

1-1-2016

Evaluación de alternativas para el aprovechamiento del residuo de la filtración de un aceite comestible

Lilian Camila Cortés Gómez

Sonia Liliana Torres Cruz

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

Citación recomendada

Cortés Gómez, L. C., & Torres Cruz, S. L. (2016). Evaluación de alternativas para el aprovechamiento del residuo de la filtración de un aceite comestible. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/58

This is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL
RESIDUO DE LA FILTRACIÓN DE UN ACEITE COMESTIBLE**

LILIAN CAMILA CORTÉS GÓMEZ

SONIA LILIANA TORRES CRUZ

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C.

2016

**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL
RESIDUO DE LA FILTRACIÓN DE UN ACEITE COMESTIBLE**

LILIAN CAMILA CORTÉS GÓMEZ

SONIA LILIANA TORRES CRUZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingenieras Ambientales y Sanitarias

Director

JULIO CÉSAR RAMÍREZ RODRÍGUEZ

Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C.

2016

Nota de aceptación

DIRECTOR

Julio César Ramírez Rodríguez
Ingeniero Químico
Magister en ingeniería ambiental

JURADO

Javier Mauricio González Díaz
Ingeniero Ambiental y Sanitario
Especialista en evaluación de impacto ambiental de proyectos
Magister en geografía

JURADO

Yanneth Parra Martínez
Ingeniera Química
Magister en educación

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que me dio la fuerza y la sabiduría para culminar con este proyecto, a las personas que me impulsaron en este proceso, en primer lugar, a mi familia quienes, con su aliento, sacrificio, en días buenos y otros no tanto, siempre estuvieron apoyándome y brindándome las herramientas que se encontraban a su alcance para el desarrollo de esta tesis.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ingeniero Julio César Ramírez por permitirme llevar a cabo esta investigación bajo su dirección, su apoyo, confianza además de su capacidad para guiar el proyecto y su gran aporte, no solo en el desarrollo de esta tesis sino también en mi formación como profesional.

Camila Cortés Gómez

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, a mis padres por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, por darme la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y por brindarme una vida llena de experiencias, aprendizajes y sobre todo felicidad, a mi hermano por ser parte de mi vida y representar la unidad familiar.

Agradezco de manera especial al Ingeniero Julio César Ramírez Rodríguez que, como director de tesis, deseo reconocer su trabajo y dedicación, así como sus sugerencias y observaciones siempre inteligentes y oportunas, con un interés y una entrega que han sobrepasado, por mucho, todas las expectativas.

Sonia Liliana Torres Cruz

CONTENIDO

1.	RESUMEN.....	1
2.	ABSTRACT	3
3.	INTRODUCCIÓN.....	5
4.	OBJETIVOS.....	6
4.1.	Objetivo general.....	6
4.2.	Objetivos específicos	6
5.	MARCO DE REFERENCIA	7
5.1.	Marco conceptual	7
5.2.	Marco teórico	13
6.	ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN.....	18
6.1.	Generalidades	18
6.2.	Materias primas.....	19
6.3.	Proceso de producción	21
6.4.	Descripción del proceso	22
6.4.1.	Descargue y almacenamiento en tanques.....	22
6.4.2.	Refinación.....	22
6.4.3.	Desodorización	23
6.4.4.	Interesterificación, hidrogenación y fraccionamiento	23
6.4.5.	Preparación de mezcla grasa	24
6.4.6.	Preparación de margarinas.....	24
6.4.7.	Empaque del producto final	24
6.4.8.	Almacenamiento y distribución.....	24
7.	DIAGNÓSTICO DEL RESIDUO	26
7.1.	Definición del residuo.....	26
8.	METODOLOGÍA	28
9.	RESULTADOS	29

9.1.	Alternativas de aprovechamiento.....	29
9.2.	Análisis fisicoquímico del residuo	32
9.3.	Aprovechamiento del residuo.....	40
9.4.	Sistema de tratamiento	42
10.	CONCLUSIONES	48
11.	RECOMENDACIONES	50
12.	BIBLIOGRAFÍA	52

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades de las semillas	17
Tabla 2. Muestras estudiadas	27
Tabla 3 Alternativas de aprovechamiento.....	32
Tabla 4 Análisis fisicoquímico	39
Tabla 5 Rango para calificación.....	40
Tabla 6 Matriz de selección	41

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Proceso de producción.....	21
Diagrama 2. Metodología del proyecto de grado.....	28
Diagrama 3 Uso de tierras de blanqueo extraídas.....	43
Diagrama 4 Uso de tierras de blanqueo para la alternativa mezcla de concentrado para animales.....	43
Diagrama 5 Costo-beneficio de alternativa seleccionada para la empresa C.I SIGRA. S.A.....	44

LISTA DE GRÀFICAS

Gràfica 1. Resultados fisicoquímicos DBO (mg O ₂ /L).....	32
Gràfica 2. Resultados fisicoquímicos DQO (mg O ₂ /L)	33
Gràfica 3. Resultados fisicoquímicos fosfatos (mg/L PO ₄ ³)	34
Gràfica 4. Resultados fisicoquímicos grasas y aceites (g/L)	35
Gràfica 5. Resultados fisicoquímicos nitrógeno total (mg/L).....	37
Gràfica 6. Resultados fisicoquímicos pH	38

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Vaso velp con muestra filtro de hidrogenación	36
Ilustración 2. Vasos velp con muestras de filtro continuo y filtro final	37

1. RESUMEN

La empresa C.I SIGRA S.A se dedica a la producción y comercialización de aceites y grasas vegetales, teniendo como base aceite de palma, palmiste, soya, canola y girasol. Durante el proceso productivo, los aceites son sometidos a los siguientes tratamientos: almacenamiento en tanques, refinación, desodorizado, interesterificación, hidrogenación, fraccionamiento, pos tratamiento, hasta llegar a la planta de margarinas, estos procesos son los establecidos para la obtención de los aceites o margarinas para consumo humano. El enfoque del estudio es en el pretratamiento, planta de refinación, donde se realiza una filtración utilizando arcillas que tienen como nombre tierras de blanqueo usadas, con las que se logra una limpieza en el aceite, extrayendo gomas, algunos residuos de semillas y hasta metales. Al finalizar este proceso se tiene como resultado el aceite libre de impurezas; sin embargo, el residuo de las tierras de blanqueo queda concentrado en los filtros con hasta un porcentaje del 30% de aceite.

El residuo de tierras de blanqueo que se generan en la empresa se produce en grandes cantidades, aproximadamente 60 toneladas al mes. El principal objetivo de este trabajo es evaluar las posibles alternativas para el aprovechamiento de este residuo de filtración del aceite comestible.

Para llevar a cabo este estudio, primero se estableció el estado actual de las tierras de blanqueo, evaluando en cada una los principales parámetros fisicoquímicos, (DBO, DQO, fosfatos, grasas y aceites, nitrógeno total y pH), segundo, se realizó una matriz con 9 posibles alternativas de aprovechamiento y 5 (cinco) variables, estas fueron evaluadas por medio de un valor y un color determinado, siendo para el menor puntaje cero (0) con color rojo y para

el mayor puntaje mil (1000) con color verde, es decir, que la alternativa de aprovechamiento más acertada tendría que ser la de mayor puntuación entre las variables utilizadas. En esta matriz no se tomaron valores o calificaciones intermedias a excepción de la variable de los parámetros fisicoquímicos que fueron evaluados por la cantidad de parámetros que se requieren para cada alternativa.

De lo anterior se determinó un sistema de tratamiento con la alternativa de aprovechamiento con mayor puntaje para el uso de las tierras de blanqueo como concentrado de alimentos para animales, en especial para bovinos y aves. Siendo esta la alternativa con una puntuación de tres mil trescientos (3300) puntos.

Finalmente, la guía de operación que se elaboró para que esta alternativa de aprovechamiento se lleve a cabo es, que a la hora de ser usado o consumido por los animales este se emplee directamente como comida, no se le adiciona un solvente o algún otro químico que lo pueda alterar, la empresa encargada debe recoger la muestra o el residuo cada dos a tres días en la empresa C.I SIGRA S.A donde se hace recomendable recolectarlo en una volqueta por cuestiones de seguridad, higiene y facilidad a la hora de transportarlo, teniendo en cuenta que son tierras de olores fuertes.

2. ABSTRACT

The company C.I. SIGRA S.A is dedicated to the production and marketing of vegetable oils and fats, having as base oil palm, palm kernel, soybean, canola and sunflower. During the production process, oils are subjected to the following treatments: tank storage, refining, deodorization, interesterification, hydrogenation, fractionation, after treatment, to reach the plant margarines, these processes are established for obtaining oils or margarines for human consumption. The focus of the study is the pretreatment, refining plant, where filtration is performed using clays whose name bleaching earth used, with a cleaning oil is obtained, extracting gums, some waste seed and even metals. Upon completion of this process results in the oil free of impurities; however, the residue of the bleaching earth is concentrated on filters with up to a percentage of 30% oil.

The bleaching earth residue generated in the company occurs in large quantities, 60 tons per month approximately. The main objective of this study was to evaluate possible alternatives to the use of this filtration residue of edible oil.

To carry out this study, first the current state of bleaching earth was established, evaluating each major physico-chemical parameters (DBO, DQO, phosphates, fats and oils, total nitrogen and pH), second, it was performed matrix with 9 possible alternative uses and 5 (five) variables, these were evaluated by a value and a certain color, being for the least zero (0) score with red color and the highest score thousand (1000) with Color green, ie the most successful alternative use would have to be the highest score among the variables used. In this matrix no values or intermediate qualifications were taken except for the variable physicochemical parameters were evaluated by the number of parameters required for each alternative.

From the above treatment system with the alternative of use with the highest score for the land use bleach as concentrated animal feed, especially for cattle and poultry it was determined. This being the alternative with a score of three thousand three hundred (3300) points.

Finally, the operation guide that was developed for this alternative use is carried out is, that when it is used or consumed by animals this is used directly as food, there is added a solvent or some other chemical who can alter, the company responsible must collect the sample or residue every two to three days in the company CI SIGRA SA where it is advisable to collect it in a truck for safety, hygiene and ease in transporting, taking into lands that are strong odors.

3. INTRODUCCIÓN

C.I. SIGRA S.A está ubicada en la ciudad de Bogotá, en la localidad de Puente Aranda. Es una empresa dedicada a la elaboración de productos de consumo como: margarinas para panaderías, margarinas para pastelerías, margarinas de cocina, margarinas hojaldre y aceites, todos estos son únicamente de extracción vegetal. Los productos anteriormente mencionados son elaborados a través de un proceso de tecnología avanzada y una excelente calidad.

Durante la etapa de refinación del aceite comestible, se generan tierras de blanqueo. Hasta hace algunos años estas tierras se han convertido en un proceso fundamental para mejorar la calidad de los aceites vegetales comestibles sin importar la práctica que se les daba a las tierras al terminar su proceso, teniendo en cuenta que este residuo de tierra se genera en grandes cantidades y por su contenido graso el riesgo de combustión puede aumentar en la manipulación, transporte o almacenamiento. Pero hoy en día esta metodología cambio e hizo un giro hacia un enfoque de manejar igual calidad, pero aprovechando las tierras que se desechan o se utilizan de maneras poco favorecedoras para las empresas que las emplean.

