, E. y Suárez, M., 2 001, "Las arcillas: Propiedades y usos", <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/arcillas.htm>, (junio, 2 011).
17. Gunstone, F., 2 008, "Oils and Fats in the Food Industry", primera edición, Wiley-Blackwell, United Kingdom, USA, pp. 11, 20.
18. Harvey, C. y Lagaly, G., 2 006, "Conventional Applications", en Bergaya, F., *et al.*, "Handbook of Clay Science", primera edición, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, pp. 501, 507.
19. Heller, L., 2 006, "Thermally Modified Clay Minerals", en Bergaya, F., *et al.*, "Handbook of Clay Science", primera edición, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, pp. 289-293, 302,303.
20. Hertrampf, J. y Piedad, F., 2 000, "Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds", Kluwer Academy Publishers, Netherlands, p. 65.
21. Higuera, P. y Oyarzun, R., 2 006, "Mineralogía y geoquímica ambiental: Introducción al curso", [http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema00\\_Intro.htm](http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema00_Intro.htm), (Junio, 2 011).
22. Ibrahim, A., 1 999, "Current and Prospective Export Market Developments for Palm Oil" en Leonard, E., *et al.*, "Proceeding of the World Conference on Palm and Coconut Oils for the 21<sup>st</sup> Century: Sources, Processing, Applications and Competition", American Oil Chemists' Society, Illinois, USA, p. 30.

23. Kemper, T., 2 005, "Oil Extraction", en Shahidi, F., "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", sexta edición, Wiley-Interscience, New Jersey, USA, pp. 58, 59, 71.
24. Klein, J., 1 986, "Methods for Recovering Oil from Spent Bleaching Earth" en American Oil Chemists' Society y Baldwin, A., "World Conference on Emerging Technologies in the Fats and Oils Industry", AOCS Press, Illinois, USA, pp. 169-171.
25. Komadel, P., y Madejová, J., 2 006, "Acid Activation of Clay Minerals", en Bergaya, F., *et al.*, "Handbook of Clay Science", primera edición, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, p. 263.
26. Lagaly, G. y Bergaya, F., 2 006, "General Introduction: Clay, Clays Minerals, and Clay Science", en Bergaya, F., *et al.*, "Handbook of Clay Science", primera edición, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, pp. 1-18.
27. Loft, S., 1 990, "Deodorization – Theory and Practice", en Erickson, D., "Edible Fats and Oils Processing: Basic Principles and Modern Practices", AOCS Press, Illinois, USA, pp. 117-123.
28. Los Seibos, 2 011, "Como elegir entre solvente y prensado", <http://www.los-seibos.com/paginas/extraccion.html>, (Julio, 2 011).
29. Lusas, E., 2 003, "Animal and Vegetable Fats, Oils and Waxes" en Riegel, E. y Kent, J., "Riegel's Handbook of Industrial Chemistry", décima edición, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, USA, p. 290.
30. Mag, T., 1 990, "Bleaching – Theory and Practice", en Erickson, D., "Edible Fats and Oils Processing: Basic Principles and Modern Practices", AOCS Press, Illinois, USA, pp. 107-116.
31. Martinez, A., 2 003, "Carotenoides", [http://farmacia.udea.edu.co/~ff/carotenoides2\\_001.pdf](http://farmacia.udea.edu.co/~ff/carotenoides2_001.pdf), (Junio, 2 011).
32. Michot, L. y Villiéras, F., 2 006, "Surface Area and Porosity", en Bergaya, F., *et al.*, "Handbook of Clay Science", primera edición, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, p. 965.
33. MYCO-AD (Special Nutrients, INC.), 2 011, "Características de las arcillas", [http://www.mycoad.com/spa\\_5\\_14.htm](http://www.mycoad.com/spa_5_14.htm), (Junio, 2 011).

34. NRCS (Natural Resources Conservation Service), 2 011, "Soil Survey Laboratory Methods Manual", [ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Lab\\_Methods\\_Manual/SSIR42\\_2004\\_view.pdf](ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Lab_Methods_Manual/SSIR42_2004_view.pdf), (Junio, 2 011).
35. O'Brien, R., 2 009, "Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications", tercera edición, CRC Press, New York, USA, pp. 22, 44-78, 80, 85, 86, 103, 104.
36. Oil Dri Corporation of America, 2 009, "Pure-Flo Technical Data", <http://www.ataendustriyel.com.tr/site-resimleri/editor/images/Pure-FloB80-Tr.pdf>, (Diciembre, 2 010).
37. Oil Dri Corporation of America, 2 011, "Pure-Flo: Bleaching earths", [http://www.pure-flo.com/downloads/pureflo\\_brochure.pdf](http://www.pure-flo.com/downloads/pureflo_brochure.pdf), (Junio, 2 011).
38. Ortiz, R. y Fernández, O., 1 994, "El cultivo de la Palma Aceitera", primera edición, Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, pp. 161, 162, 164-166, 168.
39. Rosalén, M., 2 004, "Mecanismo y velocidad de disolución de montmorillonita en soluciones de electrolitos inertes. Influencia del pH y la temperatura", Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Doctor en Ciencias de la Tierra, Universidad de Granada, Granada, España, pp. 44, 45.
40. Saleh, Y. y Zahrani, A., 1 999, "Techo-economical Evaluation of Oil Recovery and Regeneration of Spent Bleaching Clay", Journal of King AbdulAziz University, 11 (2), 115.
41. Salvador, B., 2 006, "Química de los alimentos", cuarta edición, Pearson Educación, Ciudad de México, México, pp. 245-250.
42. Segers, J., y Van de Sande, R., 1 990, "Degumming – Theory and Practice", en Erickson, D., "Edible Fats and Oils Processing: Basic Principles and Modern Practices", AOCS Press, Illinois, USA, pp. 88-93.
43. Sopiée, N., 1 990, "World Economic Scenario into the 21<sup>st</sup> Century" en Applewhite, T., "World Conference on Oleo chemicals Into the 21<sup>st</sup> Century: Proceedings", American Oil Chemists' Society, Illinois, USA, p. 3.

44. Taylor, D., 1 993, "Adsorptive Purification", en Applewhite, T., "Proceedings of the World Conference on Oilseed Technology and Utilization", AOCS Press, Illinois, USA, pp. 152-161.
45. Taylor, D., 2 005, "Bleaching", en Shahidi, F., "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", sexta edición, Wiley-Interscience, New Jersey, USA, pp. 287-293, 302-308, 311, 312, 315, 316, 320-323.
46. Tazaki, K., 2 006 "Clays, Microorganism and Biomineralization", en Bergaya, F., *et al.*, "Handbook of Clay Science", primera edición, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, pp. 47, 48.
47. The French Oil Mill Machinery Company, 2 011, "Hydraulic Presses", <http://www.frenchoil.com/sideplatepresses.shtml>, (Julio, 2 011).
48. Theng, B., *et al.*, 2 006, "Modified Clays and Clays Minerals", en Bergaya, F., *et al.*, "Handbook of Clay Science", primera edición, Elsevier, Amsterdam, Países Bajos, p. 261.
49. Tsai, W., *et al.*, 2 002, "Regeneration of spent bleaching earth by pyrolysis in a rotary furnace", Elsevier, 63 (1), 157.
50. UNLPam (Universidad Nacional de La Pampa), 2 011, "Capacidad de intercambio catiónico", <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/edafologia/practicos/cap%20de%20int%20cat.htm>, (Junio, 2 011).
51. Upstone, S., 2 010, "Measurement of Quality of Crude Palm Oils used in Margarine Production by UV/Visible Spectroscopy", [http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-74231APP\\_PalmOilsbyUVVis.pdf](http://www.perkinelmer.com/CMSResources/Images/44-74231APP_PalmOilsbyUVVis.pdf), (Junio, 2 011).
52. Vega, A., 2 004, "Guía para la elaboración de Aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces", ISBN, Bogotá, Colombia, p. 20.
53. Young, F., 1 990, "Physical Refining", en Erickson, D., "Edible Fats and Oils Processing: Basic Principles and Modern Practices", AOCS Press, Illinois, USA, pp. 124-135.
54. Zahrani, A. y Daous, M., 2 000, "Recycling of Spent Bleaching Clay and Oil Recovery", IChemE (Institution of Chemical Engineers), 78 (B), 224.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

### CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA ARCILLA DE BLANQUEO USADA

**Determinación de humedad, materia volátil, cenizas y carbón fijo en la arcilla de blanqueo usada**

**MATERIAL:** Arcilla de blanqueo usada

Para la determinación del porcentaje de humedad, se empleó la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{W_1 - (W_3 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad [A. 1]$$

Donde:

H = Humedad de la muestra

$W_1$  = Peso inicial de la muestra

$W_2$  = Peso del crisol vacío y tarado

$W_3$  = Peso del crisol más muestra a 110°C después de 2 horas

Se realizaron 2 ensayos en paralelo, el resultado promedio obtenido y los datos experimentales se presentan a continuación en la tabla A.1:

**Tabla A.1.** Datos experimentales y determinación de humedad contenida en la muestra de arcilla de blanqueo usada

ENSAYO 1	UNIDAD (g)	ENSAYO 2	UNIDAD (g)
$W_1$	1,6291	$W_1$	1,1131
$W_2$	32,8575	$W_2$	36,2871
$W_3$	34,3097	$W_3$	37,2935
<b>Humedad = 10,22%</b>			

Para la determinación de material volátil, cenizas y carbón fijo, se emplearon las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$\%M_v = \frac{W_1 - (W_3 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad [\text{A. 2}]$$

Donde:

$M_v$  = Porcentaje de materia volátil o porcentaje de volátiles de la muestra.

$W_1$  = Peso inicial de la muestra.

$W_2$  = Peso del crisol vacío y tarado.

$W_3$  = Peso del crisol más muestra a 950°C después de 7 min.

$$\%C_z = \frac{W_4 - W_2}{W_1} \times 100 \quad [\text{A. 3}]$$

Donde:

$C_z$  = Porcentaje de cenizas de muestra.

$W_4$  = Peso del crisol más muestra a 950°C después de 2 horas.

$W_2$  = Peso del crisol vacío y tarado.

$W_1$  = Peso inicial de la muestra.

$$\%C_f = 100\% - \%M_v - \%C_z \quad [\text{A. 4}]$$

Donde:

$C_f$  = Porcentaje de carbón fijo de la muestra.

Se realizaron 2 ensayos en paralelo. En la tabla A.2, a parte de los datos experimentales obtenidos, también se presentan los resultados promedios de los diferentes ensayos realizados:

**Tabla A.2.** Datos experimentales y determinación de volátiles, ceniza y carbón fijo en la muestra de arcilla de blanqueo usada

ENSAYO 1	UNIDAD (g)	ENSAYO 2	UNIDAD (g)
W <sub>1</sub>	1,1713	W <sub>1</sub>	1,0877
W <sub>2</sub>	36,2878	W <sub>2</sub>	34,0762
W <sub>3</sub>	36,7667	W <sub>3</sub>	34,5217
W <sub>4</sub>	36,7608	W <sub>4</sub>	34,5175
<b>Materia volátil = 59,08%</b> <b>Cenizas = 40,48%</b> <b>Carbón fijo = 0,44%</b>			

Donde:

W<sub>1</sub> = Peso inicial de la muestra.

W<sub>2</sub> = Peso del crisol vacío y tarado.

W<sub>3</sub> = Peso del crisol más muestra a 950°C después de 7 min.

W<sub>4</sub> = Peso del crisol más muestra a 950°C después de 2 horas.

## ANEXO II

### ENSAYOS DE SEPARACIÓN DE ACEITE PRESENTE EN LA ARCILLA DE BLANQUEO USADA

#### Extracción de aceite de la arcilla de blanqueo usada con acetona

**MATERIAL:** Arcilla de blanqueo usada

Como ya se mencionó en la parte experimental (sección 2.2), se empleó un sistema de extracción soxhlet con acetona como disolvente para separar el aceite retenido por la arcilla de blanqueo que luego de su empleo en la decoloración de aceite de palma se desecha. Los datos experimentales obtenidos y los resultados determinados se presentan en la siguiente tabla:



**Tabla A.3.** Datos experimentales de la extracción soxhlet con acetona

<b>Ensayo</b>	<b>Muestra (g)</b>	<b>Aceite extraído (g)</b>	<b>Arcilla recuperada (g)</b>	<b>Aceite extraído (%)</b>	<b>Arcilla recuperada (%)</b>
1	10,01	5,87	5,09	58,64	50,85
2	10,07	5,87	5,08	58,29	50,45
3	10,00	5,08	5,49	50,80	54,90
4	10,06	5,90	5,08	58,65	50,50
5	10,07	5,87	5,09	58,29	50,55
6	10,05	5,64	5,01	56,12	49,85
7	10,04	5,60	5,16	55,78	51,39
8	10,02	4,68	5,90	46,71	58,88
9	10,01	5,70	5,29	56,94	52,85
10	10,01	5,60	5,17	55,94	51,65
11	10,07	4,34	5,44	43,10	54,02
12	10,07	4,51	5,16	44,79	51,24
13	10,04	4,57	5,33	45,52	53,09
14	10,03	5,03	5,14	50,15	51,25
15	10,02	4,66	5,34	46,51	53,29
16	10,10	5,57	5,23	55,15	51,78
17	10,04	5,63	4,85	56,08	48,31
18	10,05	5,57	4,83	55,42	48,06
19	10,00	4,08	4,95	40,80	49,50
20	10,06	4,20	4,98	41,75	49,50
21	10,05	5,07	5,11	50,45	50,85
22	10,07	5,89	5,06	58,49	50,25
23	10,06	5,36	5,11	53,28	50,80
24	10,03	5,38	5,09	53,64	50,75
25	10,06	4,28	5,24	42,54	52,09
26	10,01	4,36	5,01	43,56	50,05
27	10,00	5,03	5,07	50,30	50,70
28	10,09	5,59	5,29	55,40	52,43
29	10,06	4,76	5,20	47,32	51,69
30	10,03	5,17	5,02	51,55	50,05
31	10,00	4,81	5,07	48,10	50,70

**Tabla A.3.** Datos experimentales de la extracción soxhlet con acetona (**continuación...**)

32	10,06	4,06	5,25	40,36	52,19
34	10,02	5,85	5,06	58,38	50,50
35	10,00	5,88	5,01	58,80	50,10
36	10,03	5,86	4,97	58,42	49,55
37	10,03	6,81	5,2	67,90	51,84
38	10,06	4,72	5,00	46,92	49,70
39	10,01	4,18	5,22	41,76	52,15
<b>PROMEDIO (%)</b>				<b>48,35</b>	<b>52,35</b>

### Extracción de aceite de la arcilla de blanqueo usada por prensado hidráulico

**MATERIAL:** Arcilla de blanqueo usada

Los datos experimentales y el resultado obtenido del ensayo de extracción de aceite con una prensa hidráulica se presentan en la tabla A.4:

