

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

I INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El jabón es una de las sustancias, químicas fabricadas, más antiguas conocidas y fue producida por primera vez hace muchos años a través de las reacciones de las grasas animales con las cenizas de las plantas. (Kirk Othmer, 1998)

En el año 2016, 2.5 millones de litros de jabón líquido fueron vendidos a nivel mundial, con un promedio de 4 945 dólares desembolsados al año, por hogar, para la adquisición de este producto. (Rodriguez, 2016)

En el mercado del jabón, la primera tendencia emergente es el aumento en el uso de jabón líquido y la segunda tendencia es que los hogares prefieren jabones naturales y orgánicos (artesanales). (Craig, 2020)

Si bien para el año 2017, el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE) publicaba que: Bolivia importa 100 mil toneladas en productos de higiene y cuidado personal, entre esos el jabón líquido. La iniciativa de una producción artesanal y ecológica, comenzaba a surgir.

La industria Ritcher SRL, con sede en la ciudad de Cochabamba-Bolivia, es una de las industrias pioneras en la elaboración de productos de higiene, aseo y cuidado personal, entre ellas el jabón; con la particularidad de elaborar sus productos a partir del reciclaje de aceites vegetales usados; para el diario (Opinión, 2018) Industrias Richter SRL, en jabonería cuenta con dos marcas: Casero y Zas y que utiliza el aceite usado de cocina en cualquier estado: sucio, vencido y quemado, acopiando al mes 6 mil litros, produciendo 20 mil barras de jabón al día.

En cuanto a la producción de jabón líquido a partir de aceites de cocina usados, se cuenta con documentos como ser: “DISEÑO DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE JABÓN A PARTIR DE ACEITES VEGETALES USADOS” y “OBTENCIÓN DE JABÓN LÍQUIDO USANDO ACEITE VEGETAL RECICLADO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA

PERUANA – IQUITOS.”, entre otros, de los cuales se rescatarán diagramas de flujo y operación en los procesos de elaboración del jabón líquido, ya que sus resultados son: a partir de 100 gramos de aceite vegetal usado, obtienen 538 gramos de jabón líquido.

1.2 Justificación

Actualmente la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, cuenta con más de diez quioscos alrededor del campus universitario, los cuales sirven alimentos fritos y como producto de este cocimiento, los propios quioscos generan aceites vegetales usados, los cuales son desechos que provocan contaminación.

Con la firme convicción de dar un tratamiento adecuado a estos residuos, minimizando su carga contaminante, surge la oportunidad de elaborar un jabón líquido, para tratar dichos aceites usados.

1.2.1 Justificación Económica

Al recolectar los aceites vegetales usados que producen las casetas y el comedor universitario, reducimos los costes que implica el tratamiento de estos residuos.

Al ser un residuo, su costo no es relevante y evidentemente, su aplicación posterior es de importancia por cuanto se genera un producto provechoso para todos; creando una cultura de protección y una especie de economía circular en las personas que generan la materia prima.

1.2.2 Justificación Tecnológica

Plenamente conscientes que la elaboración de jabón, fue una de las primeras actividades de manufacturación implementadas durante siglos hasta la actualidad y que el uso de aceites vegetales usados como materia prima, es una ventaja aprovechable.

La tecnología que demanda este proceso es de fácil alcance y de costos no relevantes, las técnicas y procedimientos para la elaboración se realizan en un tiempo corto, con beneficios de rendimiento del proceso y económicos.

1.2.3 Justificación Social

Al recolectar todos los aceites usados, producidos por todas las casetas del campus, se realizará una gestión de residuos contaminantes para aprovecharlos, tal que, ya no será necesario que las dueñas de los quioscos se ocupen de la disposición final.

Este proyecto no solo contempla reducir la carga contaminante que, como institución, se genera, sino también de cuidar y preservar la salud de todos los que consumimos los alimentos que se cocinan y venden en los quioscos del campus; ya que, al efectuarse la recolección de los aceites usados, se llevará a cabo un control del estado de los aceites.

Este proyecto llevara a UAJMS como institución pionera en involucrarse en la gestión de residuos y ser sostenible en esta área.

1.2.4 Justificación Ambiental

Al implementar todo el cronograma y plan de trabajo para la elaboración de este producto, como universidad, se aportará al cuidado de la tierra y fuentes de agua al recolectar los aceites vegetales usados y transformarlos en productos biodegradables.

Es necesario ser agentes de cambio y atender las demandas de reducción de contaminación y ser ejemplos tangibles de consciencia ambiental.

1.2.5 Justificación Personal

No solo para optar al título de licenciatura en la carrera de ingeniería química, es dirigido este proyecto, ya que nace con un propósito de mayor ambición.

Realizar una gestión de residuos para transformar materia contaminante en un producto útil y de uso masivo, dentro de un espacio suficiente para evaluar su impacto y aceptabilidad, es uno de los objetivos de mayor peso y relevancia que incidieron en la autora para llevar a cabo el presente proyecto.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General

Elaborar jabón líquido a partir de aceite vegetal usado, en la carrera de ingeniería química de la U.A.J.M.S., a escala laboratorio.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el estudio de campo y determinar cantidad y características de la materia prima.
- Realizar los ensayos de laboratorio de la materia prima, para obtener jabón líquido con las condiciones de cumplimiento a la norma INEN 842.
- Determinar el rendimiento o eficiencia del proceso tecnológico de elaboración de jabón líquido a partir de aceites vegetales usados, generados por las casetas ubicadas en el campus universitario.
- Realizar el balance de materia y energía del proceso.
- Definir las características físicas y químicas, del producto, según: prueba de hilo, prueba de persistencia de espuma, prueba de saponificación, determinación de la alcalinidad libre, determinación de la materia insoluble en agua y determinación de pH.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

II MARCO TEÓRICO

2.1 Reseña Histórica

Evidencia histórica revela que los primeros fabricantes de jabón, o sustancias similares, fueron los Babilonios, mesopotámicos, antiguos griegos y romanos, alrededor del año 2800 a.C; mezclando grasas hervidas con cenizas vegetales, usando este producto para la limpieza de utensilios, textiles y con fines medicinales.

Producir jabón, era una técnica exclusiva realizada por un grupo reducido de fabricantes, creándose un monopolio, hasta que en el año 1791 el químico francés Nicolas LeBlanc, descubrió y publicó el procedimiento para la obtención de carbonato de sodio, esto hizo que los jabones se vendieran a un precio mucho más reducido.

A mediados del siglo XIX, fue donde se marcó la diferencia entre jabones para lavar ropa y los jabones a usar en el cuidado y aseo personal, lo que llevó al desarrollo de diferentes jabones con amplias gamas de propósitos.

Si bien, la primera patente de jabón líquido fue en 1865 realizada por William Sheppard, el éxito de este producto, recién, tuvo lugar en el año 1989 con el jabón líquido hecho a partir de palma y aceite de oliva por la empresa Palmolive, la cual se encuentra en el mercado hasta el presente. (Historia del Jabón)

2.2 Materia Prima

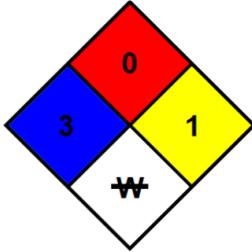
2.2.1 KOH

El hidróxido de potasio es una sustancia alcalina fuerte que se disocia completamente en el agua en el ión potasio (K^+) y iones de hidróxido (OH^-). La disolución en agua genera calor, por lo que puede ocurrir una vigorosa reacción cuando el hidróxido de potasio se añade al agua. La presión de vapor de la sustancia es muy baja y el punto de fusión es alto. Las soluciones de hidróxido de potasio atacan el aluminio y sus aleaciones, emitiendo gas de hidrógeno. Se puede neutralizar con ácidos (por ejemplo

ácido clorhídrico), dando las sales de potasio de los ácidos, las cuales son neutras y no corrosivas. (Ercros, 2012)

Para identificar esta sustancia, se utiliza la siguiente ficha de seguridad:

Tabla II-1 Hoja de Seguridad del Hidróxido de Potasio

Identificación del Producto	
Nombre de la sustancia	Hidróxido de potasio
Número CAS	1310-58-3
Fórmula química	KOH
Sinónimos	Potasa Cáustica
Estructura química	K+OH-
Masa molar	56.098 g/mol
Usos recomendados	Manufactura de jabones y detergentes, papel, explosivos pigmentos y productos del petróleo y en la industria química en general.
Identificación del peligro o peligros	
Descripción de peligros:	
	
Información pertinente a los peligros para el hombre y el ambiente:	
Provoca quemaduras graves en la piel, ojos, tracto respiratorio y el tracto gastrointestinal. El material es extremadamente destructivo para todos los tejidos corporales. Puede ser mortal si se ingiere. Perjudicial si se inhala.	
Sistemas de clasificación:	
NFPA(escala 0-4)	
	

Propiedades físicas y químicas	
Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Olor	Inodoro
pH	13.5
Punto de fusión	380°C
Punto de ebullición	1384°C
Densidad relativa	2.044
Solubilidad en agua a 25°C	121 g en 100 ml
Estabilidad y reactividad	
Reactividad	Corrosivo
Estabilidad	Estable bajo condiciones normales
Incompatibilidad	Es incompatible con agua, ácidos y compuestos halogenados orgánicos como el Tricloroetileno. El contacto con metales como Aluminio, Magnesio, Estaño o Zinc puede liberar gas hidrógeno (inflamable). Reacciona rápido con azúcares para producir monóxido de carbono. Reacciona con materiales inflamables
Productos peligrosos de la descomposición	Óxidos de potasio.
Información toxicológica	
Toxicidad agua:	Compuesto contaminante del agua
Irritaciones cutáneas:	Si
Lesiones oculares graves/irritación ocular:	Si
Sensibilización respiratoria o cutánea:	Si
Peligro por aspiración:	Si
Posibles vías de exposición:	Dermal y respiratoria
Efectos inmediatos:	Irritación y corrosión de órganos
Efectos retardados:	Edema pulmonar
Efectos crónicos por exposición única:	Dermatitis

Fuente: (Muñoz & Rodríguez, 2016)

2.2.2 Aceites Vegetales Usados (AVU's)

Los aceites vegetales usados, son aquellos que han servido como materia prima en los procesos de cocción en restaurantes, comedores colectivos, freidoras, caterings, industrias alimenticias, etc. (CAR/PL, 2001)

Figura 2-1 Aceite Vegetal, de cocina, Usado



Fuente: (elurbano.com, 2018)

Sabiendo, entonces, que el proceso de fritura es un alto demandante de aceite, por lo cual va a generar una importante cantidad de AVU's, los cuales han sido sometidos a factores que alteran su composición y estado; para (Chacón de León, 2004) son cinco combinaciones de factores, que inciden en la degradación de los aceites en el proceso de fritura:

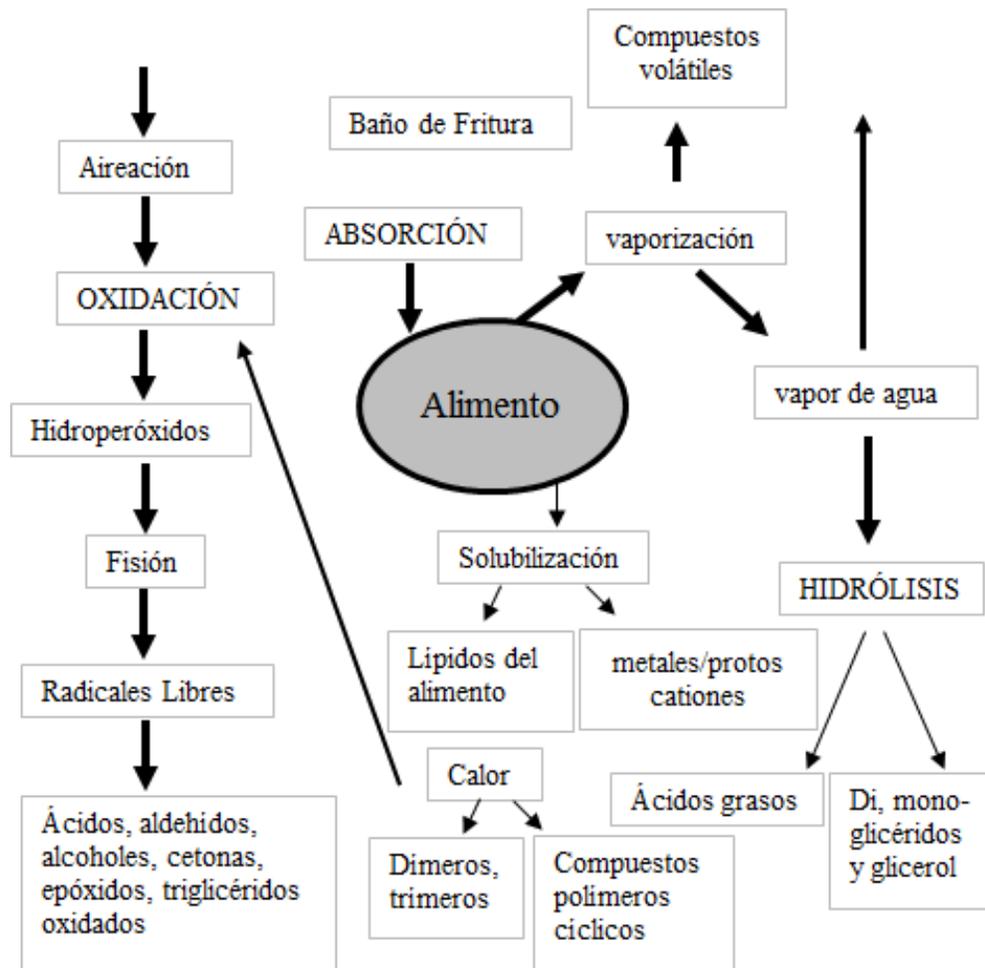
- Exposición al oxígeno del aire atmosférico.
- Exposición a la luz ultravioleta.
- Elevadas temperaturas en el proceso de fritura, alrededor de 180°C.
- Participación del agua, desprendida por la deshidratación del alimento.
- Separación de compuestos del alimento que contaminan el proceso.

Como también el autor, mencionado anteriormente, estudia y afirma que durante el proceso de fritura los aceites sufren cuatro reacciones químicas de degradación, como ser:

- Oxidación: en una primera fase, factores como los mencionados anteriormente, convierten las moléculas insaturadas del aceite en radicales libres, los cuales se oxidan fácilmente y forman peróxidos.
En la segunda fase, se produce una elevada formación de peróxidos, los cuales reaccionan con otra molécula de aceite formando hidro-peróxidos y radicales libres; la descomposición de los hidro-peróxidos en aldehídos, cetonas, alcoholes y ácidos, son los que generan rancidez.
- Descomposición Térmica: Los procesos de fritura se llevan a cabo a temperaturas muy elevadas, esto promueve fácilmente la oxidación de los ácidos grasos insaturados, altamente reactivos. Esta descomposición del aceite por acción del calor se lleva a cabo simultáneamente con la oxidación.
- Hidrólisis: por acción del agua, los triglicéridos (presentes en los aceites) se rompen y se generan ácidos grasos libres, diglicéridos, monoglicéridos, y aún glicerol libre, cuando la hidrólisis es muy avanzada.
- Polimerización: La polimerización es una reacción entre las mismas moléculas de los triglicéridos, catalizada por los radicales libres; la viscosidad del aceite aumenta a medida que aumenta la formación de polímeros.

El siguiente diagrama muestra como ocurren las reacciones químicas mencionadas, y los subproductos, durante el proceso de fritura.

Figura 2-2 Reacciones Químicas en el Proceso de Fritura



Fuente: (Juárez & Sammán, 2007)

2.2.2.1 Características

Como se mencionó, en el epígrafe anterior, los aceites que se someten al proceso de fritura cambian su estado físico y químico, a continuación, se muestra una tabla comparativa que revela las diferencias y modificaciones de cantidades y porcentajes, según los parámetros indicados:

Tabla II-2 Características de los Aceites Vegetales

Parámetros	Usado	Fresco
Peso específico (20°C)	0.911	0.858
Índice de yodo (%m/m)	107.76	93.95
Índice de saponificación (mg KOH/g)	201.5	160.1
Punto de fusión (°C)	32.6	26
Impurezas Insolubles (%m/m)	0.012	0.066
Índice de acidez (%m/m ácido oleico)	9.193	1.07
K ₂₃₂ (Coef. Extinción)	0.126	0.015
K ₂₇₀ (Coef. Extinción)	0.156	0.03
Ensayo de Kreis (interfase)	Rojo intenso	Amarillo claro

Fuente: (Murcia, Chaves, Rodríguez, Andredy, & Alvarado, 2013)

Se puede observar la relevante diferencia entre el aceite fresco y usado según los parámetros medidos, esto servirá para también poder comparar los AVU's de UAJMS una vez analizados y caracterizados.

Para ejemplificar las características y composición, por medio de una comparación, de los aceites antes y después del proceso de fritura, la siguiente tabla muestra la variación de los ácidos grasos que componen y están presentes en el aceite de Soja y Girasol que fueron sometidos a un estrés térmico entre 200 a 220 °C durante 30, 60 y 120 minutos:

Tabla II-3 Perfil de ácidos grasos de aceite de Soya y Girasol, sometidos a estrés térmico en tiempo variable

Aceite de Soya					
% Ácido Graso (\pm)		0 min.	30 min.	60 min.	120 min.
C16:0	a. Palmítico	12.78 \pm 1.34	11.66 \pm 0.59	11.28 \pm 1.12	8.84 \pm 2.33
C18:0	a. Estearico	2.31 \pm 0.21	1.64 \pm 0.11	1.55 \pm 0.13	0.83 \pm 0.01
C18:1n9c	a. Oleico	16.37 \pm 1.11	14.57 \pm 0.34	18.11 \pm 0.83	12.40 \pm 0.41
C18:2n6c	a. Linoleico	62.74 \pm 2.88	52.04 \pm 2.38	52.41 \pm 1.86	49.83 \pm 0.36
C18:3n6c	a. Linolénico	5.81 \pm 0.21	2.11 \pm 0.10	2.23 \pm 0.07	0.75 \pm 0.09
Aceite de Girasol					
% Ácido Graso (\pm)		0 min.	30 min.	60 min.	120 min.
C16:0	a. Palmítico	4.59 \pm 0.20	2.49 \pm 1.13	1.99 \pm 0.23	1.70 \pm 0.10
C18:0	a. Estearico	1.51 \pm 0.21	0.59 \pm 0.09	0.39 \pm 0.09	0.41 \pm 0.15
C18:1n9c	a. Oleico	60.58 \pm 1.00	27.74 \pm 0.78	23.48 \pm 4.25	21.17 \pm 2.23
C18:2n6c	a. Linoleico	25.39 \pm 0.66	11.19 \pm 0.16	9.95 \pm 1.01	9.59 \pm 1.81
C18:3n6c	a. Linolénico	7.93 \pm 1.15	3.10 \pm 0.01	3.21 \pm 0.82	2.74 \pm 0.33

Fuente: (Barajas, y otros, 2016)

El perfil de ácidos grasos de la Tabla II-3 muestra la significativa participación del estrés térmico y el tiempo en que los aceites permanecen en dicho estrés, se evidencia la disminución de ácidos grasos que componen al aceite de girasol y soya, la merma más relevante está en el ácido linoleico en el aceite de soya y en el aceite de girasol, el ácido oleico.

2.2.2.2 Impacto Ambiental

Los aceites vegetales usados son considerados un residuo peligroso, debido a que contienen impurezas contaminantes que afectan la salud humana y el medio ambiente. Debido a su transformación química, su difícil biodegradabilidad, y la emisión de gases (en caso de combustión incorrecta), se convierten en un agente contaminante que requiere un adecuado tratamiento. (Patiño, 2016)

El impacto ambiental que ocasionan se menciona a continuación:

- Contaminación del suelo por derrames y disposición inadecuada: si llega a caer este desecho en la tierra o en pozos, se pierde la tierra fértil a modo irreversible.

- Deterioro de tuberías y alcantarillado: si se arroja el aceite por el lavadero de la cocina puede enfriarse en las cañerías y producir obstrucción, provocando inundaciones de alcantarillado, problemas de olores y plagas de ratas. A futuro, implicará un gasto mayor para la limpieza de los alcantarillados.
- Incremento de los costos de operación y mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Dado a la irresponsabilidad de echar aceite en las cañerías, el agua se mezcla con este deshecho y se requiere mayor tiempo de tratamiento del agua, para convertirla en otra apta para reutilizarla en el ambiente.
- La contaminación de cursos de agua, como arroyos y canales de agua. En el caso de los municipios que no disponen de una Planta de Tratamiento de Agua Residuales, el aceite culmina en el curso del agua, causando la muerte de la flora ya que el AVU no es biodegradable, lo que afecta la capacidad de intercambio de oxígeno del agua con el aire. (ALBARDONBIO, 2015)

Una vez expuesto lo concerniente al impacto ambiental ocasionado por la contaminación de residuos peligrosos como son los aceites vegetales usados, creemos que es necesario dar con una alternativa para su tratamiento.