Las alternativas de aprovechamiento o de tratamiento de este residuo se han vuelto muy comunes, y existen diversidad de ellas, lo que se busca en la elaboración de este proyecto de grado es dar las bases para realizar un nuevo sistema de tratamiento de las tierras de blanqueo de la empresa C.I SIGRA S.A, con el fin de hacer una selección y aumentar la utilidad de ellas, buscando la mejor posibilidad de aprovechamiento teniendo un aporte significativo para la compañía y el medio en general.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Evaluar alternativas para el aprovechamiento del residuo de la filtración de un aceite comestible.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar la situación actual de la generación del residuo de filtración a través de un diagnóstico que permita conocer las cantidades y características del residuo producido.
- Seleccionar las posibles alternativas de aprovechamiento del residuo a través de una matriz de selección que incluya condiciones técnicas de costos preliminares y de requerimiento de equipos.
- Proponer un sistema de tratamiento incluyendo su predimensionamiento y la guía de operación.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. Marco conceptual

- ✓ **Aceite:** El aceite desodorizado se lleva a las plantas de envasado de aceite comestible, donde se envasa en contenedores normalmente de plástico o vidrio, en diversas presentaciones en cuanto a capacidad y origen del aceite. (comisión nacional del medio ambiente., 1998)

- ✓ **Agua destilada:** La destilación se usa para purificar el agua, en este proceso los contaminantes disueltos tales como las sales disueltas se quedan en el tanque donde el agua hierve, mientras que el vapor de agua libre de impurezas se eleva hacia fuera. La destilación es un método de separación, que se utiliza en la de producción de agua destilada (Pura) donde básicamente se separan los componentes líquidos de una mezcla. Por lo tanto, el agua destilada es H₂O sin compuestos añadidos. Esta agua destilada es la más frecuente utilizada como reactivo químico en los laboratorios para trabajar. (EcuRed, 2016)

- ✓ **Aprovechamiento y/o valorización:** Es el proceso de recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos o desechos peligrosos, por medio de la recuperación, el reciclado o la regeneración. (Ministerio de Medio ambiente y desarrollo territorial., 2005)

- ✓ **Cadena del transporte:** Está compuesta por aquellas personas naturales o jurídicas (remitente, dueño o propietario de la mercancía peligrosa, destinatario, empresa de transporte, propietario o tenedor del vehículo y conductor) que intervienen en la operación de movilización de mercancías peligrosas de un origen a un destino. (Ministerio de medio ambiente y desarrollo territorial, 2002)

- ✓ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** de un afluente doméstico o industrial, es la cantidad de oxígeno disuelto que puede ser consumido por oxidación bioquímica de materia orgánica degradable, bajo condiciones específicas. La DBO es solamente un índice general, cualitativo o semicuantitativo de los compuestos orgánicos susceptibles de ser degradados en un corto período de tiempo. (Vives, 2003)

- ✓ **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte. Específicamente representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato en solución ácida. (Gil, 2009)

- ✓ **Disposición Final:** Es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de

gases y lixiviados y cobertura final. (Ministerio de ambiente y desarrollo territorial, 2002)

- ✓ **Disposición Final Controlada:** Es el proceso mediante el cual se convierte el residuo en formas definitivas y estables, mediante técnicas seguras. (Ministerio de medio ambiente y desarrollo territorial., 2000)

- ✓ **Éter de petróleo:** La ligroina (también conocido comercialmente como Éter de petróleo o Bencina de Petróleo) es un disolvente utilizado en diversas industrias, así como tintorerías; disolviendo en particular aceites y grasas, tanto comestibles como lubricantes y caucho. Puede sustituir como disolvente al Tolueno. (Universidad Nacional de Ingeniería, 2009)

- ✓ **Fosfatos:** Los fosfatos disponibles define los grados de deficiencia, suficiencia o exceso de este elemento en relación a su disponibilidad. (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas , 2009)

- ✓ **Generador:** Cualquier persona cuya actividad produzca residuos o desechos peligrosos. Si la persona es desconocida será la persona que está en posesión de estos residuos. (Ministerio de Medio ambiente y desarrollo territorial. , 2005)

- ✓ **Grasas y aceites:** son ésteres (compuestos orgánicos) formados por la unión de ácidos grasos y glicerol. Su estado es líquido o sólido. Son solubles en solventes no polares.

Algunas sustancias extraíbles, como los ácidos grasos y grasas insaturadas, se oxidan rápidamente, de ahí, se incluyen precauciones especiales para minimizar este efecto. (Obregón, 2016)

- ✓ **Hidróxido de sodio o soda caustica:** es el químico más ampliamente usado para controlar el pH, es siempre adicionada para solubilizar y activar los lignosulfonatos. Los factores comunes para seleccionar la soda cáustica son su fuerte alcalinidad y su facilidad de almacenamiento y manejo. (Petro Canada , 2016)

- ✓ **Minimización de residuos en un proceso productivo:** Es la optimización de los procesos productivos tendientes a disminuir la generación de residuos sólidos. (Henao, 2008)

- ✓ **Nitrógeno total:** El nitrógeno es uno de los elementos esenciales para la vida, el nitrógeno molecular (N_2) compone el 78% de la atmósfera, esta forma de nitrógeno no puede usarse por los animales ni por la mayoría de las plantas en la fabricación de aminoácidos y proteínas esenciales. Este nitrógeno molecular, primero, ha de "fijarse" (combinado con oxígeno o hidrógeno) para formar compuestos tales como amoniacó (NH_3) o nitrato (NO_3^-), o alguna otra forma orgánica de nitrógeno. (Portland State University, 2012)

- ✓ **pH:** Mide la actividad de los H^+ libres en la solución (acidez actual) y de los H^+ fijados sobre el complejo de cambio (acidez potencial). La acidez total es la suma de las dos,

porque cuando se produce la neutralización de los H⁺ libres se van liberando H⁺ retenidos, que van pasando a la solución. (Truog, 2013)

- ✓ **Receptor:** El titular autorizado para realizar las actividades de almacenamiento, aprovechamiento y/o valorización (incluida la recuperación, el reciclado o la regeneración), el tratamiento y/o la disposición final de residuos. (Ministerio de Medio ambiente y desarrollo territorial. , 2005)

- ✓ **Recuperación:** Es la acción que permite seleccionar y retirar los residuos sólidos que pueden someterse a un nuevo proceso de aprovechamiento, para convertirlos en materia prima útil en la fabricación de nuevos productos. (Ministerio de ambiente y desarrollo territorial, 2002)

- ✓ **Residuo sólido:** es cualquier objeto, material, sustancia o elemento solido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. (Secretaria del medio ambiente y desarrollo rural., 2010)

- ✓ **Residuo Aprovechable:** Cualquier material, objeto, sustancia o elemento que no tiene valor para quien lo genera, pero se puede incorporar nuevamente a un proceso productivo. (Ministerio de ambiente y desarrollo territorial, 2002)

- ✓ **Residuo No Aprovechable:** Todo material o sustancia que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación a un proceso productivo. No tiene ningún valor comercial, por lo tanto, requieren de disposición final. (Ministerio de ambiente y desarrollo territorial, 2002)

- ✓ **Residuo Peligroso:** Es aquel residuo o desecho que, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo a la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases o embalajes que hayan estado en contacto con ellos. (Ministerio de Medio ambiente y desarrollo territorial., 2005)

- ✓ **Tierras de blanqueo:** Las tierras de blanqueo representan un importante residuo sólido. De hecho, se estima su uso entre 1% a 1,5% del total del volumen de aceite procesado. Las tierras de blanqueo son utilizadas por todas las industrias aceiteras que efectúan el proceso de refinación. Estas quedan embebidas en aceite, siendo la concentración de aceites del orden del 30-50% de las tierras evacuadas. (comisión nacional del medio ambiente., 1998)

- ✓ **Tratamiento:** Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos o desechos peligrosos, teniendo en cuenta el riesgo y grado de peligrosidad de los mismos, para incrementar sus posibilidades de aprovechamiento y/o valorización o para minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente. (Ministerio de Medio ambiente y desarrollo territorial., 2005)

5.2. Marco teórico

En Colombia, la industria de aceites está organizada sobre la base de los productos de la agroindustria de la palma de aceite, que, junto con los aceites crudos de soya, girasol, canola y palmiste importados, constituyen el grueso de materias primas utilizadas en la elaboración de aceites comestibles, margarinas y mantecas. Algunos no son aptos para consumo humano, como el de algodón y otros. El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía. El aceite crudo debe purificarse para mejorar algunos atributos y permitir procesarlo exitosamente para obtener finalmente productos terminados de calidad adecuada.

Tipos de aceite comestibles

La perfecta armonía entre color, olor y sabor indica que la elaboración del aceite se ha hecho de forma correcta y que el producto es de calidad. El consumo de aceite se ha generalizado en todo el mundo. En el mercado existen dos tipos de aceites comestibles, ambos de origen vegetal.

- El aceite de los frutos, obtenido directamente del prensado, donde el aceite de oliva es el único de uso alimentario
- El aceite de las semillas, cuya obtención no es directa del prensado, sino que pasa por una etapa de extracción con disolventes. (Farfán, 2013)

Para la elaboración de margarinas y mantecas se tiene que realizar una operación o proceso de refinación, existen varias técnicas.

Proceso ácido arcilla: La carga de lubricante usado es sometida a evaporación de aquellos productos ligeros como agua e hidrocarburos del rango de la gasolina; posteriormente el aceite se trata con ácido sulfúrico, obteniéndose un rendimiento aproximado de 85% en relación con el producto tratado. Finalmente se realiza una filtración con arcilla y cal para mejorar su color y acidez. Su rendimiento global es del 70% y tras el filtrado queda un desecho entre 3 y 4% que debe manejarse como RESPEL.

Extracción por solvente: En este caso el aceite pasa inicialmente por una sedimentación que sirve también para la homogenización; luego, se adiciona el solvente y se agita en proporciones adecuadas para asegurar una completa miscibilidad de la base lubricante en el solvente. El solvente debe retener los aditivos y las impurezas orgánicas de los aceites usados, los cuales floculan en una sedimentación posterior. Estos lodos son sometidos a lavado y evaporación con el ánimo de eliminar restos de aceite y solventes. Este proceso reemplaza el de ácido arcilla, produciendo un lodo orgánico útil en lugar de un lodo tóxico.

Destilación en vacío e hidro-tratamiento: El aceite usado es deshidratado y son eliminados parte de los hidrocarburos livianos, luego se envía a una torre de destilación a vacío, donde se extraen por la cabeza los componentes livianos remanentes, que pueden usarse como combustibles, y quedan en el fondo los contaminantes pesados (metales, productos de polimerización y materiales asfálticos). (UNAD, 2009)

Con las anteriores técnicas mencionadas se encuentra que, para la fabricación de aceite vegetal por medio de la extracción de semillas, el proceso de refinación es el de la extracción por solvente el más útil, eficiente y por supuesto el más económico. Al obtener el aceite de las semillas este tiene un nombre colectivo como aceite crudo. Los componentes menores de los

aceites crudos y que son indeseables para el sabor, estabilidad, aspecto y para su procesamiento, deben ser removidos o reducida su participación. Dentro de estos componentes están los ácidos grasos libres, mono y di-glicéridos, fosfátidos, mucílagos, pigmentos, compuestos proteicos, restos de semillas, residuos de pesticidas, hidratos de carbono, tocoferoles, esteroides, colesterol, hidrocarburos, etc.