**Tabla A.4.** Datos experimentales del prensado hidráulico

Ensayo	Muestra (g)	Arcilla recuperada (g)	Arcilla recuperada (%)	Aceite extraído (%)	Presión (atm)
1	100,04	69,77	69,74	30,26	100
2	100,07	70,44	70,39	29,61	100
3	100,00	68,84	68,84	31,16	100
4	100,04	68,52	68,49	31,51	100
5	100,04	67,65	67,62	32,38	100
6	100,01	68,96	68,95	31,05	100
<b>PROMEDIO (%)</b>			<b>69,01</b>	<b>30,99</b>	<b>-</b>
7	100,04	68,26	68,23	31,77	200
<b>Aceite remanente = 17,02 %</b>					<b>100</b>

\* Porcentaje determinado por extracción soxhlet con acetona

### Tratamiento de la arcilla usada con agua caliente

**MATERIAL:** Arcilla de blanqueo usada

Una vez tratada la arcilla usada con agua caliente se determinó el porcentaje de aceite remanente mediante extracción soxhlet con acetona. En la tabla A.5 se puede observar los datos experimentales de este método de recuperación de arcillas de blanqueo y también se puede apreciar el resultado obtenido:

**Tabla A.5.** Datos experimentales del tratamiento de la arcilla usada con agua caliente  
(T = 85°C; agitación = 100 rpm)

Ensayo	Muestra (g)	Tiempo (h)	Arcilla recuperada (g)	Arcilla recuperada (%)	Aceite remanente* (%)
1	100,06	2	72,94	72,90	37,12
2	100,01	4	71,68	71,67	35,33
3	100,02	5	74,92	74,91	35,10
4	100,03	6	74,94	74,92	35,09

\* Porcentaje determinado por extracción soxhlet con acetona

### Tratamiento con vapor de agua en un sistema abierto a la atmósfera

**MATERIAL:** Arcilla de blanqueo usada

Los resultados no fueron favorables y éstos se presentan a continuación:

**Tabla A.6.** Datos experimentales del tratamiento de la arcilla usada con vapor de agua en sistema abierto a la atmósfera  
(T = 92°C)

Ensayo	Muestra (g)	Tiempo (h)	Arcilla recuperada (g)	Arcilla recuperada (%)	Aceite remanente* (%)
1	100,06	2	94,06	94,00	43,41
2	100,04	4	92,86	92,82	42,23
3	100,02	5	92,29	92,27	41,68
4	100,01	6	91,62	91,61	41,02

\* Porcentaje determinado por extracción soxhlet con acetona

### Tratamiento de la arcilla usada con vapor de agua a presión

**MATERIAL:** Arcilla de blanqueo usada

En la tabla A.7 se presentan los datos experimentales y los resultados obtenidos del tratamiento de la arcilla de blanqueo usada con vapor de agua a presión en un autoclave:

**Tabla A.7.** Datos experimentales del tratamiento de la arcilla usada con vapor de agua a presión en un autoclave  
(Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C)

Ensayo	Muestra (g)	Tiempo (h)	Arcilla recuperada (g)	Arcilla recuperada (%)	Aceite remanente* (%)
1	100,02	2	65,03	65,02	22,48
2	100,00	4	63,45	63,45	20,45
3	100,03	5	64,04	64,02	20,48
4	100,00	6	63,96	63,96	20,46

\* Porcentaje determinado por extracción soxhlet con acetona

### ANEXO III

#### TRATAMIENTO DE LA ARCILLA PENSADA CON AGUA CALIENTE Y CON VAPOR DE AGUA

##### Tratamiento de la arcilla pensada con agua caliente

**MATERIAL:** Arcilla de blanqueo pensada

Una vez pensada la arcilla usada y recuperado el aceite extraído, se procedió a tratar esta arcilla con agua caliente. Los datos experimentales obtenidos y los resultados calculados se presentan en la tabla A.8:

**Tabla A.8.** Datos experimentales y resultados obtenidos del tratamiento de la arcilla pensada con agua caliente  
(T = 85°C; agitación = 100 rpm)

Ensayo	Muestra (g)	Tiempo (h)	Arcilla recuperada (g)	Arcilla recuperada (%)	Aceite remanente* (%)
1	100,04	2	65,03	65,00	12,32
2	100,02	4	63,45	63,44	11,30
3	100,04	5	64,04	64,01	11,35
4	100,06	6	63,96	63,92	11,31

\* Porcentaje determinado por extracción soxhlet con acetona

##### Tratamiento de la arcilla pensada con vapor de agua a presión

**MATERIAL:** Arcilla de blanqueo pensada

En la tabla A.9 se presentan los datos experimentales y los resultados obtenidos del tratamiento de la arcilla de blanqueo pensada con vapor de agua a presión en un autoclave:

**Tabla A.9.** Datos experimentales y resultados obtenidos del tratamiento de la arcilla prensada con vapor de agua a presión en un autoclave (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C)

Ensayo	Muestra (g)	Tiempo (h)	Arcilla recuperada (g)	Arcilla recuperada (%)	Aceite remanente* (%)
1	100,04	2	55,55	55,53	9,61
2	100,06	4	53,31	53,28	8,54
3	100,03	5	54,21	54,19	8,11
4	100,07	6	53,18	53,14	8,20

\* Porcentaje determinado por extracción soxhlet con acetona

## ANEXO IV

### SUPERFICIE ESPECÍFICA Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DE LAS ARCILLAS DE BLANQUEO RECUPERADAS

#### Capacidad de intercambio catiónico (CEC) de las arcillas de blanqueo recuperadas

**MUESTRA:** Varias muestras de arcillas de blanqueo

Se procedió a realizar la marcha analítica para determinar la capacidad de intercambio catiónico que tiene una arcilla mineral. A continuación se presenta un ejemplo de cálculo a partir de los datos obtenidos presentados en la tabla A.10:

**Tabla A.10.** Resultado del análisis químico por absorción atómica de las muestras de soluciones recogidas de la marcha para determinar la CEC

ITEM	Solución de cambio	Solución que contiene los cationes lixiviados de la arcilla (cationes de cambio propios de la arcilla mineral)				
	Na (ppm)*	Ca (ppm)*	Mg (ppm)*	Fe (ppm)	Al (ppm)	Na (ppm)
M <sub>1</sub>	1,99	1,39	0,51	0,04	<0,1	<0,1
M <sub>2</sub>	1,16	0,74	0,40	0,03	<0,1	<0,1
M <sub>3</sub>	1,62	1,19	0,46	0,03	<0,1	<0,1
M <sub>4</sub>	0,82	0,41	0,22	0,08	<0,1	<0,1
M <sub>5</sub>	1,06	1,17	0,46	0,05	<0,1	<0,1

\* Para determinar este elemento por absorción atómica se realizó una dilución 1:100

Donde:

$M_1$  = Arcilla pura Pure Flo B80 natural.

$M_2$  = Arcilla recuperada de extracción soxhlet.

$M_3$  = Arcilla calcinada (T = 550°C; t = 1,5 h).

$M_4$  = Arcilla prensada y tratada con agua caliente (T = 85°C; t = 4 h).

$M_5$  = Arcilla prensada y tratada con vapor de agua a presión  
(Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h).

A partir de la concentración de sodio se determinó la capacidad de intercambio catiónico. Las dos soluciones recogidas fueron aforadas a 250 ml, tal como se describe en la sección 2.6:

La capacidad de intercambio catiónico de la arcilla pura se determinó de la siguiente manera:

$$CEC \left( \frac{\text{meq}}{100 \text{ g}} \right) = \frac{\text{Concentración de Na} \cdot \text{dilución} \cdot \text{Volumen de aforo}}{10 \cdot \text{Peso molecular del Na} \cdot \text{Muestra de arcilla}} \quad [\text{A. 5}]$$

$$CEC \left( \frac{\text{meq}}{100 \text{ g}} \right) = \frac{1,99 \cdot 100 \cdot 250}{10 \cdot 23 \cdot 3} = 72,10$$

### **Superficie específica de las arcillas de blanqueo recuperadas: Método de adsorción de agua**

**MUESTRA:** Varias muestras de arcillas de blanqueo

Sobre la base de la metodología experimental descrita en la sección 2.1.4.1 se procedió a la superficie específica de las arcillas de blanqueo recuperadas y de la arcilla de blanqueo pura. A continuación se realiza un ejemplo de cálculo a partir de los datos obtenidos presentados en la tabla A.11:

**Tabla A.11.** Datos experimentales para la determinación de la superficie específica de las arcillas de blanqueo recuperadas

TIPO DE MATERIAL	Peso cápsula (g)	Peso muestra (g)	Secado 120°C por 1 día	Agua evaporada (%)
			Peso cápsula+muestra (g)	
Arcilla pura	32,1675	0,2 007	32,3612	3,49
Arcilla calcinada 550°C; 1,5 h	23,7633	0,2048	23,9664	0,83
Arcilla prensada y tratada con vapor de agua saturado (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h)	21,8197	0,2056	22,0223	1,46
Re-limpieza de la arcilla prensada y tratada con vapor de agua saturado (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h)	23,3350	0,2035	23,5341	2,16

Con el secado se determinó la cantidad de agua eliminada de la arcilla mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Agua evaporada (\%)} = \frac{(\text{Peso cápsula+muestra}-\text{Peso cápsula})}{\text{Peso muestra}} \times 100 \quad [\text{A. 6}]$$

$$\text{Agua evaporada (\%)} = \frac{(32,3612 - 32,1675)}{0,2 007} \times 100 = 3,49$$

La higroscopicidad se determinó con la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100 \quad [\text{A. 7}]$$

Donde:

%H = Higroscopicidad de la arcilla de blanqueo expresada como porcentaje.

$P_f$  = Peso de la muestra solvatada con vapor de agua.

$P_i$  = Peso de la muestra seca a 110°C.

$$\%H = \frac{32,4193 - (32,3612 - 32,1675)}{32,3612 - 32,1675} \times 100 = 29,99$$



Finalmente con la ecuación A.8 se determinó la superficie específica de la arcilla de blanqueo:

$$S = \frac{\%H \cdot N_A \cdot \sigma}{M \cdot 10^{22}} \left[ \frac{m^2}{g} \right] \quad [A. 8]$$

Donde:

S = Área superficial.

%H = Higroscopicidad de la muestra expresada en porcentaje.

$N_A$  = Número de Avogadro ( $6,023 \times 10^{23}$  moléculas/mol).

M = Peso molecular del agua (18 g/mol).

$\sigma$  = Sección de la molécula de agua ( $10,6 \text{ \AA}^2/\text{molécula}$ ).

$$S = \frac{29,99 \cdot 6,022 \text{E}23 \cdot 10,8 \cdot 0,5}{18 \cdot \text{E}22} = 531,85 \frac{m^2}{g}$$

**Tabla A.12.** Resultados obtenidos de superficie específica de las arcillas de blanqueo recuperadas y de la arcilla de blanqueo pura

TIPO DE MATERIAL	Higroscopicidad (H)			Superficie específica (m <sup>2</sup> /g)
	1 día	3 días	% H	
Arcilla pura	32,4095	32,4193	29,99	531,85
Arcilla calcinada 550°C; 1,5 h	24,0064	24,0199	26,34	467,07
Arcilla prensada y tratada con vapor de agua saturado (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h)	22,0415	22,0482	12,78	226,67
Re-limpieza de la arcilla prensada y tratada con vapor de agua saturado (Ps = 1,5 bares; Ts = 111°C; t = 4 h)	23,5521	23,5595	12,76	226,20