2.2.2.3 Alternativas de Tratamiento

Si bien, es claro el uso que se le pretende dar a esta materia prima, se desea mencionar la diversa gama de usos que se le puede dar a estos agentes contaminantes transformándolos en productos los cuales su impacto negativo al medio ambiente esta atenuado o reducido.

Para (Villabona, Iriarte, & Tejada, 2017) la reutilización y fabricación de productos con valor agregado a partir de un desecho como el aceite de cocina usado supone una fuente de empleo y una alternativa para la reducción del impacto ambiental y sanitario propiciado por la mala deposición de este residuo. Los procesos que generan productos para tal fin, son los siguientes:

- Mezcla con Estearina: Velas

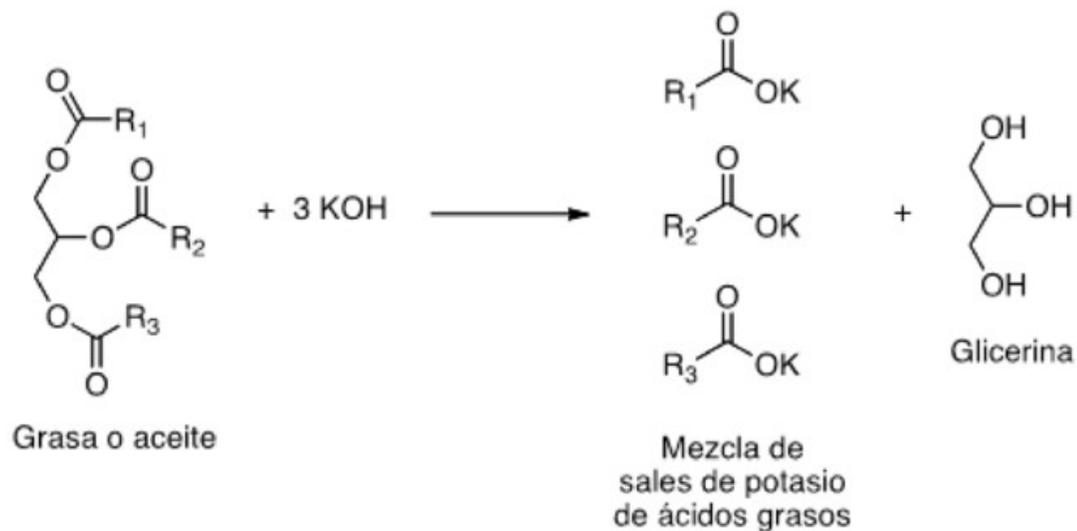
- Transesterificación: Biodiesel, Espuma rígida de poliuretano
- Saponificación: Jabones

Como se evidencia, existe una gama amplia de posibilidades de reciclar y/o reusar los aceites vegetales de desecho, en el presente documento, elegimos la fabricación de jabón líquido, partiendo de este residuo como materia prima.

2.3 Saponificación

La saponificación es el corazón de la fabricación de jabón. Es una reacción química y exotérmica, en la que los componentes básicos de las grasas y los aceites (triglicéridos) reaccionan con una base, hidróxido de sodio o hidróxido de potasio, para formar jabón. La saponificación significa literalmente "convertirse en jabón" de la palabra raíz, *sapo*, que en latín significa jabón. Los productos de la reacción de saponificación son glicerina y jabón. Químicamente, el jabón es una sal de ácido graso. (Crafter, 2019)

Figura 2-3 Saponificación



Fuente: (Regla, Velázquez, Cuervo, & Neri, 2014)

2.4 Jabón

Los jabones son sales sódicas o potásicas de los ácidos grasos, solubles en agua. Se fabrican a partir de grasas o aceites (que son mezclas de triacilglicerolos) o de sus ácidos grasos, mediante tratamiento con un álcali o base fuerte (hidróxido sódico, que dará jabones “duros”, o hidróxido potásico, que dará jabones “blandos” más adecuados para jabones líquidos y cremas de afeitar). (Carrero & Herráez)

2.4.1 Propiedades

Los jabones tiene la característica de ser surfactantes (agentes activos de superficie).

Los surfactantes tienen una estructura bipolar, compuesta por una cola hidrofóbica y una cabeza hidrofílica. Dentro de una solución, los surfactantes se concentran en una sola capa (monocapa) dentro la región interfacial entre dos fases cualesquiera con distinta polaridad. Ejemplo de una región interfacial es la que se forma en la interfase de la mezcla aceite-agua; entonces, la parte hidrofílica prefiere solubilizar la región polar o con polaridad alta y la porción que es hidrofóbica solubilizará preferentemente la región apolar o con polaridad baja. La presencia del surfactante hace que la interfase tenga estabilidad y miscibilidad mediante la reducción o decrecimiento de la energía que mantiene los límites de ambas fases.

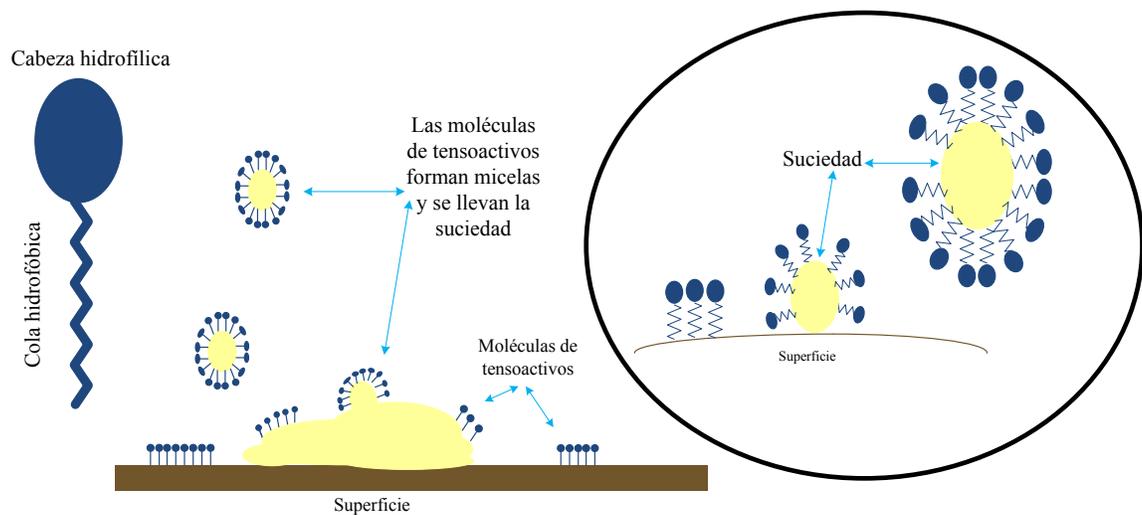
La otra propiedad que tienen los surfactantes, es la habilidad de formar micelas, los cuales son un conglomerado de moléculas, los cuales en el agua forman una estructura esférica ubicando la cola hidrofóbica al centro y la cabeza hidrofílica al extremo formando la mencionada forma esférica. (Kirk Othmer, 1998)

2.4.2 Mecanismo de Acción

Los jabones limpian debido a las afinidades diferentes de los extremos de sus moléculas. La suciedad grasa no se elimina fácilmente sólo con agua, que la repele por ser insoluble en ella. Sin embargo, el jabón posee una cadena larga alifática o hidrocarbonada sin carga que interactúa con la grasa, disolviéndola, mientras que la región con carga se orienta hacia el exterior, formando gotas.

Una vez que la superficie de la gota grasa está cubierta por muchas moléculas de jabón, se forma una micela con una pequeña gota de grasa en el interior. Esta gota de grasa se dispersa fácilmente en el agua, ya que está cubierta por las cabezas con carga, como se observa en la figura. La mezcla que resulta de dos fases insolubles (agua y grasa), con una fase dispersada en la otra en forma de pequeñas gotas, se denomina emulsión. Por lo tanto, se dice que la grasa ha sido emulsionada por la solución jabonosa. De esta manera, en el proceso de lavado con un jabón, la grasa se elimina con el agua del lavado. (Regla, Vázquez, Cuervo, & Neri, 2014)

Figura 2-4 Mecanismo de Acción de los Tensioactivos.



Fuente: (Robert, 2019)

2.4.3 Tipos de Jabones

Existen diferentes parámetros para definir los tipos de jabones; en esta sección, clasificaremos a los tipos de jabones según la lejía con la que fueron hechos, entonces se cuenta con dos tipos de jabones:

- **Jabones Duros:** son los que resultan de la saponificación de un ácido graso con hidróxido de sodio; los jabones duros además de presentar un estado físico sólido, son usados en trabajos de limpieza fuerte por lo tanto son considerados

con poder detergente más agresivo, comercialmente son más baratos, debido a que el álcali con el que se trabaja es de menor precio.

- Jabones Blandos: son el resultado de la mezcla de un ácido graso con hidróxido de potasio, son jabones semifluidos porque son higroscópicos y más solubles en agua, los cuales al poseer un poder detergente más suave, se emplean en la elaboración de jabones de manos y productos para la piel. (Fleitas , Grayeb, & Hary, 2010)

2.4.3.1 Jabón Líquido

Hilgert 2012 (citado en Perero & Salazar, (2017)) menciona que esta clase de jabón ha pasado a ser el preferido por su mezcla surfactante y agentes espumeantes, la mayoría de ellos contienen ligeras fragancias y otros aditivos para el cuidado de la piel, son compatible con todo tipo de agua y usualmente tienen buenas propiedades limpiadoras.

Para el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), las especificaciones para el jabón líquido, contemplado en la sección de Agentes Tensoactivos de la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 842) en su primera revisión, clasifica a los jabones líquidos en:

- Jabón líquido simple. Producto destinado al lavado y limpieza específica o general, cuyo componente activo está constituido, principalmente, por sales alcalinas de ácidos grasos.
- Jabón líquido combinado. Jabón para lavar cuyo componente activo está constituido por sales alcalinas (inorgánicas, orgánicas o sus mezclas) de ácidos grasos, ácidos grasos libres y otros tensoactivos, en proporciones tales que permitan obtener un producto de características adecuadas para su uso específico.

Como también deben cumplir los siguientes requisitos:

- El jabón líquido puede producir espuma durante su uso.
- El jabón líquido debe ser completamente soluble en agua.
- El jabón líquido puede contener perfumes, pigmentos, colorantes y antioxidantes.

- El jabón líquido debe presentarse como una solución acuosa y homogénea.
- Mientras el producto se encuentre en su envase original debe permanecer estable en condiciones normales de uso y almacenamiento.

Tabla II-4 Requisitos fisicoquímicos del Jabón Líquido.

REQUISITOS	Simples	Combinados	METODO DE ENSAYO
Materia Grasa Total, % ^a mín.	10	10	NTE INEN 823
Tensoactivos no jabonosos (materia activa valorable m.a.), % ^a	--	≤ 3	NTE INEN 833
Alcalinidad libre como NaOH, % ^a máx.	0.5	0.5	NTE INEN 821
Materia insoluble en agua, % ^a máx.	1.5	1.5	NTE INEN 816
P ₂ O ₅ , % ^a máx.	10	10	NTE INEN 830
Ph ^b , máx.	11	11	NTE INEN-ISO 4316
Biodegradabilidad del tensoactivo, % ^a mín.	90	90	ASTM D2667
<p>NOTA: En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados en la tabla, estos deben ser oficiales. En el caso de no ser un método oficial, este debe ser validado.</p> <p>^a% corresponde a fracción de masa expresada en porcentaje.</p> <p>^b Solución al 1 %.</p>			

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2015)

La mencionada norma se encuentra en el Anexo B, para su revisión.

Para (Betsy, Juli, Fathima, & Varkey, 2013) saber el contenido de materia grasa total (MGT) y alcalinidad de los jabones es necesario para considerar un jabón de alta calidad, menciona que un jabón de ácido oleico tiene un 92.8% MGT lo que hace que el jabón posea suavidad, abundante espumabilidad y persistencia de la misma, aseverando también que un jabón debe contener baja alcalinidad para ser de alta calidad; (Dermo, 2019) explica que el exceso alcalinidad hace que el jabón tenga una alta capacidad de formar sales calcáreas al contacto con aguas duras.

Para (Martínez, 2016) la materia insoluble en agua contiene compuestos como ser triglicéridos y ácidos grasos libres, que se resumen en materia insaponificada e ingredientes de materia no jabonosa.

El poder limpiador de un jabón con pH altamente alcalino es remarcado en la publicación hecha por (Dermo, 2019), sin embargo los estudios de (D'Santiago & Vivas de Marcano, 1996) mencionan que el pH de la superficie cutánea es ácido y al contacto con un pH alcalino se altera la capacidad buffer de la piel afectando al consumidor si el mismo tiene una piel sensible.

2.5 Métodos de Producción de Jabón

En vista que este proyecto tiene el objetivo de, elaborar jabón líquido a partir de aceites vegetales usados, los métodos para lograr esto, son dos:

- Proceso en frío.
- Proceso en caliente.

En ambos procesos la reacción principal es la saponificación.

2.5.1 Proceso en Frío

Se parte desde los reactivos iniciales, aceites y/o grasas y disolución de álcali-agua, en frío. Se suele hacer con hidróxido sódico y se obtienen jabones duros. El principal inconveniente de esta técnica ocurre cuando partimos de grasas sólidas (sebo). Para

solventarlo se calientan y se mezclan con grasas líquidas (aceites) para conseguir una mezcla con un menor punto de fusión y por tanto líquida a temperatura ambiente.

Los jabones obtenidos por este proceso se deben someter a un proceso de curado, es decir, hay que dejarlos reposar de 4 a 8 semanas para que la reacción de saponificación se complete, y el jabón vaya adquiriendo un pH menos básico. Este tiempo de curación también permite que el jabón pierda el exceso de agua que tenga y se vaya endureciendo.

La reacción en frío se suele usar más para la elaboración artesanal y casera de jabones (jabón a partir de los aceites usados de uso doméstico).

El jabón obtenido suele tener color céreo, no es especialmente duro y se suele emplear rallado en forma de polvo. (Guerrero, 2014)

2.5.2 Proceso en Caliente

El proceso semi hervido o caliente, es en el que la reacción tiene lugar cerca del punto de ebullición, hay dos tipos de métodos de proceso en caliente: El primero es el ITMHP (en el proceso de molde caliente) y el segundo es el CPHP (proceso Crockpot caliente), donde la reacción se completa prácticamente en el Reactor – Batch. Normalmente, los fabricantes de jabón eligen los métodos de proceso en caliente si desean eliminar el tiempo de curado.

El proceso en frío y el proceso en caliente son los más sencillos y típicamente utilizados por pequeños artesanos y aficionados a la producción de jabones decorativos hechos a mano. (Okolie, Ezeliora, Iwenofu, & Sinebe, 2014)

2.6 Elaboración de Jabón Líquido a partir de AVU's

2.6.1 Procedimiento

2.6.1.1 Acondicionamiento de AVU's

Una vez recolectado los aceites, lo primero a realizar es el pesaje en bruto de toda la materia recolectada; para después dar inicio al acondicionamiento.

- Sedimentación: para separar sólidos medianos y agua, de los aceites.
- Filtración: para separar sólidos finos.
- Clarificación: (no indispensable) mediante la técnica de ozonización o adición de peróxido de hidrógeno.

Para (Parra, Marín, Jácome, & Sinche, 2018) El mejor proceso de eliminación de sedimentos para el ACU (lavado con salmuera, sedimentación y filtración) presentó porcentajes de disminución en los parámetros de calidad de: 53.45% en el índice de acidez, 14.71% en el índice de saponificación y 68.98% en el contenido de impurezas insolubles. La ozonólisis con una dosis de 0.1946 mol O₃/L, temperatura de reacción ambiente (16 °C) y calentamiento pos tratamiento de 60 °C, fue el mejor proceso de blanqueamiento, con un 24.39% de decoloración.

Una vez acondicionado la materia prima, es indispensable realizar los análisis de calidad y características de los aceites vegetales usados, para ello, se presenta las normas que proporciona el IBNORCA para dicho propósito:

- NB 34004:2007 Aceites y grasas - Determinación de la acidez.
- NB 34030:2004 Aceites y grasas - Determinación de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases.
- NB 34005:2006 Aceites y grasas - Determinación del índice de saponificación (Segunda revisión)
- NB 34007:2006 Aceites y grasas - Determinación de la materia Insaponificable (Segunda Revisión)
- NB 34009:2006 Aceites y grasas - Prueba de rancidez - Ensayo de Kreis (Segunda Revisión)

2.6.1.2 Etapa Productiva

Basándonos en el método de producción de jabón: proceso en caliente y según las experiencias de (Perero & Salazar, 2017), la etapa productiva consiste de:

1. Pesaje de las materias primas.
2. Calentamiento de los AVU's: por un periodo de 30 min a 70°C.

3. Preparación de la potasa caustica: mezclar el agua con el KOH.
4. Saponificación: agregar la solución de KOH a los aceites, mantener la temperatura de 70°C y agitar, para evitar la formación de grumos, hasta llegar al punto hebra o traza.
5. Cocción: para asegurar la neutralización de todos los compuestos, con un aproximado máximo de 4 horas, con agitación lenta cada media hora.
6. Dilución: se diluye la pasta jabonosa con agua caliente, para favorecer la mezcla, se agrega colorante y fragancia, si se precisa también de añade una solución neutralizante y espesante.
7. Enfriado y envasado.

Una vez finalizada la etapa productiva, antes del envasado, las pruebas de calidad a realizar tanto físicas y químicas son imprescindibles y sencillas de hacer.

Las pruebas físicas para evaluar la correcta dilución de la pasta jabonosa son: la prueba de hilo y la prueba de espuma persistente.

El IBNORCA, cuenta con las siguientes normas para analizar agentes tensoactivos – Jabones:

- NB 74015:2010 Agentes tensoactivos - Jabones - Método de determinación de la alcalinidad libre (Segunda revisión) (Anula y reemplaza a la norma NB 222:1997).
- NB 74016:2010 Agentes tensoactivos - Jabones - Métodos de determinación de los ácidos grasos totales (Segunda revisión) (Anula y reemplaza a la norma NB 223:1997).
- NB 74018:2010 Agentes tensoactivos - Jabones - Métodos de determinación de la materia insoluble en alcohol y de la materia insoluble en agua (Segunda revisión) (Anula y reemplaza a la norma NB 221:1997).
- NB 74019:2010 Agentes tensoactivos - Jabones - Método de determinación de la materia no saponificada y de la materia insaponificable (Segunda revisión) (Anula y reemplaza a la norma NB 224:1997).

- NB 74020:2010 Agentes tensoactivos - Jabones - Métodos de determinación del contenido de cloruros (Segunda revisión) (Anula y reemplaza a la norma NB 225:1997).

2.6.1.3 Insumos

Para elaborar jabón líquido, también, se precisa de:

Agua: es el medio donde ocurre la saponificación y es partícipe de la formulación para el jabón líquido; se precisa que sea libre de compuestos minerales que imposibiliten la solubilidad del jabón. Puede ser desionizada, destilada, osmotizada o potable.

Neutralizantes: se puede usar, ya que son accesibles: ácido cítrico, ácido bórico o bórax; todos ellos en solución antes de mezclar con el jabón en el proceso de dilución.

Colorantes y fragancias: colocar después de diluir y neutralizar el jabón (aún caliente); usar colorantes solubles en agua o con base de glicerina y de preferencia usar fragancias en vez de aceites esenciales, ya que estos provocan cierto enturbiamiento. (Failor, 2001)

2.6.2 Producción Escala Artesanal

Corazón Verde, es una sociedad cooperativa valenciana que desarrolla sus funciones como centro para el desarrollo humano sostenible; dentro de la gama de actividades ecologistas que realizan se encuentra la producción y enseñanza del proceso para elaborar jabones a partir de aceites vegetales usados que son recolectados para el debido reciclaje.