El proceso a través del cual se logra este objetivo es la neutralización y el blanqueo. En efecto, el primer proceso importante en las refinerías, es la neutralización que se realiza en forma batch, o bien, en forma continua. Los procesos batch se tienen en Plantas que operan en pequeña escala, 20 a 50 ton/día, siendo estas instalaciones de un menor costo de capital, sin embargo, la operación se hace más dependiente del operador, las pérdidas son mayores y la calidad obtenida es inferior. (Comision Nacional del medio ambiente , 1998)

El blanqueo es una operación unitaria utilizada dentro del proceso de refinación en donde se genera arcilla gastada como sub producto del proceso de refinación del aceite. En el contexto el blanqueo se define como la interacción física y química de un medio que pueda absorber, en este caso tierra, la cual entra en contacto con un aceite para mejorar su calidad. Este proceso es el encargado de reducir el contenido de algunos contaminantes en el aceite, como lo son: metales, jabones, fósforo, clorofila y otros productos de oxidación y pro-oxidantes. Esta etapa se lleva a cabo en estanques de acero al carbono, cerrados, de unos 10 m³ de capacidad, en los cuales se acondiciona la temperatura del aceite y se pone en contacto con la tierra activada un tiempo breve y definido, período en el que se verifica la adsorción. Posteriormente la tierra es retenida en filtros quedando el aceite neutro-blanqueado listo para procesos posteriores. Todo este proceso debe realizarse bajo vacío para protección del aceite. El aceite neutro-blanqueado se

almacena en estanques de hierro, constituyendo un pulmón de una cantidad adecuada para los procesos que le siguen. (Comision Nacional del medio ambiente , 1998)

El aceite natural es una mezcla de triglicéridos diferentes, los cuales a su vez pueden formarse de ácidos grasos diferentes; son líquidos a temperatura ambiente y contienen mayor porcentaje de esteres de ácidos insaturados. (Farfàn, 2013)

Químicamente los aceites vegetales son esteres de ácidos grasos y glicerol. Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos (radical COOH) de largas cadenas lineales. Algunos de ellos son saturados y algunos contienen uno o más dobles enlaces. El glicerol es un trioxialcohol, 1, 2, 3 – propanotriol. Los esteres formados de una mol de glicerol y tres moles de ácido graso se llaman triglicéridos (TAG). Los ácidos grasos al unirse con el glicerol liberan tres moléculas y agua para formar los TAG. (Farfàn, 2013)

Cada semilla tiene sus propiedades químicas, algunas con componentes más altos que otros, pero, sin embargo, la utilidad de estos para la realización de los aceites comestibles es muy buena, y aunque para cada margarita o manteca que se realice no se necesitan los mismos aceites o una mezcla de ellos para eso son los procesos de interesterificación, fraccionamiento, refinación e hidrogenación. Las propiedades comúnmente encontradas en las semillas son:

PROPIEDADES DE ACEITES COMESTIBLES VEGETALES	
PROPIEDAD	VALOR
Aceite	23%
Ácidos grasos mono insaturados	37-63%
Ácidos grasos poliinsaturados	9-29%
Azufre	2 ppm
Cenizas	6%
Fibra	6%
Fosforo	2 ppm
Grasas saturadas	7%
Hidratos de carbono	8,4 g
Humedad	0,13-13,0 %
Índice de yodo	16-58 cgI_2/g
Magnesio	399 mg
Potasio	740 mg
Proteínas	44%
Punto de fusión	20-45 °C
Vitamina E	22 mg

Tabla 1 Propiedades de las semillas

Fuente: (Unipalma, 2008)

Las diferentes propiedades de los aceites están relacionadas directamente con el número y estructura química de los ácidos grasos unidos al glicerol (di glicérido, monoglicérido y triglicérido), así como también con el grado de saturación (Hugh,2000) y la longitud de la cadena del mismo.

6. ANTECEDENTES DE PRODUCCIÓN

6.1. Generalidades

En nuestro país, la cadena productiva de las oleaginosas, aceites y grasas ocupa el quinto lugar dentro de los macro sectores agroindustriales. De hecho, la producción de este sector corresponde al 9% del PIB de agroindustria.

De acuerdo con PROCOLOMBIA, nuestro país produce el 37,7% del total de aceites, grasas y margarinas de América Latina. Eso la consolida como la primera productora de la región, seguida de lejos por Ecuador, quien participa con el 15,5%. “Costa Rica participa con el 10%, Brasil, 8,4% y Honduras 7,9%”. (Díaz, 2010). Por su parte, en estos cinco países está representado el 80% de la producción de aceites y grasas de Latinoamérica.

Las microempresas representan el 34% de la industria de fabricación nacional de aceites y grasas. Éstas se ubican principalmente en Bogotá y su actividad comercial está relacionada con la producción de mantecas. Las grandes empresas representan el 41% de la industria nacional. (Díaz, 2010).

La empresa C.I SIGRA S.A ubicada en la ciudad de Bogotá, localidad de Puente Aranda se dedica a la elaboración de aceites y grasas de origen vegetal. Esta empresa inició sus labores en el año de 1957 con una única planta de producción en la ciudad de Bogotá, actualmente exporta sus productos a países como Chile, Perú y Argentina, además de estar presente en la mayoría de departamentos de Colombia. Los principales productos que se elaboran en la empresa son: margarinas para panadería, pastelería y hojaldre, aceites para el hogar y para pastelería, cremas

vegetales y productos adicionales como desmoldantes, esencias y productos grasos para hacer arepas.

6.2. Materias primas

En esta industria las materias primas que se utilizan para la elaboración de los aceites vegetales son extraídos de Maní, Casanare, son aceites crudos de diferentes tipos y en diferente proporción, el 80% de su producción total proviene de la Palma y el 20% restante proviene de la soya, canola, y girasol certificados por los proveedores de los mismos.

La empresa C.I SIGRA S.A utiliza el aceite de estas semillas principalmente, cabe resaltar que a la empresa llega el aceite crudo listo para iniciar el proceso.

Fruto de palma: Es un aceite de origen vegetal obtenido del mesocarpio del fruto de la palma de aceite. Es una grasa en forma líquida o semisólida, de acuerdo con la temperatura ambiente, que contiene aproximadamente 50% de ácidos grasos saturados, 40% de ácidos grasos mono insaturado y 10 % de ácidos grasos poli-insaturados. El aceite de palma, por su origen, no contiene colesterol, es fuente de vitaminas A y E. (Indupalma , 2016)

Semilla de palmiste: se extrae de la almendra de la semilla del fruto de la palma. Representa entre un 3-6 % del peso fresco del racimo. Su composición química es completamente diferente a la del aceite de palma rojo. El aceite de palmiste es semi-sólido a temperatura ambiente. Tras su transformación es más utilizado por la industria cosmética (jabones y cremas), la industria

química (barniz, pintura, resina), la fabricación de detergentes y también la industria agroalimentaria. (Alnicolsa , 2013)

Semilla de soya: Es extraído, con disolventes o presión mecánica de las semillas de soya (*Glycine soya*, SEZ, Soya insípida, *Dolichos soya L.*), las cuales contienen 20% de este aceite. Consiste básicamente de una mezcla de glicéridos de los ácidos grasos palmítico, esteárico, oleico, linoleico y linoleico. Su densidad es igual a 0.92 g/cm³. Tiene una baja volatilidad. Presenta poca viscosidad a temperatura baja, sin embargo, el aceite por presión se altera con facilidad. Por ello, el que se halla en el mercado es refinado e hidrogenado. (DMedicina , 2001)

Semilla de canola: El aceite de canola se obtiene a partir de las semillas (*Brassica napus*, *B. campestris*), se utiliza el método de extracción y disolvente para una mayor producción de aceite y se puede someter a un refinado. De hecho, es el aceite que menor cantidad de aceites grasos saturados contiene, a la vez que es el mayor aportador de aceite oleico. Por tanto, su composición es mayoritariamente mono insaturado por su alto contenido de ácido oleico, con niveles de entre 50 y 60% de su contenido y también omega 6 y omega 3. (Botanical , 2010).

Semilla de girasol: En el aceite de girasol se extrae de las semillas (*Helianthus annuus L.*) los ácidos grasos poliinsaturados se encuentran en abundantes cantidades, es una buena fuente de vitamina E, beneficia a la salud del corazón tiene, con un alto contenido oleico es un aceite con un 82% de grasa mono insaturada, 9% de grasa poliinsaturada y 9% de grasa saturada. El aceite linoleico contiene un 20% de grasa mono insaturada, 11% de grasa saturada y 69% de grasa

poliinsaturada. El aceite de girasol de medio contenido oleico posee 65% de grasas mono insaturadas, 26% de grasa poliinsaturada y 9% de grasa saturada. (Salud , 2012)

6.3. Proceso de producción

A continuación, se ilustrará el proceso de producción que se lleva a cabo en la empresa C.I SIGRA S.A, para la elaboración de sus productos.

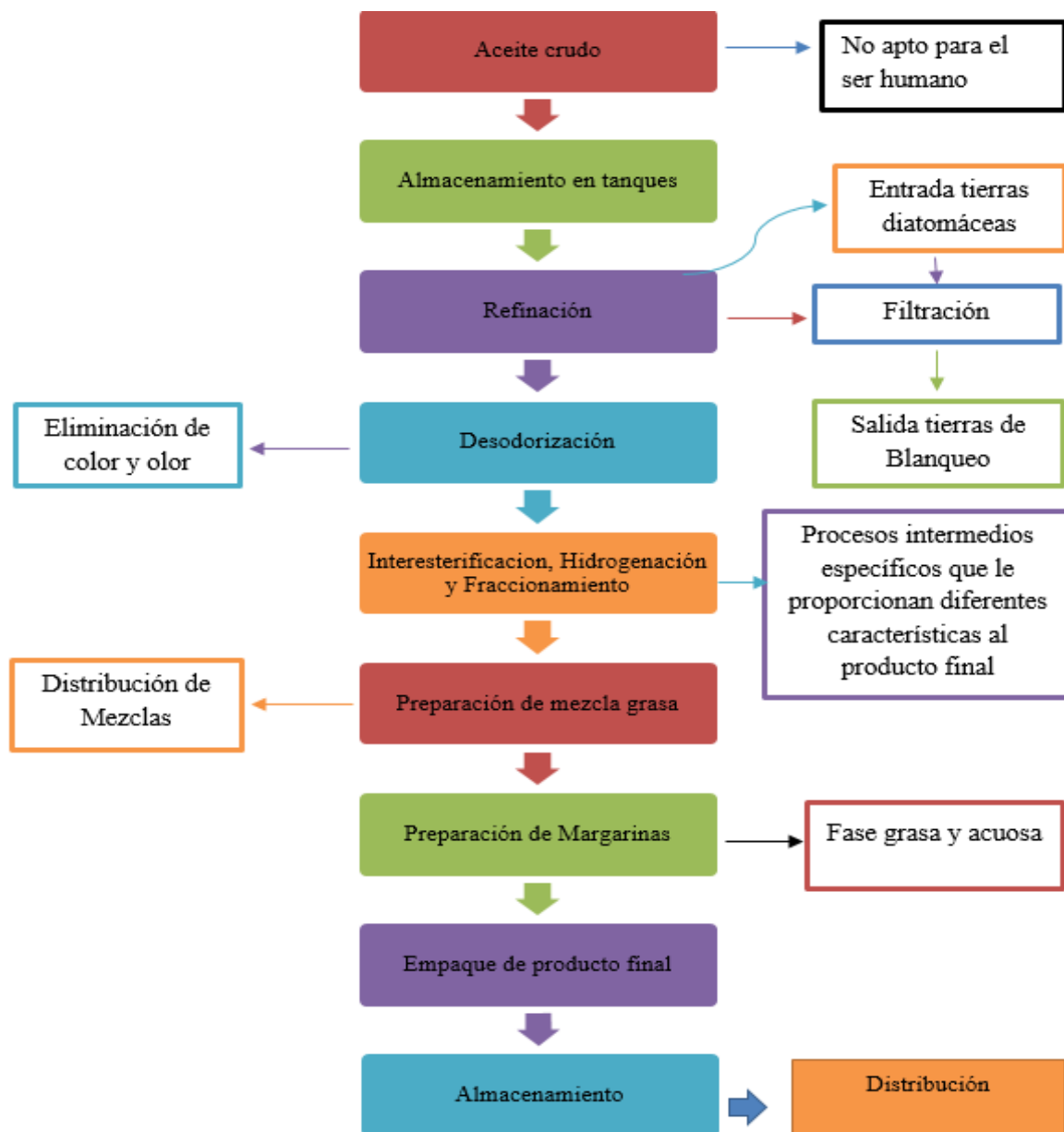


Diagrama 1. Proceso de producción

Fuente: Autoras, 2016

6.4. Descripción del proceso

6.4.1. Descargue y almacenamiento en tanques

Cuando el aceite crudo, es decir recién extraído de la semilla llega a la planta de la empresa en la ciudad de Bogotá es analizado para verificar cumplimiento de parámetros de calidad y si este cumple se procede a realizar el pesaje y a descargarlo a los tanques de almacenamiento por medio de un sistema de bombeo. La capacidad de almacenamiento es de aproximadamente 3000 toneladas/mes distribuidas en 12 tanques con almacenamiento exclusivo para cada tipo de aceite. El almacenamiento en estos tanques se realiza principalmente para evitar que el aceite crudo se mezcle o contamine con otro tipo de grasas, la absorción de olores y sabores extraños, además de protegerlo de la suciedad.