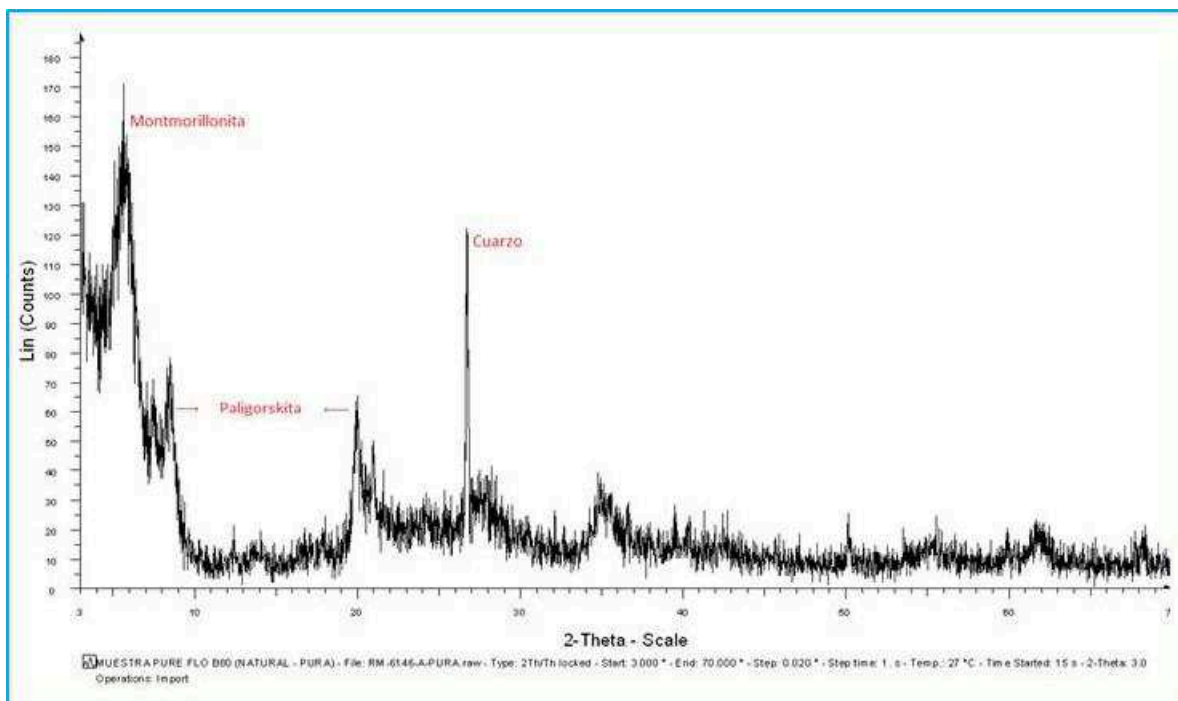
## ANEXO V

### CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DE BLANQUEO RECUPERADAS

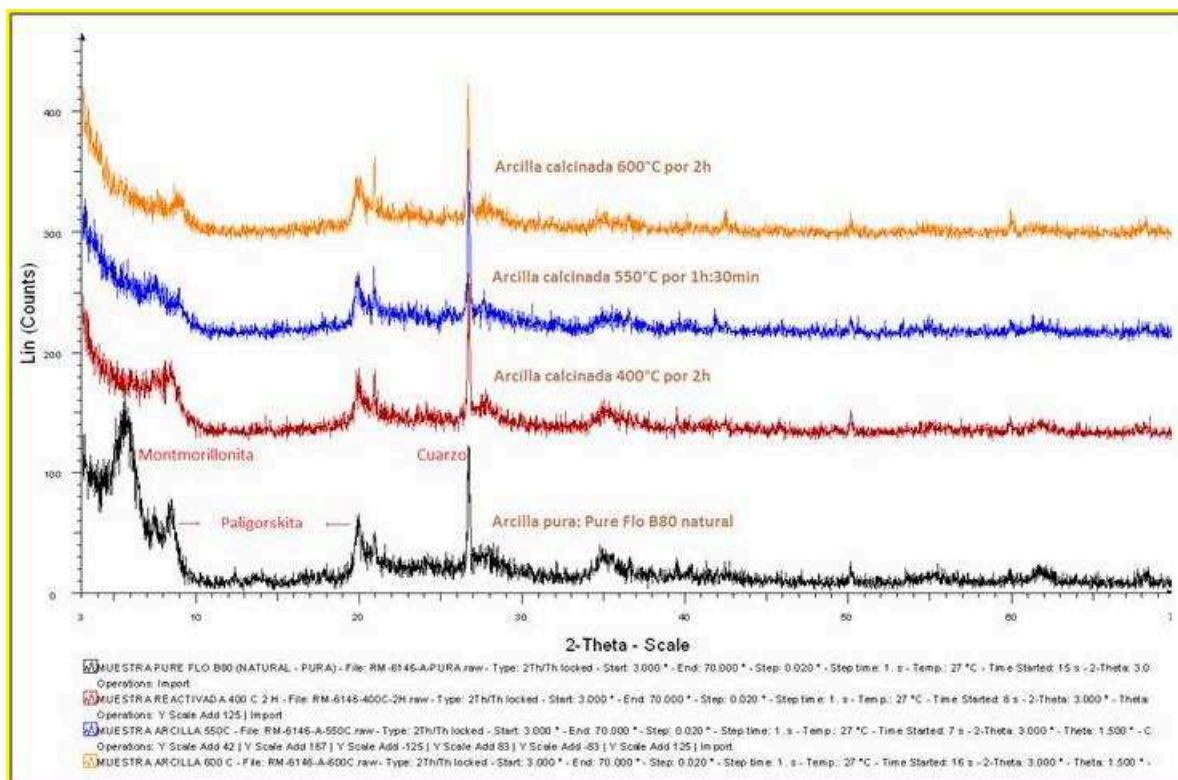
Difractogramas obtenidos del análisis de difracción de rayos X de muestras de arcillas de blanqueo recuperadas

**MUESTRA:** Varias muestras de arcillas recuperadas, incluida la arcilla pura

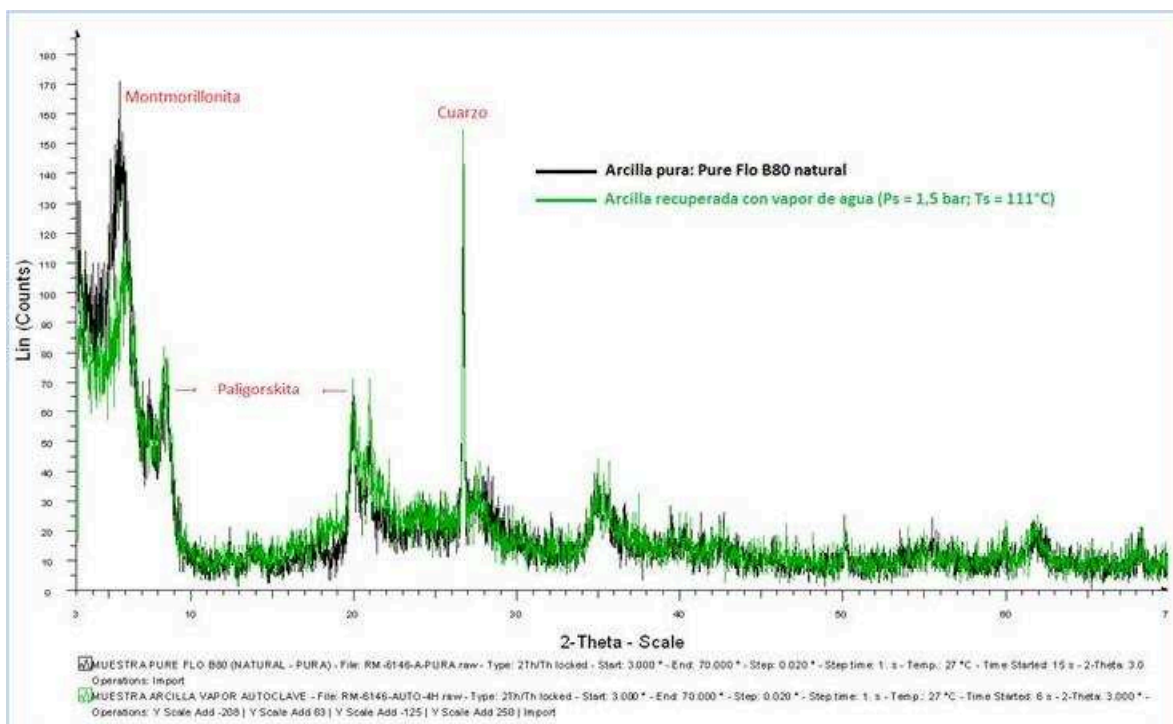
A continuación, se presentan una serie de difractogramas obtenidos de la caracterización mineralógica de varias muestras de arcillas de blanqueo, además, también se comparte el resultado cuantitativo de dicho análisis:



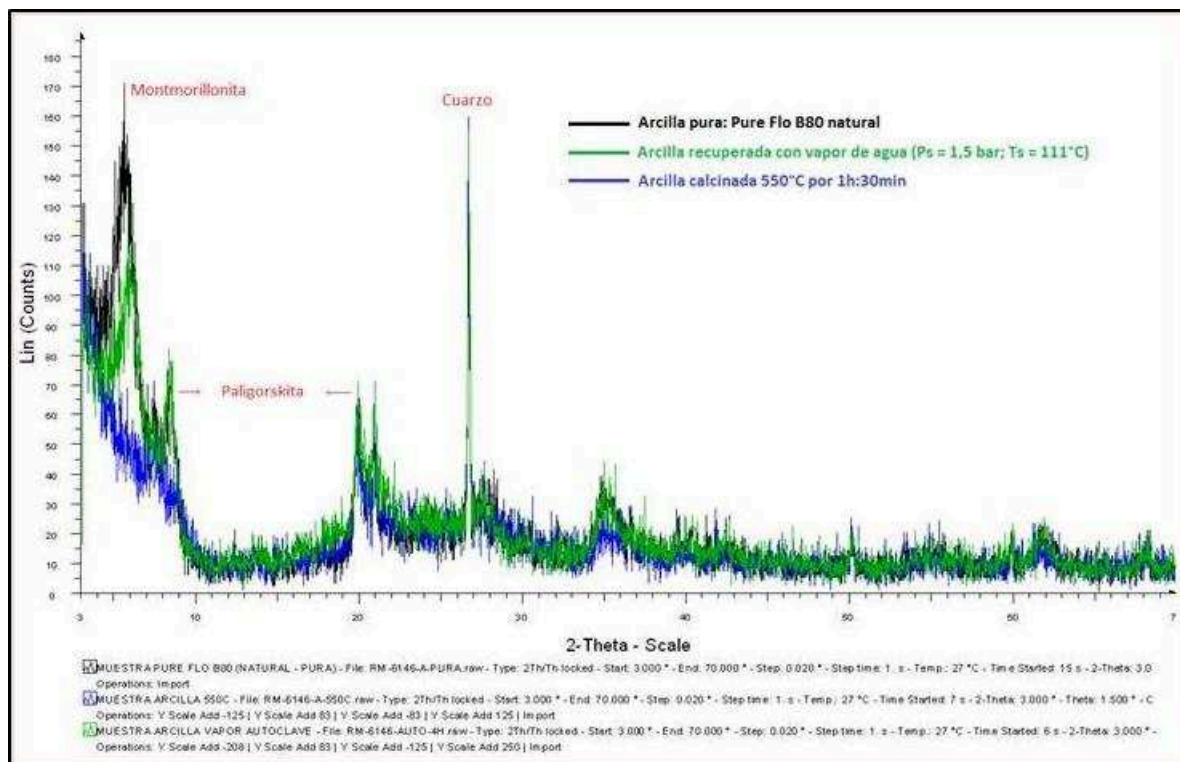
**Figura A.1.** Difractograma de la arcilla de blanqueo pura: Pure Flo B80 natural



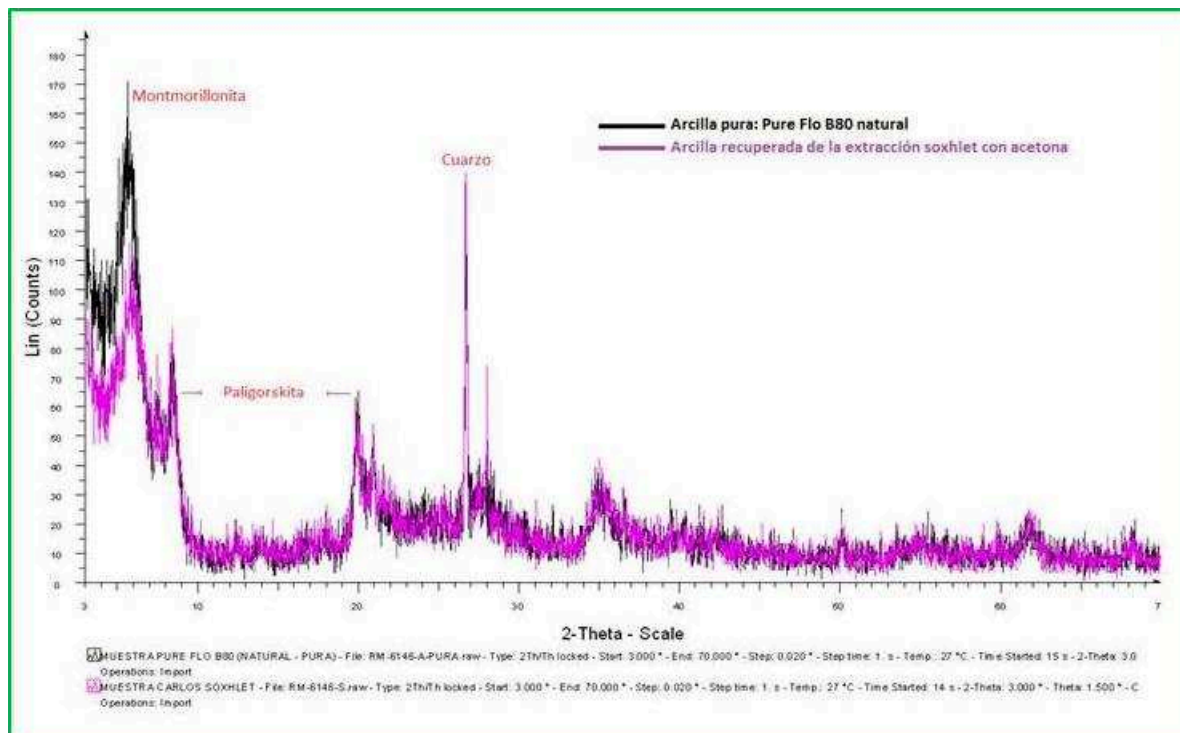
**Figura A.2.** Comparación del difractograma de la arcilla pura con 3 difractogramas de arcillas calcinadas a altas temperaturas



**Figura A.3.** Comparación del difractograma de la arcilla pura con el difractogramas de la arcilla recuperada con vapor de agua



**Figura A.4.** Comparación del difractograma de la arcilla pura con el difractograma de la arcilla recuperada con vapor de agua y la arcilla calcinada a alta temperatura



**Figura A.5.** Comparación del difractograma de la arcilla pura con el difractograma de la arcilla recuperada la extracción soxhlet con acetona

## **ANEXO VI**

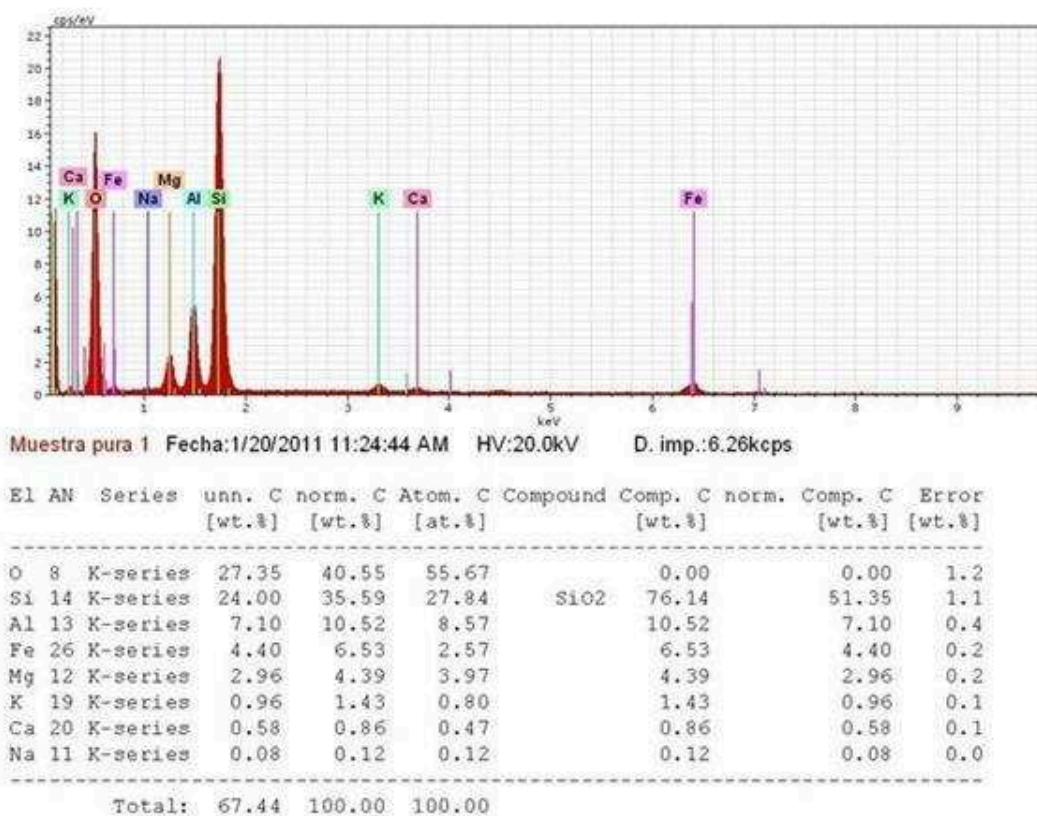
### **CARACTERIZACIÓN QUÍMICA POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE LA ARCILLA DE BLANQUEO PURA Y DE LAS ARCILLAS DE BLANQUEO RECUPERADAS**

