

Diseño de una Planta de Saponificación para el Aprovechamiento del Aceite Vegetal de Desecho

Bombón N.*; Albuja M.**

*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador
e-mail: nahita_b@hotmail.es

** Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, Ecuador
e-mail: marcelo.albuja@epn.edu.ec

Resumen: Se estableció un muestreo aleatorio estratificado para la recolección del aceite vegetal de desecho (AVD), su caracterización se realizó a través de propiedades químicas como acidez, índice de acidez, porcentaje de impurezas insolubles e índice de saponificación. La purificación del AVD consistió en un lavado del mismo con solución de salmuera y blanqueo del aceite con solución de peróxido de hidrógeno, para posteriormente realizar filtraciones para reducir las impurezas insolubles en el aceite. Posterior a la purificación del AVD, se cuantificó las mejoras en las características químicas del aceite. Una evaluación de la reacción de saponificación se realizó a través de un diseño experimental factorial 3^2 , variando diferentes temperaturas de reacción y porcentajes de aceite de palma que conforma la mezcla de aceite a saponificar, encontrándose que las mejores condiciones de reacción de saponificación de la mezcla aceite vegetal purificado y aceite de palma es de 75 °C y 15 % de aceite de palma, debido a que se obtiene un mayor rendimiento y el producto obtenido cumple con la norma INEN 839 (1981). Finalmente se cumplió el objetivo del proyecto, el diseño de la planta, con las mejores condiciones de reacción, se realizó un balance de masa para una producción de 208 800 jabones/año. Se diseñaron los equipos y su diagrama de flujo respectivo. Se analizó la rentabilidad del proyecto a través de los indicadores económicos valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR).

Palabras clave: Aceite vegetal de desecho, purificación de aceite vegetal, saponificación, diseño de planta, evaluación de la rentabilidad.

Abstract: Stratified random sampling for the collection of waste vegetable oil (WVO) was established, characterization was performed by chemical properties such as acidity, acid value, percentage of insoluble impurities and saponification value. WVO purification consisted in washing with brine solution and oil bleaching hydrogen peroxide solution, then filtration to reduce insoluble impurities in the oil. Purified WVO was characterized to quantify improvements in the chemical characteristics of the oil. An evaluation of the saponification reaction was performed using a 3^2 factorial experimental design, varying reaction temperatures and different percentages of palm oil forming the oil mixture to be saponified. The best conditions for the saponification reaction was 15 % palm oil at 75 °C. The product complies with INEN 839 (1981). Finally the project objective was met, design of the plant, with the best reaction condition, mass balance was performed by calculating the plant has a production of 208 800 soaps / year. Equipment's were designed and it respectively flowchart. Project profitability was analyzed using net present value (NPV) and internal rate of return (IRR).

Keywords: Waste vegetable oil, purification of vegetable oil, saponification, plant design, assessment of profitability.

1. INTRODUCCION

Los avances tecnológicos y el aumento de la población han producido un cambio en la forma de vida, por lo cual la alimentación en la actualidad ha cambiado a tal punto que la mayoría depende de la comida rápida y frituras, aumentando el uso de los aceites comestibles.

El consumo de aceite vegetal aumentó rápidamente, en un 3,5 %, casi dos veces más que la población mundial, la cual aumentó en 1,6 % entre los años 1980 y 2000 [1], por consiguiente aumentó la generación de aceite vegetal de

desecho. Se estima que más de 10 millones de toneladas de aceite vegetal de desecho se generan en el mundo cada año.

Los aceites vegetales de desecho, son aquellos que han sido utilizados en los procesos de cocción en restaurantes, comedores colectivos, industrias alimenticias, etc. El aceite vegetal que se vierte en las fuentes de agua proviene principalmente de las industrias, mientras que la segunda fuente más importante de este contaminante proviene de las casas [10].

Un restaurante puede llegar a originar 50 litros o más al mes de AVD; por cada litro de aceite comestible usado que es

vertido indiscriminadamente se contamina alrededor de 1000 litros de agua [13,14].

El aceite debido a su densidad menor que la del agua y al tratarse de sustancias no polares de naturaleza hidrófoba, flotan en la superficie del agua, formando una capa de aceite, lo que provoca problemas de contaminación como: reducción de penetración de la luz hacia la fase acuosa, obstaculiza la transferencia de oxígeno de la atmósfera al medio acuático, incrementa el crecimiento de microorganismos, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el fondo del agua, dificulta la vida de los peces y demás seres acuáticos provocando una alteración en el ecosistema [1, 15].

Durante el proceso de fritura el aceite presenta un gran número de reacciones químicas complejas, por lo que el aceite empieza a degradarse; es de suma importancia la purificación del AVD para eliminar los potenciales contaminantes del mismo y así obtener un producto de suficiente calidad como para ser fuente de materias primas en procesos de transformación que permitan obtener nuevos productos.

La falta de una legislación específica para los aceites procedentes de usos alimenticios, junto con el hecho de que la población en general produce los aceites vegetales de desecho, provoca que la mayor parte de éstos tengan como destino la red de alcantarillas.

Según el INEC (2010) el 73,14 % de la población no trata el AVD y lo descarga al desagüe con las debidas consecuencias como malos olores, suciedad, sirve como alimento de ratas, cucarachas y otros insectos, obstrucciones en las alcantarillas, además produce una interferencia con el tratamiento aeróbico biológico que recibe el agua en las diferentes plantas de tratamiento debido a problemas de sabor, olor desagradable y turbidez necesitando métodos más eficaces para su tratamiento, generando un incremento en los costos de tratamiento, es por esto que surge la necesidad de plantear una alternativa para el aprovechamiento de aceites vegetales de desecho como materias primas en la elaboración de jabones para así contribuir al medio ambiente minimizando los vertidos incontrolados de los mismos [1, 11].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Muestreo y caracterización del AVD

El tipo de muestreo empleado para la recolección de AVD y las características del mismo se presentan a continuación.