Figura 2-5 Fabricando Jabón Casero en Corazón Verde



Fuente: (De los Ángeles, 2015)

“En Corazón Verde llevamos más de quince años enseñando a niños y mayores a hacer jabón empleando los restos de aceite usado de la cocina, poniendo en valor el conocimiento de nuestras madres y abuelas, grandes maestras de la fabricación artesana de jabón.” (de los Ángeles, 2018)

Llegaron a formular las cantidades precisas para elaborar jabón casero ecológico; para ello se necesita 1 kilo de aceite usado filtrado, 136 gramos de hidróxido de sodio y 350 gramos de agua destilada. Para elaborar jabón potásico, se requiere de: 1 kilo de aceite usado, 204 gramos de hidróxido de potasio y 483 gramos de agua destilada, recomiendan la dilución de 30 gramos de pasta de jabón en 1.5 litros de agua, y lograr un jabón para empleo como insecticida.

Así como se evidencia que hacer jabón de forma casera con utensilios del hogar es posible, también es posible realizarlo se forma casera pero usando un electrodoméstico:

Una producción artesanal, mediante un electrodoméstico diseñado para elaborar jabón, con los aceites usados generados en el hogar, llamado Fabrica de Jabón, es lo que la ingeniera en diseño industrial Analía Blanco, creó para frenar la contaminación generada por estos desechos y convertirlos en un producto biodegradable.

Figura 2-6 Electrodoméstico: Fábrica de Jabón



Fuente: (Fábrica de Jabón, 2014)

En una entrevista de (Compromiso Empresarial, 2013) Analía Blanco, cuenta que Fabrica de Jabón, es un electrodoméstico patentado y que requiere de 45 minutos para convertir los aceites en barras de jabón, también afirma que se necesita de medio litro de aceite usado para que “Fábrica de Jabón” produzca 530 gramos de jabón en barra.

2.6.3 Producción Escala Industrial

Como se mencionó en antecedentes, el emprendimiento Boliviano, del Cochabambino Christian Richter el cual es propietario de Industrias Richter SRL, donde se fabrica detergentes y jabones del reciclaje, que hacen por toda la ciudad de Cochabamba – Bolivia, de aceites vegetales usados.

En entrevista para el diario Opinión, el gerente Richter afirma que: una gran parte de la población hace mal uso del aceite. Indicó que en los municipios del eje metropolitano de Cochabamba debería quedar para reciclar 6.2 millones de litros por

año. De esta cifra 1.8 millones de litros sería por consumo masivo (empresas) y 4.4 millones de litros tendría que provenir de los hogares.

Acotó que en Bolivia se producen 73 millones de litros de aceite vegetal virgen y debería quedar un residuo de al menos 37.6 millones de litros.

Industrias Richter cuenta con dos marcas de jabón en barra a la venta “Casero” y “Zas”, ambos se comercializan en Santa Cruz y Cochabamba a un precio unitario de 2 a 3 bolivianos; la producción en fábrica de estos jabones (hechos de aceites vegetales usados, sebo y soda caustica) es de aproximadamente 20 000 unidades al día. (Cossío, 2018)

2.6.4 Producción Universitaria

Una amplia gama de información con respecto a la elaboración de jabones, tanto en barra como líquidos, por medio de estudiantes tanto de proyectos de grado como experiencias durante el periodo académico; comenzaremos mencionando a la experiencia de dos docentes chilenos:

En la Universidad Tecnológica Metropolitana del Estado de Chile, dos académicos, Aceitón y Sánchez, “lograron desarrollar un prototipo de jabón líquido en base al reciclaje, pues reutiliza el aceite que normalmente el Casino de Campus Macul desecha”, con ayuda de estudiantes de las carreras de ingeniería química y civil.

La elaboración consiste en primero fabricar un jabón duro a base de hidróxido de sodio, para después pulverizarlo y mezclarlo con agua, glicerina y fragancias, para así obtener jabón líquido, con un pH 10. (Albornoz, 2018)

Continuando, se dará a conocer los resultados y recomendaciones de las experiencias, por el trabajo de campo, de universitarios que elaboraron jabón líquido a partir de AVU's

El primer documento lleva el título de “DISEÑO DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE JABÓN A PARTIR DE ACEITES VEGETALES USADOS”, realizado por la autora: Carmen Guerrero.

En el proceso se elabora jabón líquido a partir de AVU's con la particularidad de adición de KCl como agente precipitante de jabón, para separarlo de la glicerina; el resultado final, obtuvo un rendimiento de: por 2 500 kg/día de AVU (ya purificado) y 474 kg/dis de KOH, obtenía 3 390 kg/día de jabón con 6% de glicerina incorporada.

Lo destacable del proceso, es la etapa de saponificación la cual duró 3.52 horas, la operación fue llevada a cabo en una temperatura de 90°C y la solución de hidróxido de potasio que se usó fue del 25% de concentración. (Guerrero, 2014).

El segundo documento titulado “OBTENCIÓN DE JABÓN LÍQUIDO USANDO ACEITE VEGETAL RECICLADO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA – IQUITOS.”, tiene la particularidad de haber trabajado con un mezcla de aceites entre AVU's (recolectados del instituto de gastronomía de la FUNDESAB y el Comedor Universitario) con aceite de coco.

Los resultados de la experimentación, de dicho proyecto, llegan a las siguientes conclusiones: el mejor rango de operación es a 90°C y una solución de KOH al 45% con un recomendado 5% de exceso, de esto, se obtiene un jabón con pH 10.3 y se recomienda una dilución de la pasta jabonosa/agua de 28/72, ya que al hacer la prueba de hilo, presenta una fluidez similar a los jabones del mercado. (Leyva & Torres, 2016)

Por último el documento titulado: “PORCENTAJES DE ACEITE DE FRITURA E HIDRÓXIDO DE POTASIO EN LA SAPONIFICACIÓN DE GRASAS PARA LA OBTENCIÓN DE JABÓN LÍQUIDO” realizado en Ecuador, muestra los siguientes resultados:

La operación de saponificación fue llevada a cabo durante 30 minutos de agitación constante después de la mezcla de los aceites con la lejía a una temperatura de 70°C; se saponificaron 1 380 ml de aceites con 275.4 gramos de KOH.

La particularidad es que se hizo el estudio considerando las variables de porcentaje de aceite de fritura y porcentaje de hidróxido de potasio (25, 30, 35% y 5, 6, 7% respectivamente), se determinó que el mejor tratamiento fue de 25% de aceite de

fritura y 7% de KOH, lo que en cantidades representa 42.5g de aceite fritura y 11.9g de potasa, cantidad idónea que permitió obtener la mayor cantidad de espuma. (Perero & Salazar, 2017)

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

III PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Descripción del Método de Investigación

El método de investigación, seleccionado para este proyecto, es el método científico puesto que cómo se cita en el manual de términos de investigación el método científico (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018) es un “método de conocimiento que Integra la inducción y deducción con la finalidad de construir conocimiento teórico y aplicado”.

La metodología de investigación científica a desarrollar estará basada según el texto elaborado por (Tacillo, 2016), este proyecto se regirá basado en un diseño de investigación experimental del orden cuasi experimento con un tipo de investigación de clasificación en investigación aplicada con un nivel de investigación de grado explicativo experimental.

De modo que nuestra metodología de investigación científica tomará tres variables independientes: temperatura, concentración y agitación, con dos niveles de medición, para observar la variación de la variable dependiente la cual es la cantidad de pasta jabonosa, que dependerá de la manipulación, observación y comportamiento de las variables independientes durante todo el proceso de saponificación.

Mediante esta investigación aplicada, donde se fusionará la teoría, leyes científicas y experimentación, se pretende llegar a un resultado que atienda una problemática general como es la contaminación por los aceites vegetales usados y probar una forma de reciclaje de los mismos transformándolos en jabón líquido.

3.2 Diseño de la Investigación

El diseño de experimentos, fue realizado para la etapa de saponificación, la cual es la operación fundamental de todo este proceso, para ello, se consideró un diseño factorial de 2^3 , considerando las variables independientes de: temperatura, exceso de álcali, agitación, todas ellas con un nivel mínimo y máximo de temperatura

concentración y revoluciones por minuto; el diseño de la investigación se presenta en la siguiente tabla:

Tabla III-1 Diseño factorial 2³

EXP	Agitación rpm (nivel)	Temperatura °C	[KOH %exc
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Fuente: Elaboración propia

A continuación se revela una tabla que muestra los valores de las variables independientes y los niveles para la experimentación:

Tabla III-2 Variables y niveles

VARIABLES		NIVELES
Temperatura °C	75	-
	85	+
[KOH %exc	10	-
	20	+
Agitación rpm (nivel)	I	-
	II	+

Fuente: Elaboración propia.

La agitación se realiza por medio de la batidora de inmersión, la cual cuenta con dos niveles velocidad, la agitación en nivel I es para un promedio de 20 000 rpm y el nivel II un promedio de 25 000 rpm.

Por último la siguiente tabla muestra el diseño de experimentos para la etapa de saponificación:

Tabla III-3 Diseño de Experimentos etapa de Saponificación

EXP	Agitación rpm	Temperatura °C	[]KOH %exc
1	I	75	10
2	II	75	10
3	I	85	10
4	II	85	10
5	I	75	20
6	II	75	20
7	I	85	20
8	II	85	20

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Materiales y Equipos

3.3.1 Materia prima

- Hidróxido de potasio: de pureza al 90%, presentación sólida tipo escamas.
- Aceites vegetales usados: acopiados, gracias a la donación de las propietarias de las casetas instaladas en el campus universitario.

Para caracterizar cuali y cuantitativamente estos aceites, los análisis fueron los siguientes:

Índice de saponificación: según la norma NTE INEN-ISO 3657:2013, es la cantidad de hidróxido potásico, en miligramos, necesario para saponificar 1 g de grasa; la muestra para análisis se saponifica por ebullición en condiciones de reflujo con un exceso de hidróxido potásico etanólico, seguido de valoración del exceso de hidróxido potásico con una solución patrón de ácido clorhídrico.

Índice de acidez: según la norma NTE INEN-ISO 660:2013, es el número de miligramos de hidróxido potásico necesarios para neutralizar a los ácidos grasos libres presentes en 1 g de grasa; la muestra se disuelve en una mezcla adecuada de solventes y los ácidos presentes se titulan con una solución de hidróxido sódico o potásico en etanol o en metanol.

Perfil de ácidos grasos: como especifica la norma NTE INEN-ISO 5508, por medio de este análisis se determina por cromatografía en fase gaseosa, la composición cualitativa y cuantitativa de una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos.

Como también los análisis sensoriales de olor, color y aspecto.

- Agua destilada: fue obtenida por medio del destilador tipo alambique que se encuentra en el laboratorio de operaciones unitarias de la carrera de ingeniería química.

3.3.2 Reactivos e insumos

- Ácido bórico 100% de pureza
- Fragancia artificial

3.3.3 Material de laboratorio

- Vasos de precipitado
- Probeta
- Pipeta
- Espátula
- Cucharas
- Recipientes plásticos
- Compresas de gasa
- Papel aluminio
- Papel film

3.3.4 Equipo de protección personal

- Gafas
- Guantes de látex
- Barbijo

3.3.5 Equipos para el proceso

- Equipo de filtración al vacío

- Baño maría
- Batidora de inmersión o Blender

3.3.6 Instrumentos de medición

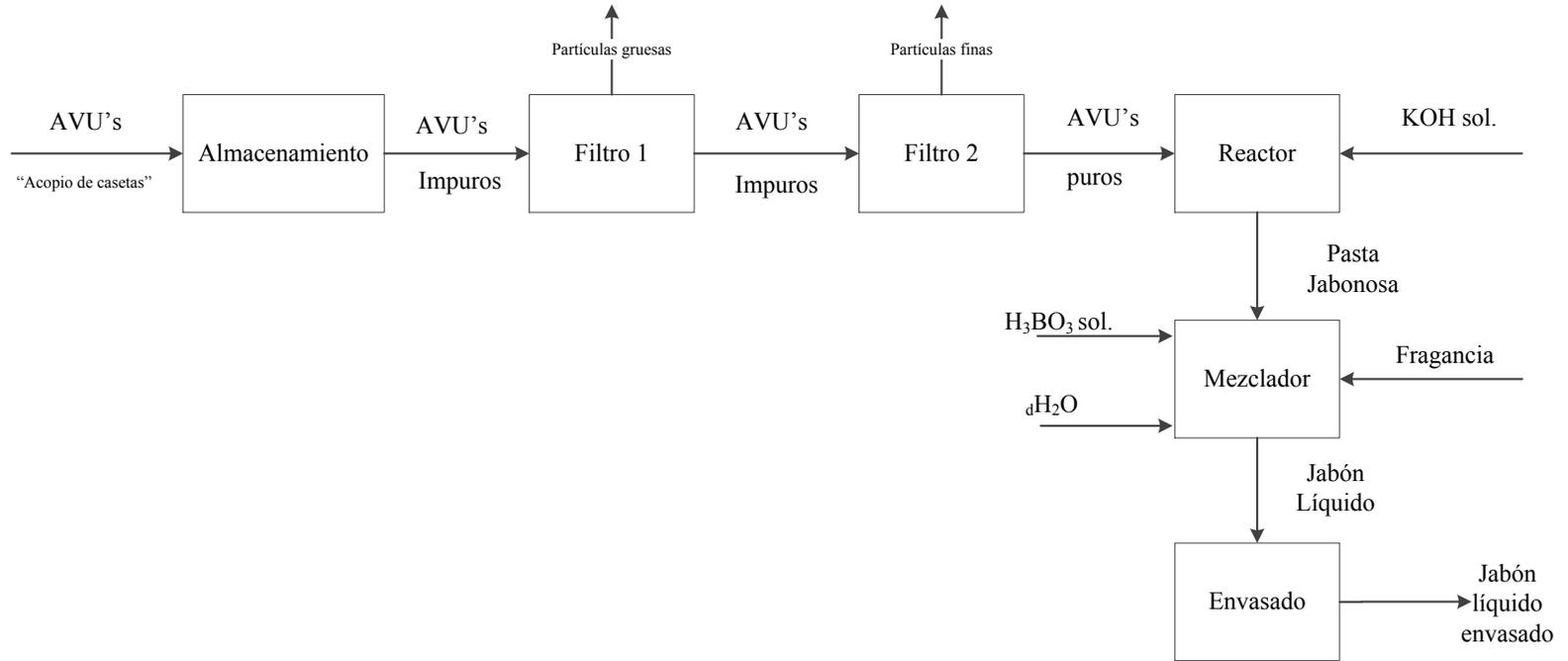
- Termómetro: la escala de 0 a 100 grados Celsius.
- Tiras indicadoras de pH: de este modo sabremos el pH según el color que indique la tira y marque en la escala de colores.
- Balanza: al ser una balanza de uso culinario cuenta con sensibilidad mínima de un gramo.

3.4 Procedimientos y Técnicas usados para Resultados

3.4.1 Diagrama de proceso

Para desarrollar los procedimientos y técnicas usadas, previamente, se presenta el diagrama de bloques de este proceso:

Figura 3-1 Diagrama de Bloques Elaboración de Jabón Líquido



Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Descripción del diagrama

- 1) Acopio: se realizó el acopio de la materia prima mediante un cronograma de recolección, se visitó a las casetas de comida que se ubican en el campus universitario; la materia prima fue acopiada en bidones de plástico de capacidad de 5 litros, previamente el vertido de los aceites hacia los bidones se procedió a medir la cantidad en volumen de los mismos con ayuda de una jarra.
- 2) Almacenamiento: los aceites fueron trasvasados a otros bidones para el correspondiente almacenamiento en las instalaciones del laboratorio de operaciones unitarias, dentro de un área limpia sin contacto con la luz solar, para evitar cualquier tipo de degradación.
- 3) Acondicionamiento AVU's
 - 3.1) Filtración al vacío: se procedió a calentar los aceites sin exceder los 70°C, para una correcta manipulación, para así disminuir la viscosidad de los mismos y poder filtrar mejor.
 - 3.2) Filtración mecánica: en esta filtración se termina de retener todas las partículas finas, mediante compresas de gasa de uso medicinal, dispuestas una encima de otra con un total de 6 gasas sujetadas con una banda elástica alrededor del vaso de precipitado; de igual manera se calentaron los aceites para disminuir su viscosidad y fueron vertidos poco a poco al vaso de precipitado con las gazas como medio filtrante.
 - 3.3) Almacenamiento AVU's filtrados: por último, se procedió a verter los aceites a un recipiente limpio y con cierre hermético, los cuales fueron reservados en un lugar fresco y oscuro, para evitar cualquier degradación.
- 4) Reacción
 - 4.1) Reactor: constituido en una hornalla a gas la cual recepciona una olla con agua caliente en la cual se introduce al vaso de precipitado suspendido, para que tenga total contacto con el agua del baño maría. Se calentaron los aceites, previamente pesados, hasta los 70°C.

- 4.2) KOH sol.: se debe disponer de un vaso de precipitado exclusivo para la disolución del hidróxido de potasio en agua; (se calculan las cantidades con relación a la cantidad de aceite a saponificar). Se pesaron los ingredientes, el primero en ser vertido al vaso de precipitado fue el agua y después el hidróxido de potasio, se mezclaron hasta conseguir a una solución homogénea; puesto de que se trata de una reacción exotérmica y fuertemente alcalina, se debe usar todo el equipo de seguridad y protección personal.
- 4.3) Saponificación: verificar que los aceites y la lejía se encuentren a la misma temperatura, Al momento de propiciar esta reacción el vaso de precipitado que actúa como reactor debe estar fuera del baño maría. Se procedió a verter con cuidado y lentamente la lejía a los aceites para posteriormente ser mezclados con ayuda de un Blender, se mezcló con abundante agitación hasta conseguir una traza cremosa (de aspecto semejante al puré de manzana) posteriormente se introdujo el reactor al baño maría.
- 4.4) Cocción: para disipar las pérdidas de calor, se cubrió, totalmente, el vaso de precipitado con papel aluminio, se dispuso, al interior, un termómetro para controlar la temperatura de la pasta jabonosa, la cual debe virar de un color marrón claro a un tono ámbar translúcido, lo cual es señal de neutralización de los ácidos grasos; se procedió a revolver la pasta jabonosa cada 15 minutos la primera hora de cocción y cada 45 minutos pasada la hora de cocción.
- 4.4.1) Prueba de ácidos grasos: alrededor de las 3 horas y media de cocción, se procede a recoger unos gramos de pasta jabonosa y diluir en agua destilada, se debe llegar a evidenciar la transparencia de esta dilución, si la mezcla presenta turbidez la pasta jabonosa debe seguir cocinando en el baño maría; por el contrario, si se evidencia que la dilución es clara y translúcida a la luz, significa que los ácidos grasos fueron neutralizados, por ende la pasta jabonosa está lista para la siguiente etapa.
- 5) Mezclador

En esta etapa se adicionó a la pasta jabonosa el agua destilada (caliente pero no hirviendo), la solución de ácido bórico y la fragancia.

5.1) H_3BO_3 sol.: el reactivo a usar es el ácido bórico, de uso medicinal y tiene un 100% de pureza, la cantidad usada, para neutralizar el excedente de álcali, fue al 8% de la cantidad de la pasta jabonosa a diluir; una vez pesada la cantidad de este reactivo, se disolvió completamente en agua destilada manifestando una reacción endotérmica, dicha solución fue vertida al mezclador que contiene la pasta jabonosa.

Una vez incorporado el ácido bórico a la pasta jabonosa, verificar el pH el cual no debe exceder el límite de 11.

