

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**ELABORACIÓN DE JABÓN CÁLCICO A PARTIR DE
SEBO DE RESES FAENADAS EN LA PROVINCIA
CERCADO DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA, PARA
USO EN ALIMENTO BALANCEADO**

Por:

Univ. María Fernanda Pérez Pérez

Proyecto de Grado (Modalidad, Investigación Aplicada).

**Presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en
Ingeniería Química.**

Julio de 2017

TARIJA-BOLIVIA

RESUMEN

El presente estudio tiene como finalidad la elaboración de jabón cálcico a partir de sebo de reses faenadas en la provincia Cercado del departamento de Tarija, para uso en alimento balanceado.

El jabón cálcico es una sal, la cual es inerte en el estómago de los animales monogástricos y es un aditivo de alimento balanceado muy ventajoso porque posee un alto contenido de ácidos grasos, y a la vez incorpora una porción de calcio en el mismo.

El proceso de saponificación del sebo de res se realizó en el equipo autoclave y se evaluó el rendimiento a cada una de las condiciones estudiadas. Los factores fueron; temperatura (115, 121 y 133°C) y tiempo (20,30 y 40 minutos). El análisis estadístico se realizó mediante el programa SPSS 18.0 el cual mostró que ambas variables son significativas.

Para la elaboración de jabón cálcico con altos rendimientos se utilizó un proceso previo de fusión del sebo en un digestor CB 3500, separando así todas las impurezas y el chicharrón del aceite de sebo de res, sumando un porcentaje del 10 %.

Para elegir las condiciones óptimas de operación, se evaluó el índice de saponificación del jabón cálcico obtenido de cada muestra y el rendimiento calculado.

Las condiciones óptimas de operación en el proceso de saponificación son: 121 °C de temperatura, 2,1 bares de presión y 40 minutos de tiempo para el cual el rendimiento promedio fue de 72,72%.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

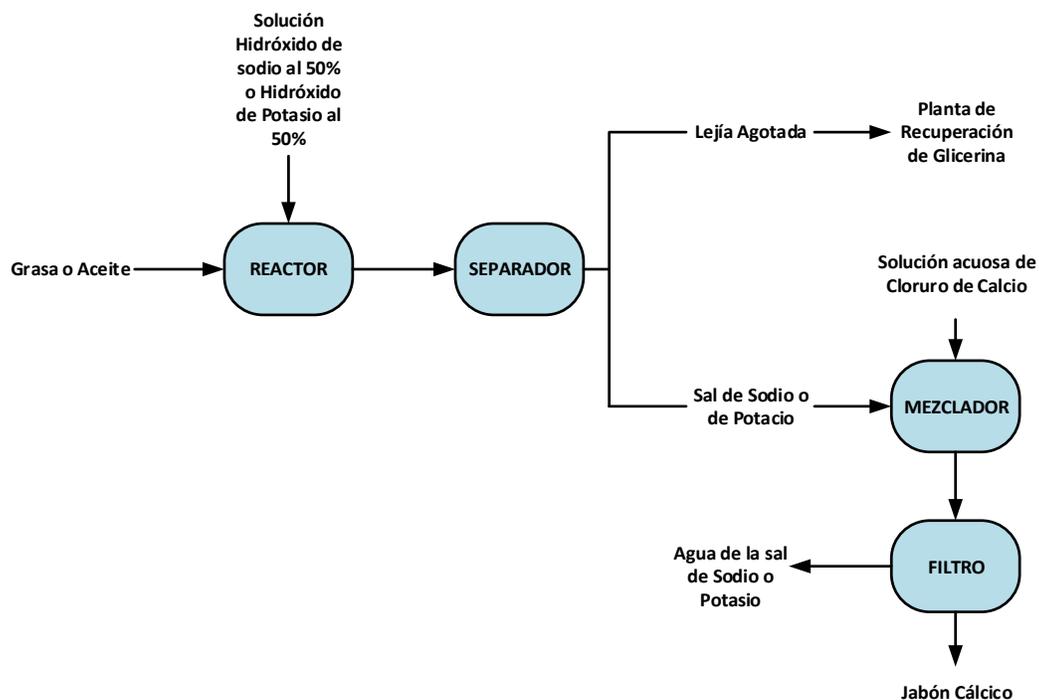
1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Breve reseña histórica del jabón cálcico

La invención del jabón cálcico se realiza por Donald L. Palmquist y Thomas C. Jenkis en Estados Unidos (1981), la misma es presentada en una patente en el año 1.984 bajo el nombre de: “*Proceso para la alimentación de animales rumiantes y composición para uso en el mismo*”. (Centro de Investigación y Desarrollo Agrícola de Ohio, 1984).

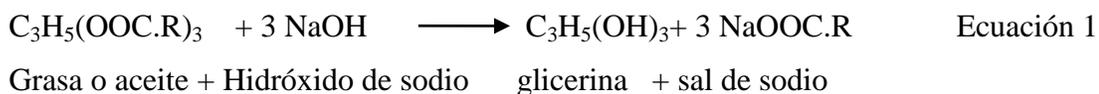
La invención posibilita a los animales rumiantes ser alimentados con una mayor cantidad de grasa en su dieta sin efectos perjudiciales sobre las poblaciones de microorganismos dentro de los estómagos de los rumiantes.

Diagrama I-1
Proceso para la alimentación de animales rumiantes y composición para uso en el mismo

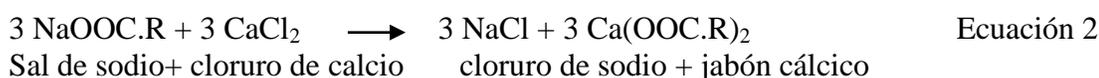


Fuente: Centro de Investigación y Desarrollo Agrícola de Ohio. 1984.

Este procedimiento se basa en que la grasa o aceite ya sea de fuente vegetal o animal, se saponifica de la manera convencional con hidróxido de sodio o de potasio y la sal de sodio o de potasio resultante es separada del licor que contiene glicerol.

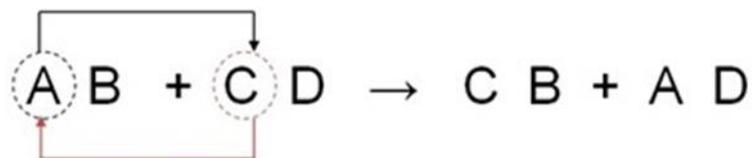


Esta sal se disuelve en una solución acuosa de cloruro de calcio, después de lo cual se lleva a cabo el proceso de metátesis y la sal del ácido graso de calcio sustancialmente insoluble en agua, precipita y se separa por filtración.

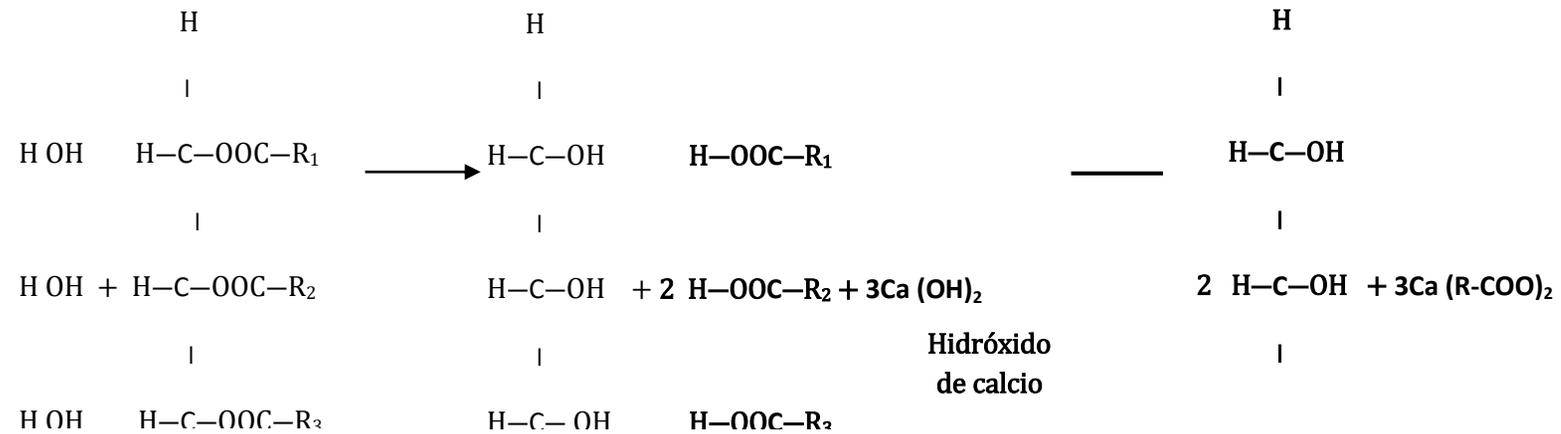


La metátesis o doble descomposición, es una reacción entre dos compuestos que generalmente están cada uno en solución acuosa. Consiste en que dos elementos que se encuentran en compuestos diferentes intercambian posiciones, formando dos nuevos compuestos. Estas reacciones químicas no presentan cambios en el número de oxidación o carga relativa de los elementos, por lo cual también se le denominan reacciones NO – REDOX.

Esquema General:



Años más tarde, William McAskie encuentra una nueva manera de obtener jabón cálcico mediante la saponificación de ácidos grasos con una solución de óxido de calcio más agua, permitiendo al óxido de calcio reaccionar exotérmicamente con dicho ácido para formar la sal de calcio del mismo:

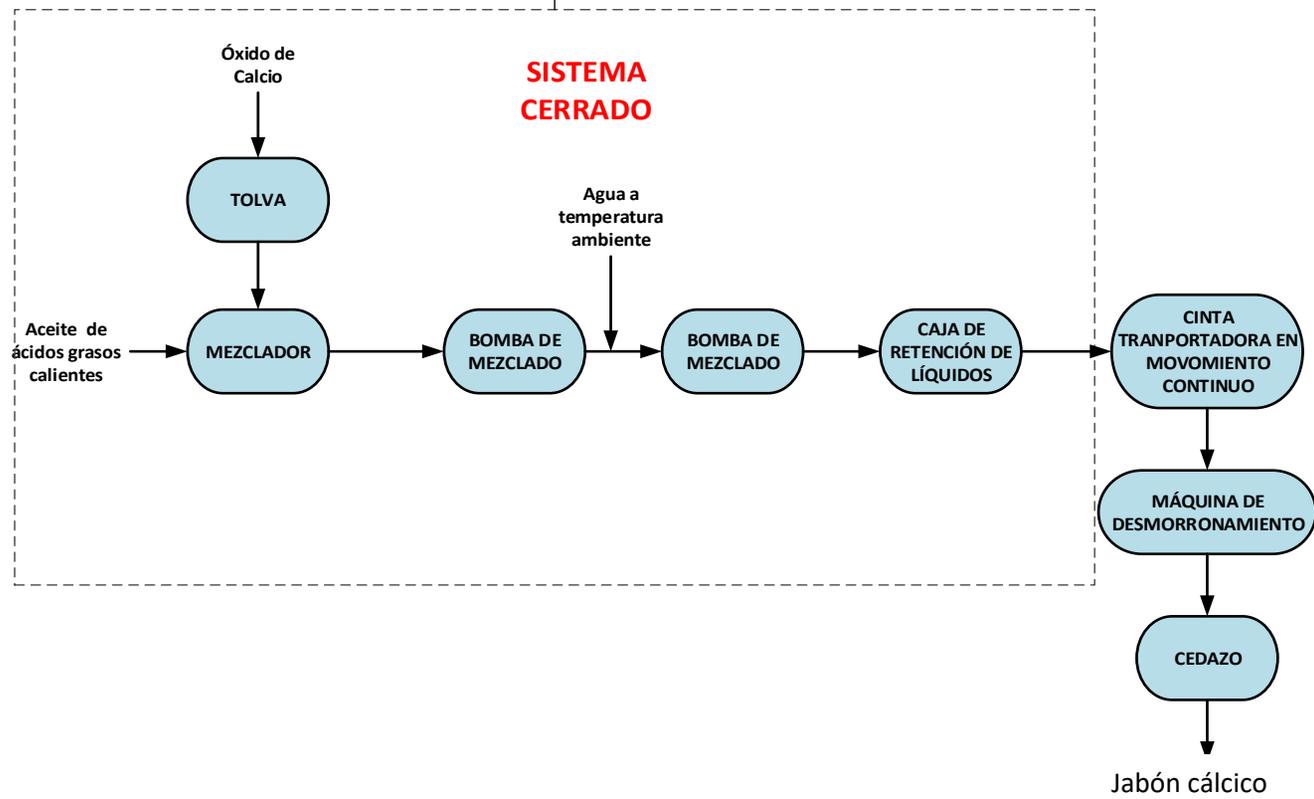


Ecuación 3

Esta invención es presentada en 1986 bajo el nombre de: “*Piensos para rumiantes, su producción y un aparato para uso en el mismo*”. (Empresa de fabricación Balfour, 1986).

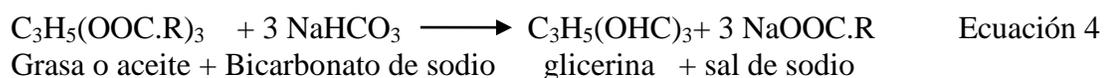
A continuación se muestra un diagrama del proceso mencionado a escala industrial.

Diagrama I-2
Piensos para rumiantes, su producción y un aparato para uso en el mismo

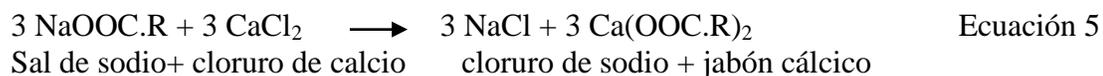


Fuente: Empresa de fabricación Balfour. 1986.

En el año 1991, Kenneth R. Cummings, Thomas F. Sweeney, James W. Dinas y Gerard J. Gutowski, aprovechan un residuo de una planta de bicarbonato de sodio para la obtención de jabón cálcico, obtienen el mismo a partir de un efluente residual que deriva de una operación de fabricación del bicarbonato de sodio. La mezcla del ácido graso, óxido de calcio y solución acuosa de carbonato sódico-bicarbonato facilitan la conversión de dicho ácido graso a una sal de sodio por la presencia de los iones de sodio.

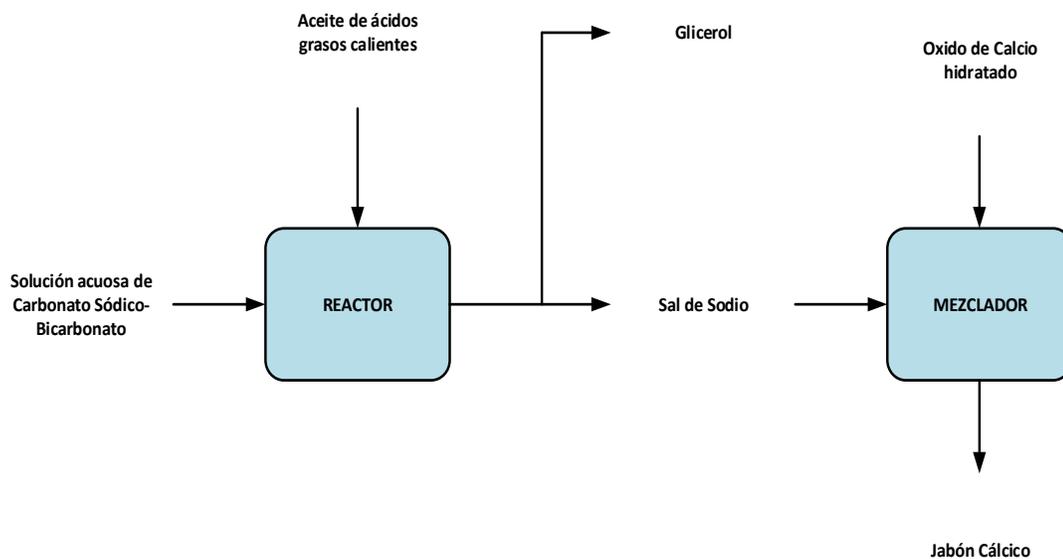


Posteriormente, la sal sódica del ácido graso interactúa con el cloruro de calcio hidratado para producir el producto de sal de calcio de ácido graso insoluble.