2.1.1 Muestreo del aceite vegetal de desecho

Para el muestreo del aceite vegetal de desecho que se empleó como materia prima de este proyecto, se utilizó un muestreo aleatorio estratificado. Se estratificó la población de 6 984 locales comerciales de comida rápida que se encuentran en el Municipio de Quito, a los locales comerciales que se

encuentran en el sector de La Mariscal en Quito con una muestra probabilística estratificada de 23 locales comerciales de comida rápida del sector antes mencionado.

Como primer punto se determinó el tamaño de la muestra sin ajustar, con el mismo se calculó el tamaño de la muestra probabilística. Posteriormente se obtuvo una fracción constante dividiendo la muestra probabilística para la población, dicha fracción se multiplicó con el número de locales comerciales de comida rápida que se encuentran en el sector de la mariscal, 210 locales, obteniéndose así la muestra probabilística estratificada. En la Tabla 1 se presenta el muestreo aleatorio estratificado que se empleó para la recolección del AVD.

Tabla 1 Muestra probabilística estratificada de locales comerciales de comida rápida

Muestra sin ajustar	900
Muestra probabilística	797
Fracción constante	0,11
Locales comerciales de comida rápida	210
Muestra probabilística estratificada	23

2.1.2 Caracterización del AVD

Se recolectó 500 mL de cada local comercial, teniéndose así un volumen total de aceite vegetal de desecho de 11,5 L, el cual se caracterizó a través del índice de acidez y acidez de acuerdo a la norma ISO 660 (2003), el método empleado fue el de etanol caliente con indicador; el índice de saponificación se determinó de acuerdo a la norma INEN 40 (1973) y el contenido de impurezas insolubles de acuerdo a la norma INEN 180 (1999).

2.2. Purificación del aceite vegetal de desecho

Los 11,5 L de AVD recolectado, se calentó a 90 °C y se lavó con solución de salmuera caliente que contenía 5% de NaCl, en una proporción de aceite vegetal de desecho con respecto a solución de salmuera de 10:1. Dicha mezcla se agitó a una velocidad de 60 rpm durante 60 min. Después, la mezcla se dejó en reposo durante 8 horas con el fin de separar la mezcla en dos fases [8].

La fase inferior compuesta por solución de salmuera e impurezas se separó de la fase superior obteniéndose así el aceite vegetal purificado. 40 g de Sulfito de sodio anhidro se añadió para capturar las trazas de humedad del aceite vegetal de desecho y se filtró [8]. Posteriormente se determinó el porcentaje de impurezas insolubles en el aceite vegetal de acuerdo a la norma INEN 180 (1999).

Para el blanqueo del AVD primero se determinó la cantidad de solución de peróxido de hidrógeno al 2% a emplearse, se

realizó pruebas con proporciones de aceite con respecto de solución de peróxido de hidrógeno de 1:0,5, 1:0,75, 1:1, 1:1,25, 1:1,5, 1:1,75 y 1:2.

Para determinar la mejor proporción se calentó el aceite a 70 °C y se blanqueó con la solución de peróxido de hidrógeno al 2%. La muestra se agitó a una velocidad de 80 rpm durante 30 min, manteniéndose la temperatura a 70 °C, finalmente el aceite se filtró [8].

2.3. Caracterización química del aceite vegetal purificado

Se caracterizó el aceite vegetal purificado, a través de análisis químicos como índice de acidez y acidez de acuerdo a la norma ISO 660 (2003), el método empleado fue el de etanol caliente con indicador, el índice de saponificación se determinó de acuerdo a la norma INEN 40 (1973) y el contenido de impurezas insolubles de acuerdo a la norma INEN 180 (1999).

2.4. Evaluación del proceso de saponificación del AVD purificado

Para el desarrollo de este estudio se empleó un diseño experimental 3^2 , de dos variables: temperatura de reacción y porcentaje de aceite de palma. Cada factor tuvo tres niveles, para la temperatura 75 °C, 90 °C y 105 °C; mientras que el porcentaje de aceite de palma varió en 15%, 25% y 35%, dichos porcentajes fueron obtenidos de pruebas preliminares, obteniéndose así un producto que cumpla con norma. El experimento se realizó por triplicado y en cada repetición se determinó, rendimiento, materia insoluble en agua de acuerdo a la norma INEN 816 (1982), alcalinidad libre de acuerdo a INEN 821 (1982), % de humedad de acuerdo a INEN 818 (1982), acidez libre de acuerdo a INEN 822 (1982).

Para saponificar el aceite vegetal purificado se prepararon 100 mL de solución saponificante al 30% de hidróxido de sodio, para asegurar una saponificación completa se utilizó un 3 % de exceso de hidróxido de sodio [8,12]. A 200 g de una mezcla de aceites (aceite vegetal de desecho purificado – aceite de palma), se añadieron los 100 mL de solución saponificante gradualmente y se agitó en un periodo de 2 horas, se realizó este procedimiento a 75 °C, 90 °C y 105 °C variando los diferentes porcentajes de aceite de palma de 15%, 25% y 35%. Posteriormente se añadieron 200 mL de solución de salmuera al 8% de NaCl sobre la superficie de la pasta de jabón durante su ebullición para separar el agua de glicerol en la parte inferior, al mismo tiempo, la masa saponificada empezó a flotar en la superficie; el agua con glicerol se eliminó, finalmente la pasta de jabón se lavó con 200 mL de agua destilada caliente para reducir el exceso de hidróxido de sodio, cloruro de sodio y cualquier impureza que se encontró en la pasta de jabón, posteriormente la pasta se colocó en un molde y se dejó secar [8].