6.4.2. Refinación

La refinación de un aceite crudo se realiza por una serie de procesos que son: pre tratamiento, blanqueo y fraccionamiento.

El pre tratamiento se realiza con el objetivo de eliminar gomas y algunos residuos de semillas, de esta forma se acondiciona el aceite para pasar al proceso de blanqueo y desodorización. Cabe resaltar que este proceso se efectúa principalmente para aceite de palma y el de palmiste.

La etapa de blanqueo tiene como finalidad la refinación o eliminación de impurezas que tiene el aceite, la tierra de blanqueo entra en contacto con el aceite crudo adsorbiendo en la superficie las

impurezas que este lleva, este proceso asegura que esas impurezas no interfieran en las etapas posteriores, además de dejar el aceite apto para consumo humano, asegurando que se cumplan los requerimientos de calidad y seguridad.

6.4.3. Desodorización

En la desodorización se generan una serie de procesos los cuales tienen como finalidad mejorar el olor y el sabor de los aceites mediante la eliminación de los ácidos grasos volátiles y algunas sustancias indeseables. Este es un proceso de destilación con arrastre de vapor a altas temperaturas convirtiendo los aceites sin ningún olor ni sabor. Este proceso se puede realizar de dos formas, tipo batch, o de forma continua, esto va de acuerdo al programa de producción.

6.4.4. Interesterificación, hidrogenación y fraccionamiento

Estos procesos no son necesarios para todos los aceites, que llegan a la empresa, esto solo depende de la funcionalidad del producto, ya que hay margarinas para hojaldres, para galletas, tortas, etc. que hacen que la materia prima sea diferente para cada una ya que no todas las margarinas tienen la misma cantidad de aceite ni son para un mismo producto. Durante estos procesos los aceites presentan cambio en su molécula base (glicerol) y cambian también sus características físicas, una formación de cristales de gran tamaño los cuales permanecen en suspensión en el aceite, pudiendo ser separados en dos productos distintos como lo son una fracción líquida que lleva como nombre oleína y una fracción sólida llamada estearina.

6.4.5. Preparación de mezcla grasa

En la etapa de pos tratamiento se hace una distribución de mezclas, teniendo en cuenta el producto a elaborar, según las especificaciones o uso de los productos se realizan las mezclas entre las materias primas, esto quiere decir que los productos contienen ciertas proporciones de aceite de palma, palmiste, canola, soya y girasol.

6.4.6. Preparación de margarinas

Durante esta fase se mezcla el aceite refinado con los diferentes tipos de ingredientes, allí se le agrega la fase acuosa y se forma la emulsión pasando a las diversas líneas de producción, según el uso de los productos, ya sean para hojaldre, panadería o pastelería.

6.4.7. Empaque del producto final

Durante esta etapa, los productos elaborados y terminados por la empresa se empaquetan teniendo en cuenta el producto, algunos en cajas, otros en frascos, esto varía según la línea de producción y la presentación del mismo.

6.4.8. Almacenamiento y distribución

Luego del empaquetado y etiquetado de los productos terminados, la empresa dispone de una zona en la cual se almacenan las cajas con los productos elaborados, de forma organizada según

la línea de producción para que posteriormente sean transportados y distribuidos a las compañías que lo requieren, así como enviados a otras ciudades de Colombia y a los países a los cuales se exporta como Perú, Chile y Argentina.

7. DIAGNÓSTICO DEL RESIDUO

7.1. Definición del residuo

Durante el proceso de refinación, el aceite puro pasa por un pre tratamiento en donde a los tanques que poseen los aceites se le añade una tierra diatomácea que lleva como nombre Tricil. Esta se utiliza con el fin de eliminar gomas y residuos de las semillas, además permite corregir el color del aceite ya que estas tierras son capaces de retener las impurezas que trae el aceite. El aceite y las tierras permanecen en contacto por un tiempo aproximado de 30 minutos, tiempo en el cual reacciona la mezcla, pasados estos minutos se procede a realizar una filtración del aceite, en donde se tienen dos resultados, en primer lugar, el aceite puro y limpio listo para continuar en el proceso de elaboración de aceites, grasas y margarinas y una torta de la tierra que lleva como nombre Tierra de Blanqueo usada.

Las tierras de blanqueo usadas representan un importante residuo sólido durante la elaboración de grasas y margarinas, por lo cual se hace necesario encontrar un método mediante el cual se puedan aprovechar ya sea logrando que se reintegren de nuevo ciertos de sus componentes al proceso productivo del aceite o darle al residuo un mejor uso para el productor del residuo y beneficioso para el medio ambiente.

En la siguiente tabla se elaboró una comparación de las tierras, donde se muestra como es el recorrido por medio de los tanques, desde que inicia como tierra diatomácea, hasta que finaliza como tierra de blanqueo.

Tierra Diatomea.	Tierra del filtro Continuo	Tierra filtro de Hidrogenación	Tierra del filtro final
			
<p>La Tierra de Diatomeas es un fino talco de color blanco apagado, proviene de los restos fosilizados de fitoplancton marino. Estas tierras son capaces de filtrar el aceite, eliminando sólidos en suspensión y coloides que introducen turbidez al sistema.</p>	<p>Como se puede observar las tierras al finalizar su paso por este filtro toman una coloración marrón y su textura es poco apretada.</p>	<p>En las tierras de blanqueo producto de este proceso se forman una serie de cristales, y tanto su textura como forma son similares a los de la parafina. Como se observa en la imagen las tierras toman una coloración gris.</p>	<p>En la imagen se observa que las tierras adquieren un color negro bastante destacado, la textura en las tierras provenientes de este filtro es suelta, sin embargo, generan un olor muy fuerte.</p>

Tabla 2. Muestras estudiadas

Fuente: Autoras, 2016

Actualmente la empresa C.I SIGRA. S.A dispone las tierras diatomáceas usadas para la realización del compostaje teniendo en cuenta que la calidad de estas, es buena reconociendo esta alternativa como una buena práctica por parte de la compañía.

El aprovechamiento del residuo lo realiza una empresa externa que le cobra a C.I. SIGRA S.A por su recolección, sin embargo, para la empresa no es rentable esta operación por su costo elevado ya que el volumen de residuo que se genera son aproximadamente 60 toneladas al mes.

8. METODOLOGÍA

Para la obtención de resultados de este proyecto se tuvo en cuenta la siguiente metodología alcanzando los ítems enunciados a continuación:

1. Revisión bibliográfica de las alternativas de aprovechamiento actual.
2. Caracterización fisicoquímica del residuo en el laboratorio de la Universidad de La Salle.
3. Matriz de selección de la alternativa adecuada para aprovechamiento del residuo.
4. Sistema de tratamiento y guía de operación de la alternativa seleccionada.

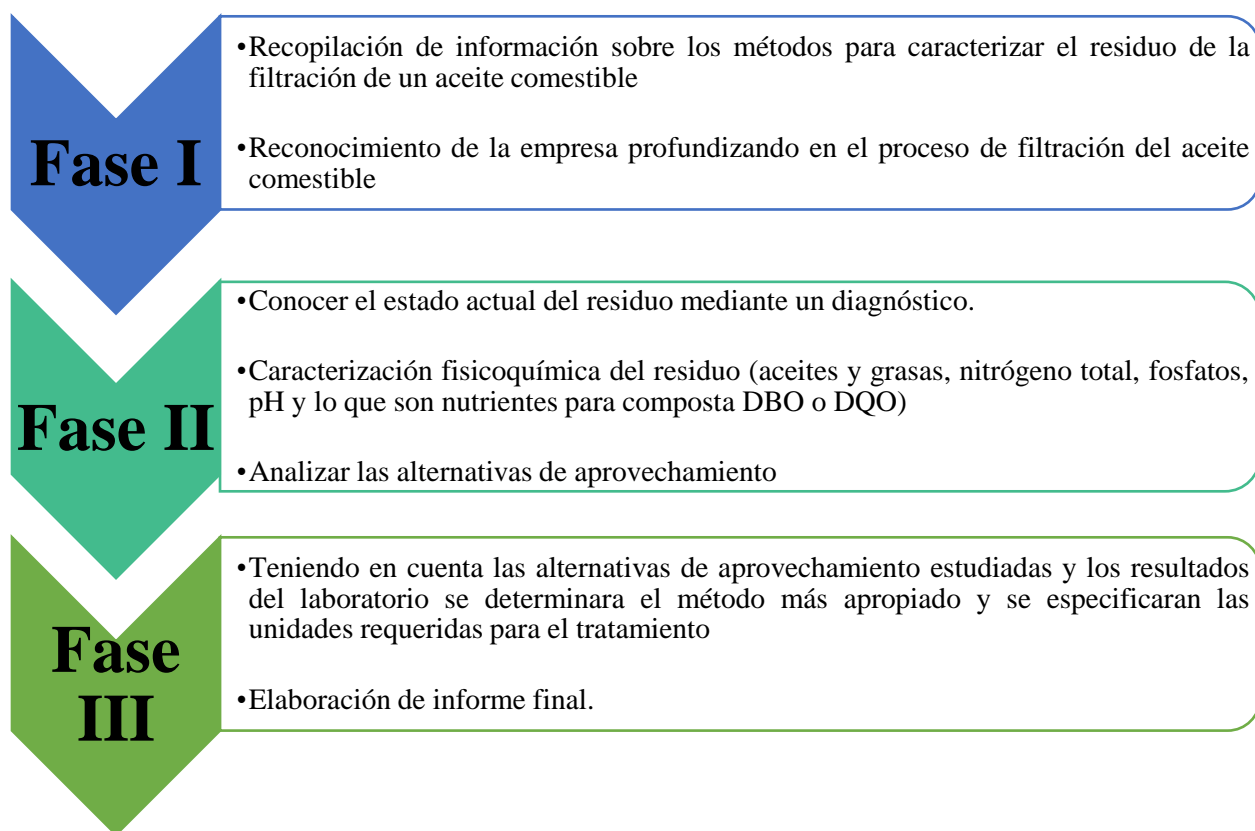


Diagrama 2. Metodología del proyecto de grado.

Fuente: Autores, 2016

9. RESULTADOS

9.1. Alternativas de aprovechamiento

En la siguiente tabla se citan algunas alternativas de aprovechamiento para el residuo a tratar, el respectivo fundamento y algunas ventajas y desventajas de las mismas.