Esta invención es incluida en una patente bajo el nombre de “*La producción de sal de ácido graso para la composición de la dieta*”. (Empresa Church & Dwigh, Corporación, 1991).

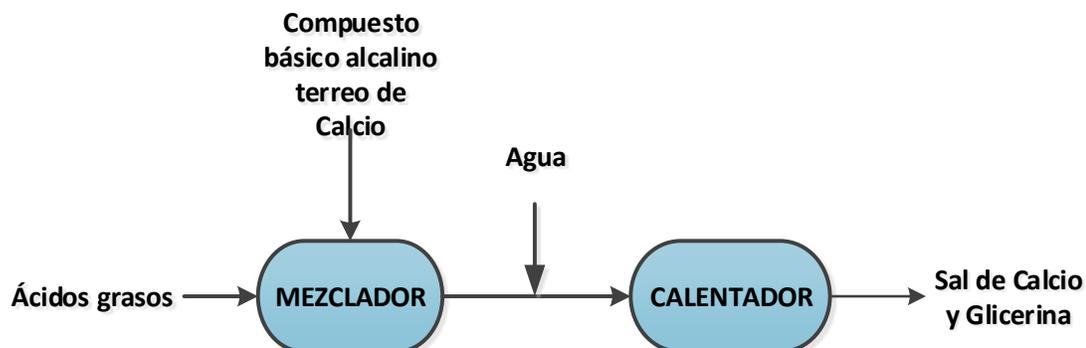
Diagrama I-3
La producción de sal de ácido graso para la composición de la dieta



Fuente: Empresa Church & Dwigh, Corporación. 1991.

Dos años después, en 1993, Alfredo Vinci, Kenneth R. Cummings y M. Esteban Lajoie formulan una sal de ácido graso a partir de la mezcla de ácidos grasos y el compuesto de metal alcalinotérreo, mezclados previamente a la adición de agua a la mezcla, donde se calienta la mezcla durante el tiempo necesario para que se dé la formación de la sal por hidrólisis. En 1994 este procedimiento se presenta bajo el nombre de: “*Proceso por lotes para la producción de sal de metal alcalinotérreo de ácidos grasos*”.(Empresa Church & Dwigh, Corporación, 1994).

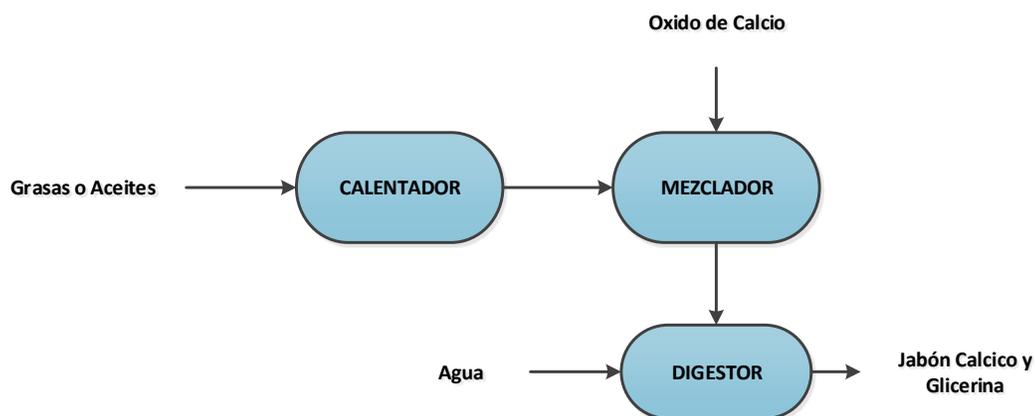
Diagrama I-4
Proceso por lotes para la producción de sal de metal alcalinotérreo de ácidos grasos



Fuente: Empresa Church & Dwig, Corporación. 1995.

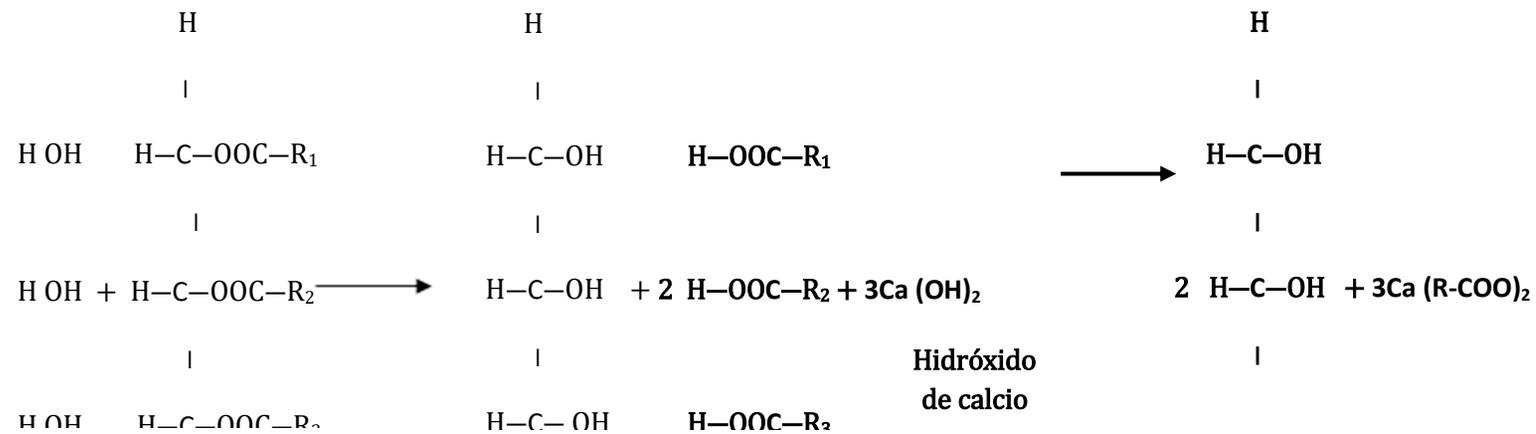
Finalmente, en el año 2005, PÉREZ Enrique PABLOS inventa un nuevo proceso para fabricar jabones cálcicos por saponificación de grasas y/o aceites naturales con óxido de calcio, se calienta y se somete a presión reducida la masa de reacción para la obtención de jabones cálcicos que, sin necesidad de ningún proceso posterior de lavado o concentración, alcanza contenidos de ácidos grasos superiores al 80%. Esta invención se patenta bajo el nombre de “*Procedimiento de fabricación de jabones cálcicos para alimentación animal*”. (Norel, Sociedad Anónima, 2005).

Diagrama I-5
Procedimiento de fabricación de jabones cálcicos para alimentación animal



Fuente: Norel, Sociedad Anónima. 2005.

La reacción que se da en el reactor se presenta a continuación:



Ecuación 6

1.1.2 Beneficios del jabón cálcico

Las necesidades nutritivas más difíciles de cubrir en los animales monogástricos (aves y cerdos) son las energéticas, de tal manera que el contenido energético de la ración representa habitualmente el primer factor limitante de la productividad de estos animales, pues condiciona en gran medida la ingestión, el nivel de producción y el índice de conversión del animal.

De ahí que el principal factor que determina el valor nutritivo de un alimento para animales monogástricos es su contenido en energía utilizable por el animal.

Las grasas o aceites son fuertes concentrados de energía y pueden ser usados para aumentar el contenido energético del alimento para monogástricos, sin mencionar que la digestión de las mismas produce menos calor corporal, lo cual es útil durante el periodo de estrés calórico.

La utilización de grasas como ingredientes en los piensos data de hace ya bastantes años y su uso tiene como objetivo principal el incrementar la concentración energética de los mismos, tanto por su mayor densidad calórica por gramo, como por la mejora que suponen de la eficiencia energética neta por kilocaloría de Energía Metabolizable. Pero, al mismo tiempo, la incorporación de grasas en los piensos aporta otras ventajas colaterales, como es la mejora de las características de textura y palatabilidad, facilitando el proceso de granulación e incorporación en determinados ingredientes (Mateos, 1996; Wood, 2003; Bou, 2009).

Además del contenido energético, otro criterio importante para valorar una materia grasa es su disponibilidad y su precio relativo con respecto a otras fuentes energéticas. Debido a estas dos últimas razones, existe un interés creciente en la utilización de grasas para monogástricos, ya que estos necesitan aparte de triglicéridos, el glicerol, que se considera vital para la formación de micelas, necesarias para la buena digestibilidad de las grasas por los citados animales.

La presencia del glicerol (glicerina) como subproducto en la obtención del jabón cálcico permite su utilización con el mismo, abaratando el coste respecto al uso de triglicéridos y permitiendo que las grasas se suministren en una forma más adecuada para los animales, en forma de polvo o granulado, que es preferible al suministro de las grasas en forma de líquida habitual en el estado de la técnica.

Los alimentos para aves que contengan jabones cálcicos adicionados, al llegar al buche son humedecidos y de ahí pasan a la molleja donde son triturados y macerados gracias a la acción de la pepsina y demás jugos gástricos que generan un ambiente ácido con un pH lo suficientemente óptimo para que los jabones se esterifiquen y se transformen en ácidos grasos libres y cloruro cálcico 100% asimilables ambos. De ahí

pasan al intestino delgado donde se dirigen hacia los puntos de absorción para que, a través del torrente sanguíneo, se distribuyan para proporcionar energía y calcio.

Como resultado de aumentar el contenido de energía en el alimento de las aves tendremos mayor ganancia de peso corporal, producción de huevos y peso de los mismos, especialmente cuando la temperatura ambiente es alta.

La presencia de calcio en el jabón cálcico tiene mucha importancia debido a que el calcio es uno de los elementos necesarios para el mantenimiento, producción de huevo y buena calidad del cascarón. Además, es el componente inorgánico más abundante del esqueleto y toma parte en su formación y mantenimiento, y es importante en muchas otras funciones biológicas, (coagulación de la sangre, como activador y desactivador de enzimas, en la transmisión de los impulsos nerviosos y en la secreción de hormonas, entre otras).

1.1.3 Antecedentes sobre la elaboración de jabón cálcico a nivel internacional

La elaboración de jabón cálcico a partir de lípidos animales o vegetales es un estudio ya formulado por varios países debido a la disponibilidad de la materia prima, procesos y equipos necesarios para su obtención; en este apartado se hace referencia a parámetros establecidos por otros países, esto con el fin de conocer el grado de eficiencia de los mismos.

Las experiencias recopiladas en este punto son de países como: España, Colombia y México.

1.1.3.1 Antecedentes sobre la elaboración de jabón cálcico en España

NOREL es una compañía española enfocada en el desarrollo, fabricación y comercialización de aditivos y materias primas para la nutrición animal (especies terrestres y acuáticas). Produce jabón cálcico de ácidos grasos destilados de aceite de palma bajo el nombre de MAGNAPAC.

A continuación, se muestra los valores de composición de MAGNAPAC:

Tabla I-1
Composición Jabón Cálxico (MAGNAPAC)

COMPOSICIÓN	
Ácidos grasos totales	84%
Humedad	3.5%
Calcio	9%
Cenizas	12.5%

Fuente: NOREL, 2017.

1.1.3.2 Antecedentes sobre la elaboración de jabón cálcico en Colombia

INDAGRO S.A. – Ganasal es una empresa colombiana dedicada a la fabricación y comercialización de sales mineralizadas y suplementos energéticos y proteicos para ganadería.

GANAGRAS es el jabón cálcico de ácidos grasos de aceite de Palma producido por INDAGRO S.A. – Ganasal, el mismo que es utilizado para la alimentación de animales rumiantes y monogástricos.

A continuación se muestra los valores de composición de GANAGRAS:

Tabla I-2
Composición Jabón Cálxico (GANAGRAS)

COMPOSICIÓN	
Ácidos grasos totales (min.)	84%
Humedad (max.)	5.63%
Calcio (max.)	9%

Fuente: INDAGRO S.A. – Ganasal. 2017.

1.1.3.3 Antecedentes sobre la elaboración de jabón cálcico en México

Asimismo, la empresa TMP de México produce una grasa de sobrepaso cálcica de origen animal bajo el nombre de GANAFAT AG.

A continuación se muestra los valores de composición de GANAFAT AG:

Tabla I-3
Composición Jabón Cálculo (GANAFAT AG)

COMPOSICIÓN	
Ácidos grasos totales	80.22%
Humedad	12.00%
Calcio	7.00%

Fuente: Técnica Mineral Pecuaria S.A. 2017.

Todas las empresas cumplen con los parámetros establecidos por la FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) de un porcentaje mínimo del 80% en ácidos grasos totales y un porcentaje máximo al 9% de calcio

1.1.4 Mercado nacional y local de jabón cálculo

En el período 2010-2015, las importaciones de Jabón Cálculo a Bolivia ascendieron a cerca de 3.5 millones de dólares, por la venta de 603 toneladas. Durante la gestión 2015, las importaciones de Jabón Cálculo y esteres disminuyeron bordeando los 1.1 millones de dólares por la venta de 110 toneladas; el valor de las importaciones disminuyó en relación al período de la gestión pasada.

Tabla I-4
Datos estadísticos de Importación Gestión 2010-2015 de las sales de ácido palmítico y sus ésteres a Bolivia

Período	Flujo de comercio	Reportero	Proveedor	Valor del comercio (Bs.)	Peso neto (kg)	Cantidad comercializada
2010	Importación	Estado Plurinacional de Bolivia	Mundo	373.681	58.129	58.129
2011	Importación	Estado Plurinacional de Bolivia	Mundo	625.841	94.146	94.146
2012	Importación	Estado Plurinacional de Bolivia	Mundo	624.503	70.750	70.750
2013	Importación	Estado Plurinacional de Bolivia	Mundo	1.192.654	135.906	135.906
2014	Importación	Estado Plurinacional de Bolivia	Mundo	1.146.476	134.258	134.258
2015	Importación	Estado Plurinacional de Bolivia	Mundo	1.008.395	109.984	109.984

Fuente: United Nations Commodity Trade Statistics Database. 2017.

En Bolivia, actualmente, no se cuenta con industrias que se dediquen a la producción de jabón cálcico, todo el consumo de este producto es importado.

En el departamento de Tarija se encuentra ubicada la Fábrica de Alimentos Balanceados Agroindustrias Lochmann S.A. Faba, que si bien no utiliza el producto jabón cálcico, es sabido que el mismo es una importante fuente energética para las formulaciones de sus alimentos balanceados y está dentro de sus requerimientos.