Para determinar las mejores condiciones de reacción de saponificación de aceite vegetal purificado: temperatura de reacción y porcentaje de aceite de palma, se determinó el

rendimiento de la reacción, la materia insoluble en agua, la alcalinidad libre, el porcentaje de humedad y la acidez libre del producto obtenido; dichos valores se analizaron en el programa estadístico Statgraphics.

Antes de adoptar las conclusiones del análisis de varianza, se verificó la adecuación del modelo del diseño experimental empleado, a través de la normalidad, la independencia y la homocedasticidad para cada una de las variables de salida.

El programa estadístico Statgraphics, sirvió para realizar gráficos de medias para cada variable de salida, a su vez se obtuvo las tablas de mínimos cuadrados medios, para de esta manera obtener los valores exactos correspondientes, determinando así las mejores condiciones de reacción, evaluando las variables de salida en cada nivel de temperatura y porcentaje de aceite de palma y comparando los valores de las variables de salida con los valores máximos permisibles según la norma INEN 839 (1981).

2.5. Diseño de la planta a escala piloto

Se definió la capacidad a procesar de aceite vegetal de desecho en un año, fijándose el tamaño de la planta en función del número de locales comerciales de comida rápida que componen la muestra probabilística estratificada (23 locales) y la producción mensual de aceite vegetal de desecho de cada local comercial (160 L/mes). Teniéndose así la capacidad a procesar de aceite vegetal de desecho de 43 200 L/año, trabajando 8 horas diarias durante 360 días al año.

Se diseñaron los equipos que conformarán la planta; como primer punto se diseñó el tanque de almacenamiento de AVD con una capacidad de 150 L para el cual se determinó el diámetro, altura, material de construcción, se dimensionó una tapa bridada y cóncava estándar, se calculó el espesor del tanque y de la tapa de acuerdo al código ASME, así como la superficie del cilindro, superficie de la tapa y superficie total; el mismo procedimiento se realizó para el tanque de almacenamiento de aceite de palma de capacidad de 80 L.

Para separar las impurezas que contenía el aceite, se diseñó un filtro, se definió el tipo de filtro más adecuado de acuerdo al contenido de sólidos en el aceite, características de funcionamiento y flujo másico, finalmente se seleccionó un filtro que se encuentre en el mercado y que cumpla con los requerimientos de la planta.

Para el tanque de lavado del AVD con solución de salmuera de 160 L de capacidad se determinó el diámetro, altura, material de construcción, se dimensionó una tapa bridada y cóncava estándar, se calculó el espesor del tanque y de la tapa de acuerdo al código ASME, así como la superficie del cilindro, superficie de la tapa y superficie total. Para la agitación se seleccionó el mejor tipo de agitador y se determinaron las dimensiones del mismo, así como el material de construcción, y potencia. Para el calentamiento en el tanque, se determinó el calor necesario para calentar el AVD a 90 °C. El mismo procedimiento se realizó para el tanque de blanqueo del AVD con solución de peróxido de hidrógeno y para el tanque de saponificación.

Para el tanque de solución de salmuera de 20 L de capacidad se determinó el diámetro, altura, material de construcción, se dimensionó una tapa bridada y cóncava estándar, se calculó el espesor del tanque y de la tapa de acuerdo al código ASME, así como la superficie del cilindro, superficie de la tapa y superficie total. Para la agitación se determinaron las dimensiones de un agitador de hélice de tres paletas, así como el material de construcción, y potencia. El mismo procedimiento se realizó para el tanque de la solución de peróxido de hidrógeno de 150 L de capacidad y para el tanque de solución de hidróxido de sodio de 100 L de capacidad.

Con las dimensiones y materiales de construcción de los tanques y de los agitadores, se seleccionaron los tanques y agitadores que se encuentran en el mercado y se ajustan a los datos del diseño antes determinados.

Para el acabado del producto se seleccionaron de los equipos ofertados en el mercado, aquellos que se ajusten a las necesidades de la planta; un atomizador para el secado del jabón; un compresor para homogenizar y compactar el producto; una cortadora y una empaquetadora. La selección de los equipos se realizó de acuerdo a los flujos máxicos del proceso. Finalmente se diseñaron las tuberías de la planta, se determinó el diámetro de las mismas, el cual depende fundamentalmente de las condiciones del proceso, como caudal, velocidad y presión del fluido. De acuerdo a los diámetros calculados se seleccionaron las tuberías nominales.

2.6. Evaluación de la rentabilidad del proyecto

Para el cálculo de los indicadores económicos, valor actual neto (VAN) y tasa de interés de retorno (TIR), se calculó el capital de inversión fijo, el capital de inversión de trabajo y así determinar la inversión total, para con este determinar los indicadores económicos antes mencionados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características del AVD

Después de la recolección de los 11,5 L de aceite vegetal de desecho se procedió a su caracterización, para determinar químicamente las características en las cuales se encontraba este desecho. El aceite recolectado fue únicamente aceite de palma. Los resultados de la caracterización química del AVD se observan a continuación.

Las propiedades químicas del AVD se presentan en las Tablas 2, 3, 4,5.

Tabla 2 Índice de acidez de aceite vegetal de desecho

	Índice de acidez 1 (mg/g)	Índice de acidez 2 (mg/g)
	4,64	4,66
Índice de acidez promedio (mg/g)	4,65	

Tabla 3 Porcentaje de Acidez del AVD

	Acidez 1 (%)	Acidez 2 (%)
	2,11	2,13
Acidez promedio (%)	2,12	

De acuerdo a la norma ecuatoriana INEN 2 421:2009 el porcentaje de acidez máximo del aceite de palma que se comercializa en el Ecuador es de 0,1%, mientras que el porcentaje de acidez que se determinó en el aceite de palma de desecho es del 2,12%, de manera que la acidez del aceite se incrementó debido a la presencia de agua en el proceso de fritura ya que da lugar a la formación de ácidos grasos libres.