**Observaciones al microscopio electrónico de muestras de arcilla de blanqueo pura y de arcillas de blanqueo recuperadas**

**MUESTRA:** Varias muestras de arcillas recuperadas, incluida la arcilla pura

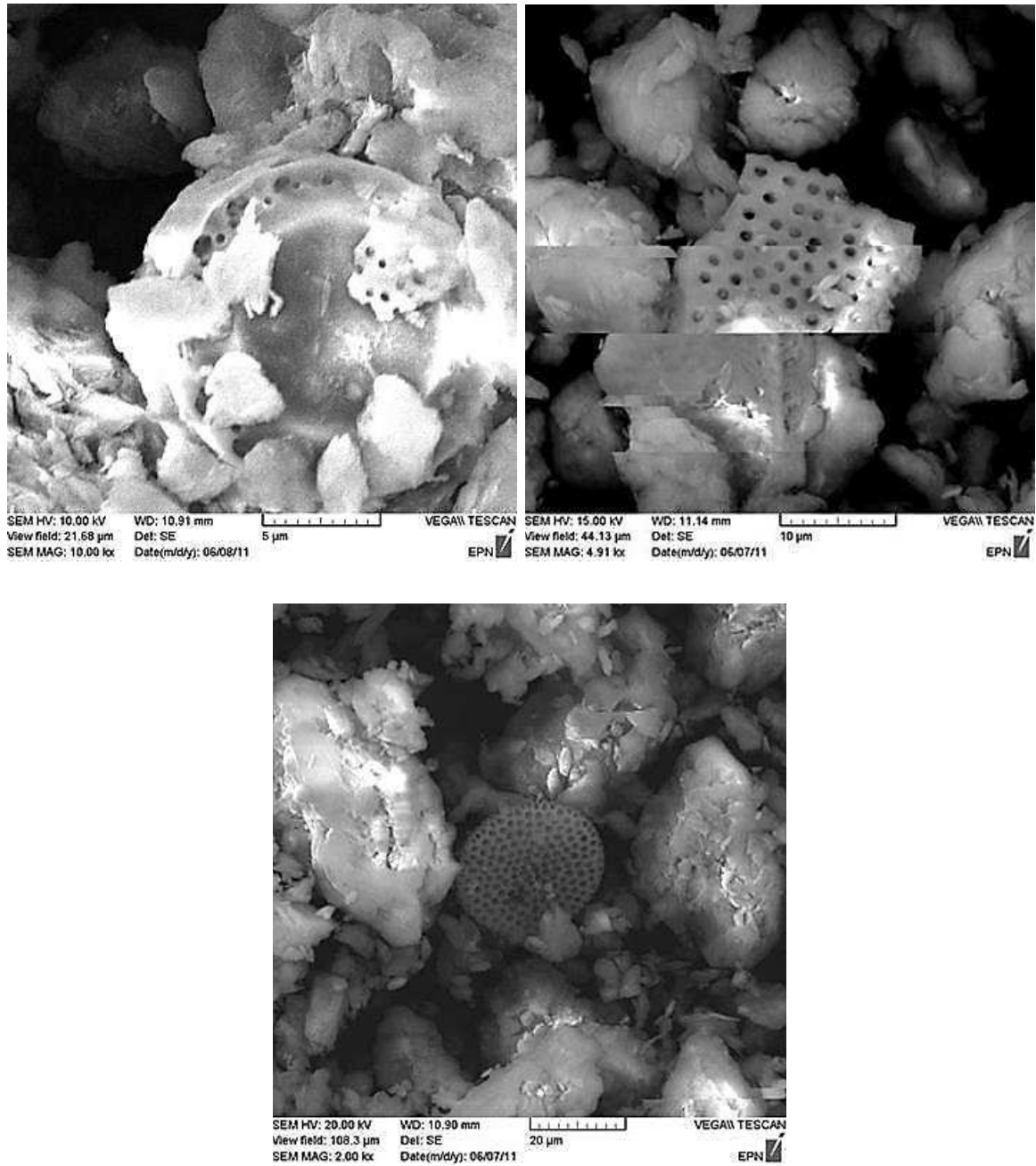
En las siguientes figuras se ilustra los resultados obtenidos de las observaciones al microscopio electrónico de varias muestras de arcillas de blanqueo. Además, también se pueden observar algunos resultados cuantitativos del análisis químico elemental que realiza este equipo:

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

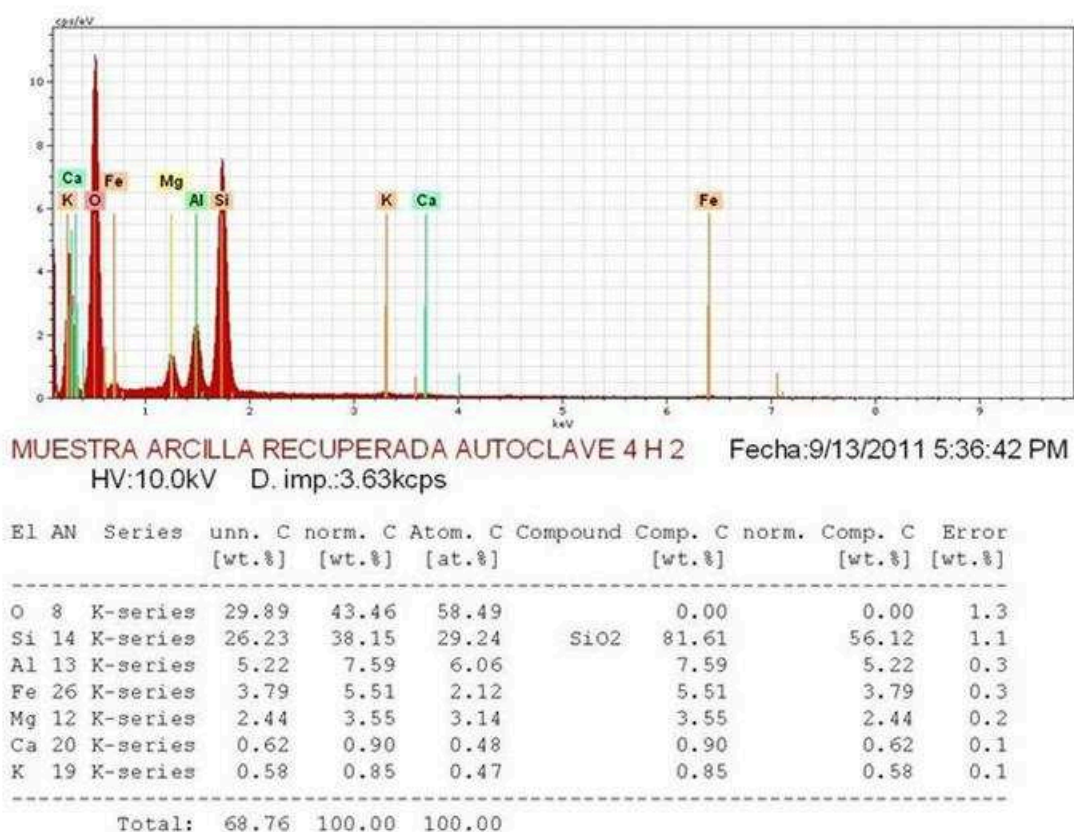


**Figura A.6.** Análisis químico obtenido de la microscopía electrónica de barrido para una muestra de arcilla pura

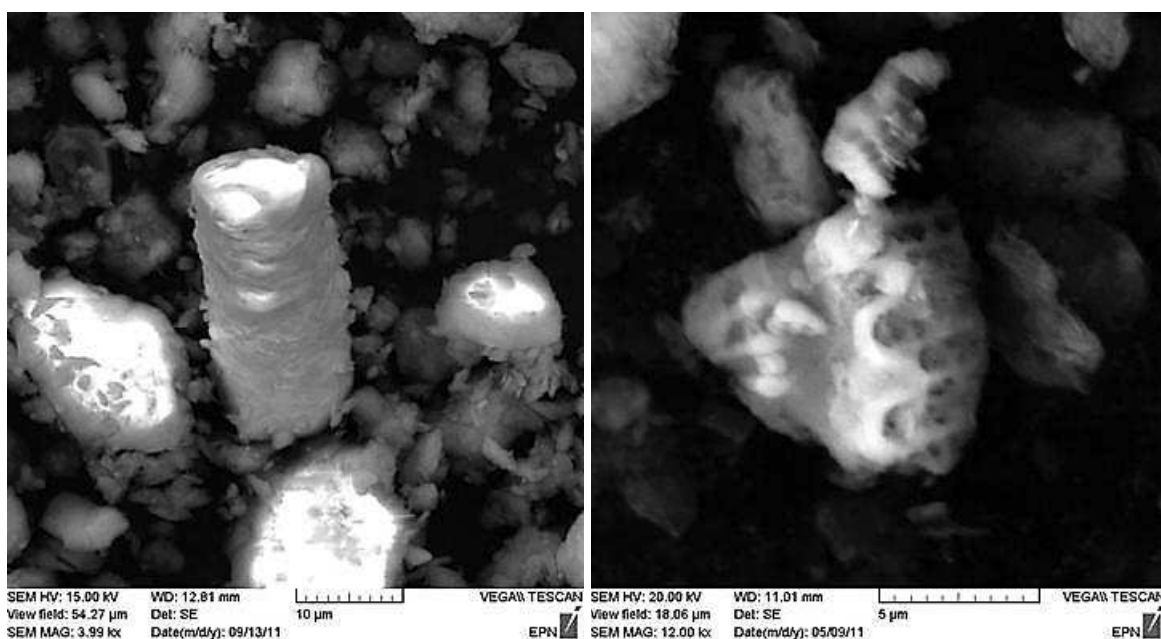




**Figura A.7.** Observaciones al microscopio electrónico de barrido de una muestra de arcilla pura (Pure Flo B80 natural)



**Figura A.8.** Análisis químico obtenido de la microscopía electrónica de barrido para una muestra de arcilla tratada con vapor de agua ( $P_s = 1,5$  bares;  $T_s = 111^\circ\text{C}$ )



**Figura A.9.** Observaciones al microscopio electrónico de barrido de una muestra de arcilla tratada con vapor de agua ( $P_s = 1,5$  bares;  $T_s = 111^\circ\text{C}$ )



**ANEXO VII**  
**DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTA DE RECUPERACIÓN DE ARCILLAS**  
**DE BLANQUEO USADAS**

**Balance de masa, capacidad de los equipos y consumo energético de la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas**

A partir de los resultados obtenidos en el transcurso del desarrollo de esta investigación, se realizó el balance de masa de la planta de recuperación de tierra de blanqueo usada. En la siguiente tabla se presenta los valores, sobre la base de los cuales, se desarrolla este balance de masa:

**Tabla A.13.** Datos requeridos para realizar el balance de masa

<b>ARCILLA DE BLANQUEO USADA</b>	
<b>Análisis</b>	<b>Valor</b>
Humedad	10,22%
Materia volátil	59,08%
Cenizas	40,48%
Carbón fijo	0,44%
Aceite retenido	48,35
Densidad aparente	736,8 g/L
<b>ARCILLA DE BLANQUEO PENSADA</b>	
Aceite extraído	30,99%
Arcilla recuperada	69,01%
<b>EXTRACCIÓN EN AUTOCLAVE</b>	
Impurezas extraídas	30,00%
Arcilla recuperada	70,00%
<b>PRODUCTO: ARCILLA DE BLANQUEO RECUPERADA</b>	
Humedad	5,28%
Aceite retenido	8,54%

- **Materia prima**

Cantidad a procesar por día de 8 horas = 10 toneladas o 10 000 kg

- **Prensado**

La operación de prensado toma por cada carga aproximadamente 15 min como máximo. La empresa The French Oil ofrece prensas hidráulicas de platos laterales capaces de procesar grandes de material desde 20 hasta 200 toneladas diarias. En bibliografía se encontró que si se realiza una correcta operación de filtrado de la suspensión aceite/arcilla el contenido máximo de grasa en la arcilla desechada no debería exceder del 30%. Es por esto, que si la industria aceitera controla esta operación de filtrado, quizá ya no sería necesario emplear una prensa, sino más bien, directamente ingresar la arcilla de blanqueo usada al autoclave para limpiarla.

Arcilla prensada =  $10\,000 \times 0,6901 = 6\,901$  kg

Aceite recuperado =  $10\,000 \times 0,3099 = 3\,099$  kg

- **Extracción**

El proceso de extracción (con vapor de agua) de impurezas como fosfolípidos y aceite que aún contiene la arcilla prensada se lo realiza en un autoclave industrial que opera a una presión máxima de 4 bares, por lo que solo se requerirá de 2 horas de extracción para conseguir limpiar la arcilla de blanqueo.

$$\text{Capacidad del autoclave} = \frac{6\,901}{736,8} = 9,36 \text{ m}^3$$

Dimensiones:

Diámetro = 1,5 m

Largo = 3 m

Se puede apreciar que se requiere de un autoclave de aproximadamente  $10 \text{ m}^3$ , es por esto que será necesario disponer de 2 autoclaves para procesar toda la cantidad de arcilla prensada. La relación material / vapor es de 0,7368, a partir de esto se determina la cantidad de vapor requerido por día.

$$\text{Vapor de agua} = \frac{6\,901}{0,7368} = 9\,366,18 \text{ kg}$$

- **Decantación**

Con media hora de reposo es suficiente para sedimentar la arcilla y separar el aceite y las impurezas. La relación entre material / agua es de 1 a 3.

$$\text{Cantidad de agua requerida} = 6\,901 \times 3 = 20\,703 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen del tanque} &= 20\,703 + 6\,901 = 27\,604 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1\,000 \text{ kg}} \\ &= 27,06 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Relación del decantador: } \frac{\text{diámetro}}{\text{altura}} = \frac{1}{1,5}$$

$$\text{Volúmen del recipiente} = \frac{\pi D^2}{4} L$$

Dimensiones:

$$\text{Diámetro} = 2,86 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 3,43 \text{ m}$$

- **Filtración**

Debido a que en la decantación se eliminan alrededor de un 30% en peso de impurezas, sólo 4 830, 70 kg de arcilla se recupera, pero esta arcilla también contiene agua del proceso de sedimentación que debe ser separada por filtración en un filtro prensa de placas. El fluido contiene cerca de un 30% de sólidos, por lo que será necesario eliminar el agua para facilitar el secado de la arcilla.

Cantidad de arcilla en base seca = 4 830,70 kg

Cantidad de agua = 10 351,5 kg

Agua eliminada = 7 175,75 kg

Se concentra el fluido a un 60% de sólidos:

Arcilla recuperada = 8 006,45 kg

Se requiere de un filtro prensa de una capacidad de filtración de 2 ton/hora.