En la siguiente tabla se muestra la producción de alimento balanceado para aves y cerdos producido desde la gestión 2011-2015.

Tabla I-5
Producción de alimento balanceado FABA Gestión 2011-2015

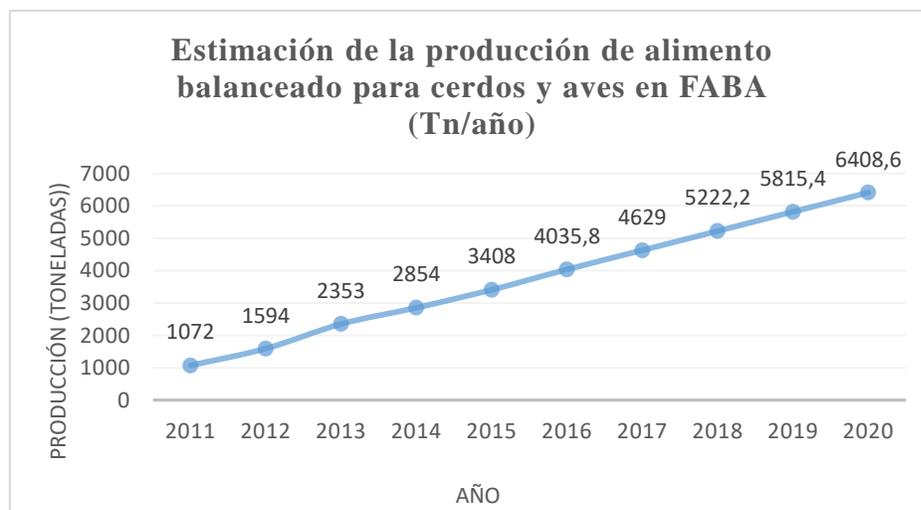
PRODUCCIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO PARA POLLOS Y CERDOS GESTIONES 2011-2015 (En toneladas/año)					
AÑO	2011	2012	2013	2014	2015
Producción FABA	1072	1594	2353	2854	3408

Fuente: Fábrica de Alimentos Balanceados Agroindustrias Lochmann S.A. Faba. 2017.

A partir de los datos de producción de alimento Balanceado en la Fábrica de Alimentos Balanceados Agroindustrias Lochmann S.A. Faba, por el método de regresión lineal aplicando la ecuación:

$(y = -1191855.4 + 593.2x)$ $R^2 = 0.99876$ se proyecta la producción para los cinco años siguientes.

Figura 1-1
Estimación de la producción de FABA Gestión 2015-2020



Fuente: Datos Fábrica de Alimentos Balanceados Agroindustrias Lochmann S.A. Faba. Elaboración propia. 2017.

Pudiéndose apreciar una producción de alimento balanceado para aves y cerdos considerables en los próximos cinco años, donde será incluido el jabón cálcico como componente principal en las formulaciones.

La Fábrica de alimentos Balanceados FABA proyecta una demanda de Jabón Cálcico a partir de su consumo en calcio y energía metabolizable.

Figura 1-2
Demanda de Jabón Cálcico por FABA



Fuente: Fábrica de Alimentos Balanceados Agroindustrias Lochmann S.A. Faba. 2017.

Como se puede ver en el cuadro anterior, se estima una demanda de jabón cálcico para la gestión 2020 de 281 Tn/año; este indicador demuestra que sí se proyecta una demanda de jabón cálcico considerable.

1.1.5. Disponibilidad de la materia prima

Di Marco, 2006: (s.p.) indica que el rendimiento, tamaño y características de la res dependen del tipo y categoría de animal, y de la alimentación. Esta última determina el peso, la edad del faeno, el grado de terminación del animal y, a su vez, el rendimiento y la composición de la res.

En Tarija se faenan reses de raza chica de distintos tamaños y edades, por lo cual su cantidad en sebo varía.

A continuación se muestra una tabla del número de cabezas de ganado bovino faenado desde agosto 2015 - marzo 2016 en el Matadero Frigorífico Municipal de Tarija:

Tabla I-6
Cantidad mensual de sebo bovino visceral promedio de reses faenadas en el Matadero Frigorífico Municipal de Tarija

PERIODO		RESES FAENADAS	Kg de sebo visceral bobino promedio	Kg de sebo visceral promedio desperdiciado
2015	AGOSTO	1.407	12.663	2.110,5
	SEPTIEMBRE	1.337	12.033	2.005,5
	OCTUBRE	1.338	12.042	2.007
	NOVIEMBRE	1.194	10.746	1.791
	DICIEMBRE	1.414	12.726	2.121
2016	ENERO	1.214	10.926	1.821
	FEBRERO	1.255	11.295	1.882,5
	MARZO	1.434	12.906	2.151
PROMEDIO MENSUAL		1.324,13	11.917,13	1.986,19

Fuente: Datos Matadero Frigorífico Municipal de Tarija, Elaboración propia. 2017.

Como se observa en la tabla anterior, se puede aproximar que el número de reses faenadas por día es de 66 reses, ya que el Matadero Frigorífico Municipal de Tarija trabaja 20 días al mes.

El Matadero Frigorífico Municipal de Tarija funciona cinco días a la semana por lo que se garantiza la disponibilidad de la materia prima de aproximadamente 3000 Kg por semana.

Actualmente alrededor de 497 kg. por semana son desechados hacia el relleno sanitario y el restante de 2.503 kg. es recogido por los carniceros.

1.2 Justificación e importancia del proyecto

1.2.1 Justificación técnica

El desarrollo de un método de bajo costo y de rápida obtención de jabón cálcico mediante la aplicación de nuevas tecnologías, permitiría el desarrollo de procesos óptimos. Por otro lado, se abriría un campo de desarrollo en la producción de jabón cálcico a partir de una fuente lipídica animal con importancia en el mercado, igualando la calidad de marcas internacionales como GANAFAT AG de la empresa TMP de México que tiene 18 años de experiencia en la producción de grasa de sobrepeso cálcica de origen animal.

1.2.2 Justificación económica

El Matadero Frigorífico Municipal de Tarija faena aproximadamente 66 cabezas de ganado bovino por día y en este proceso de sacrificio se desperdicia aproximadamente 497 kg de sebo por semana hacia el relleno sanitario, desperdiciándose así una materia prima aprovechable.

El desarrollo de nuevas alternativas de suplementos energéticos a base de otras fuentes lipídicas favorece a las Fábricas de Alimentos Balanceados pudiendo ahorrar estas en costos de producción como de importación ya que el producto jabón cálcico por su contenido de calcio como ácidos grasos puede usarse tanto como suplemento energético adicional en la formulación de piensos, o como también en la sustitución de proporciones establecidas de componentes como la conchilla y algunos cereales.

Para la gestión 2020 donde la demanda proyectada es de 281 toneladas.

Por lo que la producción de jabón cálcico puede potenciar un importante mercado y generar nuevos ingresos mediante técnicas económicas que permitan un buen rendimiento.

También los mismos granjeros pueden dosificar el jabón cálcico en la dietas de sus aves y cerdos aumentando la producción y generando mayores rendimientos en sus animales, ahorrando en alimentos demasiado costosos e incrementando sus ingresos económicos.

1.2.3 Justificación social

La elaboración de jabón cálcico industrialmente minimizaría los problemas entre carniceros y la población en general, ya que generaría una fuente segura de comercialización de sebo de res por lo que los carniceros ya no elaborarían embutidos sin Registro Sanitario ni venderían su sebo a panificadoras de la comunidad de San Lorenzo, sino que lo acopiarían para la elaboración de Jabón Cálcico sin causar malestar en la población.

1.2.4 Justificación ambiental

El incremento poblacional en los últimos años en el departamento de Tarija, trae consigo una mayor demanda de productos cárnicos por parte de la población y por tanto se produce una cantidad mayor de residuos grasos.

Una parte de estos residuos se junta con otros materiales para ser depositados al relleno sanitario no solo ocupando un espacio sino que los mismos durante su proceso de degradación, perjudican al medio ambiente por la alta demanda de oxígeno y su capacidad de formar emulsiones acuosas que tienen un potencial contaminante, puesto que el 10% de las aguas residuales son contaminadas por este tipo de productos residuales (OMS, 2008).

En grandes cantidades, estos materiales son sinónimo de putrefacción, infecciones y fauna nociva, generando la emisión de olores ofensivos y la proliferación de insectos y roedores; asimismo, perdiendo la oportunidad de tener un beneficio adicional.

La elaboración de Jabón Cálcico minimiza el impacto ambiental del sebo de reses faenadas desechado hacia el Relleno Sanitario por su acelerada oxidación en temporadas calurosas, disminuyendo así vectores como moscos y roedores, malos olores, etc.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Elaborar jabón cálcico a partir de sebo de reses faenadas en la provincia Cercado del departamento de Tarija, para uso en alimento balanceado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Formular el Marco Teórico para la elaboración de jabón cálcico a partir de sebo de res, para uso en alimento balanceado.
- Caracterizar las propiedades físico –químicas (Índice de saponificación, índice de acidez, índice de peróxido e índice de refracción) del sebo de res, para la elaboración de jabón cálcico.
- Seleccionar y diseñar el proceso para la elaboración de jabón cálcico a partir de sebo de res, para uso en alimento balanceado.
- Diseñar la Fase Experimental para elaboración de jabón cálcico a partir de sebo de res, para uso en alimento balanceado.
- Caracterizar el tipo y calidad (Contenido de ácidos grasos, calcio y humedad) del jabón cálcico obtenido del sebo de res, para uso en alimento balanceado.
- Analizar y valorar los resultados del proceso de elaboración de jabón cálcico a partir de sebo de res, para uso en alimento balanceado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MATERIA PRIMA

2.1.1 Sebo de res

El sebo o grasa animal es un subproducto derivado principalmente de desperdicios de carne y vísceras, de ganado vacuno, lanar, caballar, etc.; este tipo de grasa presenta un alto punto de fusión ($>40^{\circ}\text{C}$) y un menor contenido de humedad e impurezas ($<1,5\%$) así como de ácidos grasos libres, en comparación con otras fuentes de grasas; se utiliza en la fabricación de jabones en mayor cantidad que cualquier otra grasa y la mayor parte de ellos no son comestibles (Brandt, A. 1990, Zinn R, Plascencia A. 2004.) citados por Ibarra, M. et al. (2008).

El sebo bovino tiene un punto de fusión de 40 a 45°C y, dependiendo del contenido de carotina en el forraje de los bovinos, el sebo tiene un color de gris blancuzco a amarillo.

2.1.2 Características y composición química del sebo de res

A continuación se muestra una tabla con las características de varias clases sebos de res.

Tabla II-1
Características y composición en ácidos grasos de los sebos de buey

Análisis	Buey	Buey	Buey	Buey
	U.S. ^a	Inglés ^b	U.S. ^c	India ^b
Características				
Índice de iodo	49.5	44.7	40.2	-
Equiv. de saponificación	248.2	-	286.4	-
Índice de saponificación	197	-	196	-
Título, °C	42.3	-	-	-
Materia insaponificable, %	-	-	0.74	-
Composición en ácidos grasos (% en peso)				
Láurico	-	0.2	-	0.2
Mirístico	6.3	3.1	-	3.7
Palmítico	27.4	24.9	-	37.1
Esteárico	14.1	24.1	-	29.4
Aráquico	-	0.8	-	1.2
Total saturados	47.8	53.1	55.5	71.6
Tetradecenoico	-	0.4	-	0.4
Hexadecenoico	-	2.4	-	1.0
Oleico	49.6	41.8	41.4	25.9
Octadecadienoico	2.5	1.8	1.8	0.9
C ₂₀ -C ₂₂ no saturados	-	0.5	0.50.2	
Total no saturados	52.1	46.9	43.7	28.4
Composición en glicéridos (moles, %)				
Con los tres ácidos saturados	13.9	15.5	14.7	-
Con sólo dos ácidos saturados	22-54	31	45.9	-
Con solo un ácido saturado	0-64	53	37.1	-
Con los tres ácidos insaturados	0.32	-	2.2	-

Fuente: a A, Banks y T. P. Hilditch, Biochem, 1931.

b T. P. Hilditch y H. E. Longenecker, Biochem, 1937.

c R. W. Riemenschneider, F. E. Luddy, M. L. Swain y W. C. Ault, Oil & Soap, 1946.

Como se puede ver en la tabla anterior, se comparan las características experimentales de sebo de res obtenido por diferentes autores.

2.1.3 Caracterización del sebo de res

Para la caracterización del sebo de res se lo puede someter tanto a análisis físicos como análisis químicos.

2.1.3.1 Análisis físicos

Entre los análisis físicos más importantes tenemos: densidad, índice de refracción, viscosidad y punto de fusión.

2.1.3.1.1 Densidad

La densidad o densidad absoluta es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3), aunque frecuentemente se expresa en g/cm^3 .

Para el sebo de res la densidad relativa (a 40°C) es 0,894-0,904.

2.1.3.1.2 Índice de refracción

El índice de refracción de un aceite se define como la razón de la velocidad de la luz en el vacío con respecto a la velocidad de la luz en el aceite evaluado.

Por razones prácticas, normalmente los instrumentos comparan con la velocidad de la luz en el aire en lugar del vacío. El índice de refracción es característico dentro de ciertos límites para cada aceite por lo que es un indicador de pureza del aceite.

Este valor está relacionado con el grado de saturación, con la razón cis/trans de los dobles enlaces y puede estar influenciado por el daño que sufre el aceite tras la oxidación.

Para el sebo de res, el índice de refracción (ND 40°C) está dentro del siguiente rango: 1,448-1,460.

2.1.3.1.3 Viscosidad

La viscosidad es la resistencia que tienen las moléculas que conforman un líquido para separarse unas de otras, es decir, es la oposición de un fluido a deformarse y esta oposición se debe a las fuerzas de adherencia que tienen unas moléculas de un líquido o fluido con respecto a las otras moléculas del mismo líquido.

La viscosidad de un aceite está afectada por su grado de saturación, la misma se puede aumentar ligeramente por hidrogenación como también puede disminuir marcadamente por la adición de un disolvente orgánico.

La viscosidad disminuye ligeramente con mayor grado de insaturación y aumenta rápidamente con la polimerización.

2.1.3.1.4 Punto de fusión

El punto de fusión es la temperatura a la cual la materia pasa de estado sólido a estado líquido, es decir, se funde.

El punto de fusión aumenta a medida que las insaturaciones disminuyen.

Los ácidos grasos saturados al poder disponer la cadena hidrocarbonada totalmente extendida, pueden empaquetarse estrechamente lo que permite que se unan mediante fuerzas de Van der Waals con átomos de cadenas vecinas (el número de enlaces, además, está en relación directa con la longitud de la cadena). Por el contrario, los ácidos grasos insaturados, al tener la cadena doblada por los dobles enlaces no pueden empaquetarse tan fuertemente. Es por esto que los ácidos grasos saturados tienen puntos de fusión más altos que los insaturados y son sólidos (sebos) a temperaturas a las que los insaturados son líquidos (aceites).

El sebo de res tiene un título entre 40-49 (°C).

2.1.3.2 Análisis químicos

Entre los análisis químicos más importantes tenemos: índice de saponificación, índice de acidez, índice de yodo, índice de peróxido y materia insaponificable.