Tabla 4 Contenido de Impurezas insolubles del AVD

	Impurezas insolubles 1 (%)	Impurezas insolubles 2 (%)
	2,98	3,02
Promedio de impurezas insolubles (%)	3	

Para impurezas insolubles la norma ecuatoriana INEN 2 421:2009 establece que el porcentaje máximo permisible en el aceite de palma que se destina al consumo humano es de 0,05%, mientras que el porcentaje de impurezas insolubles que se determinó en el aceite de palma de desecho fue del 3%, de manera que el porcentaje de impurezas insolubles del aceite de palma que se caracterizó en este estudio tiene 60 veces más impurezas insolubles que el aceite de palma sin usar, debido a la descomposición de los alimentos y a la presencia de materiales particulados que son utilizados en la apañadura de los alimentos.

Tabla 5 Índice de Saponificación del AVD

	Índice de Saponificación 1 (mg KOH/g aceite)	Índice de Saponificación 2 (mg KOH/g aceite)
	221,04	219,32
Índice de saponificación promedio (mg KOH/g aceite)	220,18	

El índice de saponificación en el aceite de palma que se destina al consumo humano en la norma ecuatoriana INEN 2 421:2009 establece un valor para el índice de saponificación máximo de 199 mg KOH/ g aceite, mientras que el índice de saponificación que se determinó en el aceite de palma de desecho fue de 220,18 mg KOH/ g aceite de manera que el índice de saponificación del aceite se incrementó en aproximadamente 10%, este incremento se debe a la formación de ácidos grasos libres que se forman durante el

proceso de fritura debido a la reacción de hidrólisis, de esta manera se da una ruptura de las cadenas de ácidos grasos que conforman el aceite y por lo tanto se tiene cadenas más cortas de ácidos grasos.

3.2. Purificación del AVD

Para el blanqueo del AVD se determinó la cantidad de solución de peróxido de hidrógeno al 2% con la cual se obtiene el aceite vegetal purificado con un color más claro, alcanzando la mejor proporción de aceite vegetal de desecho con respecto de solución de peróxido de hidrógeno al 2% de 1:1. El AVD y el aceite después del lavado con solución de salmuera y el blanqueo con solución de peróxido de hidrógeno (aceite vegetal purificado) se pueden observar en la Figura 1.



Figura 1 AVDy aceite vegetal de desecho purificado

3.3. Características químicas del aceite vegetal purificado

Tabla 6 Índice de acidez de aceite vegetal de desecho purificado

	Índice de acidez 1 (mg/g)	Índice de acidez 2 (mg/g)
	4,28	4,32
Índice de acidez promedio (mg/g)	4,3	

El índice de acidez del aceite vegetal purificado presenta una disminución del 7,53% con respecto al AVD, esta disminución se debe a la disminución de los ácidos grasos libres presentes en el aceite vegetal de desecho. La acidez está directamente relacionada con el índice de acidez del aceite, debido a que este representa el número de miligramos de hidróxido de potasio requerido para neutralizar los ácidos grasos libres presentes en un gramo de aceite, por lo que el porcentaje de disminución de acidez del aceite vegetal purificado con respecto al aceite vegetal de desecho es igual al porcentaje de disminución del índice de acidez del aceite vegetal purificado con respecto al AVD.

Tabla 7 Porcentaje de Acidez de aceite vegetal de desecho purificado

	Acidez 1 (%)	Acidez 2 (%)
	1,95	1,97
Acidez promedio (%)	1,96	

La acidez del aceite vegetal purificado presenta una reducción del 7,54% con respecto al aceite vegetal de desecho, esta disminución se debe a la solubilidad de los ácidos grasos libres en la solución de salmuera que se empleó para eliminar las impurezas insolubles del aceite.

Tabla 8 Contenido de Impurezas insolubles de aceite vegetal de desecho purificado

	Impurezas insolubles 1 (%)	Impurezas insolubles 2 (%)
	1,41	1,37
Promedio de impurezas insolubles (%)	1,39	

Debido al lavado del aceite vegetal de desecho con solución de salmuera al 5% de NaCl, se obtuvo una disminución del 53,67% del contenido de impurezas insolubles en el aceite, la disminución se debe a la solubilidad de dichas impurezas en la solución de salmuera y también a la doble filtración del aceite que son realizadas en el proceso de purificación del aceite vegetal de desecho, una es realizada después del lavado del aceite con solución de salmuera y la otra después del blanqueo del aceite con la solución de peróxido de hidrógeno al 2%.

Tabla 9 Índice de Saponificación de aceite vegetal de desecho purificado

	Índice de Saponificación 1 (mg KOH/g aceite)	Índice de Saponificación 2 (mg KOH/g aceite)
	214,40	215,71
Índice de saponificación promedio (mg KOH/g aceite)	215,06	

El índice de saponificación del aceite vegetal purificado presenta una disminución del 2,33% con respecto al aceite vegetal de desecho, esta disminución se debe a la presencia de un porcentaje más alto de cadenas de ácidos grasos más grandes debido a que un pequeño porcentaje de ácidos grasos libres fueron eliminados, el pequeño porcentaje de reducción del índice de saponificación tiene sentido debido a que el porcentaje de reducción de ácidos grasos también fue pequeño.

3.4. Evaluación del proceso de saponificación del aceite vegetal de desecho purificado

Los resultados obtenidos en el laboratorio de las variables de salida se muestran en las Tablas 10, 11, 12, 13 y 14; cada tratamiento se realizó por triplicado.