ALTERNATIVA	FUNDAMENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Concentrado en alimentos para animales	Hasta el 3 % de las tierras de blanqueo pueden ser usadas para mezclar en el alimento de los animales sin generar ningún problema. La distribución fina de aceites y grasas sobre la superficie de la tierra de blanqueo asegura una degradación rápida en el tracto digestivo de los animales. (Aniame Tecnologia , 2008)	La dosificación límite que se debe colocar de tierra de blanqueo usada es de 2%, esta le adiciona energía al alimento de 4000Kcal/kg. (Aniame Tecnologia , 2008)	Se debe dosificar solo por determinado tiempo, esta tierra se encuentra restringida para algunos tipos de alimentos para animales. (Aniame Tecnologia , 2008)
Recuperación de aceite.	Es factible la recuperación de aceite a partir de las tierras de blanqueo usadas en la refinación, utilizando solventes como lo son el etanol, el n-hexano, el cloroformo y la acetona. Otro método que se podría utilizar es la extracción con disolventes no polares, con el cual se consigue una mayor recuperación de aceite. (Martinez, 2001)	Bajo condiciones ideales, la actividad de las tierras de blanqueo usadas, se puede recuperar hasta en un 90-95% de la actividad original. (Martinez, 2001)	La recuperación de aceite es un proceso muy costoso, además la calidad del aceite extraído es muy baja y contiene altos niveles de materiales polares. (Martinez, 2001)
Uso en plantas de Biogás	La distribución fina de los aceites sobre la superficie de la tierra de blanqueo garantiza una degradación rápida y un alto rendimiento también para otras aplicaciones biológicas, tales como en las plantas de biogás que producen metano. (Aniame Tecnologia , 2008)	El 100% de los materiales que contiene las tierras de blanqueo usadas son materiales útiles para la generación de biogás. (Aniame Tecnologia , 2008)	Dificultad para el transporte. (Aniame Tecnologia , 2008)

<p>Uso en producción de cementos y fabricación de ladrillos.</p>	<p>Una aplicación importante de las tierras de blanqueo es para la producción de cemento, la parte orgánica sirve como una fuente de energía con un valor energético de orden 10-14MJ/kg dependiendo del contenido de aceite. La parte inorgánica es un silicato de aluminio, una materia prima para la producción de cemento. Las altas trazas de metales pesados tales como el Níquel pueden ser toleradas, ya que se inmovilizan a las altas temperaturas usadas en la producción del cemento. Por lo tanto, esta aplicación y la producción de ladrillos son las únicas recomendadas para la tierra de blanqueo usadas, y contaminadas con níquel que provienen del proceso de hidrogenación de las grasas. (Aniame Tecnología , 2008)</p>	<p>Las tierras de blanqueo se pueden utilizar en un 100% durante esta alternativa de aprovechamiento, proporciona poder calorífico equivalente al que genera el carbón. (Aniame Tecnología , 2008)</p>	<p>La industria del cemento requiere materiales para incineración, y se encuentra limitada la aplicación del conocimiento de esta tecnología. (Aniame Tecnología , 2008)</p>
<p>Mejoramiento de suelos</p>	<p>Las tierras de blanqueo usadas que provienen de la refinación de aceites comestibles es muy adecuada para el mejoramiento de suelos y como un fertilizante debido a que está compuesta casi completamente de materiales que son ya sea biodegradables o inertes y que no inhiben los procesos biológicos. La tierra es especialmente útil para estas aplicaciones cuando contiene una cantidad moderada de fosfatos. Además, la tierra de blanqueo usada aumenta la retención de agua en los suelos y es también usada con éxito para la producción de composta. (Ortiz, 2000)</p>	<p>El material orgánico en las tierras de blanqueo usadas son un excelente nutriente para la micro flora de la tierra, y que al aumentar se genera más CO₂ el cual es necesario para el proceso de fotosíntesis de las plantas. Además, este tipo de tierras aumenta el tiempo de retención de agua en los suelos pobres. (Ortiz, 2000)</p>	<p>La dosis de aplicación debe ser limitada, debido a su naturaleza y a la presencia de metales pesados, hasta cierto punto impermeable, y al auto-calentamiento. (Ortiz, 2000)</p>
<p>Asfalto de caminos</p>	<p>El desempeño del asfalto con un contenido de 10 a 25% de tierras de blanqueo usadas evidencio un buen desempeño que otro tipo de materiales. (Martinez, 2001)</p>	<p>Fácil de emplear, mejora la resistencia al medio ambiente, mantiene o mejora la flexibilidad y aplicación del asfalto</p>	<p>En la actualidad existen pocas plantas de producción, para este tipo de alternativa se generan ciertos retos en cuanto al tema de</p>

		y reduce el contenido de volátiles orgánicos. (Martinez, 2001)	transporte. (Martinez, 2001)
Biodiesel	El biodiesel es un combustible elaborado con aceites vegetales. Con los actuales precios de los combustibles y con las gigantescas alzas del precio internacional, en diferentes países, cada vez se hace interesante y más cercano a la realidad la producción de este tipo de combustibles a partir de residuos aceitosos como una materia prima de bajo costo. (Aniame Tecnologia , 2008)	El material orgánico que contienen las tierras de blanqueo usadas se puede extraer y convertir en metil éster, mediante interesterificación con metanol para hacer biodiesel, el número de plantas activas para esta alternativa se encuentra en crecimiento. (Aniame Tecnologia , 2008)	Su costo es extremadamente alto, además presentaría una menor estabilidad a la oxidación. (Aniame Tecnologia , 2008)
Tratamiento de aguas residuales por bio-regeneración	Esta alternativa se refiere a la adición de materiales para ambientes contaminados a fin de generar la biodegradación natural de contaminantes. (Ortiz, 2000)	Los materiales orgánicos que poseen las tierras de blanqueo usadas promueven la acción de nitrificación y clorinación de las aguas residuales contaminadas, esta materia orgánica sirve de alimento para la flora microbiana en el pretratamiento de aguas negras. (Ortiz, 2000)	Limitada aplicación de esta alternativa. (Ortiz, 2000)
Fabricación de jabones	La fabricación de jabón está basada en la "hidrólisis" en medio alcalino de los glicéridos o grasas naturales o de sus ácidos grasos. Esta reacción se conoce como "saponificación" y produce como resultado un jabón más glicerina o	Las tierras de blanqueo usadas contienen grandes cantidades de aceite, esto o hace un ingrediente atractivo al momento de fabricar jabones, ya que el aceite que poseen estas tierras es	Como para la fabricación de jabones solo se requiere el aceite, las tierras de blanqueo deben pasar por una extracción del aceite, lo cual hace un poco demorado, largo y costoso el proceso. Además, esta

	un jabón más agua. (Ortiz, 2000)	de origen vegetal lo que hace que sea un ingrediente natural para este proceso. (Ortiz, 2000)	alternativa de aprovechamiento es poco frecuente debido a que hasta ahora está tomando fuerza y están conociendo sobre las tierras de blanqueo usadas y su funcionamiento. (Ortiz, 2000)
--	----------------------------------	---	--

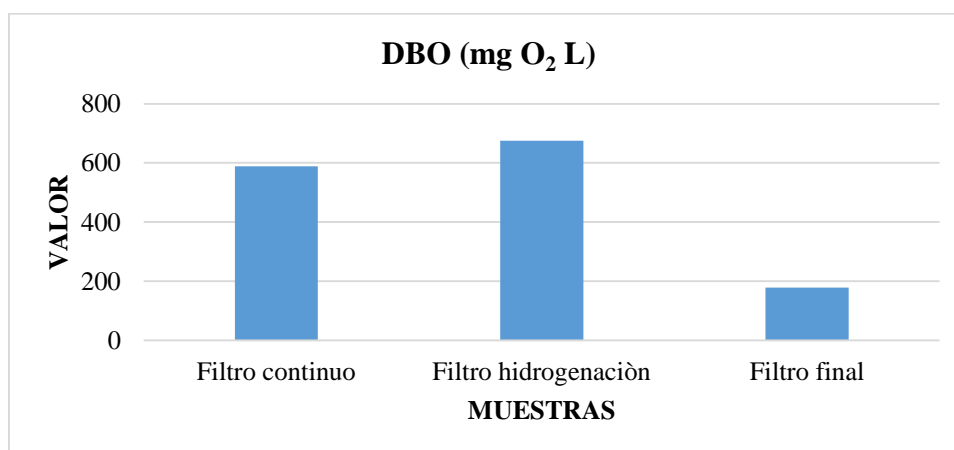
Tabla 3 Alternativas de aprovechamiento

Fuente: Autoras, 2016

9.2. Análisis fisicoquímico del residuo

La caracterización del residuo se realizó en el laboratorio del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, se trabajó durante 8 días, estos parámetros fueron de gran importancia para el desarrollo del proyecto, gracias a ellos se identificó que alternativa de aprovechamiento era la más conveniente.

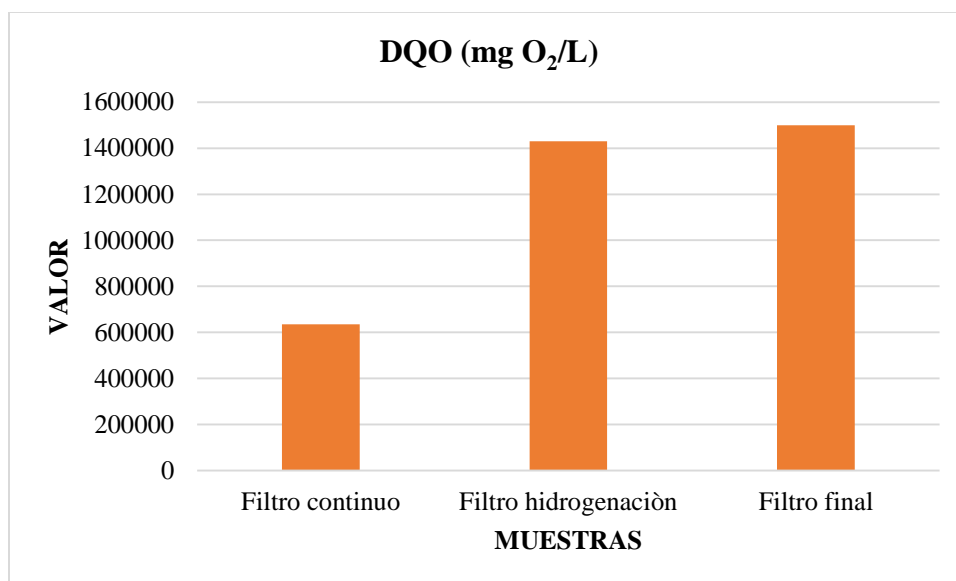
Posteriormente se describió el proceso por el cual se determinó cada parámetro y continuamente su resultado y análisis.



Gráfica 1. Resultados fisicoquímicos DBO (mg O₂/L)

Fuente: Autoras, 2016

El método utilizado para la DBO fue el de DBO_5 , y los resultados como se pueden observar en la gráfica el filtro continuo, el de hidrogenación son de valores relativamente altos de (589) y (675) $mg O_2/L$ respectivamente, teniendo en cuenta que la DQO debe ser mayor que la DBO estos datos que se obtuvieron son positivos ya que la DBO además de indicarnos la presencia y biodegradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico. A diferencia del filtro final el valor obtenido fue de (178) $mg O_2/L$ lo que nos dice que este valor a diferencia de las otras muestras fue verdaderamente bajo, es decir, que la biodegradabilidad para este tipo de tierra necesita de más días para su evaluación o requiere de un tratamiento biológico mas no químico.