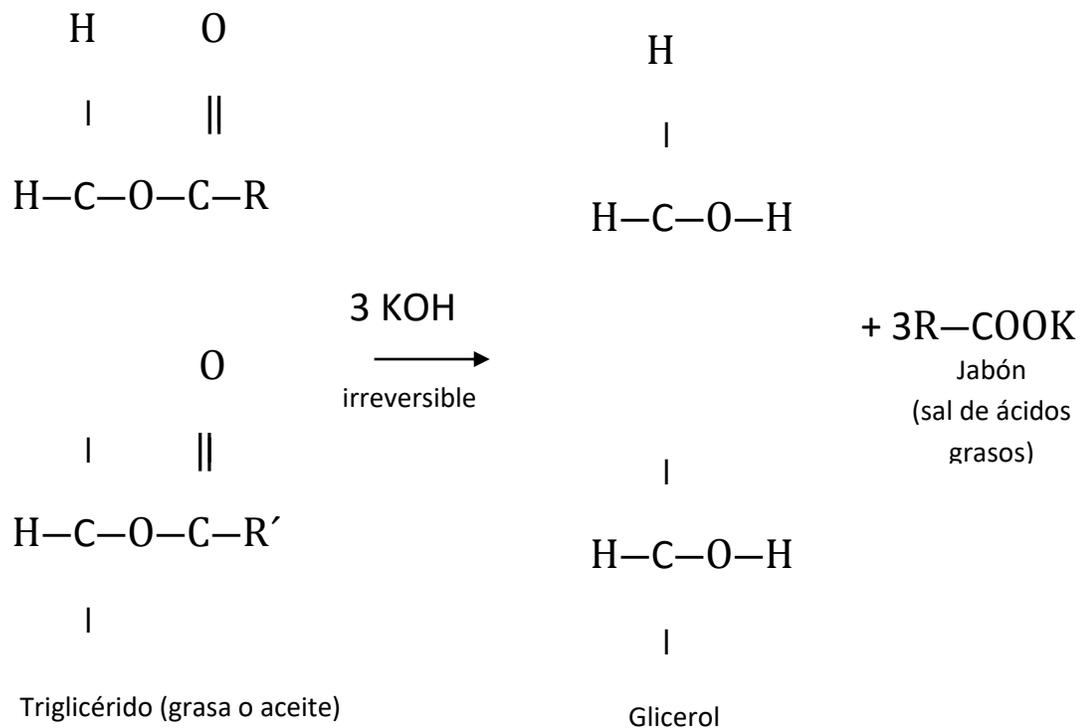
2.1.3.2.1 Índice de saponificación

Es el número de miligramos de hidróxido de potasio necesarios para saponificar un gramo de aceite o grasa.

El índice de saponificación (IS) es una medida de ácidos grasos libres y combinados que existen en la grasas y es directamente proporcional a su masa molecular media: cuanto menor sea la proporción de ácidos grasos de cadena corta, tanto mayor será el índice de saponificación.

La grasa problema se saponifica con un exceso de disolución de KOH en etanol. La cantidad de KOH que no ha reaccionado se determina por valoración con HCl.

Figura 2-1
Hidrólisis básica (Saponificación)



Fuente: Soto, M. 2011.

El índice de saponificación se utiliza para comprobar la pureza de las grasas.

2.1.3.2.1.1 Saponificación

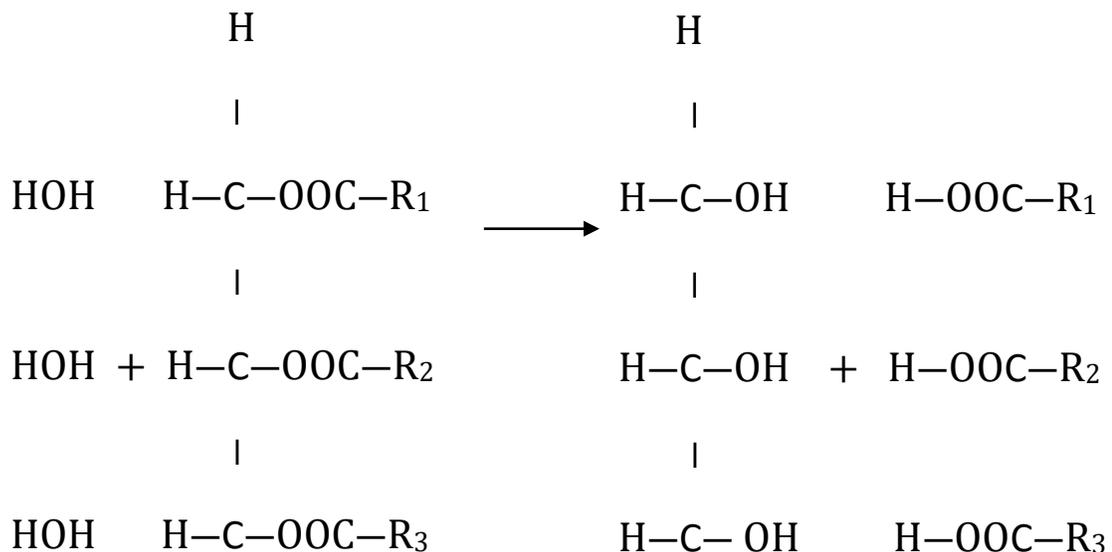
El proceso de fabricación de jabón se lleva a cabo gracias a una reacción química llamada saponificación.

La saponificación es la hidrólisis con catálisis básica de grasas y aceites para producir jabón. Los aceites vegetales y las grasas animales son triglicéridos (ésteres de glicerina con ácidos grasos), y al ser tratados con una base fuerte como sosa (NaOH) o potasa (KOH) se saponifican, es decir, se produce el jabón (sal del ácido graso) y la glicerina (glicerol).

La saponificación consta de dos etapas: la descomposición de los ingredientes en sus partes útiles y la reacción de estas para producir el jabón.

Las grasas y los aceites se componen de triglicéridos, pero no se puede hacer jabón a partir de ellos; es necesario que se descomponga en ácidos grasos y glicerol. Los ácidos grasos son un elemento primordial en el proceso de elaboración de jabón, en cambio el glicerol aunque es útil no es fundamental.

Figura 2-2
Hidrólisis de un triglicérido



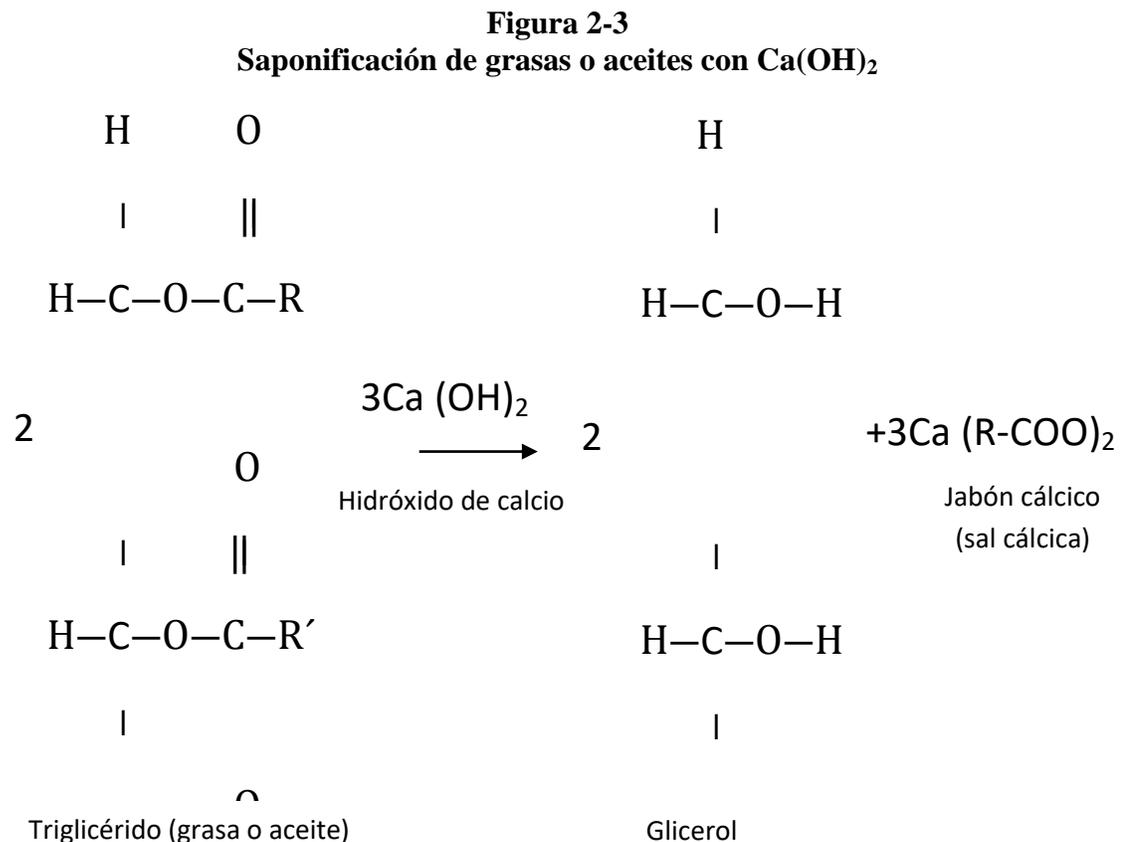
Fuente: Baley, A. 1951.

La desintegración de un triglicérido en sus componentes se denomina hidrólisis. En contacto con el agua todos los ésteres, incluidos los glicéridos se descomponen en sus componentes, glicerina y un ácido graso.

En el proceso de fabricación de jabón, el agua hace llegar el hidróxido a todos los rincones del recipiente, permitiendo así que se produzca la hidrólisis. Cuando el agua y las grasas se mezclan, tan solo una pequeña parte del aceite se disuelve en el agua. Es decir, el agua corriente tan solo descompone ligeramente las grasas y los aceites, por esto debemos añadir hidróxido al agua.

Durante la hidrólisis, los iones de hidróxido atacan el átomo de carbono que se encuentra en el extremo carboxilo de los ácidos grasos liberándolos del triglicérido. Una vez separados los ácidos reaccionan con un ion metálico y forman el jabón.

A continuación se puede visualizar un ejemplo:



Fuente: Baley, A. 1951.

Todas las reacciones químicas requieren que los reactivos estén en contacto, por lo tanto es un problema que la solución caustica (álcali) y las grasas no se mezclen. Sin embargo, las grasas y aceites aparte de contener triglicéridos siempre contienen una pequeña cantidad de ácidos grasos libres. Cuando se añade la solución alcalina a la grasa se saponifican primero los ácidos grasos libres formando porciones considerables de jabón que actúa como un excelente agente emulsionante. La grasa no saponificada se disgrega gracias a la formación del jabón, aumentando la superficie de contacto entre los reactivos, esto incrementa la velocidad de la reacción. Por lo tanto, una buena forma de acelerar el proceso de saponificación es agregar una pequeña porción de jabón ya formado a la mezcla de reacción.

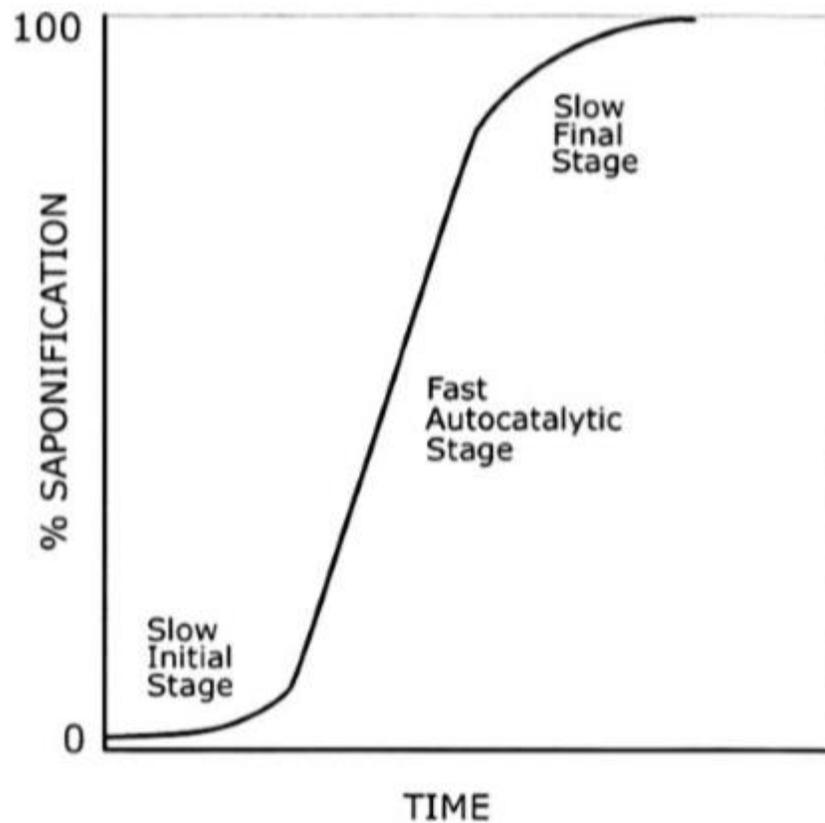
2.1.3.2.1.2 Velocidad de la reacción de saponificación

La reacción de saponificación es una reacción heterogénea puesto que los reactivos iniciales no son solubles entre sí. Debido a esta naturaleza heterogénea, la reacción se desarrolla en tres etapas: una etapa inicial lenta, una etapa autocatalítica rápida y una etapa final lenta. La figura 2-12 muestra el grado de saponificación en función del tiempo.

- Etapa inicial: Durante la etapa inicial, el NaOH que contiene agua y aceite está formando lentamente una emulsión. A medida que se forma la emulsión, promueve un mejor contacto entre las fases de aceite y agua, aumentando la velocidad de reacción. La etapa inicial de la reacción es lenta debido a que el contenido electrolítico relativamente alto de la porción de agua de la mezcla de reacción, fuerza al jabón en una forma insoluble que no es capaz de emulsionar el aceite. Durante esta parte de la reacción, la velocidad de reacción se limita efectivamente por la agitación presente en el recipiente de reacción.
- Etapa autocatalítica: en esta etapa, se produce una reacción rápida porque la concentración de jabón ha llegado al punto en que comienzan a formarse micelas de jabón. Las micelas solubilizan grasa insaponificada y por lo tanto promueven el contacto entre la grasa sin reaccionar y el NaOH.

- Etapa Final: En esta etapa, la reacción disminuye a medida que disminuye la concentración de reactivos. Durante esta parte de la reacción, la velocidad de reacción se limita efectivamente por la agitación presente en el recipiente de reacción.

Figura 2-4
Velocidad de la reacción de saponificación



Fuente: Timothy, K. 2009.

2.1.3.2.1.3 Alkali de saponificación: Hidróxido de calcio

El hidróxido de calcio, también conocido como cal hidratada o cal apagada, es un compuesto inorgánico de fórmula $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

El hidróxido de calcio se sintetiza industrialmente haciendo reaccionar óxido de calcio, también conocido como cal o cal viva, con agua, de acuerdo con la siguiente reacción:



También se prepara en el laboratorio mediante la reacción entre cloruro de calcio acuoso e hidróxido de sodio.