Tabla 10 Rendimiento obtenido en la reacción de saponificación de la mezcla de aceite vegetal purificado y aceite de palma

Aceite de Palma (%)	Temperatura (°C)								
	75 °C			90 °C			105 °C		
15%	138	111	125,5	126	149,5	148	134	129,5	129,5
25%	126	133	128,5	146	139	145,5	130,8	144	127
35%	130	127,5	163,5	126,5	146,5	128,5	153	137,5	131

Tabla 11 Materia insoluble en agua del jabón obtenido en la reacción de saponificación de la mezcla de aceite vegetal purificado y aceite de palma

Aceite de Palma (%)	Temperatura (°C)								
	75 °C			90 °C			105 °C		
15%	0,34	0,35	0,30	0,97	1,98	2,85	0,13	2,27	0,50
25%	1,98	1,61	0,17	1,57	3,90	3,71	5,00	3,80	3,60
35%	1,55	1,26	2,16	1,92	3,21	0,14	1,22	1,89	3,80

Tabla 12 Alcalinidad libre del jabón obtenido en la reacción de saponificación de la mezcla de aceite vegetal purificado y aceite de palma

Aceite de Palma (%)	Temperatura (°C)								
	75 °C			90 °C			105 °C		
15%	0	0	0	0	2,30	0,24	1,5	0	0
25%	0	0	0	0,12	0,19	0	0,16	2,60	0
35%	0	0	0,19	0	1,21	0,08	2,78	0,04	0

Tabla 13 Acidez libre del jabón obtenido en la reacción de saponificación de la mezcla de aceite vegetal purificado y aceite de palma

Aceite de Palma (%)	Temperatura (°C)								
	75 °C			90 °C			105 °C		
15%	0,36	0,30	0,18	0,26	0	0	0	0,2	0,25
25%	0,26	0,29	0,34	0	0	2,14	0	0	0,11
35%	0,11	0,11	0	0,21	0	0	0	0	0,33

Tabla 14 Humedad del jabón obtenido en la reacción de saponificación de la mezcla de aceite vegetal purificado y aceite de palma

Aceite de Palma (%)	Temperatura (°C)								
	75 °C			90 °C			105 °C		
15%	27,68	12,90	10,60	19,00	23,02	13,04	13,60	14,23	15,20
25%	16,91	19,44	6,53	29,40	8,42	9,30	10,11	19,62	11,04
35%	10,00	16,24	30,00	17,89	12,23	10,70	26,61	33,30	14,65

3.4.1 Método estadístico para la determinación de las mejores condiciones de reacción de saponificación de aceite vegetal purificado

3.4.1.1 Tablas de análisis de varianza de las variables de salida

Se realizó tablas de análisis de varianza para cada una de las variables de salida con un grado de confianza del 95%, para de esta manera determinar si es estadísticamente significativo el factor temperatura y factor porcentaje de aceite de palma y su interacción en las variables de salida del experimento.

La temperatura de reacción, el porcentaje de aceite de palma y su interacción no influyeron en el rendimiento de la reacción,

así como en la acidez libre, alcalinidad libre y humedad del jabón, mientras que en la materia insoluble si influyó la temperatura de reacción y porcentaje de aceite de palma pero no su interacción.

3.4.1.2 Determinación de las mejores condiciones de reacción de saponificación de la mezcla de aceite vegetal purificado y aceite de palma

Para determinar las mejores condiciones de reacción de saponificación de la mezcla de aceite vegetal purificado y aceite de palma, se construyeron las tablas de mínimos cuadrados medios y las gráficas de medianas para las variables de salida; rendimiento, materia insoluble en agua, alcalinidad libre, acidez libre y humedad del jabón. A continuación se presentan los gráficos de medias para cada una de las variables de salida.

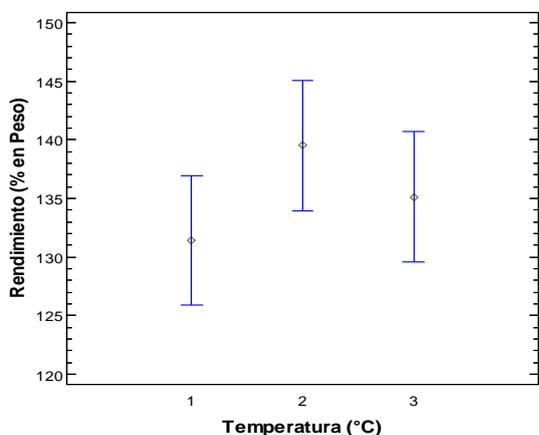


Figura 2 Medias del rendimiento alcanzado en la reacción de saponificación para cada uno de los niveles de temperatura

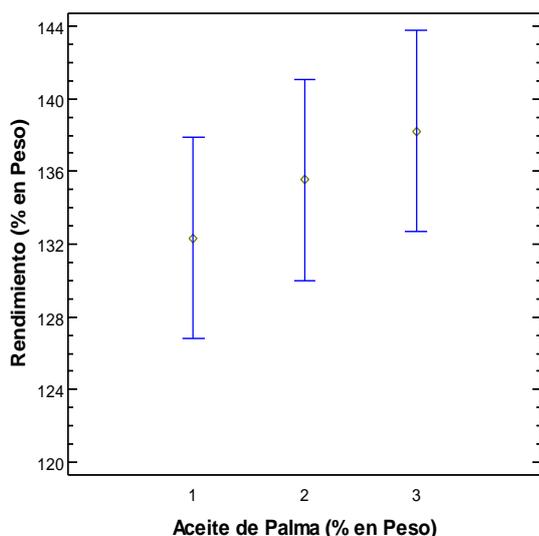


Figura 3 Medias del rendimiento alcanzado en la reacción de saponificación para cada uno de los niveles de % de aceite de palma