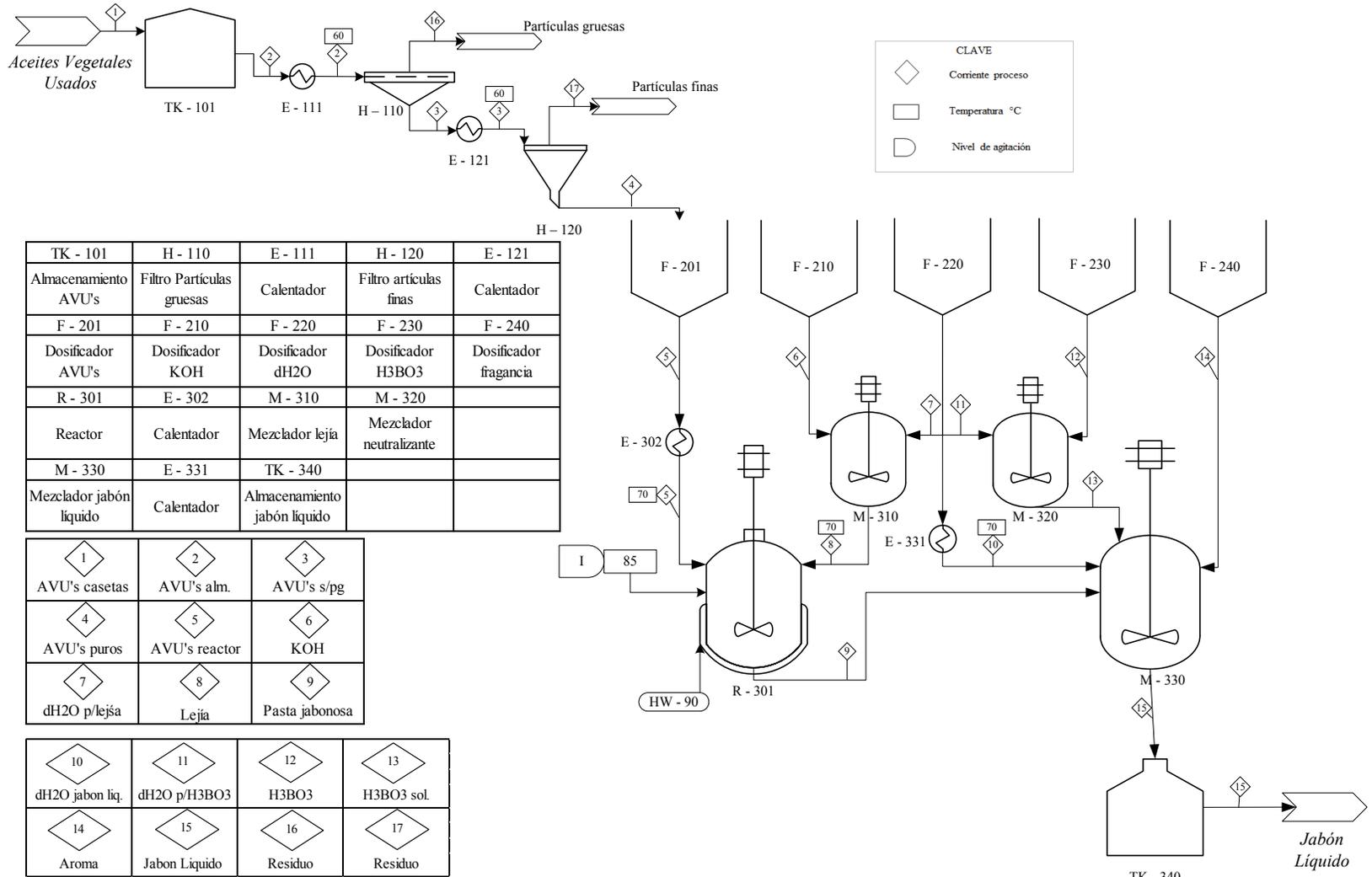
Una vez alcanzada la fluidez deseada, el vaso de precipitado (que contiene el jabón) guardará reposo 24 horas para observar si existe turbidez en el jabón, posteriormente se procede a envasar dichos jabones.

6) Envasado: se vio por conveniente envasar los jabones en una bolsa plástica de cierre hermético, los mismos serán almacenados en un lugar adecuado para evaluar el comportamiento de sus características, por ejemplo, un lugar que replique el área de disposición para el uso de estos jabones.

Aclarando que: la cantidad de neutralizante a usar, fue determinado en las pruebas preliminares por el método de tanteo, basándonos en las recomendaciones de las maestras jaboneras: Rosa Rivero y Catherine Failor, que hacen alusión al uso del neutralizante entre un 5 al 12% del peso de la pasta jabonosa.

Con el fin de mostrar gráficamente los equipos a utilizar en el proceso de elaboración, como también los puntos de control de las variables y el recorrido de la materia prima hasta transformarse en el producto a elaborar, a continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso:

Figura 3-2 Diagrama PFD del proceso



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Variables a medir

Se consideró medir y controlar la temperatura, el exceso de KOH y la agitación, por ello se procederá a desarrollar la incidencia, de estas tres variables en la reacción de saponificación la cual da lugar al origen de los jabones.

Temperatura:

Es un requisito fundamental para cumplir con el método utilizado para la elaboración de estos jabones, el denominado “hot process” o proceso en caliente, para su traducción. Como menciona (Guerrero, 2014) esta variable, mínimamente, debe estar en 70°C, para cumplir con el proceso en caliente.

Exceso de KOH:

Las recomendaciones que hace (Failor, 2001), en su libro guía para realizar jabones líquidos, sobre la importancia de usar un exceso de hidróxido de potasio para saponificar aceites usados, con el fin de tener la certeza de que todos los ácidos grasos y ácidos grasos libres han sido neutralizados; serán utilizadas para la experimentación, como también, se hará uso del dato de la cantidad de exceso de potasa mencionado por (Leyva & Torres, 2016), partiendo de un mínimo de 10% como exceso de potasa.

Agitación:

La afirmación que hace (García, 2011), en el apartado de “condiciones de reacción”, sobre la importancia de la agitación en la etapa de saponificación resaltando el uso de batidoras o agitadores para acelerar el proceso, al considerar que sin una buena agitación los reactivos no formarán los productos esperados; respalda la decisión que se tomó al considerar a la agitación como una variable de estudio, por lo que en la experimentación también se revelará la incidencia o no de esta variable en la formación de espuma que tengan los jabones.

3.5 Análisis Del Producto Obtenido

Atendiendo al cumplimiento de la norma NTE-INEN 842 la cual establece los requisitos físicos y químicos para analizar el producto obtenido, y por lo mencionado en el epígrafe de jabón líquido en el marco teórico, en esta sección, se desarrollará el procedimiento de los análisis de: alcalinidad libre según la Norma INEN 821, materia insoluble en agua según la Norma INEN 816 y pH por el método potenciométrico según NTE INEN - ISO 4316, ya que se considera a estos análisis son claros indicadores de calidad para nuestros jabones.

Alcalinidad libre:

- Pesar, colocando en el matraz Erlenmeyer, 5 g de muestra con aproximación al 0.1 mg.
- Añadir 50 ml de agua destilada para disolver y homogeneizar.
- Adicionar dos gotas de la solución indicador de naranja de metilo y titular con la solución 0.1 N de ácido clorhídrico.
- Para facilitar la observación del cambio de color en la titulación, puede prepararse una solución igual a la utilizada en el ensayo.

Materia insoluble en agua:

- La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la muestra convenientemente homogenizada.
- Pesar de 2 a 5 g de muestra previamente desmenuzada, con aproximación al 0.1 mg, y colocarlos en un vaso de precipitación de 250 ml, adicionar 100 ml de alcohol etílico previamente neutralizado y disolver la muestra con ayuda de calentamiento en baño María.
- Filtrar a través de crisol Gooch poroso No. 4 tarado y con succión; luego lavar el residuo con tres porciones de 25 ml de alcohol etílico neutro a 60°C.
- Lavar el residuo con cinco porciones de 25 ml de agua destilada caliente (aproximadamente a 60°C), procediendo a la correspondiente filtración con succión.
- Colocar el crisol con el residuo insoluble en la estufa, a $1050 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 3 h.

- Enfriar en el desecador y pesar el crisol con el residuo insoluble seco, con aproximación al 0.1 mg.

pH:

Mediante el uso de las tiras indicadoras y el análisis potenciométrico en laboratorio.

3.6 Control De Calidad Del Producto Obtenido

En este apartado se desarrollaran los parámetros a utilizar para efectuar el respectivo control de calidad del producto obtenido, a continuación se procederá a mencionar los parámetros junto con su definición, los cuales fueron replicados por (Leyva & Torres, 2016) y (Córdova, Navarro, Pardo, Soto, & Távora, 2018).

Prueba del hilo.

Esta prueba es de tipo cualitativa, da un indicativo preliminar del jabón líquido en relación al porcentaje de agua y pasta jabonosa. Se realizó la prueba de hilo para asegurar la textura correcta del jabón líquido. Consistió en dejar caer el jabón líquido desde una altura aproximada de 30 cm y observar la fluidez que presentaba cada una de las diluciones.

Prueba de persistencia Espuma.

En una probeta graduada colocar 150 ml de agua destilada, verter 3 g del jabón líquido, cubrir para evitar filtraciones, agitar 30 veces y tomar lectura del volumen y altura inicial de la espuma y el tiempo que demora en disiparse. Para este trabajo se adoptará las cantidades de 1 g de jabón en 50 ml de agua destilada dentro de una probeta graduada de 100 ml.

Prueba de saponificación.

Para comprobar que la reacción de saponificación se llevó a cabo completamente, se disuelven 5 gramos del jabón en 200 ml agua caliente (no hirviendo), no se mezcla ni se agita y se espera unos minutos a que se formen las gotas de grasa. Lo deseable es que se obtenga una mezcla clara y sin gotas de grasa.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estudio de campo

Se realizó la presente encuesta para así cumplir con el estudio de campo, el cual tiene como objetivo el recabar toda la información necesaria sobre los aceites vegetales usados que se generan en las casetas de comida del campus universitario, debido a que son nuestra materia prima; es necesario saber el origen cantidad y cualidades de los mismos, como también se desea saber la posición que tienen las dueñas de las casetas generadoras de esta materia prima, en relación a los aceites vegetales usados, el reciclaje de los mismos y su compromiso con el medio ambiente.

A continuación se muestra el cuadro con la pregunta, los valores de la respuesta y posterior, el respectivo análisis.

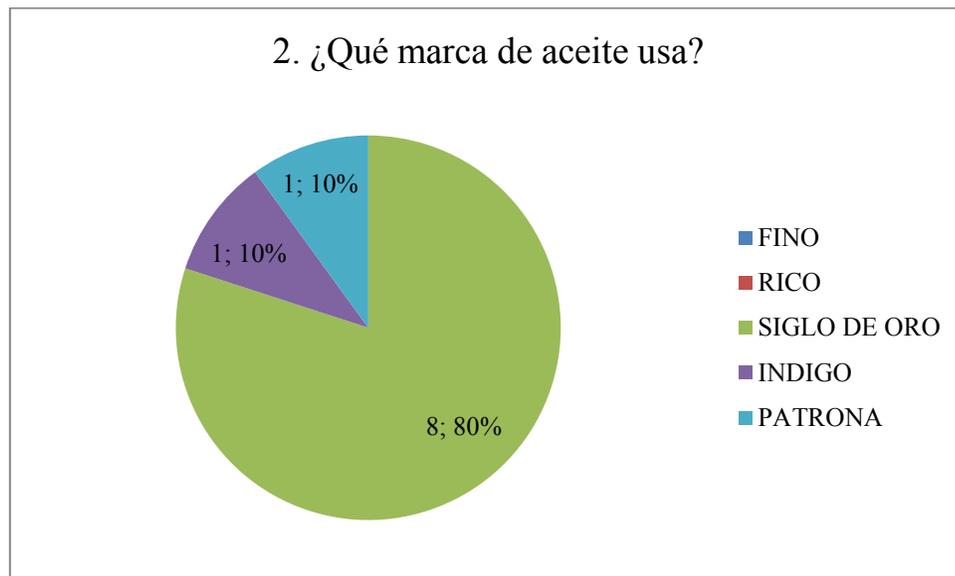
Figura 4-1 1ra. Pregunta del Estudio de Campo



Fuente: Elaboración propia.

Esta primera pregunta es de selección inmediata para así continuar con la encuesta para el estudio de campo. Podemos observar que son 10 las casetas ubicadas en el campus universitario que utilizan aceite para cocinar sus alimentos.

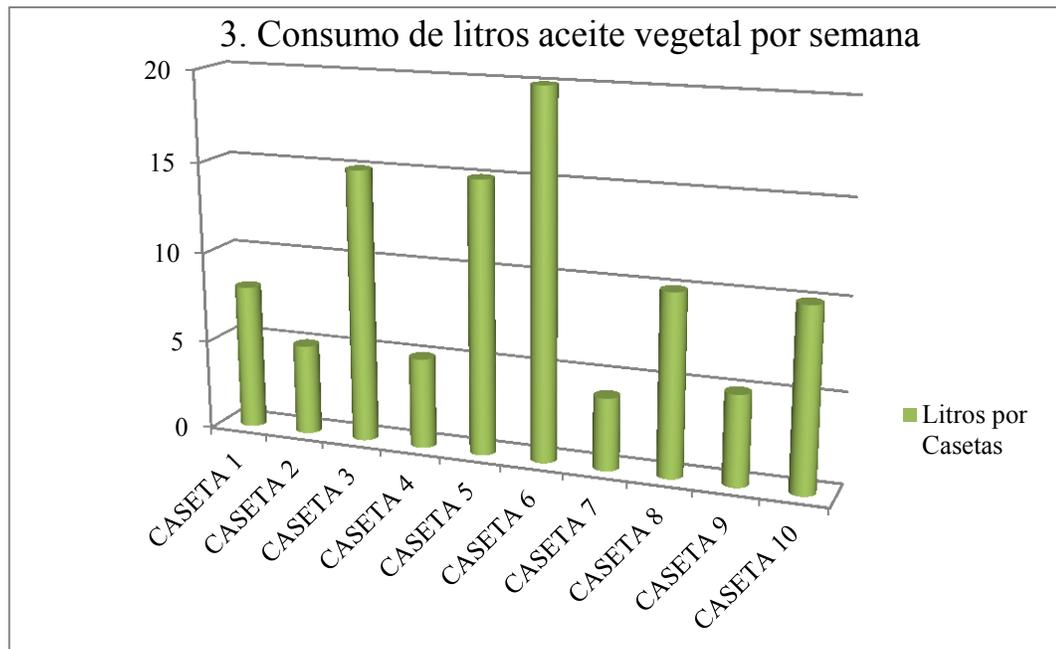
Figura 4-2 2da. Pregunta del Estudio de Campo



Fuente: Elaboración propia.

Esta información es crucial puesto que según la marca de aceite que usa, la propietaria, podemos saber los constituyentes y características del aceite, esto nos servirá para verificar el índice de saponificación y tener un parámetro de los ácidos grasos que componen este aceite.

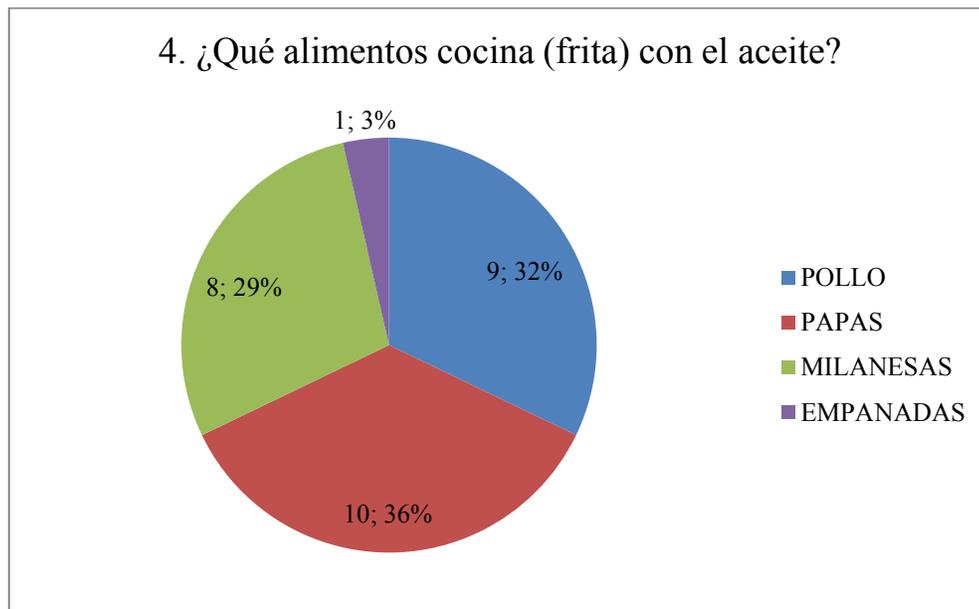
Figura 4-3 3ra. Pregunta del Estudio de Campo



Fuente: Elaboración propia.

Información de carácter analítico, puesto que podremos tener un primer indicio de un balance general de cuánto aceite emplean para cocinar y cuánto es el aceite que les sobra después de haber cocinado los alimentos, durante el tiempo que ellas disponen, según la cantidad de aceites vegetales usados que son donados por las mismas propietarias.

Figura 4-4 4ta. Pregunta del Estudio de Campo

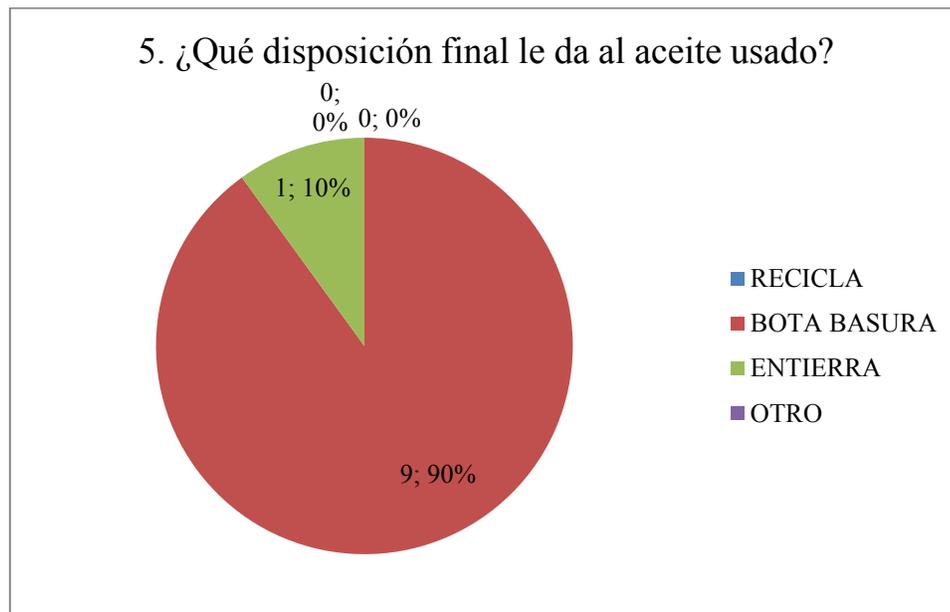


Fuente: Elaboración propia.

Saber el tipo de alimentos que cocinan con el aceite nos da indicios para ahondar en el tipo retención de aceite que tienen estos alimentos; esta información es complementaria para el ya mencionado balance general en el aceite empleado para la cocción de alimentos y el que sobra para ser desechado.

Podemos ver que el 100% de las propietarias usa el aceite para freír papas, 9 propietarias también fríen en el aceite pollo, 8 propietarias, no solo fríen papas y pollo sino también milanesas y por último existe una propietaria que además de cocinar los tres alimentos ya mencionados, también hace uso de aceite para freír empanadas.

Figura 4-5 5ta. Pregunta del Estudio de Campo

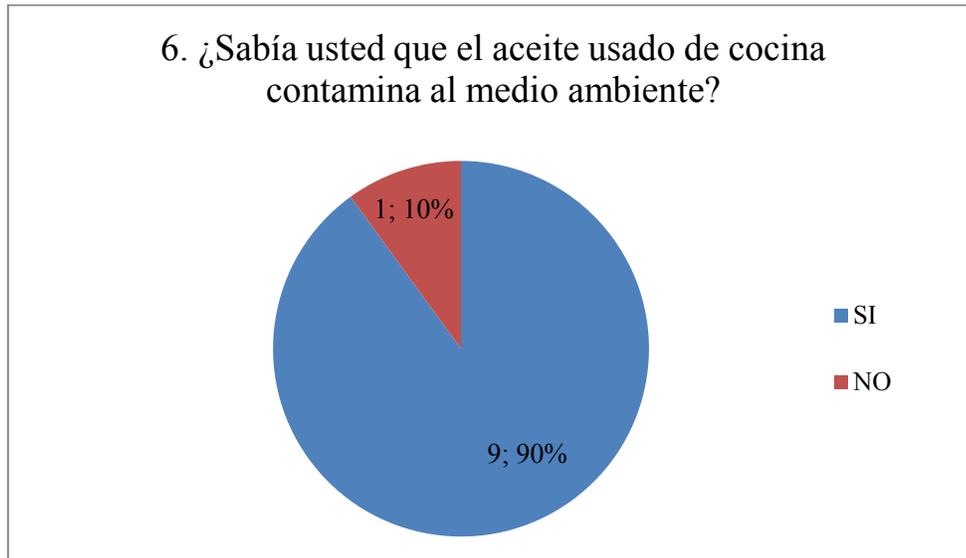


Fuente: Elaboración propia.