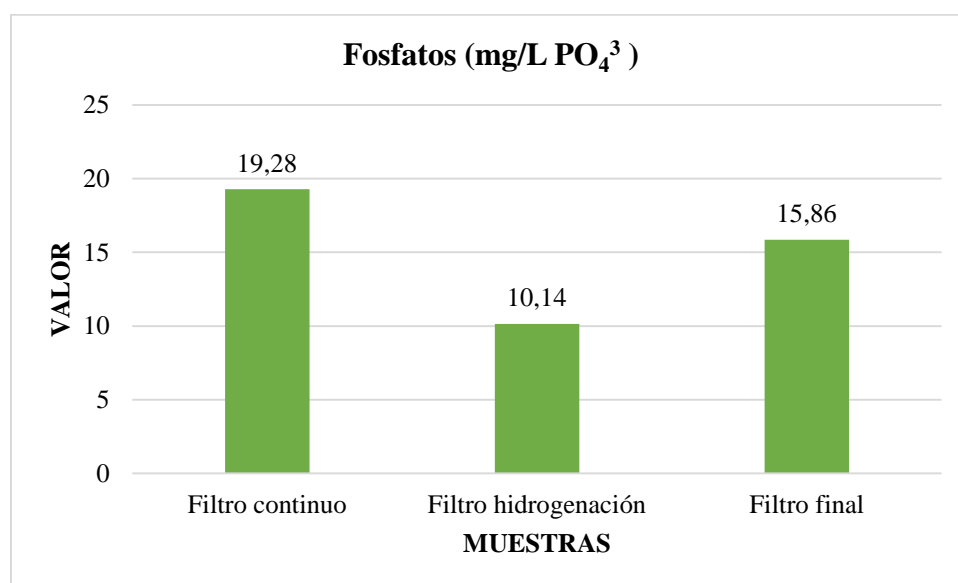


Gráfica 2. Resultados fisicoquímicos DQO ($mg O_2/L$)

Fuente: Autoras, 2016

Para la determinación de la DQO el procedimiento que se empleó fue el de refluo cerrado, método fotométrico y teniendo en cuenta la literatura estudiada, el valor de la DQO debe ser mayor que el de la DBO sin embargo evidenciamos que tanto para la muestra del filtro continuo

(635000 mgO₂ /L) y del filtro de hidrogenación (1430000 mgO₂ /L) esta condición si se cumple, la DQO es una medida que abarca no solo el valor máximo de la DBO sino también otras necesidades de oxígeno del agua. Estos resultados también nos indican el alto contenido de materia orgánica presente en las tierras de blanqueo, lo cual puede ser útil para emplear en algunas de las alternativas de aprovechamiento propuestas. Para la muestra del filtro final se obtuvo un resultado de (1.500.000 mgO₂ /L) el cual, aunque se encuentre por encima del valor de la DBO sigue siendo relativamente pequeño.

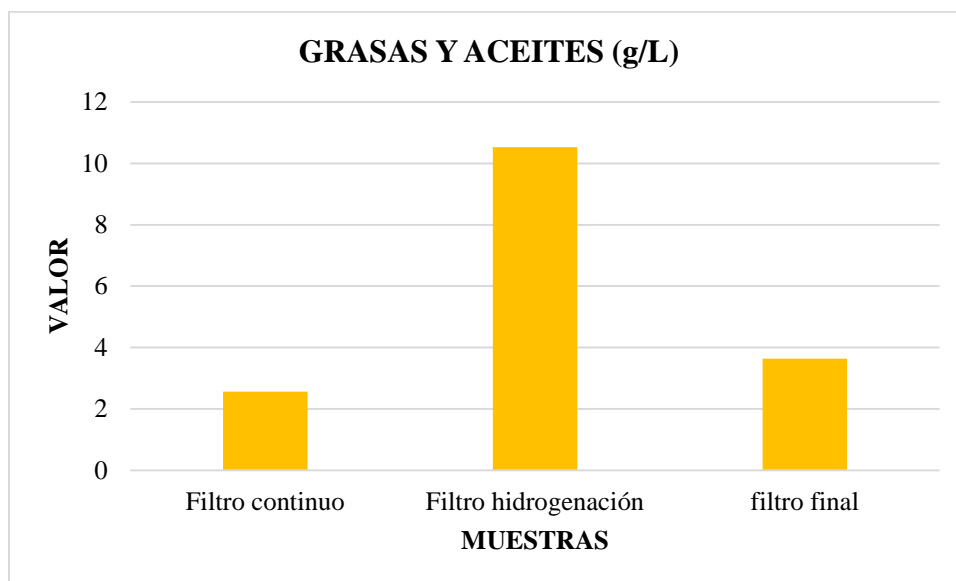


Gráfica 3. Resultados fisicoquímicos fosfatos (mg/L PO₄³)

Fuente: Autoras, 2016

El método empleado para este parámetro fue el 8048 hach USEPA PhosVer 3 (Ascorbic Acid) con un rango de 0.02 a 2.50 mg/L PO₄³ donde y según la teoría, la cantidad de fosfatos presentes en las tierras de blanqueo antes de iniciar el proceso es de 10 mg/L PO₄³ y como se evidencia en la gráfica anterior al finalizar el proceso se obtienen valores mayores a los del inicio, esto se debe principalmente a la función que cumplen las tierras de blanqueo, ya que estas durante el proceso

de refinación son las encargadas de reducir la cantidad de fosfatos que poseen los aceites crudos, con esto se evidencia que el blanqueo es un excelente método para la eliminación de impurezas presentes en los aceites.



Gráfica 4. Resultados fisicoquímicos grasas y aceites (g/L)

Fuente: Autoras, 2016

Los resultados de grasas y aceites se obtuvieron a partir del método gravimétrico por extracción en donde se tiene en cuenta la siguiente ecuación.

$$\text{vaso velp final}(g) - \text{vaso velp inicial}(g) = \text{resultado de aceites y grasas}(g)$$

Los resultados para cada muestra fueron:

Filtro continuo: $78,7806g - 76,2132g = 2,5674g$

Filtro hidrogenación: $86,5126g - 75,9223g = 10,5303g$

Filtro final: $76,9650g - 73,3303g = 3,6347g$

Como se observa hay una inconsistencia en los resultados, ya que fueron 10g los que se analizaron y el resultado del filtro de hidrogenación arroja un dato superior a este, esto demuestra que al realizar la extracción con solvente puede que haya quedado una gran cantidad y el dato resulto alterado. Al manifestarse este error, se pudo determinar también que la muestra del filtro de hidrogenación es utilizada para la realización de las mantecas, teniendo en cuenta que al retirarla del equipo soxhlet tiene un aspecto de aceite común y corriente (amarillo y espeso), pero al dejarla enfriar, se torna dura y de color blanco como se puede demostrar en la siguiente ilustración.



Ilustración 1. Vaso velp con muestra filtro de hidrogenación

Fuente: Autoras, 2016

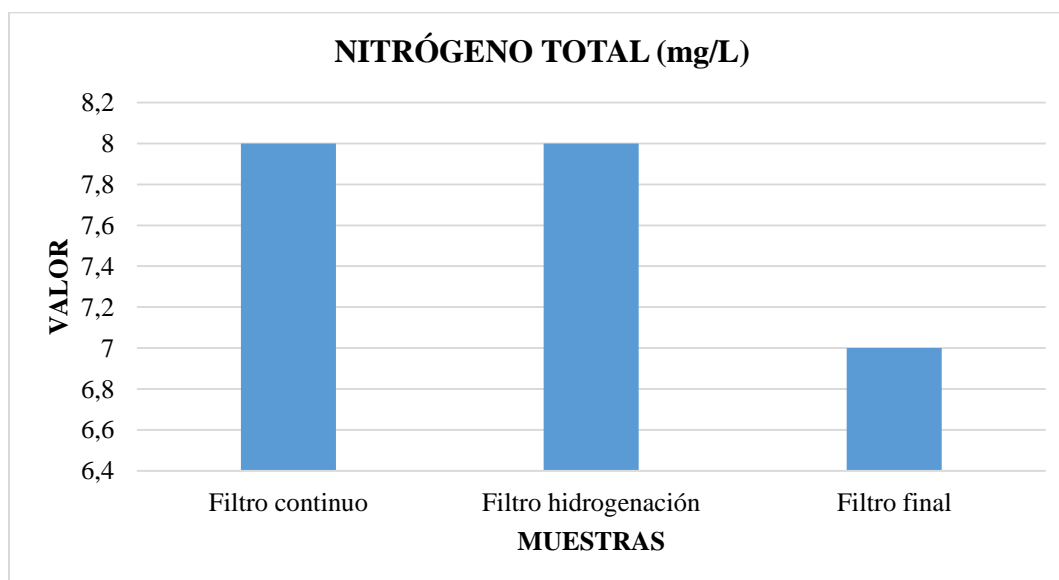
Por el contrario, las muestras del filtro continuo y filtro final se mantuvieron en todas sus etapas en una misma reacción, no cambiaron en su aspecto visual y más bien si se obtuvieron resultados acordes para la cantidad de tierra usadas en el procedimiento. Con la obtención de grasas y aceites se puede decir que las tierras de blanqueo tienen abundante aceite, considerando que se utilizó nada más una leve porción de estas y el resultado es bastante elevado.



Ilustración 2. Vasos velp con muestras de filtro continuo y filtro final

Fuente: Autoras, 2016

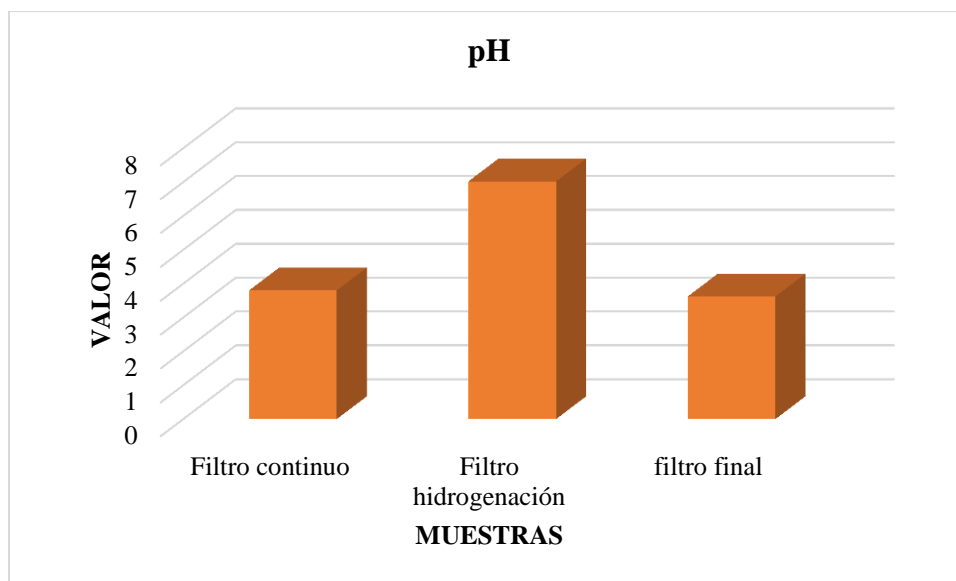
En la siguiente ilustración se muestran los vasos velp con la cantidad extraída del filtro continuo dio un color naranja y el filtro final, obtuvo un color amarillo como el aceite de hogar que se conoce usualmente.



Gráfica 5. Resultados fisicoquímicos nitrógeno total (mg/L)

Fuente: Autoras, 2016

La lectura dada por el Nanocolor test 0-88 nitrógeno total rango de 5-22 mg/L N para cada uno de los filtros o de las muestras fue para el filtro continuo e hidrogenación de 8 mg/L N y para el filtro final de 7 mg/L N, teniendo en cuenta que, para estos resultados bajos de nitrógeno total, la relación del pH de una u otra manera causa una cantidad mínima de este, sin importar que para el procedimiento se hayan tenido que modificar dos muestras, se logra evidenciar que el valor que realmente continua o prevalece es el de pH bajo, ya que con el filtro de hidrogenación que fue el único que no se alteró no se obtuvo un valor de mayor diferencia en los datos arrojados con respecto a las otras muestras, sin embargo, no solo el pH se ve involucrado, sino también se puede decir que estas tierras hacen parte del primer horizonte, siendo este un suelo con un nivel de materia orgánica medio, influyendo otra razón más para que el nitrógeno sea relativamente bajo.



Gráfica 6. Resultados fisicoquímicos pH

Fuente: Autoras. 2016

Para la determinación del pH se utiliza el multiparámetro o método potenciométrico, en un beaker se adiciona 1g de cada una de las muestras en 100 mL de agua destilada, en la gráfica ilustrada anteriormente se evidencian los resultados, en el filtro continuo se obtuvo un pH de 3.80, para el filtro de hidrogenación fue de 7.02 y finalmente para el filtro final fue de 3.62.

Según lo encontrado en la literatura las tierras de blanqueo tienen un pH menor a 4 (<4), esto quiere decir, que para el filtro continuo y el filtro final las tierras se encuentran en un estado normal con un pH ácido, mientras que en el resultado obtenido del filtro de hidrogenación el pH supera el de las tierras de blanqueo sin usar, esto ocurre porque durante el proceso de hidrogenación el aceite crudo es sometido a una reacción de adición de hidrogeno mediante la presencia de un catalizador como lo es el níquel y sometido a calentamiento a una temperatura aproximada de 150°C, esto con el fin de modificar las propiedades fisicoquímicas del aceite, como lo es el paso de estado líquido a sólido al momento de formar las margarinas.