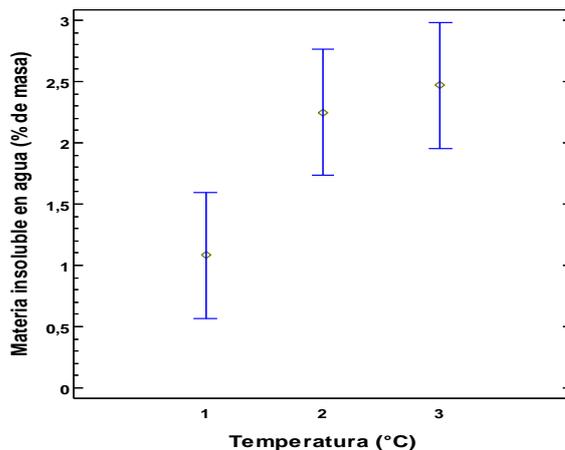


Figura 4 Medias de la materia insoluble en agua del jabón obtenido en la reacción de saponificación para cada uno de los niveles de temperatura

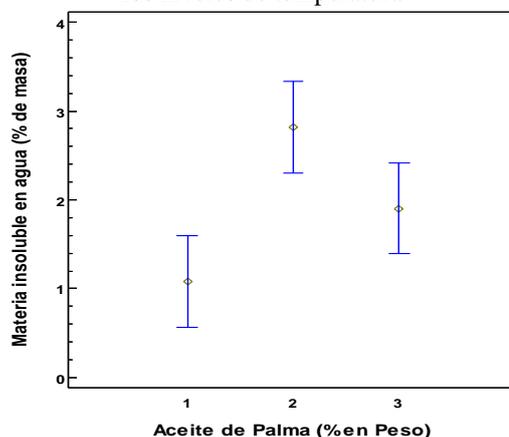


Figura 5 Medias de la materia insoluble en agua del jabón obtenido en la reacción de saponificación para cada uno de los niveles de % de aceite de palma

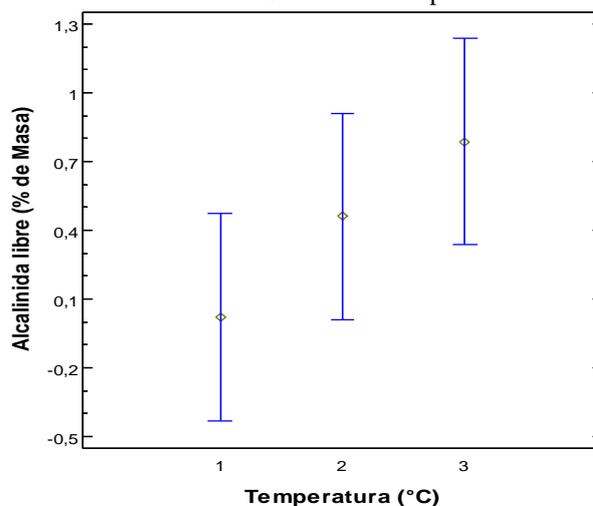


Figura 6 Medias de la alcalinidad libre del jabón obtenido en la reacción de saponificación para cada uno de los niveles de temperatura

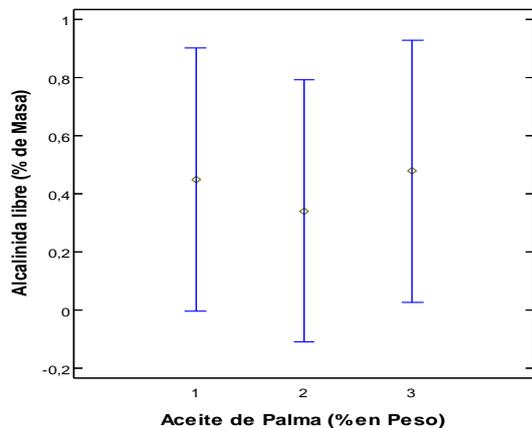


Figura 7 Medias de la alcalinidad libre del jabón obtenido en la reacción de saponificación para cada uno de los niveles de % de aceite de palma

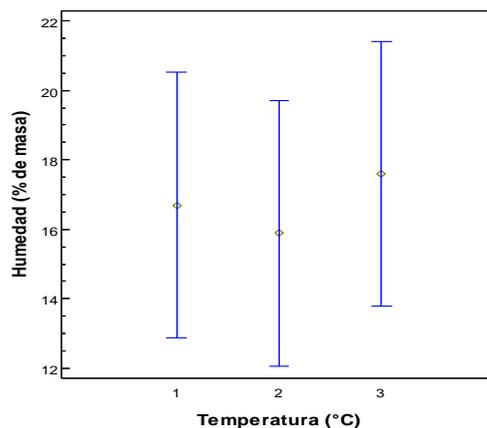


Figura 10 Medias de la humedad del jabón obtenido en la reacción de saponificación para cada uno de los niveles de temperatura

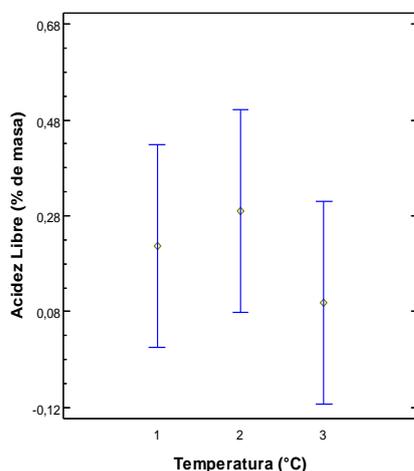


Figura 8 Medias de la acidez libre del jabón obtenido en la reacción de saponificación para cada uno de los niveles de temperatura

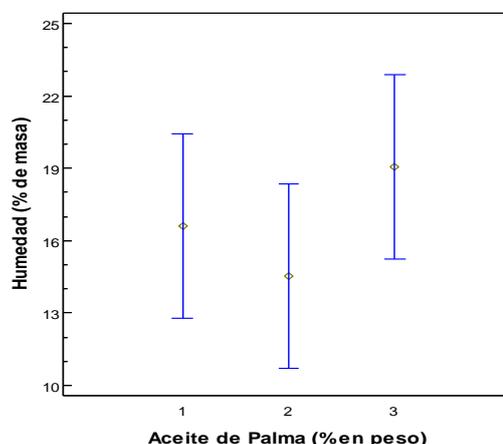


Figura 11 Medias de la humedad del jabón obtenido en la reacción de saponificación para cada uno de los niveles de % de aceite de palma