Esta pregunta tiene dos objetivos, el primero es saber con certeza la disposición final que cada propietaria le da al aceite usado, el segundo objetivo es de servir como preámbulo para la segunda parte de esta encuesta la cual apunta hacia la problemática del peligro de los aceites vegetales usados (que no tienen un fin adecuado), el reciclaje y el medio ambiente.

Podemos observar que 9 de cada 10 propietarias botan a la basura estos aceites vegetales que ya fueron usados, por lo que nos comentan, vierten estos aceites en bidones de plástico y se los llevan hasta sus domicilios para que cuando pase el carro basurero puedan botarlos, ya que afirman que estos desechos no se pueden dejar en los contenedores de basura que se encuentran dentro del campus universitario.

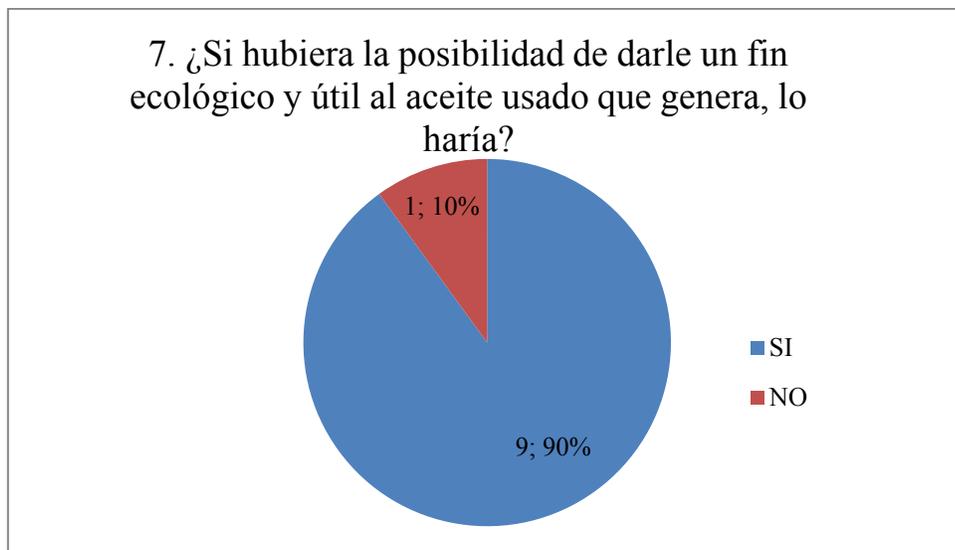
Figura 4-6 6ta. Pregunta del Estudio de Campo



Fuente: Elaboración propia.

Saber la respuesta a esta pregunta nos interesa demasiado ya que nos permite entender y comprender sobre la noción que tienen las propietarias del residuo que generan con respecto a su peligrosidad; vemos que de 10 solo una propietaria desconoce el efecto negativo que causan estos desechos al medio ambiente.

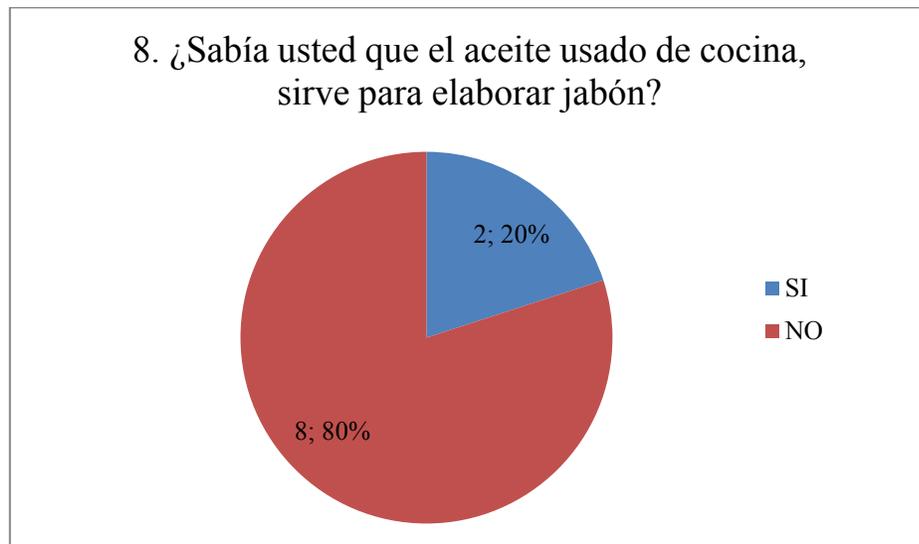
Figura 4-7 7ma. Pregunta del Estudio de Campo



Fuente: Elaboración propia.

Creemos que conocer esta respuesta nos brindará información confiable sobre el interés y compromiso que puedan tener las propietarias acerca el cuidado del medio ambiente entendiendo que los desechos que generan son peligrosos; entonces podemos afirmar que el 90% de las propietarias cree en el reciclaje de estos aceites.

Figura 4-8 8va. Pregunta del Estudio de Campo

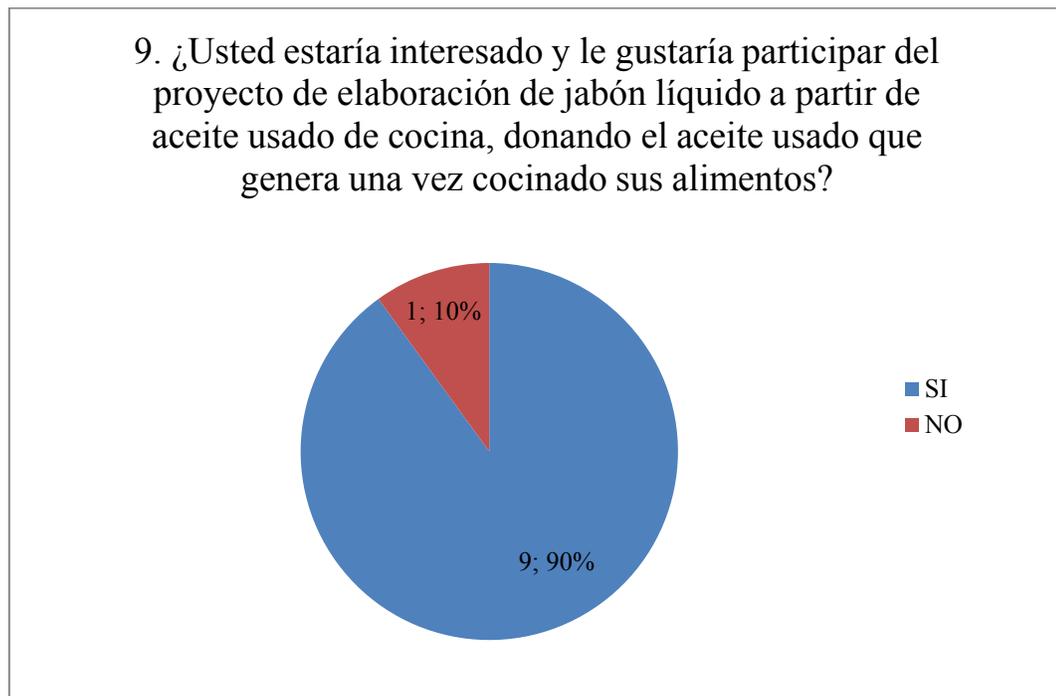


Fuente: Elaboración propia.

Decidimos hacer esta pregunta para despertar interés y curiosidad en las entrevistadas, acerca de esta alternativa como fin ecológico y útil para estos desechos.

Como se muestran los resultados vemos que ocho de cada diez propietarias desconocían que se puede hacer jabón a partir de sus aceites usados.

Figura 4-9 9na. Pregunta del Estudio de Campo



Fuente: Elaboración propia.

Esta última pregunta está dirigida para saber si las propietarias se comprometen libremente a donar los aceites usados que generan, se observa que a un 90% le interesa participar, le interesa darle un fin útil y ecológico a sus desechos, y entienden que los mismos contaminan al medio ambiente.

4.2 Resultados materia prima: AVU's de UAJMS

Como resultado del ya presentado estudio de campo realizado a las propietarias de las casetas de comida, ubicadas en el campus universitario, que son las que generan nuestra materia prima; a continuación, se presenta los resultados tabulados concernientes al acopio de estos aceites, como también la caracterización física y química de los mismos.

Se muestra una tabla que refleja la fecha y el volumen total, en esa fecha, de aceite vegetal usado recolectado.

Tabla IV-1 Fechas y cantidad total de AVU's acopiados

Fecha:	14/08/2019	Fecha:	04/09/2019
V ml	7 110	V ml	2 500
Fecha:	19/08/2019	Fecha:	06/09/2019
V ml	4 250	V ml	1 500
Fecha:	22/08/2019	Fecha:	18/09/2019
V ml	3 300	V ml	4 100
Fecha:	28/08/2019	Fecha:	26/09/2019
V ml	1 250	V ml	3 500
Fecha:	29/08/2019	Total V (ml)	29 710
V ml	2 200		

Fuente: Elaboración propia.

Como se evidencia en el último cuadro de la Tabla IV-1, esa es la cantidad total recolectada de aceites de las casetas donadoras de los mismos.

A continuación se presenta la tabla que revela las cualidades y cantidades físicas y químicas analizadas de estos aceites.

Tabla IV-2 Características AVU's de UAJMS

Análisis: Físicos	
Olor	Replica el olor de los alimentos cocinados
Color	Amarillo oscuro
Aspecto	Viscoso
Análisis: Físicos y químicos	

Análisis: Físicos y químicos				
Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite de Detección	Resultado
Índice de Saponificación	mg KOH/g	Titulación	0.1	195.2
Índice de Acidez	%Ácido Oleico	Titulación	0.1	1.12
Perfil de Ácidos Grasos	Unidad	Método de Ensayo	Límite de Detección	Resultado
Ácido cis 10 Heptadecanoico C17:1	% Relativo	GC-FID	0.01	0.36
Ácido cis 10 pentadecanoico C15:1				0.78
Ácido Estearico C18:0				1.30
Ácido Láurico C12:0				13.30
Ácido Linolénico C18:3n3				30.11
Ácido Miristoleico C14:1				4.18
Ácido Oleico C18:1n9c				30.07
Ácido Palmítico C16:0				19.90
Ácido Palmitoleico C16:1				0.56

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de los análisis.

Como se puede observar los valores de los parámetros físicos y químicos analizados de los aceites revelan que se necesita de 195.2 miligramos de hidróxido de potasio para saponificar un gramo de AVU's reciclados de UAJMS y que los ácidos grasos mayoritarios son el Linolénico y Oleico ambos son ácidos grasos insaturados.

4.3 Resultados del producto obtenido

4.3.1 Influencia de las variables en el proceso de saponificación

Cantidad de Pasta Jabonosa

Tabla IV-3 Variables vs Cantidad de Pasta Jabonosa

EXP	Agitación rpm	Temperatura °C	[]KOH %exc	Cant. Pasta Jabonosa. g
1	-1	-1	-1	151
2	1	-1	-1	160
3	-1	1	-1	156

EXP	Agitación rpm	Temperatura °C	[KOH %exc	Cant. Pasta Jabonosa. g
4	1	1	-1	158
5	-1	-1	1	160
6	1	-1	1	168
7	-1	1	1	170
8	1	1	1	164

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se plasma la tabla los resultados de las pruebas de los efectos inter-sujetos, calculados mediante el software SPSS:

Tabla IV-4 Prueba efectos inter-sujetos para cantidad de Pasta Jabonosa

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: REND					
Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	427.750 ^a	6	71.292	8.306	0.003
Intersección	418609	1	418609	48769.981	0.000
RPM	6.250	1	6.250	0.728	0.416
TEMP	20.250	1	20.250	2.359	0.159
KOH	342.250	1	342.250	39.874	0.000
RPM * TEMP	49.000	1	49.000	5.709	0.041
RPM * KOH	9.000	1	9.000	1.049	0.333
TEMP * KOH	1.000	1	1.000	0.117	0.741
Error	77.250	9	8.583		
Total	419114	16			
Total corregida	505.000	15			

a. R cuadrado = 0.847 (R cuadrado corregida = 0.745)

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

De esta tabla tenemos que rescatar los valores significativos, según el orden de un intervalo de confianza del 95%, lo que por ende los factores y sus intersecciones menores o iguales a 5% son los que se consideran relevantes para la prueba de regresión lineal.

Se observa que el factor KOH y la intersección: RPM * TEMP, son las significativas.

Los resultados de la regresión lineal son:

Tabla IV-5 Prueba ANOVA de la cantidad de Pasta Jabonosa

ANOVA(b)					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	417.750	4	104.437	13.167	0.000 ^a
Residual	87.250	11	7.932		
Total	505.000	15			
a. Variables Predictoras: (Constante), RPMTEMP, KOH, TEMP, RPM					
b. Variable dependiente: CantPastaJab					

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

Tabla IV-6 Coeficientes cantidad de Pasta Jabonosa

Coeficientes(a)					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error tip.	Beta		
1 (Constante)	161.750	0.704		229.730	0.000
RPM	0.625	0.704	0.111	0.888	0.394
TEMP	1.125	0.704	0.200	1.598	0.138
KOH	4.625	0.704	0.823	6.569	0.000
RPMTEMP	-1.750	0.704	-0.311	-2.485	0.030
a. Variable dependiente: CantPastaJab					

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

Por lo que la ecuación de regresión es:

$$\text{REND} = 161.75 + 0.625\text{RPM} + 1.125\text{TEMP} + 4.625\text{KOH} + (-1.75\text{RPMTEMP})$$

Tiempo de Reacción

Tabla IV-7 Variables vs Tiempo de Reacción

EXP	Agitación rpm	Temperatura °C	[]KOH %exc	Tiempo de reacción. min
1	-1	-1	-1	198
2	1	-1	-1	189

EXP	Agitación rpm	Temperatura °C	[KOH %exc	Tiempo de reacción. min
3	-1	1	-1	210
4	1	1	-1	198
5	-1	-1	1	240
6	1	-1	1	198
7	-1	1	1	198
8	1	1	1	201

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de reacción se midió desde el primer contacto de los aceites con la lejía, hasta que el análisis de ácidos grasos dio positivo, momento en el cual se retira el reactor (vaso de precipitado) del baño maría.

Tabla IV-8 Prueba de los efectos inter-sujetos para el Tiempo de Reacción

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: RxMin					
Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2421.000 ^a	6	403.500	2.416	0.113
Intersección	665856.000	1	665856	3.987.162	0.000
RPM	992.250	1	992.250	5.942	0.038
TEMP	81.000	1	81.000	0.485	0.504
KOH	272.250	1	272.250	1.630	0.234
RPM * TEMP	2.250	1	2.250	0.013	0.910
RPM * KOH	81.000	1	81.000	0.485	0.504
TEMP * KOH	992.250	1	992.250	5.942	0.038
Error	1.503.000	9	167.000		
Total	669.780.000	16			
Total corregida	3.924.000	15			
a. R cuadrado = 0.617 (R cuadrado corregida = 0.362)					

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

Se puede observar que para la prueba de los efectos inter-sujetos, los factores significativos son las revoluciones por minuto (RPM) junto con la interacción de TEMP * KOH.

El análisis de regresión lineal es:

Tabla IV-9 ANOVA para el Tiempo de Reacción

ANOVA(b)					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	2337.750	4	584.438	4.053	0.029 ^a
Residual	1586.250	11	144.205		
Total	3924.000	15			
a. Variables Predictoras: (Constante), TEMPKOH, KOH, TEMP, RPM					
b. Variable dependiente: RxMin					

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

Tabla IV-10 Coeficientes para el Tiempo de reacción

Coeficientes(a)					
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error tip.	Beta		
1 (Constante)	204.000	3.002		67.952	0.000
RPM	-7.875	3.002	-0.503	-2.623	0.024
TEMP	2.250	3.002	0.144	0.749	0.469
KOH	4.125	3.002	0.263	1.374	0.197
TEMPKOH	-7.875	3.002	-0.503	-2.623	0.024
a. Variable dependiente: RxMin					

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

La ecuación de regresión es:

$$RxMin = 204 - 7.875RPM + 2.25TEMP + 4.125KOH - 7.875TEMPKOH$$

4.3.2 Análisis físicos y químicos del jabón líquido

Estos análisis fueron realizados por el CENTRO DE ANÁLISIS INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (CEANID), bajo los procedimientos de las normas INEN, anteriormente mencionadas.

Para contar con un dato representativo que indique los resultados de estos parámetros, los cuales serán comparados con los experimentos realizados y lo que estipula la norma; se ha decidido analizar una muestra patrón la cual es un jabón líquido de una marca con gran presencia en nuestro territorio, la cual es importada, que si bien no tiene los mismos ingredientes que nuestros jabones, la usaremos como objeto de comparación.

A continuación se muestra la tabla de resultados, del producto obtenido:

Tabla IV-11 Resultados de los análisis a los productos obtenidos

Experimento 1					
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultado	Límites (máx.)	Referencia de los Límites
Alcalinidad libre (como NaOH)(*)	NTE INEN 821	%	0.36	0.5	NTE INEN 842
Materia insoluble en agua (*)	NTE INEN 816	%	0.11	1.5	NTE INEN 842
pH (24.9°C) (**)	NTE INEN-ISO 4316		10.17	11	NTE INEN 842
Experimento 2					
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultado	Límites (máx.)	Referencia de los Límites
Alcalinidad libre (como NaOH)(*)	NTE INEN 821	%	0.18	0.5	NTE INEN 842
Materia insoluble en agua (*)	NTE INEN 816	%	0.12	1.5	NTE INEN 842
pH (23.9°C) (**)	NTE INEN-ISO 4316		9.98	11	NTE INEN 842
Experimento 3					
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultado	Límites (máx.)	Referencia de los Límites
Alcalinidad libre (como NaOH)(*)	NTE INEN 821	%	0.38	0.5	NTE INEN 842
Materia insoluble en agua (*)	NTE INEN 816	%	0.08	1.5	NTE INEN 842
pH (23.9°C) (**)	NTE INEN-ISO 4316		10.13	11	NTE INEN 842
Experimento 4					

Experimento 4					
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultado	Límites (máx.)	Referencia de los Límites
Alcalinidad libre (como NaOH)(*)	NTE INEN 821	%	0.33	0.5	NTE INEN 842
Materia insoluble en agua (*)	NTE INEN 816	%	0.13	1.5	NTE INEN 842
pH (23.9°C) (**)	NTE INEN-ISO 4316		10.11	11	NTE INEN 842
Experimento 5					
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultado	Límites (máx.)	Referencia de los Límites
Alcalinidad libre (como NaOH)(*)	NTE INEN 821	%	0.52	0.5	NTE INEN 842
Materia insoluble en agua (*)	NTE INEN 816	%	0.08	1.5	NTE INEN 842
pH (24.2°C) (**)	NTE INEN-ISO 4316		10.02	11	NTE INEN 842
Experimento 6					
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultado	Límites (máx.)	Referencia de los Límites
Alcalinidad libre (como NaOH)(*)	NTE INEN 821	%	0.50	0.5	NTE INEN 842
Materia insoluble en agua (*)	NTE INEN 816	%	0.15	1.5	NTE INEN 842
pH (24.4°C) (**)	NTE INEN-ISO 4316		10.15	11	NTE INEN 842
Experimento 7					
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultado	Límites (máx.)	Referencia de los Límites
Alcalinidad libre (como NaOH)(*)	NTE INEN 821	%	0.39	0.5	NTE INEN 842
Materia insoluble en agua (*)	NTE INEN 816	%	0.11	1.5	NTE INEN 842
pH (24.0°C) (**)	NTE INEN-ISO 4316		10.02	11	NTE INEN 842
Experimento 8					

Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultado	Límites (máx.)	Referencia de los Límites
Alcalinidad libre (como NaOH)(*)	NTE INEN 821	%	0.43	0.5	NTE INEN 842
Materia insoluble en agua (*)	NTE INEN 816	%	0.12	1.5	NTE INEN 842
pH (24.7°C) (**)	NTE INEN-ISO 4316		10.11	11	NTE INEN 842
Muestra Patrón					
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultado	Límites (máx.)	Referencia de los Límites
Alcalinidad libre (como NaOH)(*)	NTE INEN 821	%	0.37	0.5	NTE INEN 842
Materia insoluble en agua (*)	NTE INEN 816	%	0.15	1.5	NTE INEN 842
pH (23.5°C) (**)	NTE INEN-ISO 4316		7.71	11	NTE INEN 842
(*) % corresponde a fracción de masa expresada en porcentaje					
(**) Solución al 1%					

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de los análisis.