- **Secado**

Si eliminamos un 36% de agua del material filtrado, se dejaría una tierra de blanqueo que tiene una humedad del 5,28%.

Agua eliminada =  $0,3629 \times 8\,006,45 = 2\,906,28$  kg

Arcilla recuperada = 5 100,17 kg

Se secarán diariamente 8 006,45 kg de arcilla que en volumen corresponde a  $10,86 \text{ m}^3$  aproximadamente, por lo que se requerirá una estufa eléctrica que opere a  $120^\circ\text{C}$  y durante máximo 4 horas seque el material hasta la humedad requerida.

Dimensiones de la estufa:

Ancho = 1,5 m

Alto = 2,5 m

Fondo = 2,5 m

Volumen de la estufa =  $9,37 \text{ m}^3$

En cuestiones energéticas, según catálogos encontrados, esta estufa consume 59 kwh. Para un día de producción en consumo sería:

$$\text{Energía} = 59 \text{ Kwh} \times 8 \text{ h} = 472 \text{ kwh}$$

- **Pulverizado**

Una vez seco el material, se lo pulveriza en un molino que deberá tratar diariamente 5 100,17 kg de arcilla.

La capacidad del equipo encontrado en el mercado es de 500 kg/h hasta 3 500 kg/h por lo que se estima que en 3 horas máximo se conseguirá pulverizar todo la tierra secada.

Este equipo de molienda tiene el siguiente consumo de energía:

$$\text{Energía} = 119,35 \text{ Kwh} \times 8 \text{ h} = 954,8 \text{ Kwh}$$

**Catálogos de los equipos requeridos en la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas**

**EQUIPO: Prensa hidráulica de placas laterales**

The image is a screenshot of the French U.S.A. website. At the top left is the logo for FRENCH U.S.A. with the tagline "Your Partner In Processing". To the right is a search bar and a banner that says "Turn to French for hydraulic presses and processing equipment. Call 937-772-3429". Below the logo are two images of hydraulic presses. A central banner reads "Best-In-Class Ruggedly Built Machinery" and "The quality and technology leader since 1900". A navigation menu includes "Hydraulic Presses", "Oilseed Equipment", "Polymer Equipment", "Fiber Presses", and "Parts & Services". On the left is a vertical menu with items like "Contact", "Hydraulic Presses", "Screw Presses", "Innovation Center", "Quality", "Manufacturing", "Engineering", "History", "News", "Trade Shows & Events", and "Employment". A red button says "Need a HYDRAULIC PRESS? Request a Quote". Below this are logos for "CERTIFIED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001:2008", "AMBA", and "DNV". The main content area is titled "Hydraulic Presses" and features a sub-header "Transfer Molding Press, Composite Molding Press or Compression Molding Press". It includes a large image of a blue hydraulic press and a text block describing the equipment. At the bottom are two more images of different hydraulic press models.

**FRENCH**  
U.S.A.  
Your Partner In Processing

Search

Turn to French for hydraulic presses and processing equipment. Call 937-772-3429

**Best-In-Class Ruggedly Built Machinery**  
The quality and technology leader since 1900

Hydraulic Presses Oilseed Equipment Polymer Equipment Fiber Presses Parts & Services

Contact  
Hydraulic Presses  
Screw Presses  
Innovation Center  
Quality  
Manufacturing  
Engineering  
History  
News  
Trade Shows & Events  
Employment

**Need a HYDRAULIC PRESS?**  
Request a Quote

CERTIFIED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM  
ISO 9001:2008  
AMBA  
DNV

**Hydraulic Presses**

**Transfer Molding Press, Composite Molding Press or Compression Molding Press**

French sideplate hydraulic presses come in up or down-acting configurations and can be designed as a transfer molding press, composite molding press or compression molding press to fit your molding requirements. Many sizes are available and commonly range from 30 to 2000 tons. The hydraulic presses style lends itself to low deflection for finished-dimension molded parts and provides high tonnage in a compact footprint.

Contact French today for a custom proposal based on your molding press requirements.



[Hydraulic Laboratory Presses](#) | [Hydraulic Presses](#) | [Column Hydraulic Presses](#) |  
[Clamshell Hydraulic Presses](#) | [Composite Hydraulic Presses](#) |  
[Die Trim Hydraulic Presses](#) | [Compaction Hydraulic Presses](#)

[Home](#) | [Return to top](#) | [Contact](#) | [Hydraulic Presses](#) | [Oilseed Equipment](#)  
[Polymer Equipment](#) | [Fiber Presses](#) | [Parts & Services](#) | [Sitemap - Hydraulic Presses and More](#)  
 Hydraulic presses, transfer molding press, laboratory presses, compaction presses, screw presses and more.  
 ©2011 The French Oil Mill Machinery Company. All Rights Reserved.

**EQUIPO:** Autoclave horizontal estático



Polígono Industrial El Ramal s/n  
31580 Lodosa ( Navarra )  
Tfnos: 34 948 693 150 / 34 948 694 026  
Fax: 34 948 694 031  
E-mail: [info@ezma.com](mailto:info@ezma.com)  
[www.ezma.com](http://www.ezma.com)

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
ECUADOR

Att.- Ing. Carlos Haro

Presupuesto: 11458  
Lodosa 14/09/2011

#### AUTOCLAVE HORIZONTAL ESTÁTICO EZMA

Modelo: AHE 1J/1P PTA  
Construcción: acero inoxidable AISI 304.  
Diámetro de construcción: 1.400 mm.  
Sistema: Cascada de agua en recirculación

Para la esterilización/pasteurización comercial de productos envasados herméticamente en envases: cristal, metálicos, bandeja termosellada y termoformada, pet, envases flexibles, etc.

#### Sistema de cascada

El agua depositada en el fondo del cuerpo de la autoclave es aspirada en diferentes puntos por una bomba de presión impulsándola hacia el intercambiador de placas y posteriormente hacia la bandejas superior de forma que caiga sobre los envases.

A la vez por el circuito primario entra vapor directo al intercambiador para realizar la transferencia térmica consiguiendo homogenizar la temperatura en el interior de la máquina y de los envases.

El intercambiador de alto rendimiento nos permite: realizar la transferencia térmica en los procesos de calentamiento, esterilización ( mantenimiento ) y enfriamiento de forma rápida y progresiva evitando los choques térmicos.





Polígono Industrial El Ramal s/n  
 31580 Lodosa ( Navarra )  
 Tfnos: 34 948 693 150 / 34 948 694 026  
 Fax: 34 948 694 031  
 E-mail: [info@ezma.com](mailto:info@ezma.com)  
[www.ezma.com](http://www.ezma.com)

Este sistema nos permite recuperar los condensados, reutilizar el agua del enfriamiento ( montando, ejemplo una torre de enfriamiento ) porque en ningún momento tiene contacto con el producto.

El consumo diario de agua sería de unos 100 litros que es el agua que mantenemos en recirculación dentro del autoclave desde el primer proceso y que recomendamos vaciar al final del día.

La regulación de todos los procesos se realiza de forma automática mediante un microcontrolador con pantalla táctil.

#### Descripción General

- Una puerta con cierre rápido tipo bayoneta con volante manual para el accionamiento de apertura/cierre.
- Sensores de ajuste y cierre de seguridad que impiden el inicio del ciclo en caso de no estar totalmente cerrado y no permite la apertura en tanto exista presión en el interior del Autoclave.
- Dos caminos de rodillos con rodamientos para facilitar el movimiento de las cestas en el interior de la autoclave.
- Sonda interior para el cálculo  $F_0$  ( temperatura interior del producto ).
- Sistema de control de nivel de agua en el interior mediante nivel magnético.
- Cuerpo y fondo forrado de aislante térmico de manta de fibra de vidrio de 60 mm. de grosor recubierta de chapa de acero inoxidable con terminación pulido espejo.
- Puerta protegida con aislante térmico y tapa.
- Dos válvulas de seguridad tipo resorte.
- Filtro que protege el circuito del agua en recirculación interior.
- Microprocesador montado en cuadro de acero inoxidable.
- 7 Válvulas neumáticas modulantes, con filtros y válvulas de retención para entrada y salida de los fluidos.
  - Entrada de vapor – circuito primario.
  - Entrada de agua – circuito primario.
  - Salida de agua del enfriamiento.
  - Salida de condensados.
  - Entrada de aire.
  - Entrada de agua en recirculación.
  - Descarga de presión.



Polígono Industrial El Ramal s/n  
 31580 Lodosa ( Navarra )  
 Tfnos: 34 948 693 150 / 34 948 694 026  
 Fax: 34 948 694 031  
 E-mail: [info@ezma.com](mailto:info@ezma.com)  
[www.ezma.com](http://www.ezma.com)

### ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD

- Presostato para controlar la presión de entrada y salida del agua en la bomba.
- Sistema de nivel magnético para conocer el nivel agua en el interior del equipo.
- Manómetro que nos da los valores de presión en el interior de la Autoclave.
- Termómetro en el cuerpo superior principal de paso de agua.
- Dos válvulas de seguridad de tipo resorte.
- Alarma ( sirena ) para cualquier anomalía del proceso
- Alarma final del proceso.

### CARACTERÍSTICAS DE LOS AUTOMATISMOS

Unidad de Control de Proceso: temperatura, presión, tiempo, nivel y Factor Fo/Po con una capacidad básica para 100 programas.

Formada por:

- Microprocesador con PANTALLA TÁCTIL - PT  
 Terminal Gráfica LCD con:
  - Visualización dinámica y en tiempo real del sinóptico en ejecución.
  - Visualización gráfica de las curvas de presión, temperatura autoclave, temperatura interior producto, consignas, factor Fo, seleccionables según configuración definida por usuario.
  - Visualización de todas las variables del programa en ejecución.
  - Visualización de la librería de programas editados.
  - Visualización de cada programa de forma directa en una sola plantilla.
  - Presentación de avisos y alarmas en listado acumulativo.
  - Señalización de cualquier evento, aviso o alarma en mensajes destellantes.
- Registro circular Ø 248 mm, con dos variables: una de temperatura a sonda PT-100 y otra de presión.  
 Giro: 1V/24 h.  
 220 V/ 50 Hz.
- Montado en cuadro de acero inoxidable.
- Alarma de anomalías y sirena de fin de ciclo.





Polígono Industrial El Ramal s/n  
 31580 Lodosa ( Navarra )  
 Tfnos: 34 948 693 150 / 34 948 694 026  
 Fax: 34 948 694 031  
 E-mail: [info@ezma.com](mailto:info@ezma.com)  
[www.ezma.com](http://www.ezma.com)

- Memoria RAM de 16 Mb.
- Monitor Color.
- WINDOWS instalado.
- Mouse
- 1 Port Serie Libre: Aplicación TEMP..
- Impresora standard.
- No se incluye la instalación de cable apantallado desde el cuadro del autoclave hasta el PC.

## 2 CESTAS

Para introducir los envases en el autoclave.

Cestas de 920 x 920 x 920 mm, construidas en acero inoxidable AISI 304

## 2 CARROS TRANSPORTE CESTAS

- Para introducir los soportes y las bandejas.
- Ruedas de Nylon.
- Construcción en acero inoxidable AISI 304.

25 SEPARADORES de polipropileno perforado para colocar entre las capas de envases.

## PUESTA EN MARCHA

Desplazamiento de un tecnico de EZMA para la puesta en marcha del equipo y entrenamiento del personal.

Incluye el desplazamiento y mano de obra, el alojamiento y manutención corren por cuenta del cliente.





Polígono Industrial El Ramal s/n  
 31580 Lodosa ( Navarra )  
 Tfnos: 34 948 693 150 / 34 948 694 026  
 Fax: 34 948 694 031  
 E-mail: [info@ezma.com](mailto:info@ezma.com)  
[www.ezma.com](http://www.ezma.com)

MEMORIA ECONÓMICA  
 Presupuesto nº: 11458  
 14/09/2011

1 AUTOCLAVE AHE 1J/1P PTA AISI 304 .....	27.000 €
OPCIONAL:	
- DESCARGA DE DATOS PC .....	2.100 €
2 CESTAS .....	2.050 €
2 CARROS DE TRANSPORTE .....	1830 €
25 SEPARADORES .....	700 €
PUESTA EN MARCHA .....	4.500 €



Polígono Industrial El Ramal s/n  
 31580 Lodosa ( Navarra )  
 Tfnos: 34 948 693 150 / 34 948 694 026  
 Fax: 34 948 694 031  
 E-mail: [info@ezma.com](mailto:info@ezma.com)  
[www.ezma.com](http://www.ezma.com)

#### CONDICIONES DE VENTA

**Incoterm:** Precios EXW en las instalaciones de EZMA en España

**Forma de pago:**

Credito documentario irrevocable en Banco Santander (Oficina de Lodosa) a liberar de la siguiente manera:

- 40 % a la apertura del credito
- 50 % contra documentos de embarque
- 10 % a 90 dias fecha de la carga

**Plazo de entrega:**

El plazo de entrega de los equipos descritos es de 90 días.

El plazo de entrega comienza a partir de la recepcion de la carta de credito y el abono del 40 % de adelanto.

**I.V.A.:** procede

**Validez de la oferta:** 45 días.

**Exclusiones:** Está excluido del presente presupuesto la alimentación eléctrica y neumática al cuadro general de la máquina, tuberías de suministro y evacuación de fluidos, grupos de frío, obras civiles, elementos de carga y descarga, así como cualquier otro elemento no descrito en el presupuesto.

Vicente Armendariz

## EQUIPO: Filtro prensa con traslado lateral

TEFSA
EMPRESA
PRODUCTOS
NOTICIAS
DESCARGAS
LOCALIZACIÓN
CONTACTAR

TÉCNICAS DE FILTRACIÓN S.A.
Filtro Prensa con Traslado Lateral

- Programa de fabricación
- Filtro prensa traslado superior
- Filtro prensa traslado lateral
- Filtro prensa de alto rendimiento
- Filtros de banda de presión
- Filtros de vacío
- Filtros de presión
- Tamices rotativos
- Espesadores Laasmet
- Filtros auxiliares

### DESCRIPCIÓN

Los Filtros Prensa con Traslado Lateral de Placas han sido especialmente concebidos para atender a pequeñas y medianas producciones de tortas en las que cabe la posibilidad de operar de forma **totalmente manual (HPL-SL y HPL)**, de forma **semi-automática (HPLE)** y de forma **totalmente automática (EHC, EHR y EHRM)**.

Las **principales ventajas** que presenta el filtro prensa frente a otras alternativas son:

- Mayor Grado de Sequedad.
- Bajo consumo de reactivos.
- Bajo consumo eléctrico.
- Equipo de larga vida.
- Bajo mantenimiento.





Todos estos equipos están disponibles para trabajar hasta una presión máxima de **6 o 16 bares** según requiera el producto a deshidratar.