- A continuación, se muestra de manera resumida la caracterización fisicoquímica de las muestras obtenidas en el laboratorio.

MUESTRA PARÁMETRO	FILTRO CONTINUO	FILTRO FINAL	FILTRO DE HIDROGENACIÓN
Nitrógeno total mg/L N	8	7	8
Fosfatos mg/L PO₄³	19.28	15.86	10.14
pH	3.80	3.62	7.02
DBO mgO₂/L	589	178	675
DQO mgO₂/L	635.000	1.500.000	1.430.000
Grasas y aceites (mg/L)	2,5674	3,6347	10,5303

Tabla 4 Análisis fisicoquímico

Fuente: Autoras, 2016

9.3. Aprovechamiento del residuo

Para seleccionar la alternativa de aprovechamiento se elaboró una matriz cuantitativa en la cual los valores se seleccionan en rangos, dependiendo de las 5 (cinco) variables, La calificación es: puntaje de cero (0) para la variable que no cumpla con lo que la alternativa solicita para llevarse a cabo y el puntaje de mil (1000) para la variable que cumpla completamente la alternativa.

En la tabla 6 se consolidaron las alternativas de aprovechamiento en una matriz, teniendo en cuenta los rangos y la calificación que se verá a continuación en la tabla 5, estos valores fueron representados por el color rojo para la menor puntuación y verde para mayor puntuación.

MÉTODO DE CALIFICACIÓN		
VARIABLE	RANGO	CALIFICACIÓN
Parámetros fisicoquímicos	0	0
	1-2	300
	3-4	600
	5-6	1000
Transporte	No cumple	0
	Cumple	1000
Método de uso	Indirecto	0
	Directo	1000
Frecuencia en la utilización de la alternativa	Poco frecuente	0
	Muy frecuente	1000
Costos	Alto	0
	Bajo	1000

Tabla 5 Rango para calificación

Fuente: Autoras, 2016

Se tuvieron en cuentas los siguientes aspectos para cada una de las variables:

Parámetros fisicoquímicos: se tienen en cuenta los medidos en el laboratorio y los necesarios para cada una de las alternativas

Transporte: se hace referencia a los requerimientos que debe cumplir el vehículo para transportar el residuo

Método de uso: se indica si la alternativa requiere que la muestra pase por una extracción o se utilice de manera directa.

Frecuencia en la utilización: hace alusión si las tierras son comúnmente utilizadas para dichas alternativas

Costos: evidencia el valor económico de la alternativa

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO	VARIABLES					
	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	TRANSPORTE	MÉTODO DE USO	FRECUENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE LA ALTERNATIVA	COSTOS	TOTAL
Concentrado en alimentos para animales	300	1000	0	1000	1000	3300
Recuperación del aceite	300	1000	0	0	1000	2300
Uso en plantas de biogás	300	1000	0	0	0	1300
Uso en producción de cementos y fabricación de ladrillos	300	1000	0	0	1000	2300
Mejoramiento de suelos	300	1000	1000	0	0	2300
Asfalto de caminos	0	1000	1000	0	0	2000
Biodiesel	300	1000	0	0	0	1300
Tratamiento de aguas residuales por bio-generación	600	1000	1000	0	0	2600
Fabricación de jabones	600	1000	0	0	1000	2600

Tabla 6 Matriz de selección

Fuente: Autoras, 2016

Se evaluaron 9 alternativas de aprovechamiento, estas, fueron calificadas teniendo en cuenta las variables anteriormente dichas con sus respectivos rangos, sin embargo, la mayoría de las alternativas no obtuvieron los puntos necesarios para ser las seleccionadas, ya que como se evidenció, se premió o se castigó considerando la relación al método más apropiado de aprovechamiento.

Una de las alternativas mostró ser la que más se adapta a los requerimientos de la empresa y a los establecidos en este documento, esta, se describirá a continuación:

- **Concentrado en alimento para animales:**

La alternativa se evaluó con un total de 3300 puntos, siendo esta la mejor, su resultado fue distribuido de la siguiente manera, 300 para los parámetros fisicoquímicos en donde se le dió esta calificación por 2 parámetros los cuales se ajustan a la aplicación de esta alternativa, en cuanto al transporte obtuvo una puntuación de 1000 puntos ya que cumple con los requerimientos, el método de uso logro un puntaje de cero (0), esto debido a que la aplicación del residuo en la alternativa no es de forma directa ya que primero se debe realizar la extracción del aceite a las tierras, en cuanto a la frecuencia de la alternativa alcanzó la mayor calificación por ser la más utilizada en la actualidad, finalmente la variable del costo que se le otorgo fue de 1000 porque le generaría un ingreso a la empresa.

9.4. Sistema de tratamiento

Para el sistema de tratamiento se sugiere la mejor alternativa, con base en la metodología utilizada de matriz de calificación, esta alternativa fue utilizar las tierras de blanqueo usadas

como concentrado de alimentos para animales, con la que se pueden obtener beneficios tanto internos en la empresa por la rentabilidad y aprovechamiento de las tierras, como externos para el comprador que adquiere un producto bueno para sus animales y son proveedoras de energía.

Es importante resaltar que para llevar a cabo esta alternativa de aprovechamiento se requiere de una extracción.

La guía de operación en el sistema de tratamiento para ser efectivo debe considerar y cumplir los siguientes requisitos



Diagrama 3 Uso de tierras de blanqueo extraídas

Fuente: Autoras, 2016

En el siguiente diagrama 4 se indica como debe ser utilizado el aceite y las tierras de blanqueo al terminar su extracción.

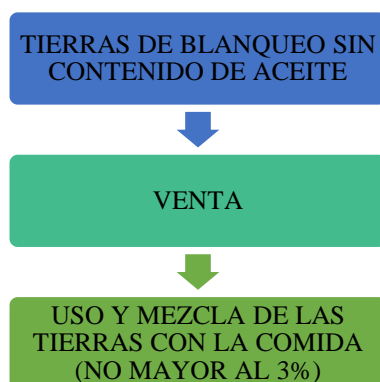


Diagrama 4 Uso de tierras de blanqueo para la alternativa mezcla de concentrado para animales

Fuente: Autoras, 2016

Cuando se habla del uso y la mezcla de las tierras con la comida, la tierra no debe ser agregada con un porcentaje mayor a 3%, porque, aunque estas tierras de blanqueo usadas son excelentes alternativas de aprovechamiento los animales no pueden comer en exceso, por razones que el porcentaje de aceite en la tierra aún podría encontrar de manera exorbitante y conseguiría dañar o perjudicar al animal. Sin embargo, el uso de la mezcla ayuda a que el contenido de aceite (si aún queda concentrado) siga disminuyendo debido a la combinación entre sí.

Para los costos de la empresa C.I. SIGRA S.A y los costos de las personas o empresas a utilizar estas tierras de blanqueo usadas se verían manifestados así:

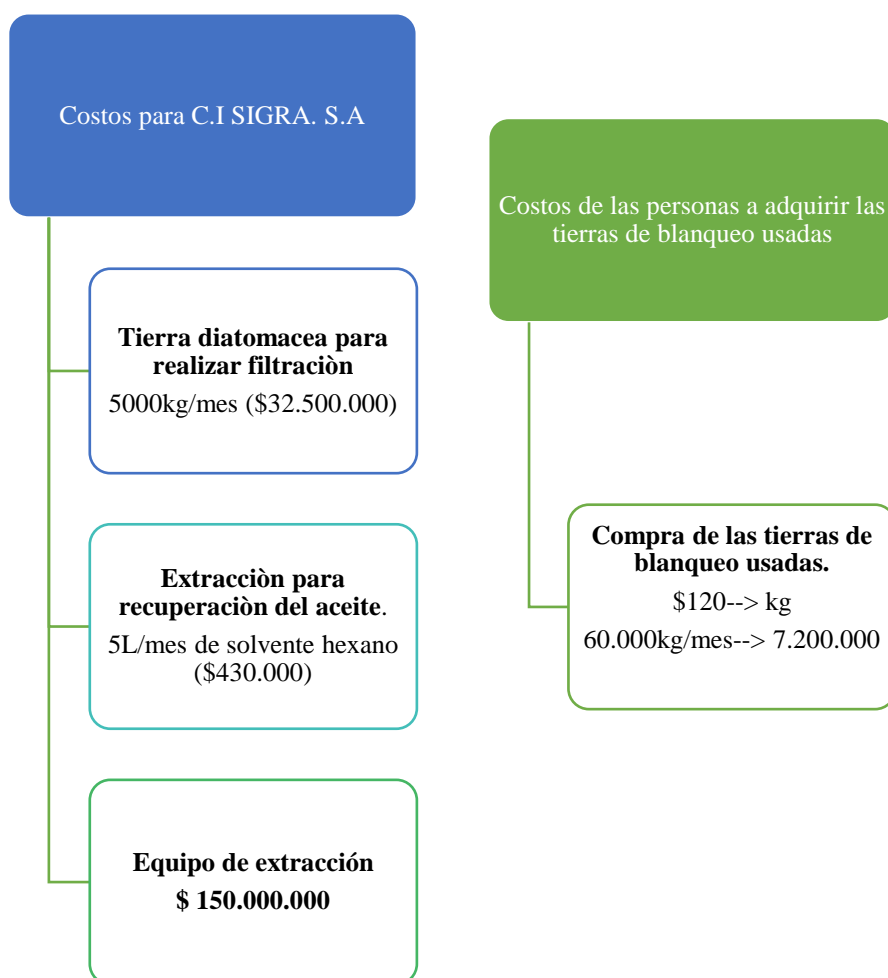


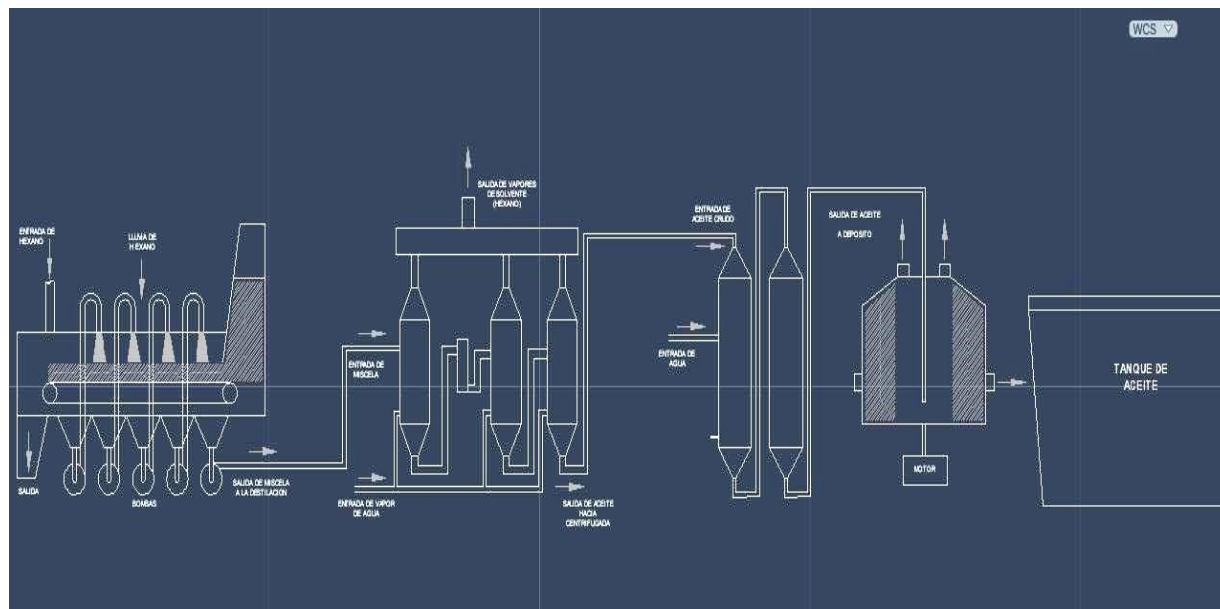
Diagrama 5 Costo-beneficio de alternativa seleccionada para la empresa C.I SIGRA. S.A

Fuente: Autoras, 2016

En el anterior diagrama 5 se explican los costos por mes que se tendrían que asumir, y se evidencia que la empresa C.I. SIGRA S.A tiene un costo bastante alto con la compra de las tierras diatomáceas ya que por sus características naturales su eficiencia es mayor en la eliminación de impurezas del aceite que cualquier otro producto encontrado en el mercado. Se muestra que para la extracción del aceite se utilizaría el solvente hexano 5 botellas de 1L al mes, por la cantidad de aceite que se podría extraer, se tendría que adquirir un equipo con un costo aproximado de \$150.000.000, siendo este de última tecnología con sensores que tienen la capacidad de dar aviso cuando hay alguna irregularidad durante el proceso como por ejemplo en la dosificación, equipo abierto o partes sin contacto para la realización del procedimiento, este, es un equipo especializado y su conservación depende de la instalación y uso.