Vemos por conveniente tabular y graficar cada uno de los parámetros con sus respectivos resultados, para analizar el comportamiento e influencia de las variables, como así comparar los 8 experimentos versus la muestra patrón y los límites que estipula la norma NTE INEN 842.

Siguiendo el orden de los parámetros, a continuación estudiaremos el análisis de alcalinidad libre, recordar que los resultados son la expresión en porcentaje de la fracción de masa que se analizó en el CEANID.

Alcalinidad Libre

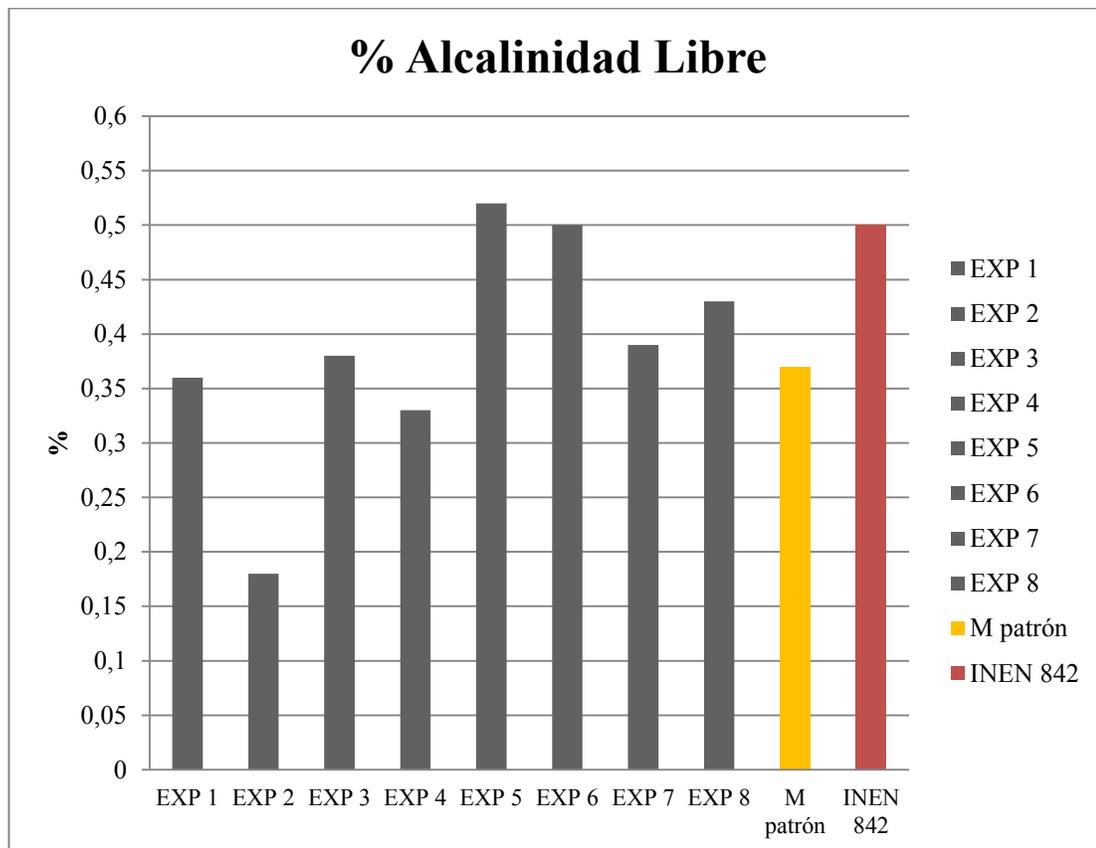
Tabla IV-12 Resultados para: % Alcalinidad libre

EXP	Alcalinidad libre %
EXP 1	0.36
EXP 2	0.18
EXP 3	0.38

EXP	Alcalinidad libre %
EXP 4	0.33
EXP 5	0.52
EXP 6	0.5
EXP 7	0.39
EXP 8	0.43
M patrón	0.37
INEN 842	0.5

Fuente: Elaboración propia en base a análisis.

Figura 4-10 % Alcalinidad libre, resultados



Fuente: Elaboración propia en base a análisis.

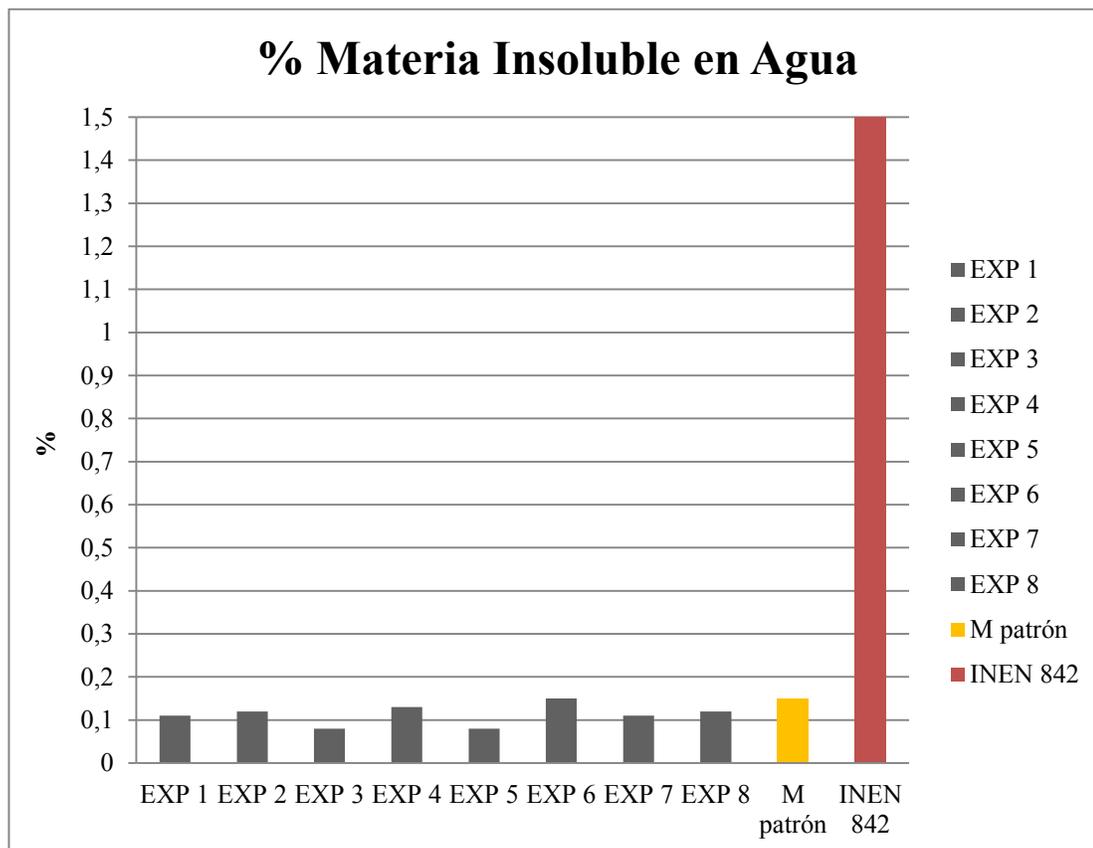
Materia insoluble en agua

Tabla IV-13 Resultados para: % Materia insoluble en agua

EXP	% Materia insoluble en agua
EXP 1	0.11
EXP 2	0.12
EXP 3	0.08
EXP 4	0.13
EXP 5	0.08
EXP 6	0.15
EXP 7	0.11
EXP 8	0.12
M patrón	0.15
Norma	1.5

Fuente: Elaboración propia en base a análisis.

Figura 4-11 % Materia insoluble en agua



Fuente: Elaboración propia en base a análisis.

pH

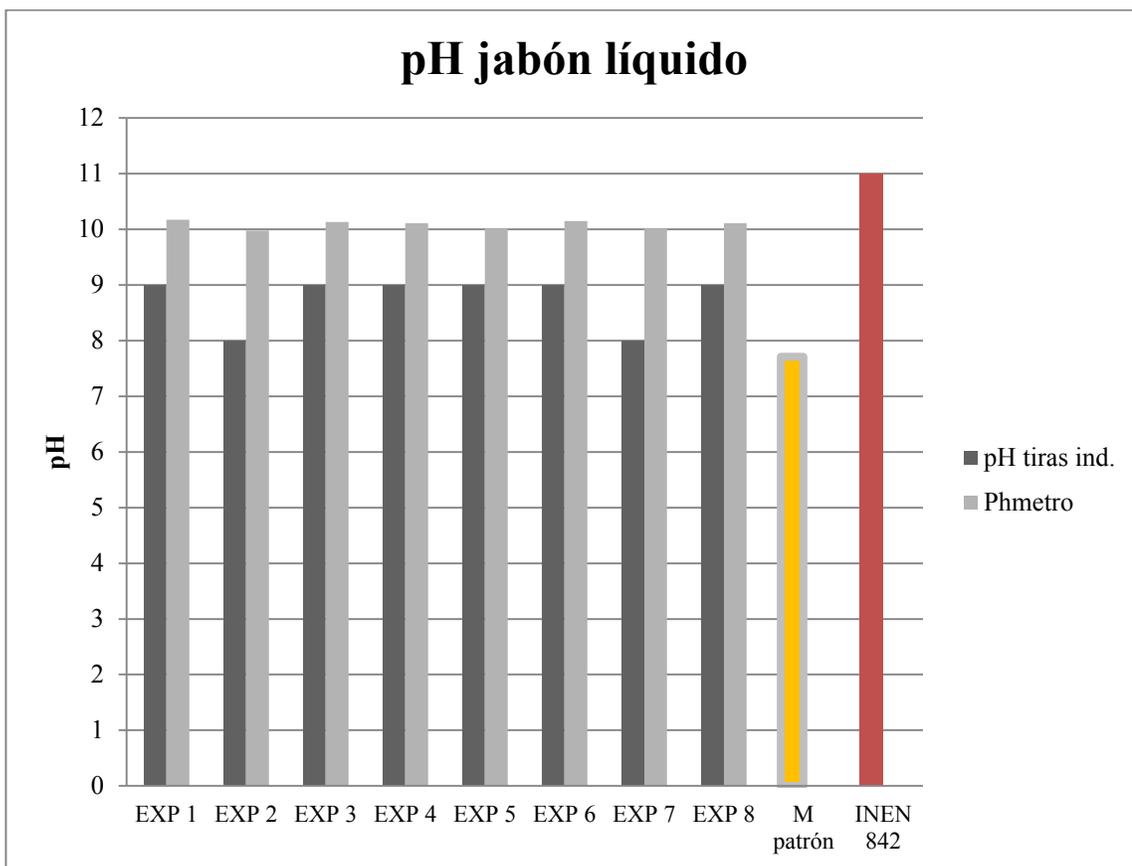
Tabla IV-14 pH del Jabón líquido

EXP	Tiras indicadoras		pHmetro	
	pH pasta jabonosa	pH Jabón	pH Jabón	T °C medición
1	12	9	10.17	24.9
2	12	8	9.98	23.9
3	12	9	10.13	23.9
4	12	9	10.11	23.9
5	12	9	10.02	24.2
6	12	9	10.15	24.4
7	12	8	10.02	24.0
8	12	9	10.11	24.7
M patrón			7.71	23.5
Norma			11	

Fuente: Elaboración propia en base a análisis.

Para analizar mejor estos datos, procedemos a graficar los mismos:

Figura 4-12 Comparación de pH Jabón Líquido, Tiras indicadoras vs. pHmetro



Fuente: Elaboración propia.

Se observa la importante variación de pH con respecto a las tiras indicadoras y el pHmetro; vemos que la muestra patrón da como resultado un pH neutro y que el límite máximo permitido por la norma (pH igual a 11) ningún experimento lo rebasa.

4.3.3 Análisis de calidad

Para realizar las pruebas de control de calidad, se consideró aspectos imprescindibles como la generación y persistencia de espuma, el punto de hilo para aproximar las viscosidades a las de la muestra patrón, como también el análisis de saponificación.

Prueba punto de hilo

Tabla IV-15 Punto de hilo

EXP	Diluciones pasta jabonosa: agua destilada		
	1 en 5	1 en 6	1 en 7
1	Bajo	Deseado	Exceso
2	Bajo	Bajo	Deseado
3	Bajo	Deseado	Exceso
4	Bajo	Deseado	Exceso
5	Bajo	Deseado	Exceso
6	Bajo	Deseado	Exceso
7	Bajo	Bajo	Deseado
8	Bajo	Deseado	Exceso

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados se confirma la cantidad necesaria de agua destilada para diluir la pasta jabonosa y que el jabón, como producto de esta mezcla, presente una viscosidad semejante a la de un jabón líquido comercial.

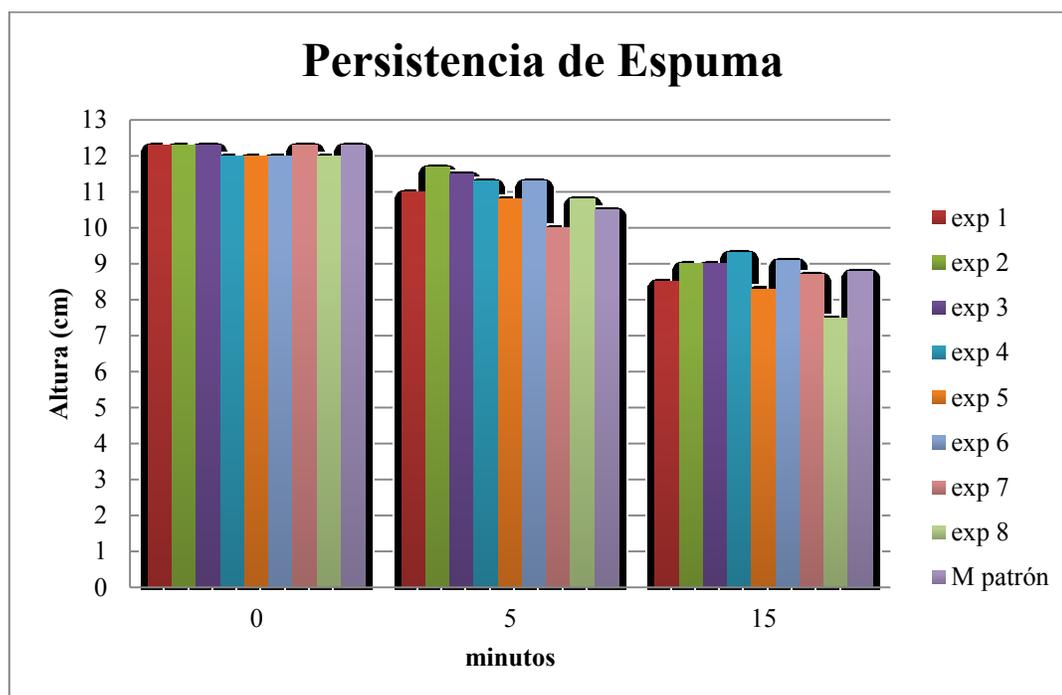
Prueba de persistencia de espuma

Tabla IV-16 Persistencia de espuma

EXP	0 min. h cm.	5 min. h cm.	15 min. h cm.
1	12.3	11	8.5
2	12.3	11.7	9
3	12.3	11.5	9
4	12	11.3	9.3
5	12	10.8	8.3
6	12	11.3	9.1
7	12.3	10	8.7
8	12	10.8	7.5
M patrón	12.3	10.5	8.8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-13 Prueba de persistencia de espuma



Fuente: Elaboración propia.

Prueba de saponificación

Mediante esta prueba se evidencia si al mezclar el jabón con agua caliente, se forman gotas de grasa, de ser esto negativo, significa que la saponificación fue exitosa.

Tabla IV-17 Prueba de saponificación

EXP	Positivo/Negativo
1	Negativo
2	Negativo
3	Negativo
4	Negativo
5	Negativo
6	Negativo
7	Negativo
8	Negativo

Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia que todos los experimentos dieron un resultado negativo a la presencia de gotas de grasa en la prueba de saponificación.

4.4 Discusión

4.4.1 Resultados del estudio de campo y caracterización de AVU's

Habiendo ya presentado los resultados del estudio de campo mediante encuestas a las propietarias de las casetas, es necesario hacer las debidas comparaciones con recopilación de datos entre los datos vertidos por las propietarias y los análisis físicos y químicos realizados a los AVU's donados. Es por ello, que las siguientes tablas tienen como objetivo relacionar los resultados de la pregunta n° 2, Figura 4-2, para mostrar la composición de ácidos grasos que presentan los aceites que usan para cocinar, frente a la composición de ácidos grasos de los AVU's que donaron; como también la tabla que refleje un balance general de un aproximado de los litros de aceite que usan para cocinar, versus, el aceite donado, esto corresponde a la pregunta n° 3 (Figura 4-3); esta última tabla se realizará solo con las casetas donadoras.

4.4.1.1 Estudio de campo pregunta n°2

Teniendo como resultado la marca de aceite que usan las propietarias, los cuales son: Siglo de Oro, Indigo y La Patrona; esta información nos sirvió para saber el tipo de aceite que usan estas marcas, los cuales son: aceite de girasol y aceite de soja, que según la marca, varia el porcentaje de cantidades, lo que nos interesa es mostrar y comparar el perfil de ácidos grasos, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla IV-18 Composición de aceites vegetales puros y usados

Aceite Vegetal Puro				AVU's UAJMS	
Aceite de Girasol		Aceite de Soya		Mezcla Girasol y Soya	
Ácido graso	%	Ácido graso	%	Ácido graso	%
Ácido Láurico (C12:0)	≤ 0.01	Ácido Láurico (C12:0)	0.5	Ácido Láurico (C12:0)	13.30
Ácido Mirístico (C12:0)	≤ 0.01	Ácido Mirístico (C12:0)	0.5	Ácido Miristoleico (C14:1)	4.18
Acido Palmítico (C16:0)	5 a 8	Acido Palmítico (C16:0)	12	Ácido Palmítico (C16:0)	19.90

Ácido Esteárico (C18:0)	3 a 7	Ácido Esteárico (C18:0)	4	Ácido Esteárico (C18:0)	1.30
Ácido Oleico (C18:1)	15 a 38	Ácido Oleico (C18:1)	25	Ácido Oleico (C18:1)	30.07
Ácido Linolénico (C18:3)	≤ 0.2	Ácido Linolénico (C18:3)	6	Ácido Linolénico C18:3n3	30.11
Ácido Linoleico (C18:2)	50 a 72	Ácido Linoleico (C18:2)	52	Ácido cis 10 Heptadecanoico (C17:1)	0.36
Ácido Palmitoleico (C16:1)	≤ 0.2			Ácido Palmitoleico (C16:1)	0.56

Fuente: (Kirk Othmer, 1998), (Preciado, 2017) y elaboración propia según análisis.

Se puede observar que los aceites que usan las propietarias para cocinar, tienen una composición de ácidos grasos saturados, frente a la relevante presencia de ácidos grasos insaturados en los AVU's producto de las reacciones termo-oxidativas llevadas a cabo en el proceso de fritura.

Lo sorprendente es la presencia del ácido Láurico en los AVU's de UAJMS, ya que como específica (Mora , 2003) el ácido Láurico es un ácido graso presente en los aceites de palmiste, coco, babassú, en la grasa láctea y la mantequilla; por lo que se cree que al fritar algún alimento como pollo o milanesa, como se muestran en la Figura 4-4, previamente fueron rebosados en leche o mantequilla.

4.4.1.2 Estudio de campo pregunta n°3

A solicitud de las propietarias, la recolección de los AVU's se realizó día por medio; las siguientes tablas muestran la fecha de acopio, el volumen de AVU's donados, frente a los resultados que se muestran en la Figura 4-3 y la Tabla IV-1.

Tabla IV-19 1ra. Semana de acopio

1ra. Semana	Fecha: 14/08/2019				
	Caseta	1	4	5	6
	Litros que dona	2	1.42	3.6	0.09
	Fecha: 19/08/2019				
	Caseta	4	6	9	10
	Litros que dona	3.1	0.4	0.3	0.45
	Fecha: 22/08/2019				
	Caseta	1	6	9	
	Litros que dona	1.9	1	0.4	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-20 2da. Semana de acopio

2da. Semana	Fecha: 28/08/2019		
	Caseta	8	9
	Litros que dona	1	0.250
	Fecha: 29/08/2019		
	Caseta	1	7
	Litros que dona	1.9	0.3
	Fecha: 04/09/2019		
	Caseta	1	7
	Litros que dona	1.7	0.8
	Fecha: 06/09/2019		
	Caseta	7	8
	Litros que dona	0.4	1.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-21 3ra. Semana de acopio

3ra. Semana	Fecha: 18/09/2019			
	Caseta	1	8	
	Litros que dona	2.6	1.5	
	Fecha: 26/09/2019			
	Caseta	1	8	9
Litros que dona	1.4	1.3	0.8	

Fuente: Elaboración propia.