Esta amplia gama de alternativas es posible gracias a la instalación de **Centrales Hidráulicas Manuales** o de **Centrales Hidráulicas Automáticas** y a la posibilidad de realizar un **Traslado de Placas Manual** o un **Traslado de Placas Automático**.

Los **filtros prensa manuales (HPL-SL y HPL)** llevan instaladas centrales hidráulicas manuales con lo que el traslado de las placas se realiza también de forma manual.

Los **filtros prensa semi-automáticos (HPLE)** llevan instaladas centrales hidráulicas totalmente automáticas mientras que el traslado de las placas se realiza de forma manual mediante la intervención de personal.

Por último, los **filtros prensa automáticos (EHC, EHR y EHRM)** son equipos en los que todas las etapas del ciclo de filtración, incluido el traslado de las placas, se realiza de forma automática sin la intervención de personal.

### SECTORES

Para servir al cliente con un 100% de efectividad, **Técnicas de Filtración S.A.** dispone de un servicio global de producción que nos permite satisfacer las necesidades de múltiples sectores en tres Areas del Departamento Comercial.

DISEÑO: NED



### Filtros Piloto

El reducido tamaño de alguno de los Filtros Prensa con Traslado Manual de Placas ha permitido que se utilicen como unidades piloto para la realización de ensayos, estudios e incluso como unidades desplazables para atender múltiples servicios en diferentes puntos dentro de una misma planta.



### Área de Minería

Esta área ha dado soluciones integrales a sectores como el Cerámico, el Gravelero, del Mármol, etc. haciendo especial mención del sector del Caolín y del Cemento quienes se han beneficiado de una reducción muy importante de los residuos a gestionar y de la posibilidad de reutilizar grandes volúmenes de agua.



### Área de Lodos Residuales

La creciente preocupación y sensibilización por el Medioambiente ha conllevado la necesidad de reducir al máximo el volumen de residuos y, a la vez, minimizar el coste del transporte y de la gestión de los residuos. Esta reducción se ha conseguido, en la mayoría de los casos, mediante la deshidratación con un filtro prensa.



### Área de Industria

Múltiples aplicaciones son objeto de la instalación de un filtro prensa. Técnicas de Filtración S.A. da servicio a sectores como el Químico con la filtración de sales de cobre, níquel, zinc, titanio, hierro, aluminio, oro, etc.. La filtración de colorantes y blanqueantes ocupa un lugar muy especial en el conjunto de nuestras aplicaciones. Otros sectores que cabe citar de forma especial son el Metalúrgico, el Papelero, el Farmacéutico y Alimentario. Para estos dos últimos campos, Técnicas de Filtración S.A. ha ajustado y adaptado el diseño de sus equipos a las necesidades específicas del sector.



### SERIE HPL-SL y HPL



Los bastidores de la Serie HPL-SL y HPL son los más sencillos del Programa de Fabricación Ideales para atender pequeñas filtraciones con bajas producciones de tortas. La presión máxima de filtración puede ser de 6, 12 o de 16 bares.



Esta serie de equipos llevan instalado un dispositivo de cierre hidráulico manual con retroceso del pistón de doble muelle. La bomba hidráulica de construcción compacta, va montada sobre el mismo depósito de aceite del grupo hidráulico. La presión del circuito hidráulico se mantiene constante mediante un sistema de bloqueo, aún en ciclos de filtración muy largos.

Como en todos los filtros prensa, las placas de filtración están normalizadas, generalmente realizadas en polipropileno de alta densidad disponibles en distintos tamaños y con distintos espesores de torta.

Tamaño	HLP SL			HPL			HPLE		
	Nº Máximo de Placas	Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (l)	Nº Máximo de Placas	Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (l)	Nº Máximo de Placas	Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (l)
300 x 300	20	1.7	25	20	1.7	25	20	1.7	25
470 x 470	20	5.2	82	30	5.2	82	30	5.2	82
630 x 630				30	14.6	226	40	19.6	304
800 x 800				40	34.3	530	50	43	666
1000 x 1000							60	83.5	1268
1200 x 1200							70	146.6	2243
1300 x 1300							100	253.5	3851

### SERIE HPLE

Los filtros prensa de la **Serie HPLE** son de una construcción igual a los de la **Serie HPL**, sustituyendo el equipo hidráulico manual, por un **grupo electrohidráulico** de moderna concepción que permite alimentar el filtro a una presión máxima de 6 o 16 bares.

El filtro está provisto de un cilindro de doble efecto, unido a una pieza móvil de presión.

Los filtros con un tamaño de placa de entre 300 x 300 mm y 800 x 800 mm se equipan con bombas hidráulicas sumergidas de pistones radiales y con válvulas distribuidoras electromagnéticas comandadas desde un pequeño armario de control. Los filtros prensa con placas de mayor tamaño van equipados con un grupo electrohidráulico mayor dotado con una bomba de engranajes y otra bomba de pistones radiales.

La presión de cierre del pistón hidráulico se ajusta entre un valor máximo y mínimo por medio de un presostato que actúa sobre el circuito hidráulico. De esta forma se consigue mantener la óptima presión de cierre del pistón a lo largo de todo el ciclo de filtración.



### SERIE EHC / EHR / EHRM



La **Serie EHRM** está pensada para tratar grandes volúmenes de fangos con única unidad de filtración pudiendo instalar hasta un máximo de 125 placas. El cierre y la apertura de los diferentes paquetes se realiza por medio del cilindro hidráulico y el enciavamiento de los distintos paquetes mediante cilindros neumáticos. Sensores electrónicos comprueban el correcto funcionamiento de todas las maniobras.

## SERIE EHPT

La Serie EHPT responde a un rango de equipos que han sido especialmente diseñados para aplicaciones con gran producción de lodos. Al igual que sucede con los Filtros Prensa con Traslado Superior de Placas, en la Serie EHPT es posible instalar diferentes tamaños y número de placas en cada filtro.



Este modelo de filtro dispone de dos cadenas para el traslado automático de las placas ubicadas en cada uno de los dos lados del equipo. Un moderno sistema de transporte de placas permite realizar una sincronización perfecta que garantiza un rápido y eficaz traslado de todas las placas.

Tamaño	EHC			EHR			EHRM			EHPT		
	Nº Máximo de Placas	Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (l)	Nº Máximo de Placas	Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (l)	Nº Máximo de Placas	Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (l)	Nº Máximo de Placas	Sup. (m <sup>2</sup> )	Vol. (l)
300 x 300												
470 x 470	25	6.6	103.2	25	6.6	103.2						
630 x 630	25	12.1	187.2	25	12.1	187.2						
800 x 800	25	21.1	326.4	25	21.1	326.4	3 x 25	63.3	979	50	42.2	652.7
1000 x 1000	25	34.3	526.8	25	34.3	526.8	4 x 25	137.2	2107	60	82.4	1265
1200 x 1200	25	52	796.3	25	52	796.3	4 x 25	208	3185	75	156	2389
1300 x 1300	25	60	926.3	25	60	926.3	4 x 25	240	3705	100	240	3705
1500 x 1500	25	83	1272	25	83	1272	4 x 25	332	5088	125	415	6360

## VARIANTES DE DISEÑO

Técnicas de Filtración S.A. ajusta el Diseño del Equipo y el Proceso de Filtración a las necesidades y requerimientos de cada cliente. Para satisfacer todas las necesidades existen múltiples variantes.



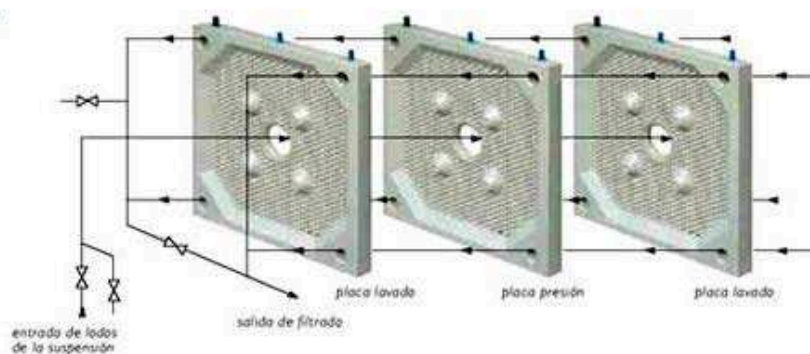
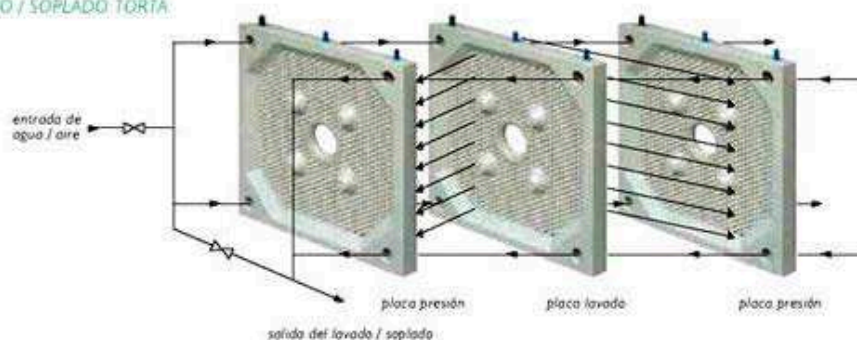
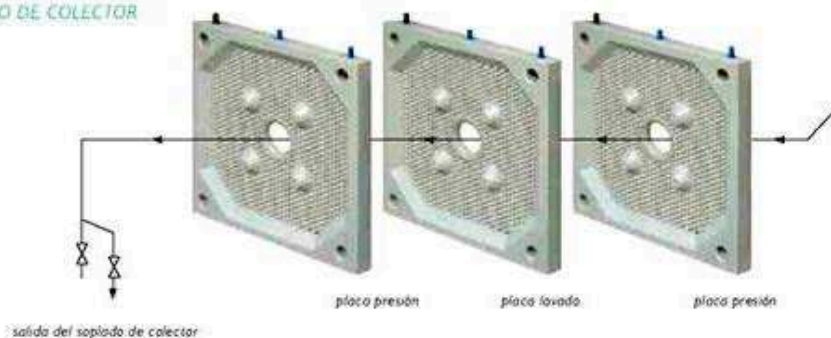
## EJECUCIÓN ABIERTA

- Fácil inspección de la calidad del líquido filtrado.
- Fácil detección de una posible rotura de telas.
- Posibilidad de anulación de una cámara mediante la instalación de grifos.

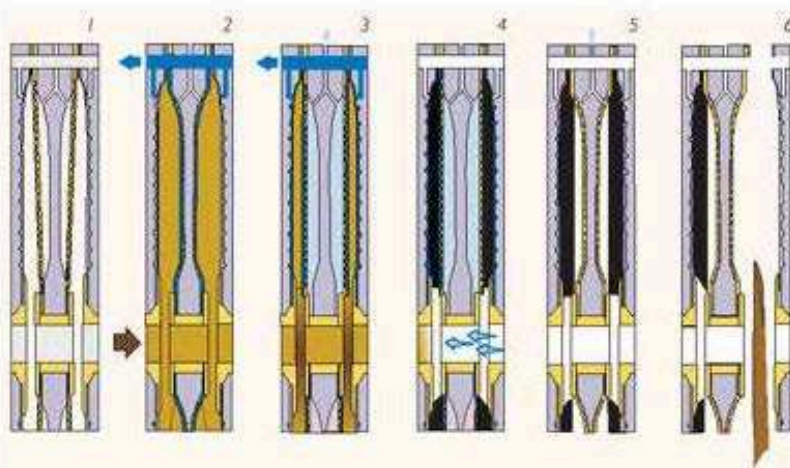
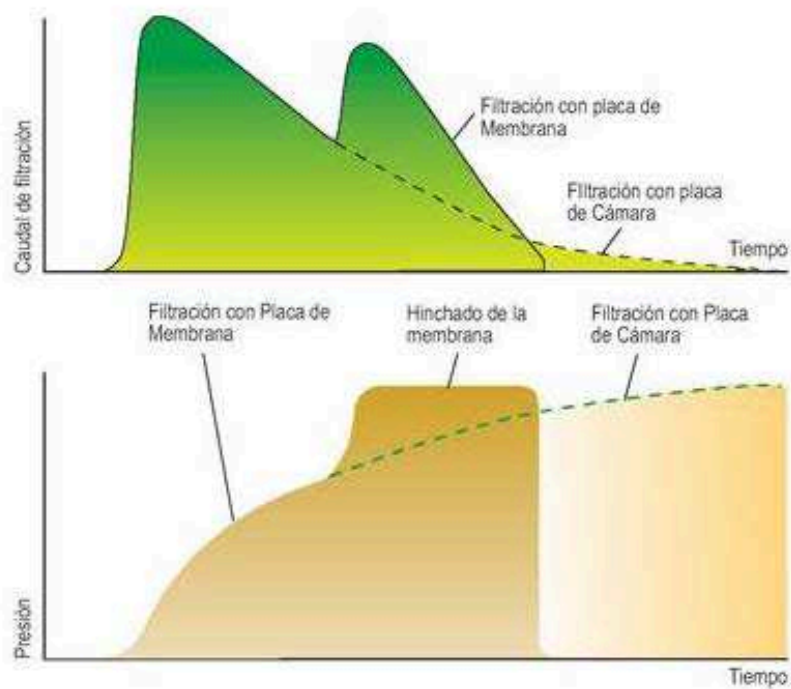
## EJECUCIÓN CERRADA

- Ideal para trabajar con productos peligrosos.
- Idóneo para evitar el contacto con el líquido filtrado y protegerlo de posibles contaminaciones.
- Posibilidad de realizar lavados y/o sopladados de la torta.



**PROCESO FILTRACIÓN****PROCESO LAVADO / SOPLADO TORTA****PROCESO DE SOPLADO DE COLECTOR****VARIANTES DE PROCESO****Placas de Cámara vs Placas de Membrana:**

- Reducción del tiempo de filtración.
- Obtención de tortas con mayor sequedad.
- Mayor productividad del equipo.
- Máxima flexibilidad de Proceso: Ideal para el lavado de productos.