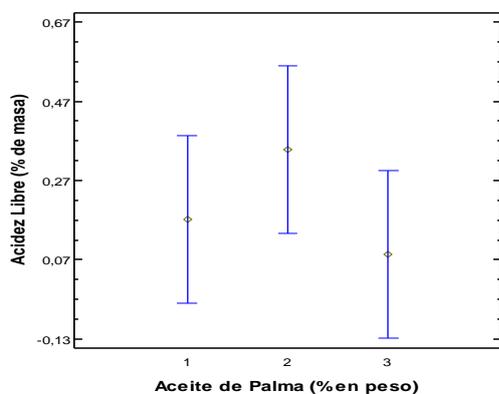


Figura 9 Medias de la acidez libre del jabón obtenido en la reacción de saponificación para cada uno de los niveles de % de aceite de palma

Las mejores condiciones para la reacción de saponificación es de 75 °C y 15 % de aceite de palma, mayor rendimiento se obtiene a 90 °C y 35% pero como se observa en la Figuras 2 y 3 los tratamientos de temperatura y porcentaje de aceite de palma son estadísticamente iguales, por lo que da igual rendimiento a cualquier temperatura y porcentaje de aceite de palma.

A 75 °C y 15% de aceite de palma se tiene un valor de materia insoluble en agua que cumple con la norma INEN 839 (1981), para la alcalinidad libre se tiene que a 75 °C se obtuvo un valor que se encuentra dentro del valor máximo establecido por dicha norma; mientras que a los diferentes porcentajes de aceite de palma se obtuvieron valores mayores al máximo establecido por la norma antes mencionada.

Para la acidez libre y humedad se tiene que a todos los niveles de temperatura y porcentaje de aceite de palma se encuentran dentro de los valores máximos establecidos por la norma. En la figura 12 se presenta el diagrama de flujo.

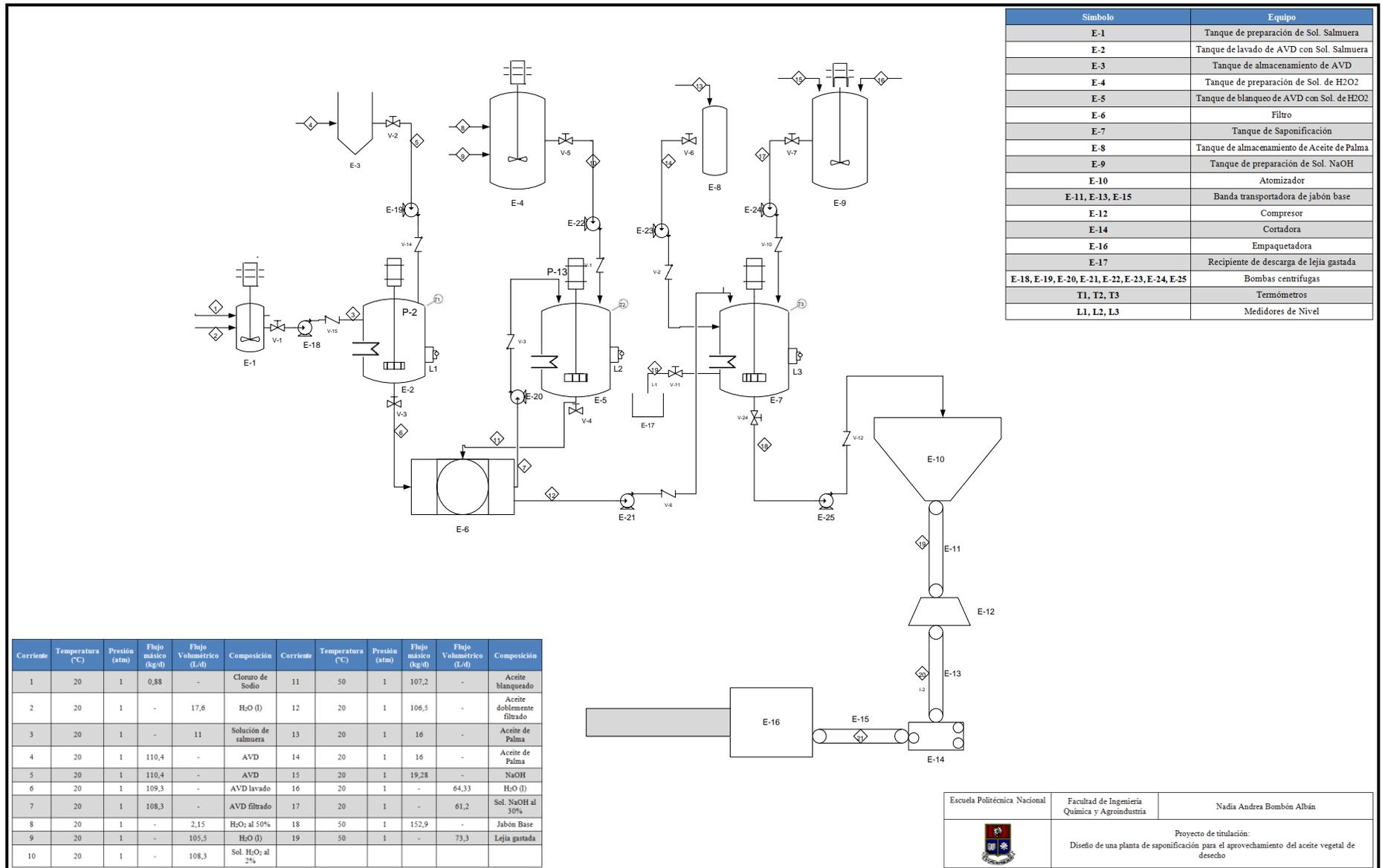


Figura 12 Diagrama de flujo de la planta de saponificación a escala piloto

4. CONCLUSIONES

1. El tipo de muestreo que se empleó para la recolección de AVD en este estudio, fue aleatorio estratificado, cuya muestra representativa fue de 23 locales comerciales de comida rápida.