Por lo expuesto en las anteriores tablas, se procede a hacer el balance de los litros de aceite, que las propietarias usan a la semana para cocinar, frente a los litros de aceites donados.

Tabla IV-22 Balance Aceites que consumen propietarias Vs. AVU's Donados

1ra. Semana	C1	C4	C5	C6	C9	C10	Total L
Litros que consume	8	5	15	20	5	10	63
Litros que dona	3.9	4.52	3.6	1.49	0.7	0.45	14.66
Diferencia	4.1	0.48	11.4	18.51	4.3	9.55	48.34
2da. Semana	C1	C7	C8	C9	Total L		
Litros que consume	8	4	10	5	27		
Litros que dona	3.6	1.5	2.1	0.25	7.45		
Diferencia	4.4	2.5	7.9	4.75	19.55		
3ra. Semana	C1	C8	C9	Total L			
Litros que consume	8	10	5	23			
Litros que dona	4	2.8	0.8	7.6			
Diferencia	4	7.2	4.2	15.4			

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, se contó con una numerosa participación de las propietarias, mencionar, que las casetas C1 y C8 fueron las que más cantidad de aceite vegetal usado, donaron con respecto al dato (vertido por ellas mismas) del consumo de aceite que hacen por semana para cocinar los alimentos.

Para la fila que hace referencia a la “Diferencia”, la misma se puede entender como: la cantidad de aceite que absorbió el alimento en el proceso de fritura; la publicación hecha por (Rossell, 1998) sobre el proceso de fritura industrial, muestra los porcentajes de aceite que fueron absorbidos por alimentos tales como: papas fritas tipo bastón que absorben hasta un 10% de su peso total en aceite, el pollo rebozado un 15% y los alimentos empanizados entre un 15 a 20%.

Como podemos ver, las cantidades de diferencia en la primera semana de acopio, representan un 76.7% del total de aceite empleado para cocinar, lo que nos lleva a suponer que las cantidades de AVU's donados por algunas propietarias, no reflejan la

verdadera cantidad de aceites usados. Por otro lado, al observar la segunda y tercera semana, el porcentaje de diferencia disminuye en 72.4% y 66.5%, respectivamente.

4.4.1.3 Análisis de la caracterización AVU's acopiados

La Tabla IV-2 muestra los resultados de los análisis físicos y químicos de los AVU's acopiados, realizados por el Centro de Investigaciones Químicas ubicado en el departamento de Cochabamba – Bolivia.

Se observa un índice de saponificación de 195.2 mgKOH/g, contrastando este dato con el índice de saponificación para aceites vegetales usados de la FAO, citado por (Mójica, Rueda, Acosta, & Vidal, 2018) que es 201.6 (meq).

Haciendo la comparación con los valores de la Tabla II-2, vemos que para el índice de saponificación, nuestros AVU's se encuentran dentro de la categoría “usado” y para el índice de acidez, con el resultado de 1.12% (%ácido Oleico) frente un 1.07% para un aceite vegetal “fresco” y un 1.87% para un aceite vegetal “usado”, nuestros aceites no presentan un índice de acidez que representa la categoría de “usado”; sin embargo al estudiar los resultados del perfil de ácidos grasos, se observa la presencia de ácidos grasos mono y poliinsaturados, lo que confirma que los aceites acopiados fueron utilizados en periodos alargados y repetidos de cocción.

4.4.2 Influencia de las variables

4.4.2.1 Etapa de saponificación: Cantidad de Pasta Jabonosa

Se observa en los resultados los factores e interacciones significativas, se realizó con ellos el análisis de regresión lineal, el cual arroja el resultado del ajuste a la variable dependiente, que para este caso de estudio es la cantidad de pasta jabonosa generada en el proceso de saponificación.

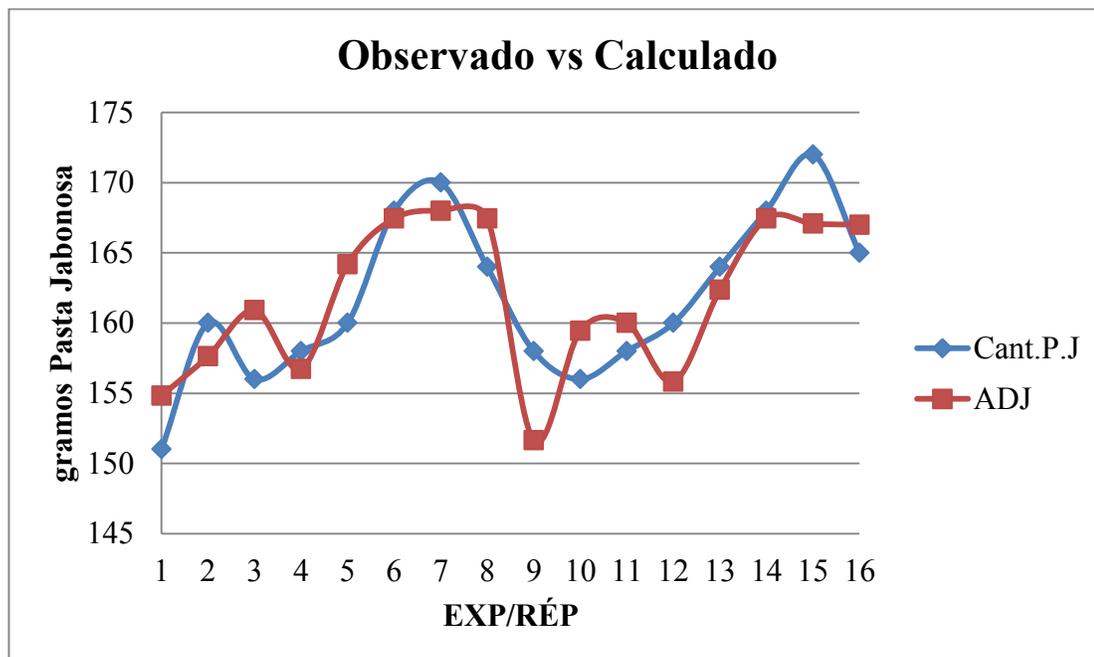
A continuación se tabula y grafica los resultados de mencionado ajuste junto con los resultados observados en la experimentación y a réplica de la misma.

Tabla IV-23 Cantidad de Pasta Jabonosa y Ajuste del modelo

EXP	Cant.P.J	Ajuste	RÉPLICA	Cant.P.J	Ajuste
1	151	154.818	9	158	151.636
2	160	157.636	10	156	159.455
3	156	160.909	11	158	160.000
4	158	156.727	12	160	155.818
5	160	164.182	13	164	162.364
6	168	167.455	14	168	167.454
7	170	168.000	15	172	167.090
8	164	167.455	16	165	167.000

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

Figura 4-14 Cantidad Pasta Jabonosa vs Ajuste



Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

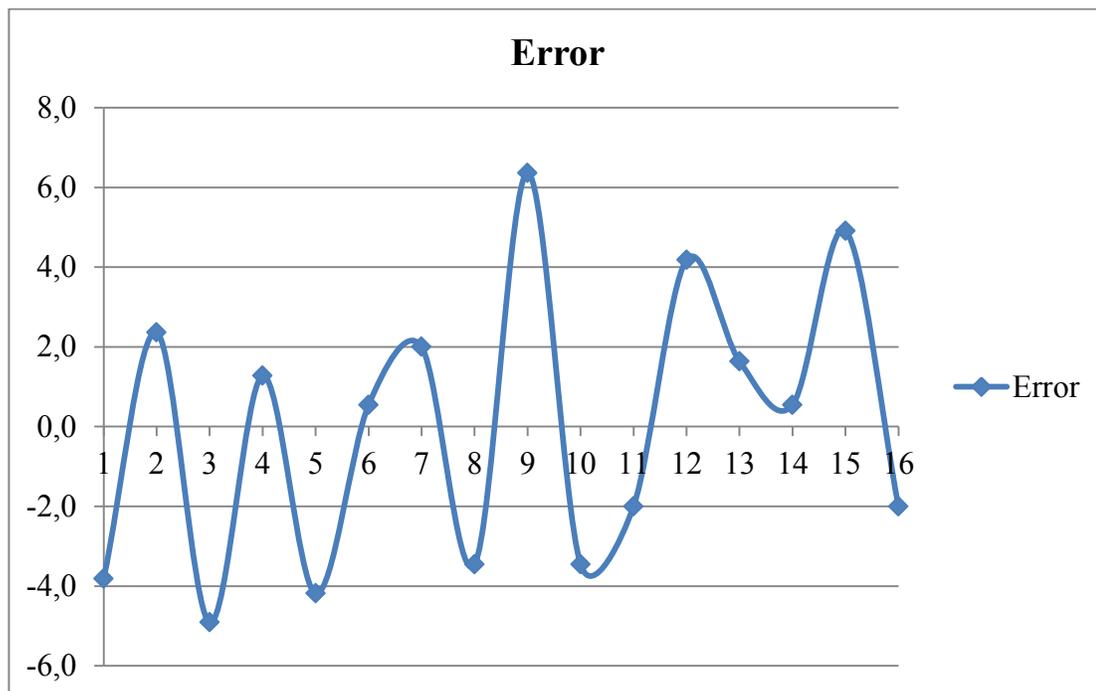
Para completar la interpretación de estos resultados, se procede a graficar el error, el cual corresponde a la diferencia entre los resultados observados, en la experimentación, frente a los resultados del modelo correspondientes al ajuste.

Tabla IV-24 Cantidad Pasta Jabonosa, Ajuste y Error

EXP	Cant.P.J	Ajuste	ERROR	RÉP	Cant.P.J	Ajuste	ERROR
1	151	154.818	-3.8	9	158	151.636	6.4
2	160	157.636	2.4	10	156	159.455	-3.5
3	156	160.909	-4.9	11	158	160.000	-2.0
4	158	156.727	1.3	12	160	155.818	4.2
5	160	164.182	-4.2	13	164	162.364	1.6
6	168	167.455	0.5	14	168	167.454	0.5
7	170	168.000	2.0	15	172	167.090	4.9
8	164	167.455	-3.5	16	165	167.000	-2.0

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

Figura 4-15 Diferencia entre Observado vs Calculado



Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

Se observa que el experimento 3 y la réplica 9 y 15, tienen una relevante diferencia entre los resultados observados y los calculados de -4.9, 6.4 y -4.9 puntos respectivamente.

4.4.2.2 Tiempo de reacción etapa de saponificación

Para el estudio este tiempo se midió en horas que fueron transformadas a minutos.

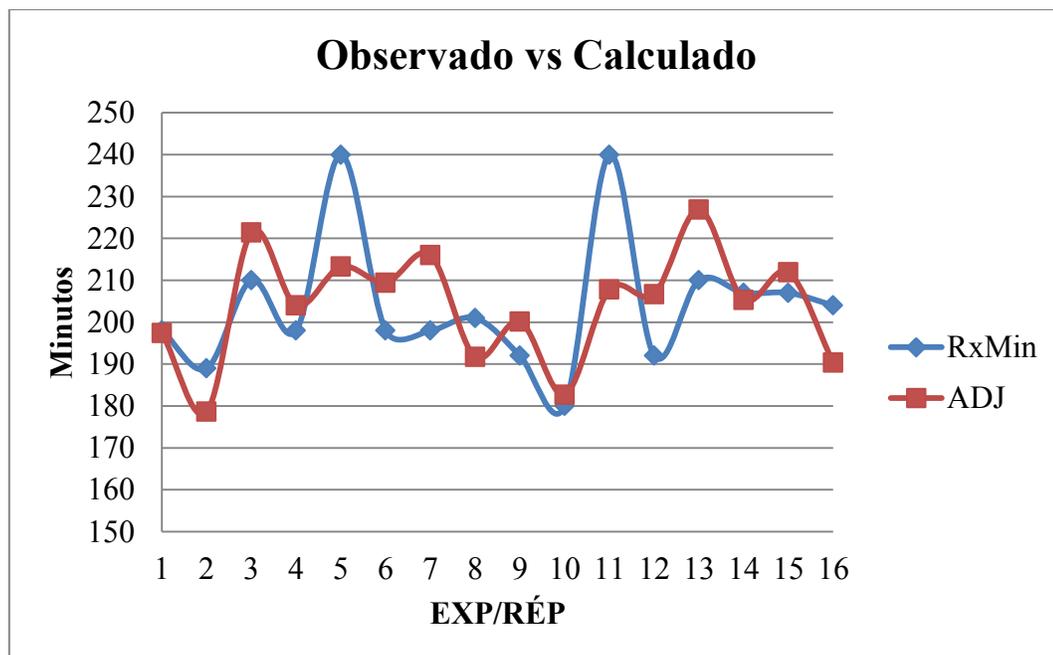
Mediante las pruebas de los factores inter-sujetos, se observa que para el tiempo de reacción, la interacción de temperatura por el exceso de hidróxido de potasio, que junto al factor de revoluciones por minuto son los significativos; se procede a tabular y graficar los resultados observados y calculados.

Tabla IV-25 Tiempo de Reacción y Ajuste del modelo

EXP	RxMin	Ajuste	RÉP	RxMin	Ajuste
1	198	197.5	9	192	200.2
2	189	178.6	10	180	182.7
3	210	221.5	11	240	207.8
4	198	204.0	12	192	206.7
5	240	213.3	13	210	226.9
6	198	209.5	14	207	205.4
7	198	216.0	15	207	211.9
8	201	191.7	16	204	190.4

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

Figura 4-16 RxMin vs Ajuste



Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

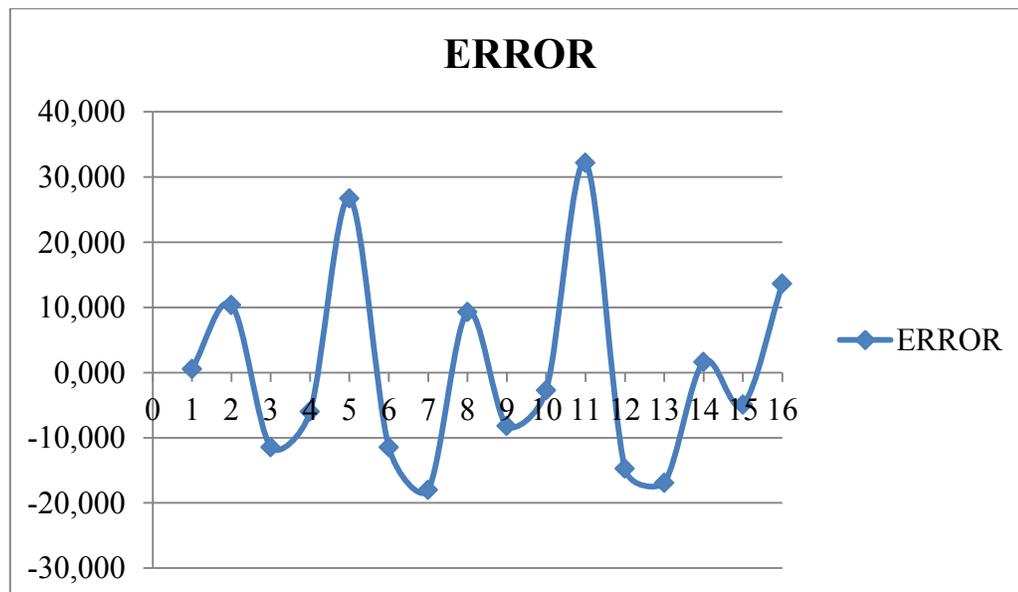
Por consiguiente se tabula y grafica la diferencia entre los minutos observados que duró el proceso de saponificación versus los resultados del modelo.

Tabla IV-26 Tiempo de reacción, Ajuste y Error

EXP	RxMin	Ajuste	ERROR	RÉP	RxMin	Ajuste	ERROR
1	198	197.5	0.5	9	192	200.2	-8.2
2	189	178.6	10.4	10	180	182.7	-2.7
3	210	221.5	-11.5	11	240	207.8	32.2
4	198	204.0	-6.0	12	192	206.7	-14.7
5	240	213.3	26.7	13	210	226.9	-16.9
6	198	209.5	-11.5	14	207	205.4	1.6
7	198	216.0	-18.0	15	207	211.9	-4.9
8	201	191.7	9.3	16	204	190.4	13.6

Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

Figura 4-17 Diferencia entre Observado y Calculado



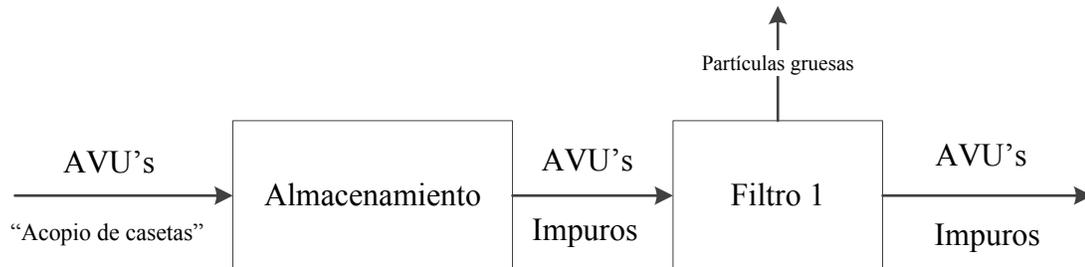
Fuente: Elaboración propia mediante SPSS.

Se observa dos picos que resaltan correspondientes al experimento 5 y la réplica 11, la diferencia de los resultados observados frente a los calculados es de 26 y 32 puntos respectivamente.

4.5 Balance de materia del proceso

Balance en el Filtro 1:

Figura 4-18 Diagrama de Bloques Filtro 1



Fuente: Elaboración propia.

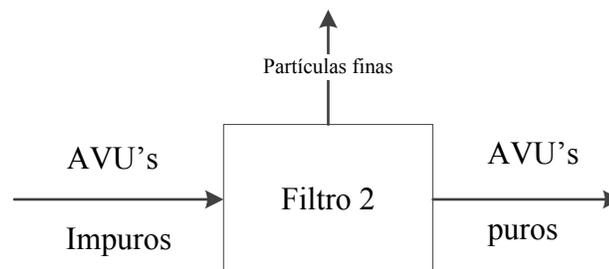
Tabla IV-27 Balance de materia Filtro 1

ALMACENAMIENTO	FILTRACIÓN AL VACÍO			
AVU's acopiados ml	AVU's imp. g	Partículas gruesas. g	Pérdidas. g	AVU's imp. g
29 710	3 000	83	36	2 881

Fuente: Elaboración propia.

Balance en el Filtro 2:

Figura 4-19 Diagrama de Bloques Filtro 2



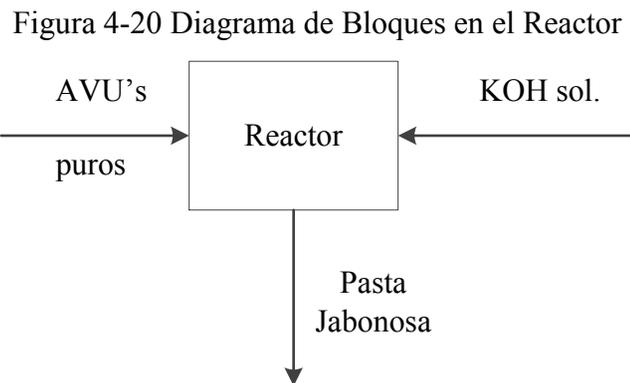
Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-28 Balance de materia Filtro 2

FILTRACIÓN MECÁNICA				
Pérdidas por manipulación. g	AVU's imp. g	Partículas finas + AVU's. g	Pérdidas. g	AVU puro. g
18	2 863	57	23	2 783

Fuente: Elaboración propia.

Balance en el Reactor:



Fuente: Elaboración propia.

Cálculos para KOH sol.

Índice de saponificación: 195.2 mg KOH/g

Cantidad AVU's °/EXP: 100 g.

Pureza KOH: 90%

Como la pureza es al 90%, se debe recalcular el índice de saponificación:

$$19.52 \text{ mgKOH} \times \frac{10\%}{100\%} = 1.952 \text{ mgKOH} \quad (\text{Ec.4-1})$$

$$1.952 \text{ mgKOH} + 19.52 \text{ mgKOH} = 21.472 \text{ mgKOH} \quad (\text{Ec.4-2})$$

El resultado de la ecuación 2 es el índice de saponificación recalculado en base a la pureza del álcali; como se trabajó con una balanza que tiene como mínima sensibilidad 1g, decidimos redondear este resultado al inmediato superior.