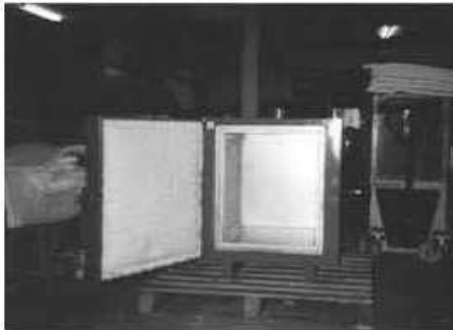
- 1-Posición Inicial
- 2-Filtración
- 3-Hinchado de las membranas
- 4-Soplado de colector
- 5-Deshinchado de las Membranas
- 6-Descarga de las tortas

EQUIPO: Estufa de secado eléctrica

**EMISON**

## ESTUFAS ELÉCTRICAS

### GENERALIDADES



**Nuestras estufas, de la contrastada calidad de todos nuestros productos, están totalmente diseñadas por EMISON, con tecnología propia, e incorporando los últimos avances de la electrónica, aplicada a la calefacción, y las nuevas técnicas de aislamiento.**

**Son fruto de un cuidado diseño y todo el know how de un equipo de profesionales especialistas en la construcción de hornos. Como consecuencia ofrecen la más alta rentabilidad con la mínima inversión inicial.**

**Nuestros hornos ofrecen mínimo mantenimiento, funcionamiento constante y sin averías, fácil manipulación y control del trabajo y la mejor relación de costo por unidad fabricada. El sistema de calefacción eléctrica de la mayoría de nuestros modelos no necesita de trámites oficiales ni proyectos de homologación para su instalación. El horno está fabricado con los más modernos materiales, de gran calidad y conceptos de alta tecnología.**

**El horno se entrega listo y preparado para empezar a funcionar inmediatamente, y rentabilizar rápidamente la inversión. Nuestro sistema especial patentado de calentamiento utiliza al máximo la energía radiante de las resistencias lo que posibilita la baja potencia instalada del horno. Permiten la máxima repetitividad de los procesos de fabricación, lo que se traduce en la máxima calidad de los procesos, que se traduce en una rentabilidad de la producción sin fallos ni pruebas en cada hornada.**

**Son de calentamiento rápido, con gran homogeneidad y estabilidad de la temperatura, repetitividad de los procesos con economía de costos, consumos y mantenimiento.**

**Se fabrican los modelos descritos en la adjunta hoja, si bien bajo presupuesto podemos fabricar cualquier modelo que se nos solicite. Están previstas para temperaturas de hasta 500 °C con recirculación de aire (series CF y CFV) o sin recirculación (serie CN) y con solera móvil (serie CFV)**

**Nuestros hornos están fabricados íntegramente en España sin la**



**utilización de partes provenientes de países en expansión, de dudosa calidad. Tampoco importamos hornos de éstos países.**

**Al ser fabricantes y no utilizar partes provenientes de los países emergentes de Asia u otros de bajo precio y nula calidad podemos ofrecer la máxima garantía. Es posible que encuentren hornos con un costo de compra inferior, provenientes en todo o en parte de China y otros países asiáticos principalmente, pero no es posible comparar calidades ni duración del horno.**



**Todos nuestros productos son de tecnología propia, fruto de nuestro departamento de I + D, al que dedicamos un 3% del conjunto de nuestra facturación. Ello nos permite ofrecer los mejores precios del mercado al no tener que pagar costosos royalties. Somos la única Empresa que puede ofrecer 5 años de garantía en todos nuestros hornos de serie.**

**Además de la garantía de una empresa con más de 50 años en el mercado, siempre fiel y al servicio de sus clientes, EMISON dispone de una empresa propia servicio técnico, SATE, que puede encargarse de formar al personal encargado del funcionamiento del horno, y realizar el mantenimiento preventivo y correctivo.**

**Se fabrican los modelos descritos a continuación, si bien bajo presupuesto podemos fabricar cualquier modelo que se nos solicita.**

#### **CONSTRUCCIÓN**



**Se presentan en un atractivo mueble de construcción metálica, a partir de chapas y perfiles de acero laminado en frío, con un tratamiento especial anticorrosivo, de gran robustez y ligereza, con avanzado diseño y pintura epoxídica de agradables tonos, lo que le confiere una larga vida y un acabado estéticamente agradable.**

**Interiormente son de acero dulce tratado (series CF y CFV) para temperaturas de hasta 300°C y de acero AISI 304 para temperaturas**

superiores. Bajo presupuesto podemos incluir bandejas, soportes u otros elementos para facilitar la carga y descarga.

La puerta es de abertura lateral, de una o dos hojas, con cierre de laberinto. La expulsión de los gases se efectúa mediante una chimenea regulable a voluntad.

#### **CONTROLES DE FUNCIONAMIENTO**

El cuadro de control y maniobra contiene los elementos necesarios para programar y mantener una temperatura cualquiera. La regulación de temperatura se realiza mediante un pirómetro. Bajo pedido puede adaptarse otro tipo de control para puesta en marcha, paro, control de velocidad de calentamiento etc.

La electrificación se ha previsto a 230 V II fases en maniobra y 230 o 400 V en potencia. Todo el circuito eléctrico está debidamente protegido con conductores ampliamente dimensionados.

#### **AISLAMIENTO**

El aislamiento se realiza mediante fibras minerales y cerámicas de baja masa térmica y gran poder calorífico, cuidadosamente dispuestas en estratos a fin de reducir las pérdidas de calor.

El perfecto aislamiento conseguido permite un ambiente fresco de trabajo.

#### **CALENTAMIENTO**

Las resistencias eléctricas están colocadas en los laterales del horno e incorporadas a una masa de hormigón refractario especial que permite una gran uniformidad en la temperatura y las protege de la agresión de los posibles gases desprendidos por la carga y resguarda así mismo a las paredes del horno de golpes y rozadura durante la carga y descarga, (serie CN) lo que garantiza una larga vida.

En las series CF y CFV los calefactores son blindados con aletas radiadoras, de hilo al aire o placas calefactoras en función de las dimensiones de la estufa, el material a tratar y la temperatura de trabajo.

En todo caso están ampliamente sobre dimensionados, y son de fácil sustitución con conexionado frío en la puerta posterior del horno, protegida por cárter. Eventualmente el calentamiento puede ser mediante G. L. P. u otro combustible.

#### **CARACTERÍSTICAS ESTUFAS**

<b>MODELO</b>	<b>DIMENSIONES INTERIORES</b>	<b>TEMPERATURA Hasta 300 °C</b>	<b>TEMPERATURA Hasta 500 °C</b>
---------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------



	<b>ANCHO</b>	<b>ALTO</b>	<b>FONDO</b>	<b>Kw</b>	<b>PRECIO</b>	<b>Kw</b>	<b>PRECIO</b>
<b>CN - 35</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>1'5</b>	<b>1.520</b>	<b>3</b>	<b>2.390</b>
<b>CN - 80</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>2</b>	<b>1.958</b>	<b>4</b>	<b>3.150</b>
<b>CN - 150</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>3</b>	<b>2.580</b>	<b>5</b>	<b>3.965</b>
<b>CN - 360</b>	<b>60</b>	<b>100</b>	<b>60</b>	<b>4</b>	<b>3.360</b>	<b>6</b>	<b>5.380</b>
<b>CN - 500</b>	<b>65</b>	<b>120</b>	<b>65</b>	<b>6</b>	<b>4.180</b>	<b>8</b>	<b>6.650</b>
<b>CF - 150</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>5</b>	<b>3.850</b>	<b>7</b>	<b>6.160</b>
<b>CF - 300</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>60</b>	<b>7</b>	<b>5.040</b>	<b>9</b>	<b>8.260</b>
<b>CF - 500</b>	<b>70</b>	<b>100</b>	<b>70</b>	<b>10</b>	<b>6.170</b>	<b>13</b>	<b>9.870</b>
<b>CF - 725</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>13</b>	<b>7.360</b>	<b>7</b>	<b>11.780</b>
<b>CF - 1000</b>	<b>80</b>	<b>120</b>	<b>100</b>	<b>16</b>	<b>8.380</b>	<b>20</b>	<b>13.400</b>
<b>CF - 1200</b>	<b>80</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>18</b>	<b>9.110</b>	<b>22</b>	<b>14.580</b>
<b>CF - 1500</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>22</b>	<b>9.960</b>	<b>27</b>	<b>15.940</b>
<b>CF - 1800</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>120</b>	<b>24</b>	<b>10.880</b>	<b>30</b>	<b>17.400</b>
<b>CF - 2100</b>	<b>100</b>	<b>180</b>	<b>120</b>	<b>27</b>	<b>12.000</b>	<b>34</b>	<b>19.280</b>
<b>CF - 2600</b>	<b>120</b>	<b>180</b>	<b>120</b>	<b>31</b>	<b>12.605</b>	<b>39</b>	<b>20.210</b>
<b>CF - 3250</b>	<b>120</b>	<b>180</b>	<b>150</b>	<b>36</b>	<b>13.625</b>	<b>45</b>	<b>21.800</b>
<b>CF - 4500</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>150</b>	<b>40</b>	<b>14.925</b>	<b>50</b>	<b>23.890</b>
<b>CVF - 1000</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>18</b>	<b>11.130</b>	<b>23</b>	<b>17.810</b>
<b>CVF - 1500</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>100</b>	<b>22</b>	<b>13.335</b>	<b>29</b>	<b>21.340</b>
<b>CVF - 2350</b>	<b>125</b>	<b>150</b>	<b>125</b>	<b>27</b>	<b>16.170</b>	<b>36</b>	<b>25.880</b>
<b>CVF - 2700</b>	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>31</b>	<b>18.070</b>	<b>40</b>	<b>29.920</b>
<b>CVF - 3375</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>36</b>	<b>19.600</b>	<b>46</b>	<b>31.360</b>
<b>CVF - 4500</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>40</b>	<b>21.100</b>	<b>57</b>	<b>33.560</b>
<b>CVF - 6000</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>52</b>	<b>22.920</b>	<b>66</b>	<b>36.670</b>
<b>CVF - 7500</b>	<b>150</b>	<b>250</b>	<b>250</b>	<b>59</b>	<b>24.975</b>	<b>74</b>	<b>39.500</b>

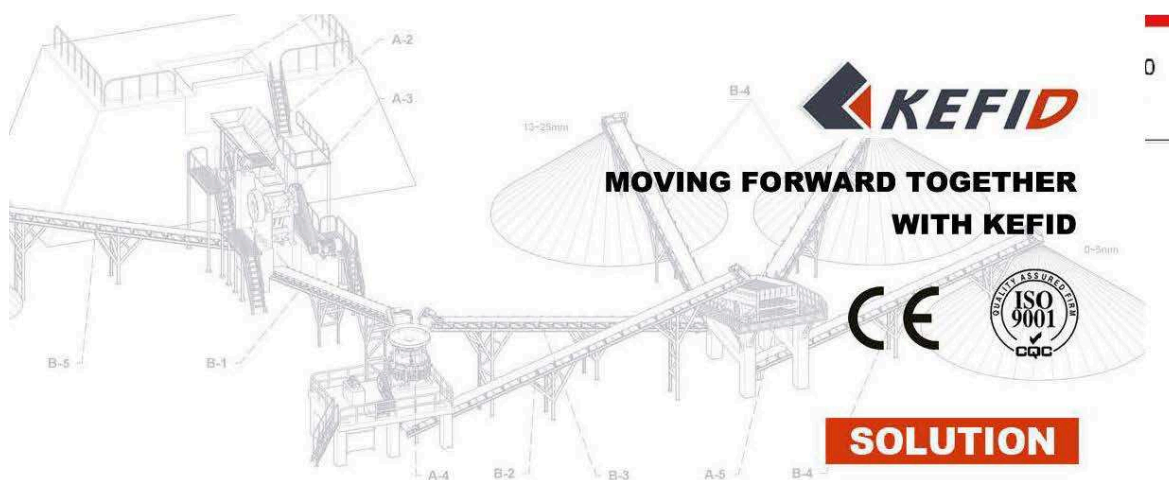
---

**DIMENSIONES INTERIORES en cm Ancho x Alto x Fondo**

- \* **HORNOS INDUSTRIALES \* EQUIPOS DE SECADO \* ARTES DEL FUEGO (CERÁMICA - ESMALTE FORJA - VIDRIO) \* EQUIPOS PARA JOYERÍA \***
- \* **TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE METALES \* INDUSTRIA DENTAL Y LABORATORIO \* HORNOS PARA LIMPIEZA TÉRMICA \***
- \* **EQUIPOS PARA INCINERACIÓN \* ESTUFAS, SECADO Y CALEFACCIÓN \* HORNOS PARA FUNDICIÓN \***
- \* **CUADROS Y ELEMENTOS DE CONTROL \* HORNOS DE ALTA TEMPERATURA \* HORNOS PARA INDUSTRIAS ALIMENTARIAS \***



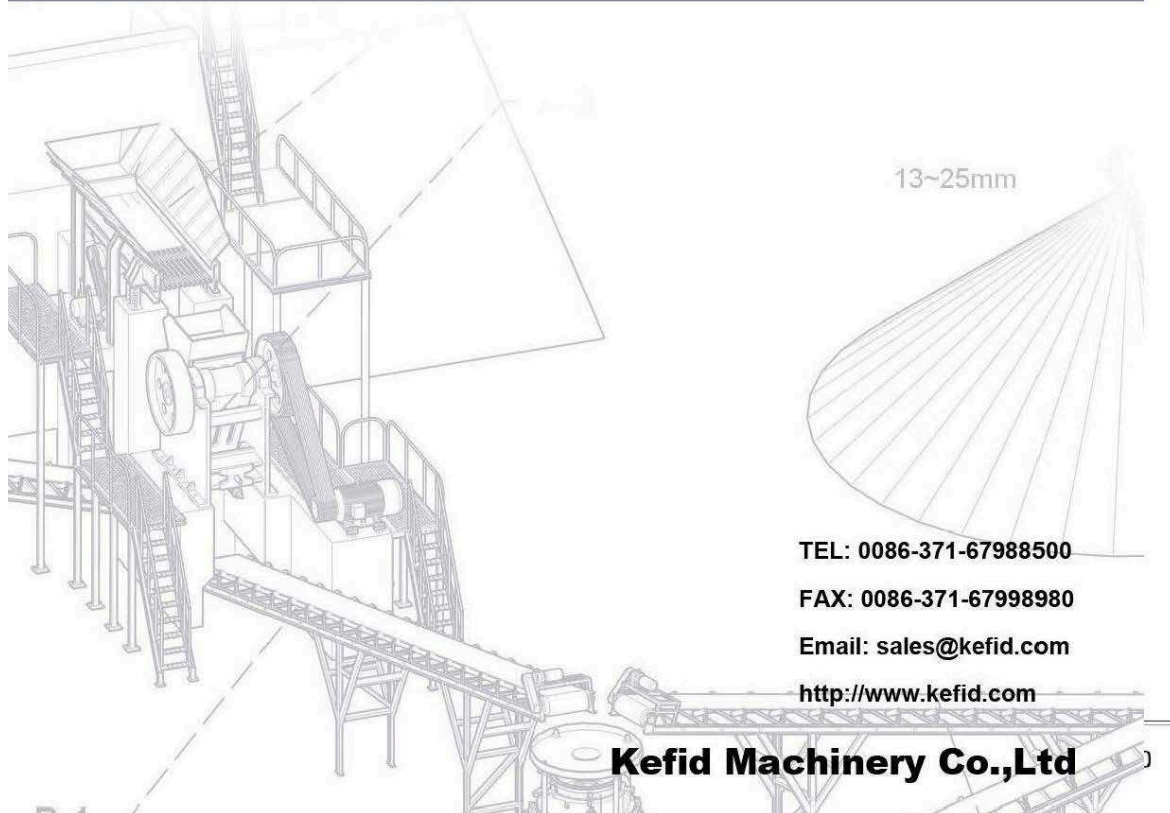
**EQUIPO: Molino pulverizador**



Dear Mr. Carlos Haro,

According to your information, we recommend you our HGM grinding mill HGM80. The details, prices and other information are as following content. Any question, please be free to contact me. It will be my pleasure to help.