El hidróxido de calcio es un polvo blanco grisáceo muy fino, carente de olor. En solución acuosa (soluciones saturadas) tiene un aspecto lechoso debido al sobrenadante de hidróxido de calcio no disuelto.

Las soluciones insaturadas suelen ser soluciones claras e incoloras, con un ligero olor a tierra y un sabor alcalino amargo de hidróxido de calcio.

El hidróxido de calcio es muy poco soluble en agua e insoluble en alcohol; soluble en glicerol, soluciones de azúcar, cloruro de amonio. (National Center for Biotechnology Information, S.F.).

El hidróxido de calcio se disuelve parcialmente en agua para producir una solución llamada agua de cal, que es una base moderada. El agua de cal o $\text{Ca(OH)}_{2(\text{aq})}$ reacciona con ácidos para formar sales y puede atacar algunos metales como el aluminio.

De acuerdo a la utilización de la cal también hallamos diferentes denominaciones:

- Cal de construcción: abarca los hidróxidos de calcio con o sin magnesio, denominados cales hidratadas que cuentan con el 75% al 85% en estos hidróxidos y que su campo de utilización sea en la industria de la construcción.
- Cal siderúrgica: es un tipo de cal viva que cuenta con mínimo 90% de óxido de calcio y el restante 10% de sílice, azufre y fósforo, con valores variables.

- Cal agrícola: engloba toda los tipos de cales incluidos los carbonatos precursores de las mismas, su cualidad es que su aplicación es como un mejorador de suelos agrícolas.
- Cal química: es un hidróxido de calcio o cal hidratada con una concentración muy alta de Ca(OH)_2 , comúnmente sobre el 90%.
- Cal química grado alimenticio: Es la cal química que además de la alta concentración de hidróxidos cumple estrictamente con las normas de contenidos máximos de metales pesados y compuestos nocivos considerados por la industria alimenticia.

En la siguiente tabla se puede resumir algunas propiedades físicas y químicas del hidróxido de calcio:

Tabla II-2
Propiedades físicas y químicas del hidróxido de calcio

Detalle	Valor	Unidad
Peso molecular	74, 096	g/ mol
Densidad (20 °C)	2.24	g/cm ³
Densidad aparente	400	kg/m ³
Solubilidad en agua (20°C)	0,165/100.	g/ml solución sat.
pH solución sat. (25°C)	12,4	
Punto de Fusión	580	°C (Descompone)

Fuente: Grupo Calidra S.A. de C.V. 2007.

2.1.3.2.2 Índice de acidez

Es el número de miligramos de hidróxido de sodio requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres en un gramo de muestra.

La acidez es consecuencia de su contenido en ácidos grasos libres, provenientes de la hidrólisis de los glicéridos.

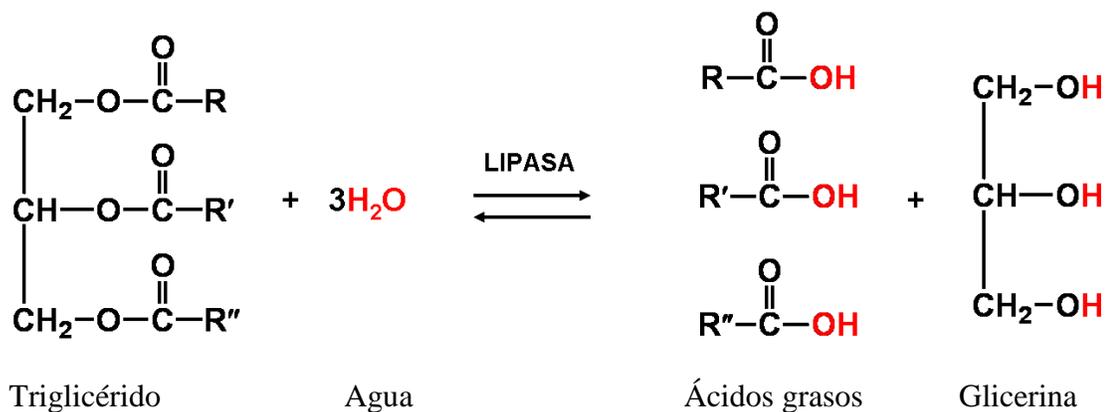
Un valor elevado para este índice nos muestra un alto grado de enranciamiento de los aceites.

Las grasas y aceites en contacto con el aire, humedad y a cierta temperatura sufren cambios, con el tiempo, en su naturaleza química y en sus caracteres organolépticos. Estas alteraciones reciben comúnmente el nombre de rancidez o enranciamiento. El enranciamiento puede ser por oxidación, por hidrólisis o cetónico.

La hidrólisis (enranciamiento hidrolítico) de los ácidos grasos de los triacilgliceroles se debe fundamentalmente a la acción de lipasas; la oxidación (enranciamiento oxidativo) de los ácidos grasos se debe al oxígeno y a la acción de lipoxigenasas sobre los dobles enlaces de los ácidos grasos. La acción directa del oxígeno conduce a la formación de hidroperóxidos; también puede haber rotura de los dobles enlaces y formación de aldehídos y ácidos carboxílicos con cadenas más cortas que los ácidos grasos de partida y, por tanto, más volátiles; estos procesos se producen a través de mecanismos de radicales libres.

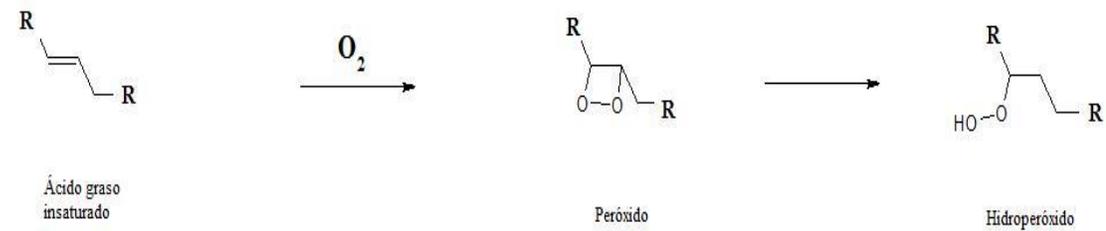
El enranciamiento hidrolítico puede repercutir en las propiedades organolépticas del aceite o grasa pero nutricionalmente no tiene demasiada importancia porque, para su absorción, las grasas se tienen que hidrolizar (lo que ocurre en el organismo en la digestión). Sin embargo, el enranciamiento oxidativo produce compuestos con olores y sabores desagradables, con menor valor nutricional y una relativa toxicidad. Los antioxidantes evitan el enranciamiento oxidativo.

Figura 2-5
Enranciamiento hidrolítico



Fuente: Soto, M. 2011.

Figura 2-6
Enranciamiento oxidativo

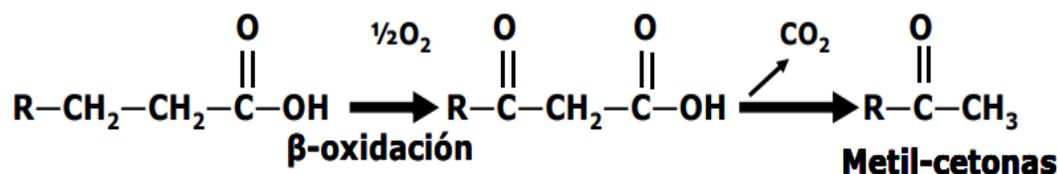


Fuente: Soto, M. 2011.

Finalmente el enranciamiento cetónico es causado por la oxidación enzimática de ciertos ácidos grasos saturados de bajo peso molecular para producir metil cetonas. Las enzimas pueden ser producidas por ciertos hongos, principalmente por *Penicillium*, *Aspergillus* y *Monilia* sp., que crecen en alimentos grasos.

Este tipo de rancidez ocurre primordialmente en grasa de coco y en grasa lácteas. Es útil en la maduración de queso azul y Roquefort. La reacción se ve favorecida por condiciones que favorecen el crecimiento de hongos sobre los alimentos como humedad, temperatura y disponibilidad de oxígeno.

Figura 2-7
Enranciamiento cetónico



Brumovsky, L.; Sánchez, L. 2015.

2.1.3.2.3 Índice de yodo – Método Wijs

Es una medida de insaturación de los cuerpos grasos y se expresa en gramos de yodo absorbidos por 100 g de sustancia grasa.

Químicamente el número de yodo expresa el grado de insaturaciones (dobles enlaces) de una grasa neutra.

Se realiza para comprobar la pureza y la identidad de las grasas.

Sirve para la clasificación de los aceites, en:

- ACEITES NO SECANTES: Menor que 110. Grasa y aceite de oliva. (Oleico).
- ACEITES SEMISECANTES: 110-135 Comestibles como el aceite de girasol, soja. (Oleico y Linoleico).
- ACEITES SECANTES. Mayor que 135. Aceite de Lino. (Linolénico).

2.1.3.2.4 Índice de peróxido

El índice de peróxidos de una materia grasa, es la medida de su contenido en oxígeno activo, expresado en términos de miliequivalentes por kilogramo de muestra.

El índice de peróxidos (IPO) es una medida de oxígeno unido a las grasas en forma de peróxidos. Como productos de oxidación primarios se forman especialmente hidroxiperóxidos, además de cantidades reducidas de otros peróxidos como consecuencia de procesos oxidativos (auto oxidación).

Existen una serie de factores que influyen sobre la velocidad de la oxidación de las grasas. Unos retardándola, como son ciertas sustancias denominadas antioxidantes y otras acelerándola. Dentro de estos últimos, los principales son:

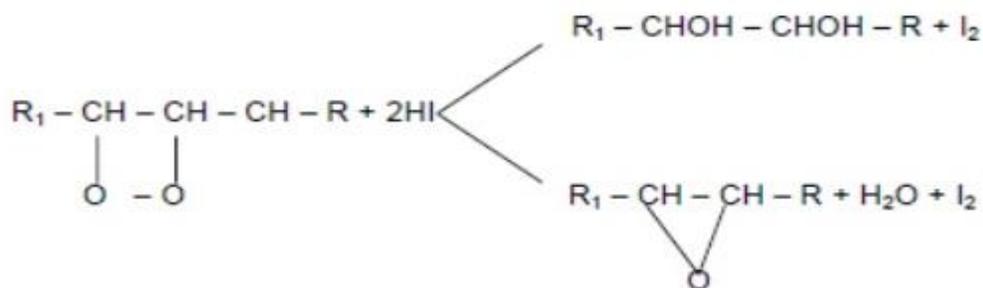
- ✓ Luz

- ✓ Calor
- ✓ Trazas metálicas
- ✓ Catalizadores orgánicos. Etc.

El valor peróxido es un buen indicador de la calidad del aceite, un aceite fresco debe tener valores menores a 1. Algunos aceites almacenados por algún tiempo después de refinación pueden llegar hasta valores de 10 antes de presentar problemas de sabor pero sí se presentan problemas de olor por las cetonas y aldehídos en los que se descompone.

El fundamento de la determinación volumétrica es la capacidad de los peróxidos para liberar yodo del IK según la siguiente reacción:

Figura 2-8
Oxidación activa



Fuente: Soto, M. 2011.

2.1.3.2.5 Materia insaponificable

Es el conjunto de sustancias que se encuentran disueltas en aceites y grasas, no saponificable por álcalis, pero solubles en los solventes ordinarios de aceites y grasas.

2.1.4 Aplicaciones del sebo de res

Existen varios beneficios documentados para el uso de las grasas animales en las dietas del ganado, las aves, la acuicultura y las mascotas, entre los que se incluye el mejoramiento de la concentración de la energía de las dietas. Dependiendo de las

especies a las que se está alimentando, las contribuciones energéticas van de 2.6 hasta 3.8 veces el contenido energético del maíz. La tabla II-2 proporciona los valores energéticos para las grasas animales comúnmente usadas.

Además de la contribución nutricional, la adición de grasas a las dietas de animales contribuye al control del polvo, a la limpieza de la planta de alimentos, comodidad del trabajador, mejora la eficiencia del peletizado, mejora la palatabilidad del alimento, reduce las enfermedades respiratorias, aumenta la estabilidad de las vitaminas liposolubles y de otros nutrientes, y mejora la vida del equipo de fabricación de los alimentos.

Tabla II-3
Valores de energía de las grasas que comúnmente se añaden a los alimentos porcinos y avícolas

Fuente de grasa	EM aves, Kcal/lb	EM cerdos, Kcal/lb
Grasa amarilla	3.582	3.663
Grasa avícola	3.539	3.641
Grasa blanca de primera	3.424	3.585
Grasa marrón	3.332	3.534
Sebo	3.167	3.452
Aceite de palma	3.069	3.401

Fuente: Meker, D; Hamilton, R. 2014.

1 Calculados mediante las ecuaciones de Wiseman et al. (1991) para aves y Powles et al. (1995) para cerdos.

2 Estas ecuaciones calculan la energía digestible (ED). La energía metabolizable (EM) se calculó en 96 por ciento de la ED.

2.2 GRASAS Y ACEITES

Los aceites y las grasas son sustancias de origen vegetal o animal, que consisten predominantemente en mezclas de ésteres de la glicerina con los ácidos grasos, es decir, triglicéridos. En general, el término “grasa” se usa para referirse a los materiales sólidos o más bien sólidos, a la temperatura ordinaria; mientras que el término “aceite” se refiere a los que son líquidos en las mismas condiciones.

2.2.1 Ácidos grasos

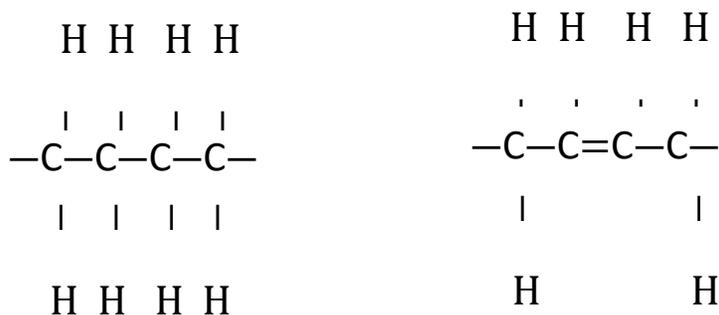
Debido a su preponderancia ponderal y también por el hecho de que comprenden la parte activa de la molécula, los ácidos grasos ejercen una marcada influencia sobre el carácter de los glicéridos.

Los ácidos grasos que se encuentran en la naturaleza, en general, son compuestos alifáticos monobásicos, que constan casi invariablemente de un solo grupo carboxilo situado en el extremo de la cadena carbonada lineal.

Los ácidos difieren entre sí, principalmente, en el número de átomos de carbono de su cadena y en el número y posición de los enlaces etilénicos o dobles, entre los átomos de carbono.

Los ácidos grasos en los que los átomos de carbono de su cadena están unidos a no menos de dos átomos de hidrógeno se llaman saturados. Los que contienen dobles enlaces se llaman no saturados. El grado de insaturación de un aceite depende del número medio de dobles enlaces de sus ácidos grasos.

Figura 2-9
Cadena de ácidos grasos saturados e insaturados



Cadena carbonada de
un ácido saturado

Cadena carbonada de
un ácido no saturado

Fuente: Alton E. Bailey. 1951.