Índice de saponificación recalculado: 22 mg KOH/g

Para calcular y establecer los porcentajes de masa para hacer la solución de hidróxido de potasio, previamente se hicieron pruebas preliminares, dando como resultado un 30% en masa de KOH y 70% de masa de agua destilada.

Tabla IV-29 Balance de materia en el Reactor

Exp.	AVU + KOH sol. g	Pérdidas P.J en Mixer. g	P.J para prueba de ac. grasos. g	Total Pasta Jabonosa como pérdida. g	Total Pasta Jabonosa proceso. g	% de Pasta Jab. finalizado el proceso
1	180	3	8	11	151	83.88
2	180	3	3	6	160	88.88
3	180	4	7	11	156	86.66
4	180	2	4	6	158	87.77
5	190	3	8	11	160	84.21
6	190	2	3	5	168	88.42
7	190	3	4	7	170	89.47
8	190	4	3	7	164	86.31

Fuente: Elaboración propia.

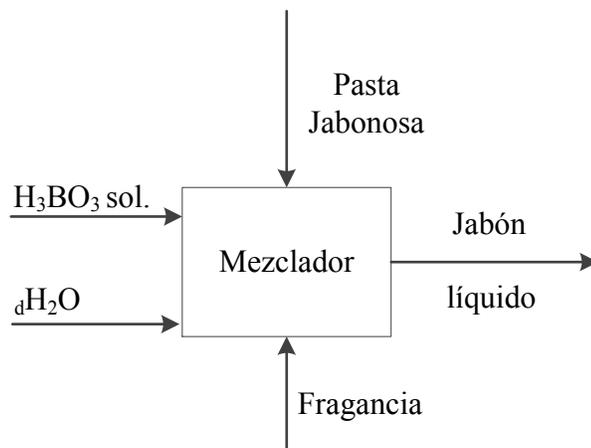
La columna que corresponde al porcentaje de pasta jabonosa una vez finalizado el proceso o la etapa de saponificación, resulta de la división entre los gramos de pasta jabonosa totales, sobre la cantidad en gramos de la mezcla de aceites y lejía (precursores de la pasta jabonosa) por cien.

Balance en el Mezclador:

Por fines de cálculo se decidió usar la mitad de pasta jabonosa obtenida de la reacción.

Con fines de apreciación del comportamiento del jabón, se omitió la adición de colorante.

Figura 4-21 Diagrama de Bloques del Mezclador



Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-30 Balance de materia del Mezclador

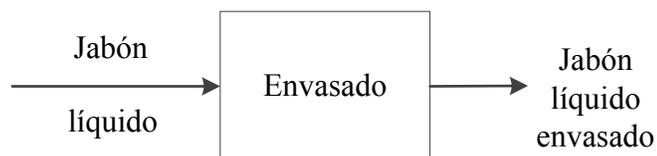
Exp.	Pasta Jabonosa. g	dH ₂ O. g	â Bórico. g	Fragancia ml	Jabón líquido. g
1	75	450	6	4	519
2	80	480	7	5	556
3	78	468	6	6	537
4	79	474	6	6	558
5	80	480	7	5	560
6	84	504	8	6	586
7	85	510	7	5	595
8	82	492	8	6	572

Fuente: Elaboración propia.

Cabe recalcar que para hacer la solución de ácido bórico se utilizó una parte del total de agua destilada, destinada para este proceso.

Balance en el Envasado:

Figura 4-22 Diagrama de Bloques Envasado



Fuente: Elaboración propia.

Tabla IV-31 Balance de materia Envasado

Jabón líquido. g	Envase. g	Jabón líquido envasado. g	Pérdidas al envasar. g
519	4	521	2
556	4	556	4
537	4	535	6
558	4	556	6
560	4	560	4
586	4	586	4
595	4	596	3
572	4	570	6

Fuente: Elaboración propia.

4.6 Balance de energía

Complementando al balance de materia, el balance de energía refleja la cantidad de energía que se va a generar y consumir en el proceso.

4.6.1 Balance de energía: etapa de filtración

Como se describe en los flujogramas del proceso productivo, para el acondicionamiento de los AVU's se dispone de dos filtros, el primero para retener partículas gruesas y el segundo que retiene partículas finas, para ambos se vio por conveniente calentar los aceites para mejorar la fluidez y optimizar el proceso de filtrado.

En ambos casos se calentaron los aceites llevando de una temperatura ambiente hasta los 60°C.

Calor requerido para calentar AVU's, Filtro1:

$$Q_{AVU's} = m_{AVU's} * Cp * \Delta T \quad (\text{Ec.4-3})$$

$$Q_{AVU's} = 258.12 \text{ kJ} \quad (\text{Ec.4-4})$$

Dónde:

$m_{AVU's}$ = corresponde a la cantidad de AVU's impuros a filtrar, en el filtro 1 (3 000g)

C_p = capacidad calorífica, se consideró adoptar el dato para el aceite de soya a 75°C, dato tomado de “Predicción matemática de la conductividad térmica y la capacidad calorífica en aceites vegetales” por (González & Sarmiento, 2019), con un valor de 2.151 kJ/kgK.

$$\Delta T = (T_{AVU's \text{ final}} - T_{AVU's \text{ inicial}}) = (60 - 20) = 40^\circ\text{C} + 273.15 = 313.15 \text{ K}$$

Calor requerido para calentar AVU's, Filtro 2:

$$Q_{AVU's} = m_{AVU's} * C_p * \Delta T \quad (\text{Ec.4-5})$$

$$Q_{AVU's} = 246.33 \text{ kJ} \quad (\text{Ec.4-6})$$

La única variación es la masa de AVU's impuros, siendo para el filtro 2, igual a 2 863 gramos.

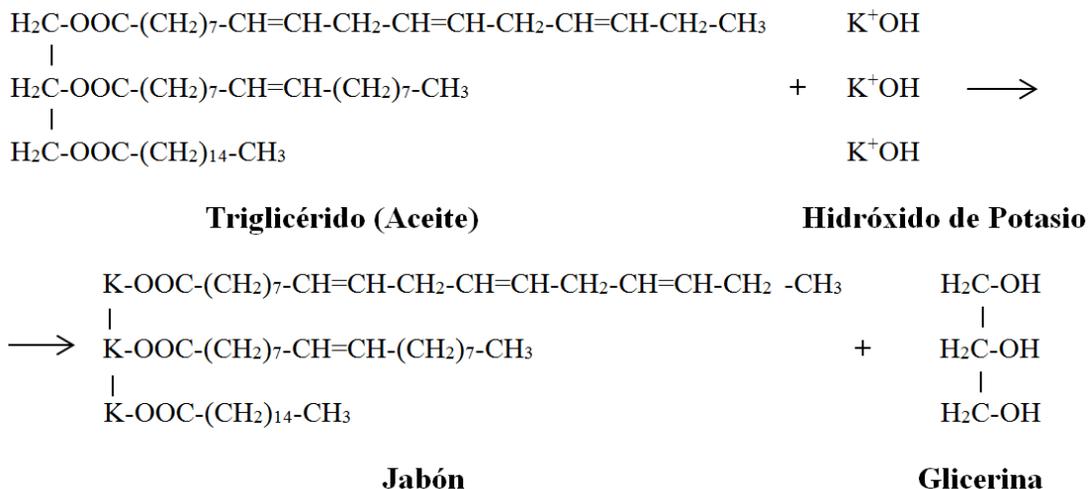
4.6.2 Balance de energía: etapa de saponificación

4.6.2.1 Reacción de Saponificación

El presente proyecto, contempla para esta etapa, la reacción de los AVU's puros (previamente acondicionados) con la potasa cáustica como catalizador básico, para formar jabón mediante la saponificación de los triglicéridos de los aceites vegetales usados, acopiados en el campus universitario.

Con la información de la Tabla4-2, conocemos el perfil de ácidos grasos de nuestro aceite, con esto, se formula la reacción química entre el triglicérido y el hidróxido de potasio, junto con los productos resultantes:

Figura 4-23 Reacción química de saponificación



Fuente: Elaboración propia.

Con lo cual, la siguiente tabla muestra el resumen de esta reacción:

Tabla IV-32 Componentes de la reacción de saponificación

Reactivos		N° moles estequiometria	Fórmula	PM (g/mol)
Aceite	Reactivo limitante	1	C ₅₂ H ₉₈ (COO) ₃	806
Potasa	Reactivo en exceso	3	KOH	56
Agua	Inerte	-	H ₂ O	18
Productos				
Jabón	Producto principal	3	C ₄₉ H ₉₃ (COO) ₃ K ₃	930
Glicerina	Producto secundario	1	C ₃ H ₅ (OH) ₃	92
Agua	Inerte	-	H ₂ O	18

Fuente: Elaboración propia.

Reactivos

- AVU's puros: conociendo los porcentajes de ácidos grasos, el triglicérido formulado contempla los ácidos grasos mayoritarios, siendo estos: ácido Linolénico, ácido Oleico y ácido Palmítico.
- KOH: álcali que forma jabones blandos o líquidos.

Productos

- Jabón: como producto principal de la reacción del triglicérido y la potasa, de resultado la sal de los ácidos mencionados, siendo una mezcla de Linolenato de potasio, Oleato de potasio y Palmitato de potasio.
- Glicerina

4.6.2.2 Entalpía de reacción

Adoptando el criterio de (Guerrero, 2014) donde menciona que se considera a la energía de enlace de los componentes individuales de la reacción, para calcular la entalpía de reacción, considerando que la reacción química es un reagrupamiento de los reactivos que forman productos. Afirmando que por medio de las energías medias de enlace se estima un valor aproximado de las entalpías de reacción entre sustancias, que para lo cual al formarse nuevos enlaces se desprende de energía y para romper los mismos se debe suministrar energía, se adopta la siguiente ecuación:

$$\Delta H = \sum \left(\begin{array}{l} \text{Energía de} \\ \text{enlaces rotos} \end{array} \right) - \sum \left(\begin{array}{l} \text{Energía de} \\ \text{enlaces formados} \end{array} \right) \quad (\text{Ec.4-7})$$

Conociendo la reacción de saponificación presentada en la Figura4-22, la siguiente tabla muestra, los datos necesarios para calcular la entalpía de enlace de la reacción:

Tabla IV-33 Entalpías de enlace para la reacción de saponificación

Enlace	Energía de enlace ΔH (kJ/mol)	N° de enlaces rotos (reactivos)	N° de enlaces formados (productos)
C -H	415	98	98
C - C	347	44	46
C = C	610	4	4
C - O	352	6	6
C = O	743	3	3
O - H	460	3	3

Fuente: (Guerrero, 2014) y elaboración propia.

Se observa que se han formado dos enlace C-C ya que para el resto el número de enlaces rotos y formados se encuentran en la misma cantidad. Entonces el resultado de la entalpía de reacción es:

$$\Delta H_r = -694 \text{ kJ/mol} \quad (\text{Ec.4-8})$$

Entendiendo por el signo negativo del resultado, que se debe a una reacción exotérmica.

Calculando el número de moles del aceite:

$$n_{AVU's} = \frac{m_{AVU'sRx}}{PM} = \frac{100 \text{ g}}{806 \text{ g/mol}} = 0.124 \text{ mol} \quad (\text{Ec.4-9})$$

Entonces:

$$Q_r = \Delta H_r \times n_{AVU's} = -86.056 \text{ kJ} \quad (\text{Ec.4-10})$$

Corresponde a la energía liberada en una corrida de experimentación, empleando 100 gramos de aceites vegetales usados puros.

4.7 Costos del Proyecto

Con objeto de revelar esta información de forma sistemática, se divide esta sección presentando el costo que conlleva realizar el proceso, desde el acopio hasta el envase del producto y los costos adicionales, para realizar a cabalidad este proyecto.

Cabe recalcar que todos los datos y precios son en la moneda nacional el peso Boliviano.

4.7.1 Costos del proceso

Acopio de AVU's:

Tabla IV-34 Costos etapa: Acopio de AVU's

Material	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Bidones	3	20	60
Embudo	1	5	5
Jarra	2	5	10
Total etapa de Acopio de AVU's			75

Fuente: Elaboración propia.

Filtración 1 y 2:

Tabla IV-35 Costo etapa: Filtración 1 y 2

Materiales	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Olla	2	35	70
Papel filtro	1	4	4
Compresas de gasa	4	7	28
Materia Prima	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
AVU's	Donado por las dueñas de las casetas		
Equipos proceso	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Hornilla	1	60	60
Equipo de filtración	proporcionado por el LOU		
Equipos medición	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Termómetro	1	36	36
Balanza	1	80	80
Total etapa de Filtración 1 y 2			278

Fuente: Elaboración propia.

Saponificación:

Tabla IV-36 Costo etapa: Saponificación

Reactivos	Cantidad	Unidad	Costo total
KOH	1500	g	135
Ac. Bórico	110	g	33
Insumos	Cantidad	Unidad	Costo total
Agua destilada	proporcionada por el LOU		
Material laboratorio	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Vaso pptdo 1 000 ml	1	49	49
Vaso pptdo 600 ml	2	35	70
Pipeta 10 ml	1	17	17
Probeta 100 ml	1	24	24
Materiales	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Cuchara	2	5	10

Materiales	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Recipientes	2	5	10
Papel film	1	5	5
Papel aluminio	1	5	5
Equipo de medición	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Papel pH	1	40	40
Termómetro	1	36	36
Equipo del proceso	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Mini procesadora	1	200	200
EPP	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Guantes	6	2	12
Gafas	1	30	30
Barbijo	6	4	24
Total etapa de Saponificación			700

Fuente: Elaboración propia.

Mezclado y Envase:

Tabla IV-37 Costo etapa: Mezclado y envase

Insumos	Cantidad	Unidad	Costo total
Fragancia	100	ml	22
Agua destilada	proporcionada por el LOU		
Material laboratorio	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Vaso pptdo 600 ml	1	35	35
Materiales	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Espátula	1	20	20
Bolsas ziploc	32	0,333	11
Total etapa de Mezclado y Envase			88

Fuente: Elaboración propia.

Análisis AVU's:

Tabla IV-38 Costo análisis AVU's

Parámetros	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Perfil de ácidos grasos	1	1200	1200
Índice de saponificación	1	95	95
Acidez	1	90	90
Viscosidad	1	70	70
Total análisis AVU's			1 455

Fuente: Elaboración propia.

Análisis Jabón Líquido

Tabla IV-39 Costo análisis Jabón Líquido

Parámetros	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Alcalinidad libre	9	50	450
Materia insoluble en agua	9	70	630
pH	9	20	180
Total análisis Jabón líquido con descuento del 70%			378

Fuente: Elaboración propia.

Material de limpieza

Tabla IV-40 Costo material de limpieza

Material	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Trapos repasadores	2	5	10
Esponjas	2	3	6
Detergente	1	10	10
Servilletas/papel	1	10	10
Bolsas de plástico	5	1	5
Total material de limpieza			41

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2 Costos adicionales

Material de escritorio:

Tabla IV-41 Costo material de escritorio

Material	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Hojas	900	0,1	90
Impresiones	900	1,2	1080
Libreta	1	10	10
Anillados	9	15	135
Total material de escritorio			1 315

Fuente: Elaboración propia.

Servicios

Tabla IV-42 Costo servicios

Servicio	Cantidad	Unidad	Costo total
Energía	10	mes	1700
Internet	10	mes	1870
Gas	1	mes	55
Agua	1	mes	140
Mano de obra (tesista)	5	mes	6000
Total servicios			9 765

Fuente: Elaboración propia.

Resumen Costo del Proyecto

Tabla IV-43 Resumen costo del proyecto

Total etapa de Acopio de AVU's	75
Total etapa de Filtración 1 y 2	278
Total etapa de Saponificación	722
Total etapa de Mezclado	88
Total análisis AVU's	1 455
Total análisis Jabón líquido con descuento del 70%	378
Total material de limpieza	41

Total material de escritorio	1 315
Total servicios	9 765
Total Costo del proyecto	14 117

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla que resume todos los costos del proyecto, el mismo en su totalidad tiene un costo de catorce mil ciento diecisiete bolivianos.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los AVU's que fueron donados por las propietarias de las casetas de comida, ubicadas en el campus universitario, presentaron un color ámbar oscuro, con olor similar a los alimentos cocinados en ellos y de aspecto viscoso; presentan un índice de saponificación de 195.2 mgKOH/g, índice de acidez igual a 1.12 % ácido oleico y ácidos grasos mayoritarios en porcentaje de ácido Linolénico, Oleico y Palmítico. La cantidad que potencialmente se puede recolectar de AVU's, si se logra una participación mayoritaria como refleja la Tabla IV-22 es de 14 660 ml a la semana.

En los ensayos de laboratorio de la materia prima, se observa que la variación del exceso de álcali no muestra diferencia en el pH de la pasta jabonosa, sin embargo el exceso de 20% de álcali desodoriza mejor; para temperaturas altas, 85°C en nuestro caso, se observa abundante formación de glicerina transcurrida la media hora del primer contacto AVU's – lejía.

Al realizar el análisis estadístico con el programa SPSS, se observa diferencias significativas ($p < 0.05$) para la variable de exceso de KOH y la interacción de agitación-temperatura, con respecto a la variable dependiente: cantidad de pasta jabonosa; para la variable dependiente: tiempo de reacción las diferencias significativas ($p < 0.05$) fueron para la variables de agitación y la interacción temperatura-excKOH.

Se observa la eficiencia del proceso tecnológico conjugando el método escogido para la experimentación: reacción en caliente, con el tiempo de reacción en la etapa de saponificación, la Tabla IV-25 muestra que ningún experimento excede los 240 minutos para completar la saponificación, se verifica que el experimento 2 junto con su réplica, es el que tiene el menor tiempo de reacción, empleando 189 minutos para concluir la etapa de saponificación.

En el balance de materia para la etapa de acondicionamiento de los AVU's no se registra cantidades significativas de residuos retenidos en los filtros, para la etapa de saponificación la Tabla IV-29 muestra que los experimentos: 7, 6 y 4 son los que mayor cantidad de pasta jabonosa tienen al finalizar la saponificación.

Se calculó que 3 000 g de AVU's necesitan 258.12 kj para elevar su temperatura desde 20°C hasta 60°C para ser cribados por el filtro 1, la misma operación sucede para el filtro 2, solo que esta vez la cantidad de AVU's disminuye siendo que 2 863 g necesitan 246.33 kj; el balance de energía en la etapa de saponificación (reacción exotérmica) da como resultado que 100 g de AVU's liberan -86.05 kj al contacto con la lejía.

Los análisis físicos y químicos de los jabones, realizados por el CEANID, muestran que todos los experimentos están por debajo del límite de la norma INEN 842 para el % materia insoluble en agua y medición de pH, se observa que para el %alcalinidad libre el experimento 6 tiene el valor límite de la norma y el experimento 5 con un 0.52% excede dicho límite el cual es de 0.5%.

El control de calidad de nuestros jabones, que cuenta con tres parámetros: prueba de hilo, prueba de saponificación y prueba de persistencia de espuma, da como resultado la proporción de dilución de la pasta jabonosa en agua destilada de 1:6, la prueba de saponificación revela que los ácidos grasos, de todos los experimentos, fueron neutralizados exitosamente, la prueba de persistencia de espuma califica al experimento 4 como el de mejor espuma persistente ya que desde el minuto cero al minuto quince de evaluación, reduce la altura de espuma en solo 2.7 cm a diferencia de la espuma de un jabón comercial la cual en el mismo tiempo reduce su altura en 3.5 cm.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda al centro de estudiantes de la carrera de ingeniería química, elaborar un proyecto de “ordenanza para la dotación de residuos contaminantes” y presentar a consideración de las autoridades facultativas; con el objetivo de

normalizar la entrega de residuos contaminantes por parte de las partes generadoras y así hacer constante el estudio y responsabilidad medio ambiental.

- Se recomienda a futuros tesisistas y/o estudiantes evaluar los usos para estos jabones dentro del campus universitario, como también el grado de aceptación de los mismos.
- Se recomienda a los estudiantes de la carrera de ingeniería química, continuar con el reciclaje y transformación de residuos contaminantes generados en UAJMS.
- Se recomienda hacer pruebas experimentales diferentes, en la etapa de acondicionamiento de los AVU's y evaluar el rendimiento.
- Se recomienda a las autoridades de la Facultad de Ciencias y Tecnología evaluar la implementación de una estación de transformación de residuos contaminantes que se generan en UAJMS, como ser: una planta productora de jabón a partir de AVU's.