Para los gastos de extracción, aunque se situaron en los costos con los que se responsabilizaría la empresa, estos también los pueden asumir las personas o empresas que se hagan cargo de los animales o la empresa que recoge el residuo, ya que no es obligatorio para la empresa C.I SIGRA S.A realizar este procedimiento a menos que quieran utilizar ellos mismos el aceite y obtener un beneficio si quieren tener un poco más de ganancias.

El predimensionamiento del equipo de extracción se divide en tres unidades



La primera unidad consta de una entrada de tierras de blanqueo, seguido de la adición del solvente y pasando por una lluvia de hexano que se recircula gracias a las bombas, de este proceso que circula a la unidad dos se generan dos residuos el primero es sólido que son las tierras de blanqueo desengrasada pero húmeda y mojada en solvente y el segundo es líquido que es una mezcla de aceite y solvente llamado miscela, la tierra tiene un mezclado de 25% solvente y un resto de aceite menos al 1%, la miscela tiene una proporción de 25% aceite y un 75% de solvente.

En la unidad 2 se realizan dos operaciones donde se seca el solvente de la tierra y la segunda es el tostado que es una cocción húmeda que elimina la enzima ureasa permitiendo así que esta tierra sea digestible por los animales a quien será dada el alimento. El equipo de esta unidad es el que mayor cantidad de energía consume. el solvente es eliminado en forma de vapor y se recicla y reutiliza nuevamente en la planta para otro ciclo de extracción.

La unidad tres tiene la funcionalidad de centrifugar el aceite en donde se le adiciona un 3% de agua y se hace pasar por una clarificadora centrifuga que separa los compuestos de alta densidad del aceite dejando a este perfectamente claro.

Finalmente, el aceite pasa al tanque de almacenamiento en donde está listo para ser aprovechado para cualquier alternativa menos para volver a realizar producción de margarinas, grasas comestibles, aceites etc.

El tanque tiene una altura de 5m con una capacidad de almacenamiento de 800 a 1000 toneladas de aceite recuperado y los equipos 8m de alto, contando que para su construcción se necesitaría un espacio de 50m ancho.

10. CONCLUSIONES

- ❖ Las tierras de blanqueo usadas representan uno de los principales residuos del proceso de refinación, se concluye que tienen un alto potencial de aprovechamiento, siendo este muy beneficioso para la empresa productora, ya que puede encontrar la forma de recuperar recursos económicos y además contribuir con la reducción de contaminación del medio ambiente en general.

- ❖ La matriz de calificación que se realizó para evaluar las alternativas de aprovechamiento de las tierras, nos muestra con mayor puntaje (3300), la utilización de estas como complemento para concentrado de aves y bovinos, esta además de ser una alternativa económica, es un excelente complemento para la alimentación de animales ya que los provee de energía.

- ❖ El residuo obtenido del filtro continuo posee baja cantidad de grasa (2.5674 g); siendo estas las mejores a utilizar para el proceso de alimento para animales ya que el tiempo en el proceso de extracción va a hacer más corto logrando así la aplicación de la alternativa a menor tiempo.

- ❖ La tierra proveniente del filtro de hidrogenación posee mayor contenido de grasa que los otros dos estudiados, esto es debido principalmente a la alteración a la que se ve sometido este filtro en el cual se adiciona hidrógeno para romper las cadenas de carbono y modificar las propiedades fisicoquímicas del aceite, logrando así el paso del mismo de estado líquido a sólido.

- ❖ El aprovechamiento del aceite de las tierras de blanqueo como complemento para alimento para animales se recomienda ya que la distribución fina de aceites y grasas sobre la superficie de la tierra asegura una degradación rápida en el tracto digestivo de los animales, sin embargo, es necesario resaltar que cuando se mezcle la comida de animales con este residuo no se debe superar el 3% del mismo ya que podría generar consecuencias negativas en los animales.

- ❖ Los costos en la alternativa de aprovechamiento seleccionada están evaluados a un mes de producción, teniendo en cuenta, que quien posea el equipo de extracción será el que tendrá mayor beneficio económico.

11. RECOMENDACIONES

- Como pudimos evidenciar en los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras y a lo confrontado en la literatura, las tierras de blanqueo usadas poseen un alto contenido de grasa, es por esto que se recomienda a la empresa C.I SIGRA S.A realizar la extracción del aceite a las tierras con la utilización de algún solvente como por ejemplo el hexano, ya que realizando este procedimiento se aprovecha más este residuo, aplicándolo a la mayoría de alternativas propuestas en este documento.

- Es recomendable realizar un estudio de costos detallado donde se muestren resultados a corto, mediano y largo plazo, para la empresa. No solo teniendo en cuenta el químico para la extracción, sino también que empresas serían las que adquirirían las tierras, cada cuanto y en qué cantidad.

- Las tierras del filtro de hidrogenación naturalmente poseen un alto contenido de níquel, esto debido al proceso al que se ven sometidas, se recomienda a la empresa que estas sean utilizadas como materia prima para la producción de cemento y fabricación de ladrillos.

- Se recomienda a la empresa C.I SIGRA S.A realizar el aprovechamiento de las tierras de blanqueo según su origen, por ejemplo, las del filtro de hidrogenación destinarlas a la producción de cemento y fabricación de ladrillos, mientras que las del filtro continuo y las del filtro final pueden ser aprovechadas como complemento de concentrado para

animales, esto con base a las características fisicoquímicas que tiene cada una de las muestras.

- Si la empresa realiza en sus instalaciones la extracción del aceite presente en las tierras de blanqueo usadas, podría obtener un mayor beneficio, esto debido a que podría utilizar y vender tanto las tierras como el aceite extraído para ser utilizados en varias alternativas de aprovechamiento, por ejemplo las tierras tendrían como destino final rellenar caminos o fabricar asfalto y los aceites por su parte podrían ser destinados al comento de concentrado para animales, producción de biodiesel, plantas de biogás y fabricación de jabones.
- La planta de extracción que se propuso, debe contar con amplio espacio para su construcción e instalación ya que su dimensionamiento por el proceso que realiza es de gran extensión.
- Se recomienda realizar un análisis detallado de costos, teniendo en cuenta, que el diseño propuesto tiene un valor aproximado que se obtuvo de la literatura y no de cálculos reales. Además del dimensionamiento espacial de las unidades

12. BIBLIOGRAFÍA

- Alnicolsa. (2013). *Aceite de Palma: usos, orígenes e impactos*. Lima Perú.
- Aniame Tecnología. (2008). *Disposición de adsorbentes usados y otros subproductos de la refinación de aceites*. Cuahutémó.
- Botanical. (04 de octubre de 2010). *Botanical online*. Obtenido de http://www.botanical-online.com/aceite_de_canola.htm
- Comisión Nacional del medio ambiente. (1998). *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial, Fabricación de Grasas y aceites vegetales y subproductos*. Santiago.
- Díaz, Y. (2010). *Situación actual de la agroindustria aceitera en Colombia*. Bogotá Colombia.
- DMedicina. (2001). *Diferencias entre aceites*.
- EcuRed. (15 de marzo de 2016). *Conocimiento con todos y para todos*. Obtenido de http://www.ecured.cu/Agua_destilada
- Farfán, L. M. (4 de octubre de 2013). *Diseño de un sistema para la gestión de aceites vegetales usados en cañete para producir biodiesel*. Obtenido de <http://docplayer.es/15697750-Diseño-de-un-sistema-para-la-gestión-de-aceites-vegetales-usados-en-cañete-para-producir-biodiesel.html>
- Gil, C. A. (2009). *Estandarización y validación de una técnica para medición de la demanda bioquímica de oxígeno por el método respirométrico y la demanda química de oxígeno por el método colorimétrico*. Pereira.
- Henao, G. J. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*. Medellín Antioquia.

- Indupalma. (20 de junio de 2016). *Indupalma*. Obtenido de <http://www.indupalma.com/aceite-de-palma>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. (2009). *Determinación de fosforo*. Caracas Venezuela.
- Martínez, F. N. (2001). *Recuperación de aceite en la tierra de blanqueo usada en la refinación de aceite de palma*. Bogotá Colombia.
- Ministerio de Medio ambiente y desarrollo territorial. (2005). *Decreto 4741*. Bogotá Colombia.
- Ministerio de medio ambiente y desarrollo territorial. (2002). *Decreto 1609*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de ambiente y desarrollo territorial. (2002). *Decreto 1713*. Bogotá.
- Ministerio de medio ambiente y desarrollo territorial. (2000). *Decreto 2676*. Bogotá Colombia.
- Natursan. (15 de junio de 2014). *Natursan*. Obtenido de <http://www.natursan.net/beneficios-semillas-de-girasol-propiedades/>
- Obregón, C. M. (2016). *Protocolo para la determinación de Grasas y aceites*. Guajira.
- Ortiz, C. E. (2000). *Utilizacion del aceite de palma en la fabricacion de jabon*. Mexico: PALMAS VOL. 21.
- Petro Canadá. (30 de junio de 2016). *Industrial Minerals Greases and Lubricants*. Obtenido de <http://www.ptcsac.com/controladores-ph.html>
- Portland State University. (31 de agosto de 2012). *Ecoplexity*. Obtenido de <http://ecoplexity.org/?q=node/599>
- Riquè, I. J. (27 de agosto de 2004). *Aceite de soya: su uso en la fabricación de aceites y grasas comestibles*. Obtenido de www.respyn.uanl.mx/especiales/ee-10-2004/conferencias_pdf/alimentos

- Salud. (03 de marzo de 2012). *Ella Sabe*. Obtenido de <http://www.ellasabe.com/salud/aceites-esenciales/115-aceite-de-girasol>
- Secretaria de economía. (1985). *Alimentos, aceite comestible puro de canola, especificaciones*. Ciudad de México.
- Secretaria del medio ambiente y desarrollo rural. (2010). *Guía para el adecuado manejo de los residuos sólidos y peligrosos*. Envigado Colombia.
- Truog, E. (20 de febrero de 2013). *Tecni agrícola*. Obtenido de <http://www.tecnicoagricola.es/ph-de-un-suelo/>
- UNAD. (30 de marzo de 2009). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358043/exe/leccin_39_caso_de_recuperacin_de_aceites_usados.html
- Unipalma. (26 de octubre de 2008). *Unipalma S.A produce confianza*. Obtenido de <http://www.unipalma.com/productos-y-servicios/aceite-de-palma>
- Universidad Nacional de Ingeniería. (29 de abril de 2009). *Blog*. Obtenido de http://grupopetroquimica.blogspot.com.co/2009_04_01_archive.html
- Vives, J. B. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos*. Santa Marta.