Tabla II-4
Ácidos grasos saturados

Nomenclatura química	Nombre común	Nº de átomos de C	Fórmula química	Punto de fusión °C	Origen típico
Etanoico	Acético	2	CH ₃ COOH		
Butanoico	Butírico	4	C ₃ H ₇ COOH	-7.9	Mantequilla
Hexanoico	Caproico	6	C ₅ H ₁₁ COOH	-3.4	Mantequilla
Octanoico	Caprílico	8	C ₇ H ₁₅ COOH	16.7	Aceite de coco
Decanoico	Cáprico	10	C ₉ H ₁₉ COOH	31.6	Aceite de coco
Dodecanoico	Laúrico	12	C ₁₁ H ₂₃ COOH	44.2	Aceite de coco
Tetradecanoico	Mirístico	14	C ₁₃ H ₂₇ COOH	54.4	Mantequilla, aceite de coco
Hexadecanoico	Palmítico	16	C ₁₅ H ₃₁ COOH	62.9	La mayoría de las grasas y aceite
Octadecanoico	Esteárico	18	C ₁₇ H ₃₅ COOH	69.6	La mayoría

					de las grasas y aceite
Eicosanoico	Araquídico	20	C ₁₉ H ₃₉ COOH	75.4	Aceite de cacahuate
Docosanoico	Behénico	22	C ₂₁ H ₃₉ COOH	80	

Fuente: Steve Ziller. 1996.

Tabla II-5
Algunos ácidos grasos insaturados

Nomenclatura química	Nombre común	Nº de dobles enlaces	Nº de átomos de C	Formula química	Punto de fusión	Origen típico
Ácido 9-hexadecénico	Ácido palmitoleico	1	16	C ₁₅ H ₂₉ COOH	-0.5	Algunos aceites de pescado, grasa de vacuno
Ácido 9-octadecenoico	Ácido Oleico	1	18	C ₁₇ H ₃₃ COOH	16.3	La mayoría de las grasas y aceites
Ácido 9,12 octadecadienoico	Ácido linoleico	2	18	C ₁₇ H ₃₁ COOH	-5	La mayoría de las grasas y aceites
Ácido 9,12,15 octadecatrienoico	Ácido linolénico	3	18	C ₁₇ H ₂₉ COOH	-11.3	Aceites de soya y canola

Ácido 5,8,11,14 eicosatetraenoico	Ácido araquidónico	4	20	$C_{19}H_{31}COOH$	-49.5	Algunos aceites de pescado de pescado
Ácido 11-octadecenoico	Ácido vaccénico	1	18	$C_{17}H_{33}COOH$	39.5	Mantequilla

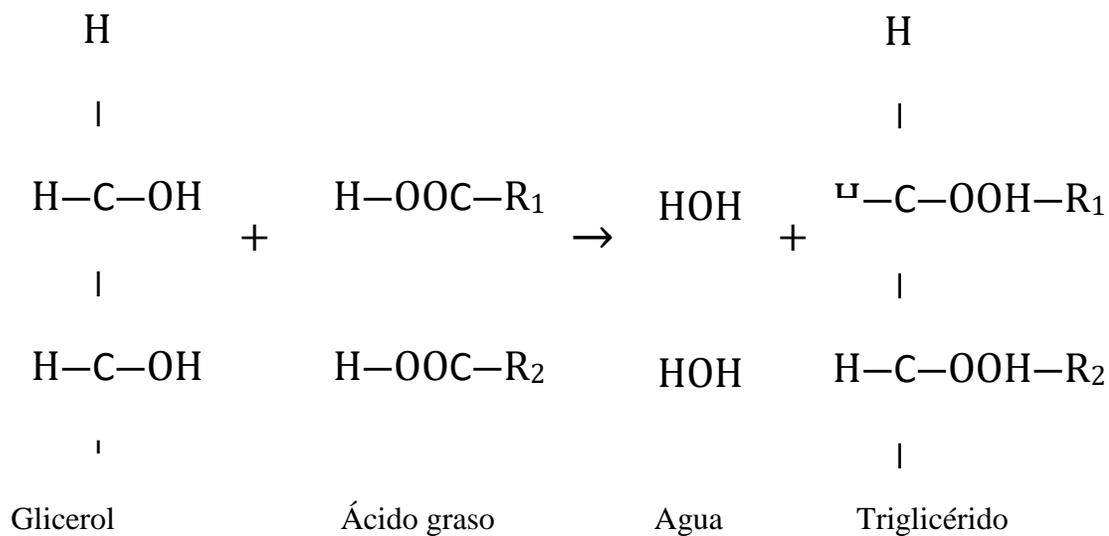
Fuente: Adaptado de Steve Ziller. 1996.

2.2.2 Glicéridos

2.2.2.1 Triglicéridos

Desde el punto de vista estructural, un triglicérido puede considerarse formado por la condensación de una molécula de glicerol con tres ácidos grasos, para dar tres moléculas de agua y una de un triglicérido.

Figura 2-10
Cadena de triglicéridos

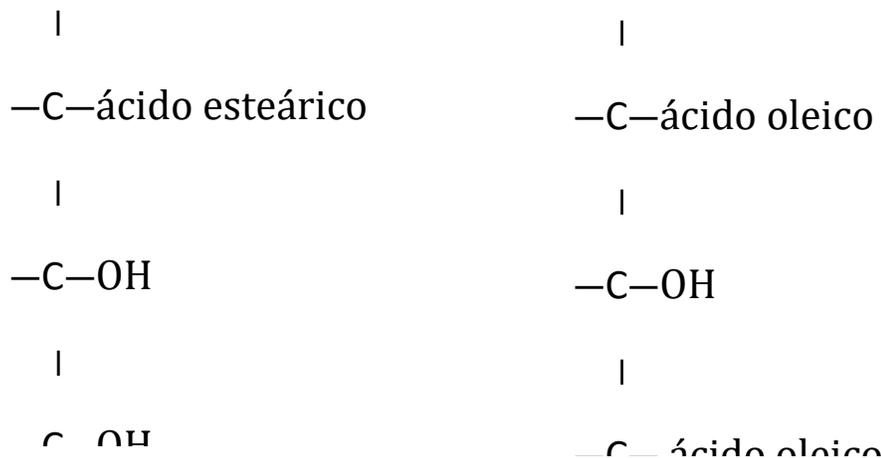


Fuente: Alton E. Bailey. 1951.

2.2.2.2 Mono y diglicéridos

Los monoglicéridos y diglicéridos contienen, solamente, uno y dos radicales de ácidos grasos respectivamente y, por consiguiente, tienen grupos hidroxilos libres.

Figura 2-11
Cadena de mono y diglicéridos



Fuente: Alton E. Bailey. 1951.

Cantidades apreciables de diglicéridos y probablemente también de monoglicéridos se encuentran en las grasas que han sufrido una considerable hidrólisis, como resultado de la acción enzimática, en los tejidos vegetales o animales. Es probable que también se encuentren trazas de estos compuestos en todas las grasas comerciales.

Tabla II-6
Composición en glicéridos de grasas vegetales y animales típicas

Grasa	Ácidos grasos, mol. %		Glicéridos mol. %			
	Sat.	No sat.	SSS	SSU	SUU	UUU
Sebo de carnero	60.8	39.2	282	29	40	3
Manteca de cacao	59.8	40.2	2	77	21	0
Sebo de buey	57.9	42.1	15	46	37	2
Aceite de palma	52.5	47.5	8	54	32	6
Manteca de cerdo (Europa)	42.4	57.6	5	39-32	40-60	8.-3.
Manteca de cerdo	37.4	62.6	2	26	55	17

(América)						
Aceite de algodón	28.4	71.6	0	13	59	28
Aceite de cacahuete	19.2	80.8	0	1	56	43
Aceite de oliva	15.1	84.9	0	0	45	55

SSS= trisaturados, SSU= disaturados, SUU= monosaturados, UUU= tri no saturados.

Fuente: Alton E. Bailey. 1951.

2.3 JABÓN CÁLCICO

El jabón es una sal obtenida a partir de la reacción química entre una base alcalina (álcali) y un lípido, el lípido puede ser de origen vegetal (aceite) o animal (grasa), a esta reacción se denomina saponificación.

Las grasas protegidas nacen a raíz de un ensayo experimental en la Universidad de Ohio en 1982 realizado por investigadores americanos, donde descubren el jabón cálcico, un tipo de jabón producto de la saponificación con calcio de los ácidos grasos que es inerte a nivel del rumen por lo que no afecta la fermentación, siendo a continuación muy bien digerido por animales rumiantes así como animales monogástricos.

El comportamiento metabólico de los animales monogástricos es similar al de los rumiantes; a partir del momento que finaliza el recorrido de los alimentos en el rumen y omaso ya que a partir del abomaso son similares, pues la esterificación para convertir los jabones cálcicos en ácidos grasos se realiza en el estómago en donde hay acidez suficiente para que se realice esta reacción.

Por ello, el jabón cálcico, también puede utilizarse en la alimentación de monogástricos como aves, cerdos, equinos, etc. en todas sus edades.

La mayoría de los jabones cálcicos disponibles en el mercado se fabrican a partir de ácidos grasos destilados de palma pero existe la posibilidad de fabricar jabones cálcicos con aceites de otros orígenes (coco, pescado, girasol, soja, etc).

En este caso es importante conocer su composición en ácidos grasos y su punto de fusión a fin de evaluar la bondad del producto.

2.3.1 Propiedades Jabón cálcico

A continuación se muestra la tabla II-7 con las propiedades fundamentales del jabón cálcico:

Tabla II-7
Contenido de materia seca, calcio y energía bruta de sales cálcicas de ácidos grasos

Fuente	Materia seca (%)	Calcio (% BS)	Energía bruta (kcal*kg-1 BS)
Aceite de soya	98,3	21,5	7731
Aceite de palma africana	98,3	20,6	7463,7
Grasa de pollo	98,1	20	7568,2
Grasa amarilla	98,4	21,8	8144,8
Sebo de res	98,4	22,7	7607,2
Aceite de maíz	99,2	21,2	7515,3

Com 1	97,1	9,6	8430,9
Com 2	98,3	8,8	8368,4

Fuente: Guerrero J.; Ojeda A.; Landinez J.; López N. 2014.

Com 1 y Com 2: fuentes comerciales de sales cálcicas de ácidos grasos, BS: base seca

2.3.2 Usos y aplicaciones del jabón cálcico

El jabón cálcico es destinado a la alimentación de rumiantes y monogástricos (aves y cerdos).

Su relación de ácidos grasos saturados e insaturados (50:50) le confieren una alta digestibilidad y permiten su uso en la fase de acabado de monogástricos, manteniendo una óptima consistencia en producto cárnico.

Su presentación sólida facilita su manejo y sus características termoplásticas permiten la inclusión de mayor porcentaje de grasa en la dieta sin perjudicar la calidad del pellet.

2.4 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL JABÓN CÁLCICO

El jabón cálcico, al ser una sal, es el resultado de una saponificación con una base que contiene el ion calcio.

La misma se puede llevar a cabo mediante dos métodos tradicionales que son la saponificación a presión a atmosférica y a elevadas presiones.

A continuación se describe ambos procesos:

2.4.1 Saponificación a presión elevada

Como se mencionó en el apartado 2.6, la saponificación consta de dos etapas, en la primera se descompone la grasa en sus partes útiles mediante la reacción de hidrólisis básica.

Según Alton E. Bayle, la hidrólisis a alta presión o en autoclave es un proceso antiguo que se efectúa en un corto tiempo y que puede usar diferentes óxidos e

hidróxidos metálicos como catalizadores; y entre los más empleados están los de cinc, magnesio y calcio.

Alcanza mayores contenidos de ácidos grasos porque se logra una hidrólisis eficiente de los ácidos grasos en la primera etapa de descomposición de los ingredientes en sus partes útiles.

El autoclave se carga con la grasa, el catalizador y el agua, equivalente al 30-60% del peso de la grasa, se inyecta vapor a través de la mezcla, para desplazar al aire de la cámara superior y el que se encuentra disuelto en la grasa y en el agua; se cierra el autoclave y se abre el vapor hasta alcanzar unos 10,5 kg de presión. El vapor se inyecta por el fondo y su condensación dentro del recipiente, además de una pequeña purga constante por la parte superior de éste, hace que se mantenga el flujo suficiente para agitar la mezcla. (Bayle).

Por la temperatura elevada de proceso se logra un jabón de grano seco y grande.

2.4.2 Saponificación a presión atmosférica

Al igual que el anterior método, el principio de este se basa en una saponificación, pero en este caso es lenta, donde la etapa de hidrólisis no se completa en su totalidad por lo que la sal resultante tiene un menor contenido de ácidos grasos.

La grasa y el álcali se someten a baño maría con agitación externa para ayudar a que la reacción de saponificación se produzca, debido a la presión atmosférica; el agua tanto de la grasa como de la solución no se evaporan con facilidad lo que dificulta el proceso de hidrolisis no completándose hasta la saponificación del ácido graso.

La agitación ayuda a una correcta homogeneización y es necesario el uso de un agente emulsionante (glicerol), ya que el tiempo de saponificación es mayor comparado con una saponificación a elevadas presiones.

A temperatura baja se logra un grano fino, húmedo y denso de jabón.

2.5 SELECCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL DE ELABORACIÓN DEL JABÓN CÁLCICO

Considerando los equipos disponibles, la saponificación puede realizarse en un agitador mecánico con calentamiento en baño maría, o una autoclave.

Para la selección del tipo de proceso se asigna una calificación de acuerdo a una escala predeterminada de cero a diez. En la tabla II-8 se observan las calificaciones ponderadas que permiten seleccionar el proceso, siendo el proceso adecuado aquel que acumule el mayor puntaje.

Tabla II-8
Escala de Calificación por Puntuación del 1 al 10

ESCALA DE PUNTUACION	PUNTUACION
Excelente	10
Muy Buena	7
Buena	5
Regular	3
Mala	1

Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla II-9
Selección del proceso de saponificación

Factor	Comentarios del evaluador	Calificación
--------	---------------------------	--------------

evaluado		Saponificación a presión atmosférica	Saponificación a elevada presión
Aplicabilidad del proceso	<p>La elaboración de jabón cálcico ha sido realizada por ambos procesos; según referencia bibliográfica (Pablos Pérez, E.,2005) el proceso a presión elevada de 2 a 4 bares puede dar un mayor contenido de ácidos grasos superior al 80% mientras que el proceso a presión atmosférica apenas alcanza un 60-70% de contenido de ácidos grasos.</p> <p>Aunque ambos procesos pueden llevarse a cabo efectivamente, para que el proceso a presión atmosférica sea efectivo se necesita agitación externa.</p>	7	10
Tiempo de saponificación	<p>Para una óptima saponificación de los ácidos grasos el proceso a presión atmosférica requiere una agitación de 1000 a 3000 rpm con un tiempo de 30 a 45 min.. A diferencia del proceso a presión elevada (entre 2 a 4 bares) que requiere un tiempo de 10 a 20 min.</p>	5	10
Temperatura de	La materia prima se saponifica a presión	7	5

saponificación	atmosférica a una temperatura tal que la materia grasa se encuentre en forma de líquido viscoso, susceptible de ser bombeado y agitado, sin que su calentamiento haya requerido un coste excesivo de energía, por lo que se prefieren temperaturas del intervalo de 60 ⁰ C a 85 ⁰ C. En el proceso a presión elevada la mezcla se saponifica a una temperatura comprendida entre los 100-150 ⁰ C.		
Costos	Debido a la escala del proceso los equipos pueden ser adaptados dentro del laboratorio, siendo el proceso a presión elevada un proceso que demanda un mayor costo de operación en cuanto a energía.	7	5

Fuente: Elaboración propia. 2017.