Best regards  
Ms. Celia





**MOVING FORWARD TOGETHER  
WITH KEFID**



TEL: 0086-371-67988500  
Email: [sales@kefid.com](mailto:sales@kefid.com)

**ATTN: Mr. Carlos Haro**

**From: Ms. Celia**

**Email: [kefid@kefid.com](mailto:kefid@kefid.com)**

**Cell: +86 15225166987**

## CONTENTS

PART A: BACKGROUND

PART B: QUOTATION LIST

PART C: COMMERCIAL TERMS

PART D: TECHNICAL SERVICE

PART E: AFTER-SALE SERVICE

PART F: HGM80 FLOW CHART

PART G: KEFID WORKSHOP & EQUIPMENTS

PART H: KEFID IN THE WORLD

PART I: WELCOME TO VISIT OUR FACTORY!

PART J: KEFID CERTIFICATE



**MOVING FORWARD TOGETHER  
WITH KEFID**



TEL: 0086-371-67988500  
Email: sales@kefid.com

## PART A: BACKGROUND

Raw material: Clay

Input size: 10mm

Output size: 325mesh

Capacity: 3TPH

## PART B: QUOTATION LIST

No.	Equipment	Model	Qty.	Power	FOB China port
			(pcs)	(KW)	(USD)
1	Grinding Mill	HGM80	1	119.35	<b>20958.50</b>
2	Bucket Elevator	TH200x8M	1	3	
3	Electric Switch Box	Big	1		
4	Vibrating Feeder	GZ1F	1	0.06	

Technical data for HGM80 main frame

(Item)	Unit	Specification
Number of roller	Piece	21
Roll table ring	Piece	1x3
Evenly working principle	mm	1000
Inlet	mm	≤10
Final size	μm mesh	5-47 325-2500
Capacity	Kg/h	500-3500

## PART C: COMMERCIAL TERMS

- The quotation list is valid in one month from 2011-9-6
- All the motor is included in the quotation. We can specially order the motor which is different from Chinese voltage and frequency;
- Terms of Payment: 30% as advance payment by T/T, 70% should be paid before goods leave seller's factory by irrevocable L/C at sight or T/T.
- Quality Guarantee: The guarantee period for equipment is one year, excluding the wear and tear parts.
- The brand of components: The steel of the main structure is the Q235B (UK standard is 4360-40B (C), and USA K02502), the steel is from Bao Steel company (it is Chinese biggest and best steel). China famous brand motor (IEC standard).
- Time of Delivery: 30 working days after receipt of the advance payment.

## PART D: TECHNICAL SERVICE

- Design for production line flow and equipment layout freely according to the site.
- Technical documentary: During 5 days after receiving the advance deposit, the seller will provide operating instruction and all relative drawings.



**MOVING FORWARD TOGETHER  
WITH KEFID**



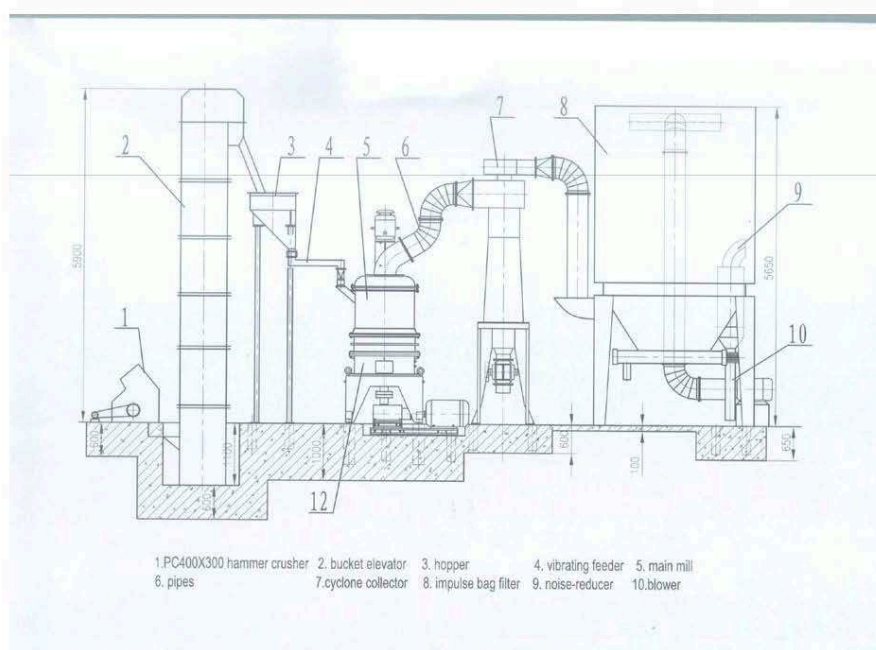
TEL: 0086-371-67988500  
Email: sales@kefid.com

3. During the operation, we can offer the technology service freely if the user needs to adjust the layout and application.

## PART E: AFTER-SALE SERVICE

1. During the installation and commissioning, we shall send our technician to the site for guiding the installation and commissioning, and train your workers how to operate equipments.
2. The buyer should pay the cost such as lodging and eating and so on, and pay the service fee USD 50/day/person.
3. The quality assurance date is one year (exclude the quick wear parts) after commissioning, but not exceed 15 months from date on which machine leaves the factory.
4. If the equipments appear the equipment failure because of improper handling of user, we are in charge of maintenance, and collect the appropriate cost.
5. We offer the components with favorable price, perdurable maintenance. After quality assurance date, if the equipments need to be repaired, we only collect the cost price.

## PART F: HGM80 FLOW CHART





# **KEFID**

**MOVING FORWARD TOGETHER  
WITH KEFID**

**CE**



TEL: 0086-371-67988500

0086-371-67999255

FAX: 0086-371-67998980

Website: [www.kefid.com](http://www.kefid.com)

Email: [sales@kefid.com](mailto:sales@kefid.com)

Zip Cede: 450001

MSN: [kefidmachinery@hotmail.com](mailto:kefidmachinery@hotmail.com)

Address: National HI-TECH Industry Development Zone,  
Zhengzhou, China

## ANEXO VIII

### ANÁLISIS ECONÓMICO PRELIMINAR DEL PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE ARCILLAS DE BLANQUEO USADAS

#### Parámetros del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Para iniciar el análisis financiero del proyecto fue necesario primero fijar algunos parámetros importantes del mismo.

**Tabla A.14.** Parámetros del proyecto para realizar el análisis económico preliminar del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

NOMBRE DEL PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR DEL PARÁMETRO
Aportación de socios	USD	USD 50 000,00
Aporte patronal al IESS	% de valor sueldo o salario	11,15
Bonificación mensual		0
Compensación mensual	USD	0
Costo de construcción de bodegas y galpones por m2	USD/m2	USD 50,00
Costo de construcción de oficinas por m2	USD/m2	USD 50,00
Costo de construcción de galpón fabril	USD/m2	USD 50,00
Duración de capital de operación	meses	1
Imprevistos	% de costos de producción	0%
Impuesto a la renta sobre utilidades	%	45
Interés bancario por anualidad	%	10%
Mantenimiento de maquinaria y equipos	% valor de maquinaria y equipo	5
Mantenimiento de edificios	% del valor de edificios	2
Nombre del proyecto	N/A	Recuperación de arcillas de blanqueo
Número de turnos de trabajo		1
Reparación de maquinaria	% de Inversión en Maquinaria y Equipo	2
Tasa de seguro de muebles y equipos de oficina	tantos por mil del valor asegurado	0

**Tabla A.14.** Parámetros del proyecto para realizar el análisis económico preliminar del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas (**continuación...**)

Tasa de seguro de transporte de mercaderías	tantos por mil del valor asegurado	5
Tasa de seguro de maquinaria Y equipo	tantos por mil del valor asegurado	5
Tasa de seguro inmuebles	tantos por mil del valor asegurado	5
Amortización de edificios	años	10
Amortización de maquinaria y equipo	años	5
Amortización de muebles y equipo de oficina	años	5
Amortización de otros activos	años	5
Fecha de ejecución del perfil de factibilidad	AAAA-MM-DD	2 011-10-05

**Equipos y muebles de oficina requeridos en la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas**

Los diferentes muebles y equipos de oficina requeridos para la empresa se presentan a continuación:

**Tabla A.15.** Requerimiento de equipos y muebles de oficina para la planta de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Denominación	Número de unidades	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)	Dividendo anual de amortización (USD)
Escritorio	3	300,00	900,00	180,00
Sillones para escritorio	6	200,00	1 200,00	240,00
Computadores	4	500,00	2 000,00	400,00
Sumadoras de rollo de papel	0	40,00	0,00	0,00
Archivadores	3	200,00	600,00	120,00
Estanterías y repisas	3	150,00	450,00	90,00
Sillas	6	60,00	360,00	72,00
mesa de conferencia	2	300,00	600,00	120,00
<b>TOTALES</b>	<b>27</b>	<b>1 750,00</b>	<b>6 110,00</b>	<b>1 222,00</b>

### Precio de venta de la arcilla de blanqueo recuperada

En la siguiente tabla se ilustra el precio de venta del producto obtenido, que en este caso es arcilla de blanqueo recuperada:

**Tabla A.16.** Ingreso total por venta de la arcilla de blanqueo recuperada

Designación del producto	Cantidad de producto por día de 8 horas	Cantidad de producto producido por mes <sup>1</sup>	Cantidad de producto producido por año <sup>2</sup>	Precio de venta (USD/kg)	Ingresos anuales por ventas (USD)
Arcilla recuperada, kg	5 100,17	153 005,10	1 836 061,20	0,25	459 015,30
Aceite recuperado, kg	3 099,00	92 970,00	1 115 640,00	0,00	0,00
<b>TOTAL INGRESO POR VENTAS</b>					<b>459 015,30</b>

1: Mes de 30 días

2: Año de 12 meses

### Flujo de caja del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

El flujo de caja obtenido para 10 años de labores se presenta a continuación:

**Tabla A.17.** Flujo de caja del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

Designación	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Aportación de socios	50 000,00			
Ventas		459 015,30	459 015,30	459 015,30
(-) Costo de producción		243 005,30	243 005,30	243 005,30
(-) Gasto de venta				
(-) Gasto de administración		38 216,64	38 216,64	38 216,64
Flujo bruto		177 793,36	177 793,36	177 793,36
Dividendo de financiamiento	-206 457,94	20 759,52	20 759,52	20 759,52
Flujo antes de impuestos		157 033,84	157 033,84	157 033,84
(-) Impuesto a la renta		70 665,23	70 665,23	70 665,23
Flujo después de impuestos		86 368,61	86 368,61	86 368,61
Flujo acumulativo		-170 089,33	-83 720,72	2 647,89
Inversión total	-256 457,94			



**Tabla A.17.** Flujo de caja del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas  
(continuación...)

<b>Designación</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>
Aportación de socios				
Ventas	459 015,30	459 015,30	459 015,30	459 015,30
(-) Costo de producción	243 005,30	243 005,30	243 005,30	243 005,30
(-) Gasto de venta			0,00	0,00
(-) Gasto de administración	38 216,64	38 216,64	38 216,64	38 216,64
Flujo bruto	177 793,36	177 793,36	177 793,36	177 793,36
Dividendo de financiamiento	20 759,52	20 759,52	20 759,52	20 759,52
Flujo antes de impuestos	157 033,84	157 033,84	157 033,84	157 033,84
(-) Impuesto a la renta	70 665,23	70 665,23	70 665,23	70 665,23
Flujo después de impuestos	86 368,61	86 368,61	86 368,61	86 368,61
Flujo acumulativo	89 016,51	175 385,12	261 753,73	348 122,34
Inversión total				

**Tabla A.17.** Flujo de caja del proyecto de recuperación de arcillas de blanqueo usadas  
(continuación...)

<b>Designación</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
Aportación de socios			
Ventas	459 015,30	459 015,30	459 015,30
(-) Costo de producción	243 005,30	243 005,30	243 005,30
(-) Gasto de venta	0,00	0,00	0,00
(-) Gasto de administración	38 216,64	38 216,64	38 216,64
Flujo bruto	177 793,36	177 793,36	177 793,36
Dividendo de financiamiento	20 759,52	20 759,52	20 759,52
Flujo antes de impuestos	157 033,84	157 033,84	157 033,84
(-) Impuesto a la renta	70 665,23	70 665,23	70 665,23
Flujo después de impuestos	86 368,61	86 368,61	86 368,61
Flujo acumulativo	434 490,95	520 859,57	607 228,18
Inversión total			

### Balance Pro forma de la empresa de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

A continuación se presenta los activos, pasivos y el patrimonio de la empresa:

**Tabla A.18.** Activos de la empresa de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

<b>ACTIVOS</b>		
<b>ACTIVOS CORRIENTES</b>		
Caja y Bancos	Nota 1	USD 1 98 043,80
Cuentas por cobrar		USD 0,00
Inventarios		USD 0,00
Otros activos corrientes		USD 0,00
<b>TOTAL ACTIVOS CORRIENTES</b>		<b>USD 198 043,80</b>
<b>PROPIEDADES</b>		
Terreno y construcciones		USD 81 164,00
Maquinaria y equipo		USD 148 933,50
Muebles y equipo de oficina		USD 6 110,00
Otros activos		USD 0,00
<b>TOTAL PROPIEDADES</b>		<b>USD 236 207,50</b>
<b>TOTAL ACTIVOS</b>		<b>USD 434 251,30</b>

**Nota 1:** Flujo de caja bruto + inversión total - propiedades

**Tabla A.19.** Pasivos y patrimonio de la empresa de recuperación de arcillas de blanqueo usadas

<b>PASIVOS</b>		
<b>PASIVOS CORRIENTES</b>		
Cuentas por pagar		USD 0,00
Impuestos y gastos acumulados	Nota 2	USD 91 424,74
<b>TOTAL PASIVOS CORRIENTES</b>		<b>USD 91 424,74</b>
<b>TOTAL PASIVOS</b>		<b>USD 91 424,74</b>
<b>PATRIMONIO DE LOS ACCIONISTAS</b>		
Capital social	Nota 3	USD 256 457,94
Utilidades retenidas		USD 86 368,61
<b>TOTAL PATRIMONIO DE LOS ACCIONISTAS</b>		<b>USD 342 826,55</b>
<b>TOTAL</b>		<b>USD 434 251,30</b>

**Nota 2:** Impuestos por pagar + dividendo de amortización

**Nota 3:** Inversión total