2. Al comparar ciertas características del aceite de palma que se comercializa en el Ecuador con el aceite de palma de desecho se determinó que la acidez del aceite se incrementó aproximadamente 21 veces más debido al uso por un tiempo prolongado del aceite en la cocción de alimentos, así también que el contenido de impurezas insolubles es 60 veces mayor y que el índice de saponificación del aceite se incrementó en aproximadamente 10 %.

3. Para el blanqueo del AVD se determinó que la mejor proporción de aceite vegetal de desecho con respecto a la solución de peróxido de hidrógeno es de 1:1.

4. El aceite vegetal purificado presentó en sus características químicas una disminución del 7,53 % en la acidez e índice de acidez, 53,67 % en el contenido de impurezas insolubles y 2,33 % en el índice de saponificación con respecto al aceite vegetal de desecho.

5. La temperatura de reacción, el porcentaje de aceite de palma y su interacción no influyó en el rendimiento de la reacción, así como en la acidez libre, alcalinidad libre y humedad del jabón, mientras que en la materia insoluble si influyó la temperatura de reacción y porcentaje de aceite de palma pero no su interacción.

6. Las mejores condiciones de reacción de saponificación de aceite vegetal purificado fue de 75 °C y 15% de aceite de palma, debido a que se obtiene un mayor rendimiento y el producto obtenido cumple con la norma INEN 839 (1981).

7. Al procesar 43 200 L/año de AVD se produce 208 800 jabones de 250 g/año.

8. Al procesar 43 200 L/año de AVD se produce 4 057 L/año de glicerina como subproducto de la reacción de saponificación.

9. Para este proyecto se determinó un valor actual neto (VAN) de \$ -70 208,44 y la tasa interna de retorno (TIR) es de 4,76 %.

REFERENCIAS

- [1] A. O. Alade, A. T. Jameely S. A. Muyubi. (2011, Aug). Removal of Oil and Grease as Emerging Pollutants of Concern (Epc) in Wastewater Stream, *IJUM Engineering Journal*, 12(4), pp. 161-169.
- [2] Aceites y grasas vegetales y animales. Determinación del contenido de impurezas insolubles, Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 180. 1999.
- [3] Agentes Tensoactivos. Determinación de Acidez Libre, Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 822. 1982.
- [4] Agentes Tensoactivos. Determinación de Alcalinidad Libre, Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 821. 1982.
- [5] Agentes Tensoactivos. Determinación de Humedad y Materia Volátil, Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 818. 1982.
- [6] Agentes Tensoactivos. Jabón en barra Requisitos, Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 816. 1982.
- [7] Agentes Tensoactivos. Determinación de Materia Insoluble en Agua, Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 839. 1981.
- [8] A. Y. Girgis (2004, Enero). The utilization of discarded oil from potato chip factories in toilet soap making. *Grasas y Aceites*, 55(3), pp. 264-272.
- [9] Animal and vegetable fats and oils. Determination of acid value and acidity, International Organization for Standardization ISO 660. 2003.
- [10] G. Pérez. (2007). *Química Un Enfoque Constructivista*. (1ra. Ed.) [Online]. Available: <http://books.google.com.ec/books?id=bWViMVfoGk0C&pg=PA79&dq=contaminaci%C3%B3n+por+aceite+de+cocina&hl=es-419&sa=X&ei=IA3mUZqoMpK-4APoroHgDA&ved=0CD4Q6AEwAw#v=onepage&q=contaminaci%C3%B3n%20por%20aceite%20de%20cocina&f=false>
- [11] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC. (2010). Ecuador en cifras, Ecuador. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/disposicionResiduos.html#>
- [12] J. N. Fuentes y V. M. Núñez, "Evaluación del efecto del Aceite de Coroba en la elaboración de jabón cosmético", Proyecto de titulación previo a la obtención de título de Ingeniero Químico no publicado, Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, Barcelona, Venezuela, 2010.
- [13] M. D. López. (2012). Gestión de aceites vegetales y grasas de origen animal usadas en la ciudad de Neuquén, Neuquén, Argentina. Recuperado de <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=Gesti%C3%B3n+de+aceites+vegetales+y+grasas+de+origen+animal+usados+en+la+ciudad>.
- [14] M. D. Ruiz. (2006). No frías el Medio Ambiente, *Páginas de información ambiental*, (24), pp. 10-13.
- [15] X. Elías. (2012, Oct.). *Reciclaje de residuos industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora*. (2da. Ed.) [Online]. Available: http://books.google.com.ec/books?id=8yWSZEbQSXgC&pg=PA128&lpg=PA128&dq=descargar+gratis+RECICLAJE+DE+RESIDUOS++INDUSTRIALES+Residuos+s%C3%B3lidos+urbanos+y+fangos+de+depuradora&source=bl&ots=m1Y10oMc-1&sig=fs0q__ERsXwYIDFm9QD3GEJJgrE&hl=es-419&sa=X&ei=dRMwUeX_Aojo9ASh5oCYDQ&ved=0CFYQ6AEwBw#v=onepage&q=descargar%20gratis%20RECICLAJE%20DE%20RESIDUOS%20INDUSTRIALES%20Residuos%20s%C3%B3lidos%20urbanos%20y%20fangos%20de%20depuradora&f=false
- [16] Grasas y Aceites comestibles. Determinación del Índice de saponificación, Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 40. 1973.