En la tabla II-9 se muestra el resumen de los criterios de ambos procesos de elaboración de jabón cálcico, que se traducen en la siguiente matriz de selección del proceso.

Tabla II-10
Matriz de decisión para el tipo de proceso de producción de Jabón Cálcico

Parámetros	Selección del proceso para la producción de Jabón Cálcico				
	Valoración porcentual %	Saponificación a presión atmosférica		Saponificación a presión elevada	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Aplicabilidad del proceso	0.30	7	2.1	10	3

Tiempo de saponificación	0.20	5	1	10	2
Temperatura de saponificación	0.30	7	2.1	5	1.5
Costos	0.20	7	1.4	5	1
TOTAL	1		6.6		<u>7.5</u>

Fuente: Elaboración Propia, 2017.

Según los resultados de la matriz de decisión, el proceso más conveniente para la elaboración del jabón cálcico es la **saponificación a presión elevada**, no solo porque tiene altos rendimientos en cuanto a composición de ácidos grasos en el producto sino que se lleva a cabo en un menor tiempo y no necesita de agitación ni emulsionante.

2.5.1 Requerimientos de la calidad del producto terminado

La Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal especifica los siguientes parámetros de calidad para el producto jabón cálcico.

Tabla II-11
Requerimientos para un Jabón Cálcico de calidad

ANÁLISIS	NOMINAL %	TOLERANCIA %
Ext. Etéreo	-	>84
Humedad		<6
Calcio	9.0	± 1
Ac. Grasos c>20	-	< 12.0
Esteárico	20.0	± 2
Oleico	20.0	± 2

Linoleico	3.0	± 1
Relación sat/insat.	2.33	

Fuente: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. (2002).

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Descripción del método de investigación

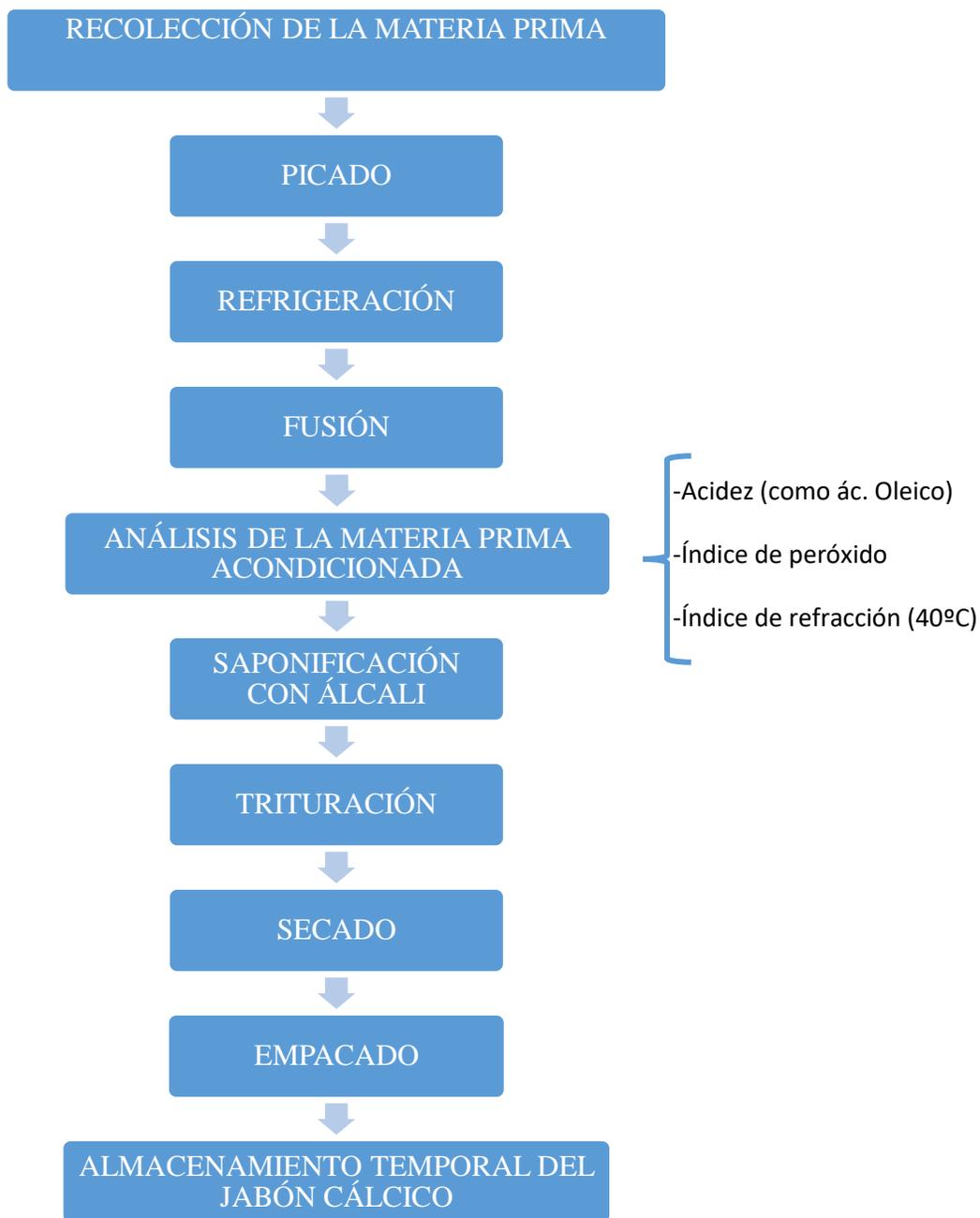
En las industrias de faenado de ganado, los residuos generados, como ser; grasas y/o sebos, pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración de componentes de alimento balanceado para animales monogástricos. La presente investigación brinda una alternativa para el aprovechamiento de estos residuos, específicamente del sebo visceral para la elaboración de jabón cálcico.

Para el desarrollo del presente proyecto, la parte experimental consiste en el desarrollo del diseño experimental donde se elabora el jabón cálcico mediante un proceso de saponificación a diferentes condiciones de temperatura y tiempo.

A continuación, se presenta un diagrama del proceso de elaboración de jabón cálcico.

Diagrama III-1

Proceso de elaboración de jabón cálcico



Fuente: Elaboración propia. 2017.

Antes del desarrollo experimental se detallan los materiales y reactivos utilizados durante la elaboración de jabón cálcico dentro de la presente investigación; en el ANEXO I se describen las especificaciones de los equipos e instrumentos utilizados.

Tabla III-1
Material de laboratorio

MATERIALES	ESPECIFICACIONES	CANTIDAD
Balanza	510 g.	1
Calentador	350 °C	1
Espátula	-	1
Vaso precipitado	de 300 ml.	1
Vidrio de reloj	120 mm.	1
Probeta	de 100 ml.	1

Fuente: Elaboración propia. 2017.

Los reactivos utilizados son:

- Hidróxido de calcio; como álcali para la saponificación del sebo de res.
- BHT (Butil Hidroxi Tolueno); antioxidante que se añade a la mezcla de sebo de res caliente.

3.1.1 Descripción del proceso de elaboración jabón cálcico

3.1.1.1 Recolección de la materia prima

El sebo recolectado proviene del Matadero Frigorífico Municipal de Tarija ubicado en la provincia Cercado del departamento de Tarija, en su mayoría es sebo visceral de la riñonada y tela de la panza, de color amarillento considerado como desecho.

Para aproximarse a una cantidad real recolectada y a una materia prima fresca se procede a realizar un compromiso de compra del sebo directamente con los carniceros, durante una semana entera.

Debido a que es un desecho no se realiza una selección del sebo, se lo recolecta de las instalaciones de Matadero Frigorífico Municipal de Tarija en cuanto termina la faena del día para evitar su descomposición.

Foto 3-1
Desechos de sebo visceral del Matadero Frigorífico Municipal de Tarija



Fuente: Matadero Frigorífico Municipal de Tarija, 2017.

3.1.1.2 Picado del sebo de res

Después de realizar la recolección de la materia prima fresca se pica manualmente en trozos pequeños para que la fusión se realice en menor tiempo.

La cantidad proveniente del matadero de un día de faena es relativamente alta para un proceso a escala laboratorio, pero para un proceso a escala industrial es lo opuesto por lo cual se procede a acopiarlo en su totalidad durante una semana para realizar un proceso eficiente de fusión.

3.1.1.3 Refrigeración del sebo de res

Durante la semana se acopia alrededor de 1.100 kilogramos que después de ser picados se los refrigera en tachos de 50 kilogramos cada uno a una temperatura de 0°C para evitar su descomposición.

3.1.1.4 Fusión del sebo de res

La fusión se llevó a cabo en un digestor hidrolizador Batch CB 3500 de la marca FIMACO industria argentina, el mismo se encuentra en las instalaciones de la planta procesadora “San Lorenzo S.R.L” ubicada en la zona de Torrecillas.

Se procede a cargar la materia grasa, introduciéndola por la parte superior del digestor.

El sebo que se emplea para la elaboración de jabón cálcico debe ser libre de chicharrón, ya que este es un residuo con el que no reacciona el hidróxido de calcio; para ello se realiza la extracción del sebo mediante el digestor a 100 °C durante 1 hora donde se funde todo el sebo quedando en estado líquido, excepto el chicharrón que a esa temperatura queda como sólido.

Al salir el aceite de sebo de res del digestor por la parte inferior no se abre del todo la compuerta con el fin de retener la mayor cantidad de chicharrón, algunas partículas se van quedando a lo largo del transportador y una mínima cantidad termina cayendo junto al aceite al empaque de plástico.

Foto 3-2
Cargado de desechos de sebo visceral al digestor



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.1.1.5 Análisis del sebo de res acondicionado

Para el sebo de res acondicionado se determinaron parámetros como ser: Índice de saponificación, índice de acidez, índice de peróxido, materia insaponificable e índice de refracción en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID- Tarija) e Instituto Tecnológico de alimentos (ITA-Sucre).

Cada uno de estos parámetros nos permite verificar el estado del sebo de res acondicionado y nos da un punto de partida para la saponificación del mismo.

Todos estos resultados se muestran resumidos en la tabla 4-2 del capítulo IV: Resultados y Discusión.

Foto 3-3
Recepción y almacenamiento de sebo de res procesado



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.1.1.6 Saponificación del sebo de res con álcali hidróxido de calcio

Después de procesar y empaquetar el sebo de res caliente casi libre de impurezas se lo deja reposar solidificándose en menos de un día. Debido a este reposo, la mínima cantidad de partículas precipitan en el fondo del envase, pudiéndose observar visualmente pequeñas manchas negras pero al abrirlo se puede decir que el sebo

procesado de la parte superior está libre e impurezas y listo para usarse en la producción de jabón cálcico.

Para las pruebas experimentales se toma porciones de 100 gramos de sebo de res procesado para calentarlo a 51 °C y llevarlo nuevamente a su estado líquido para posteriormente mezclarlo con el reactivo BHT, el hidróxido de calcio y agua, que son vertidos en un recipiente de acero inoxidable e introducidos en una autoclave, sometiendo la mezcla a diferentes condiciones de operación variando la temperatura y el tiempo; asimismo, al variar la temperatura también varía la presión.

En el recipiente de acero inoxidable se produce la saponificación dando como resultado una sal de calcio más la glicerina en forma de gránulos aglomerados que toman la forma del recipiente que los contiene.

Inmediatamente después de abrir la autoclave la mezcla se encuentra de forma untosa y a medida que tiene contacto con la atmósfera se va endureciendo, se trasvasa todo el contenido a unos frascos rotulados con la fecha de elaboración y las condiciones de proceso, para posteriormente analizar el índice de saponificación.

Foto 3-4
Calentado de sebo acondicionado



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Foto 3-5
Mezclado del sebo calentado con hidróxido de calcio



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Foto 3-6
Saponificación en autoclave



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.1.1.7 Trituración del jabón cálcico

Después del proceso de saponificación es necesario triturar la mezcla resultante ya que la misma se endurece en un corto tiempo. La trituración se realiza manualmente con un objeto pesado que va chancando el producto en trozos de menor tamaño.

Foto 3-7
Jabón cálcico chancado



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.1.1.8 Secado del jabón cálcico

En el proceso de trituración se puede notar que la sal se adhiere al objeto triturador haciendo dificultosa la recolección de la sal en su totalidad, por lo que después de la trituración se procede al secado para un mejor aspecto y mayor vida útil.

El jabón cálcico antes del proceso de secado tiene una humedad de 6,7 % la misma que se mide en un analizador de humedad SARTORIUS-MA100.

Se introduce el jabón cálcico triturado en un recipiente y el mismo dentro del secador de bandejas donde permanece alrededor de una hora y media a 50 °C debido a su bajo contenido de humedad, que reduce de 6,7% a 0,67%.

3.1.1.9 Empacado jabón cálcico

Una vez terminada la etapa de secado se procede a empacar el jabón cálcico triturado y seco en empaques de nylon cerrados, rotulados con la fecha de elaboración, la cantidad y las condiciones de proceso (Temperatura, Presión y Tiempo).

3.1.1.10 Almacenamiento temporal de jabón cálcico

Las muestras empacadas son almacenadas en un ambiente seco a temperatura ambiente.

3.2 Diseño Experimental

El diseño experimental tiene como objetivo, definir el arreglo de los tratamientos sobre las unidades experimentales, de tal modo que se obtengan estimaciones de los contrastes de interés para el investigador, con la mayor precisión posible. El diseño de tratamientos, por otra parte, es el aspecto que se refiere al proyecto de las combinaciones de tratamientos, cuando se examina el efecto de dos o más factores, sobre una característica de estudio.

El análisis estadístico permite el estudio de varias variables en el tiempo y la interpretación de la interacción entre las variables estudiadas, con el propósito de seleccionar las más importantes y significativas.

3.2.1 Planteamiento de la hipótesis

Para llevar a cabo el diseño experimental se tomaron en cuenta las siguientes hipótesis:

- Los niveles de variación, en la temperatura de reacción de saponificación influyen en la variable respuesta del jabón cálcico.
- Los niveles de variación, en el tiempo de reacción de saponificación influyen en la variable respuesta del jabón cálcico.

3.2.2 Pasos para realizar el diseño factorial

El diseño factorial comprende los siguientes pasos:

- Elección de las respuestas a medir.

- Elección de las variables objeto de estudio.
- Elección de intervalo de valores para dichas variables.
- Planificación de experimentos.
- Realización de experimentos y recolección de datos.
- Análisis de los datos experimentales.

3.2.2.1 Elección de la variable a medir: respuesta

La variable respuesta más adecuada a medir es el índice de saponificación, expresado como los miligramos de hidróxido de potasio necesarios para saponificar un gramo de grasa.

3.2.2.2 Elección de las variables de operación: factores

Pablos Pérez, E. (2005) en la patente WO2007077266 A1 llegó a la conclusión de que el problema para la elaboración de un óptimo jabón cálcico radica esencialmente en las condiciones de operación, identificando a las siguientes:

- Temperatura
- Tiempo

3.2.2.2.1 Temperatura

El límite superior se ha fijado en 133°C, el intermedio en 121°C y el inferior en 115°C por referencias bibliográficas consultadas. (Pablos E, 2005; Yubaille M., 2013).

3.2.2.2.2 Tiempo

El límite superior se ha fijado en 40 min., el intermedio en 30 min. y el inferior en 20 min. por referencias bibliográficas consultadas. (Pablos E, 2005; Yubaille M., 2013).

3.2.2.3 Planificación de experimentos

Un diseño de experimentos es una estrategia experimental constituida por un conjunto de experiencias planificadas en relación con una serie de variables (denominadas factores), de modo que la realización de cada ensayo implica que cada variable toma un valor determinado (nivel) definido por la estructura del diseño. Es fundamental

conocer qué variables realmente influyen sobre el sistema analizado y cuantificar su influencia.

La metodología del diseño de experimentos permite investigar simultáneamente los efectos de todas las variables de interés a través de la realización de un número mínimo de experimentos, repercutiendo en una mayor eficacia y en el ahorro de tiempo y costes.

Un diseño experimental en el que la variable respuesta se mide para todas las combinaciones posibles de los niveles elegidos de los factores recibe el nombre de diseño factorial.

3.2.2.3.1 Diseño factorial 3^k

Donde k son los factores y 3 los niveles. La representación de los tres niveles se representada por -1 (bajo), 0 (intermedio) y 1 (alto).

Existen varias formas de escribir el modelo del experimento factorial, uno de ellos es el modelo de regresión.

El modelo de regresión relaciona la variable respuesta con los niveles de los factores.

El siguiente modelo corresponde al diseño factorial 3^k

$$Y = A + BX_1 + CX_2 + DX_1^2 + EX_2^2 + FX_1X_2$$

La adición de un factor con un tercer nivel da lugar a un modelo cuadrático, por ello, el modelo es seleccionado cuando la función de respuesta es curvilínea.

En la tabla III-2 se muestra los niveles de variación de las variables del proceso de elaboración de jabón cálcico, también llamados factores.

Tabla III-2

Niveles de variación de los factores

Factores	Nivel		
	Bajo	Intermedio	Alto
Temperatura (°C)	115	121	133
Tiempo de reacción (min.)	20	30	40

Fuente: Elaboración propia.2017.

Tabla III-3
Codificación de las variables

Nivel	Tiempo de saponificación (min.) t	Temperatura (°C) T
1	-1	-1
2	0	0
3	1	1

Fuente: Elaboración propia.2017.

El número de experimentos a realizar son:

$$3^k$$

Donde:

3: Número de niveles.

K= Número de factores.

El número de experiencias es: $3^2 = 9$

Considerando tres réplicas:

Número de experimentos: $9 * 3 = 27$ *experimentos*.

Se repite la experiencia tres veces para tener resultados significativos y validados.

El diseño factorial tiene la finalidad de estudiar todas las posibles combinaciones que se pueden dar entre las variables que se someten a prueba.

Tabla III-4

Diseño Factorial para el proceso de saponificación

N° de Exp.	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Índice de saponificación
1	-1	-1	R1
2	-1	0	R2
3	-1	1	R3
4	0	-1	R4
5	0	0	R5
6	0	1	R6
7	1	-1	R7
8	1	0	R8
9	1	1	R9

Fuente: Elaboración propia, 2017.

R: Variable respuesta a medir.

3.3 Balance de materia y energía del proceso

Para el balance de materia se realizó la saponificación a partir de 100 gramos de sebo acondicionado. El proceso de saponificación se realizó en las condiciones más óptimas; a una temperatura de 121 °C, 2,1 bares y 40 minutos.

3.3.1 Diagrama de flujo del proceso de saponificación

La siguiente tabla muestra las especificaciones de las corrientes del diagrama de flujo.

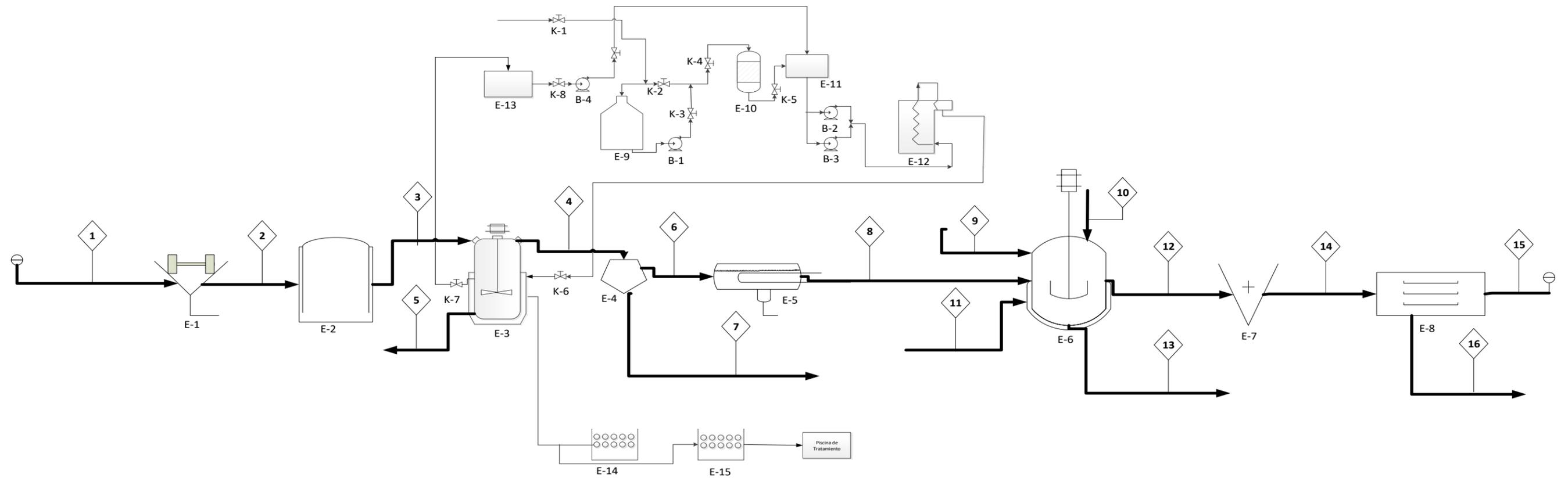
Tabla III-5

Corrientes de proceso

Corriente	Especificación	Corriente	Especificación
C1	Sebo fresco	C9	Agua destilada
C2	Sebo picado	C10	Hidróxido de calcio [Ca(OH) ₂]
C3	Sebo refrigerado	C11	Butil Hidroxi Tolueno (BHT)
C4	Aceite de sebo	C12	Sal de calcio y glicerina
C5	Chicharrón	C13	Masa de agua evaporada
C6	Fracción de sebo sólido acondicionado	C14	Jabón cálcico húmedo
C7	Fracción de sebo sólido acondicionado	C15	Jabón cálcico parcialmente seco
C8	Aceite de Sebo acondicionado	C16	Masa de agua evaporada

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Diagrama III-2
Diagrama de flujo del proceso de elaboración de jabón cálcico



Lista de equipos

Texto mostrado	Descripción	Texto mostrado	Descripción
E-1	Picadora	E-9 E-11 E-13	Tanque de agua
E-2	Cámara de frío	E-10	Filtro de resina
E-3	Digestor	E-12	Caldero
E-4	Separador	E-14 E-15	Desodorizador
E-5	Calentador	K-1 K-2 K-3 K-4 K-5 K-6 K-7 K-8	Válvulas
E-6	Autoclave	B-1 B-2 B-3 B-4	Bombas
E-7	Triturador		
E-8	Secador		

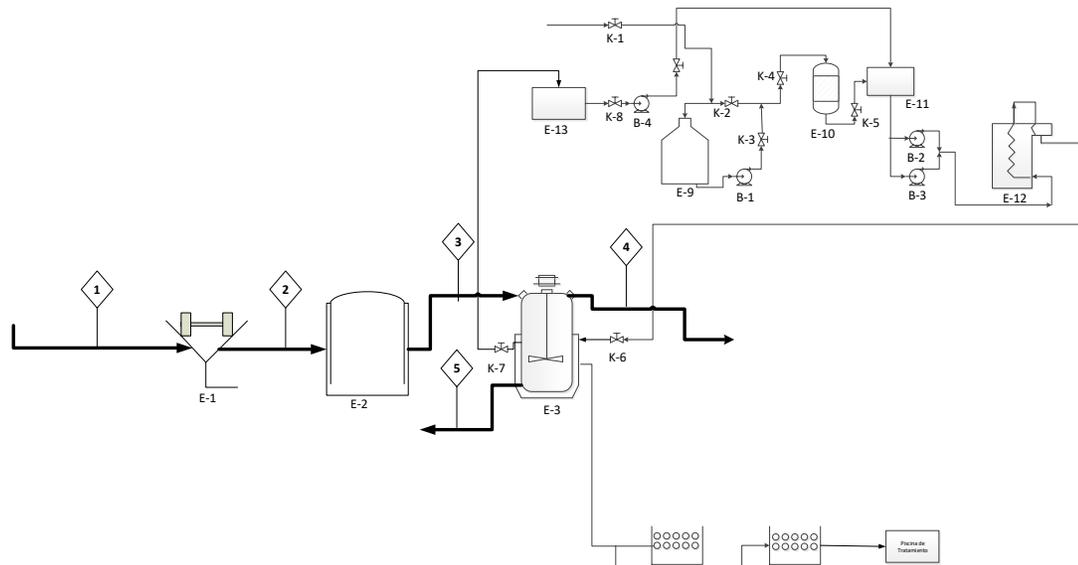
Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.3.2 Balance de materia

3.3.2.1 Operación 1. Acondicionamiento de la materia prima

El sebo acopiado durante una semana es pesado y procesado.

Diagrama III-3
Acondicionamiento de la Materia Prima



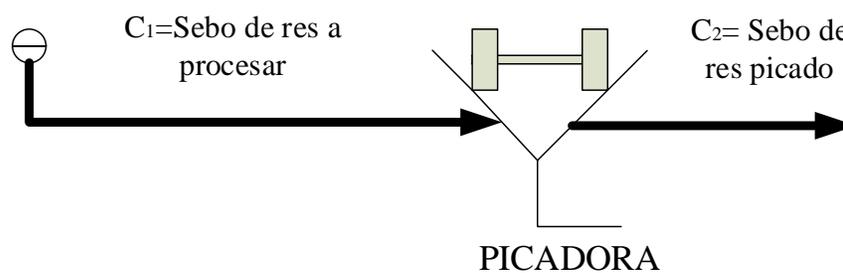
Fuente: Elaboración propia. 2017.

Cálculo de la cantidad de aceite de sebo de res por 1100 kg de sebo:

La masa de sebo de entrada es de:

$$C_1 = 1.100 \text{ kg.}$$

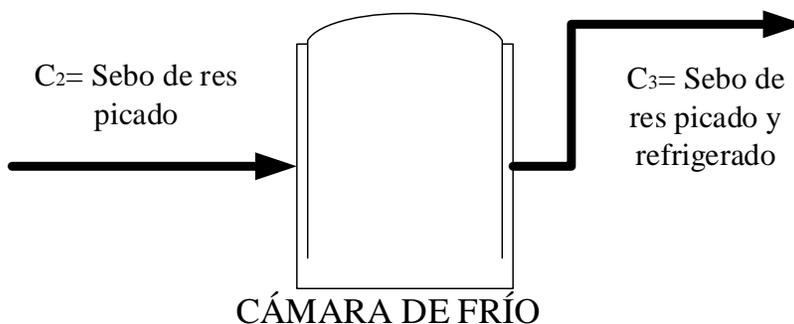
Diagrama III-4
Picadora de sebo de res



Fuente: Elaboración propia. 2017.

Luego del picado y la refrigeración; C_2 y C_3 tienen el mismo valor que C_1 , ya que solo implica un proceso físico donde no hay cambio en la cantidad de materia.

Diagrama III-5
Refrigeración de sebo de res picado

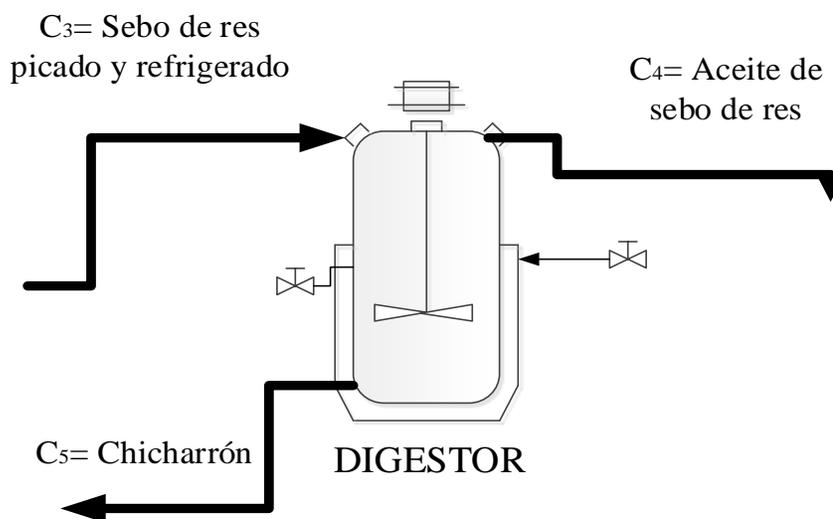


Fuente: Elaboración propia. 2017.

$$C_2 = C_3 = 1.100 \text{ kg.}$$

El sebo a procesar contiene como el 10% de chicharrón, es decir que de esta extracción se obtiene el chicharrón en un 10% del producto inicial.

Diagrama III-6
Fusión de sebo de res picado



Fuente: Elaboración propia. 2017.

Datos:

$$C_3 = 1.100 \text{ kg.}$$

$$C_5 = 110 \text{ kg.}$$

Balance general:

$$C_3 = C_4 + C_5 \quad \text{Ec. 3.1}$$

Masa de aceite obtenido

Despejando C_4 :

$$C_4 = C_3 - C_5$$

Reemplazando datos:

$$C_4 = 1.100 \text{ kg.} - 110 \text{ kg.}$$

$$C_4 = 990 \text{ Kg de aceite de sebo de res fundido}$$

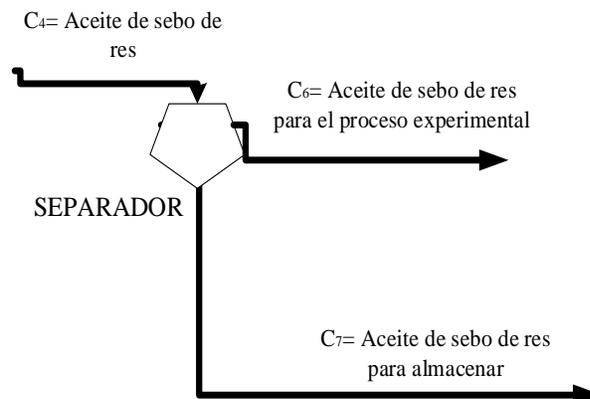
$$\%_{\text{chicharrón}} = \frac{m_{\text{chicharrón}}}{m_{\text{total}}} * 100$$

$$\%_{\text{chicharrón}} = \frac{110 \text{ kg}}{1.100 \text{ kg}} * 100$$

$$\%_{\text{chicharrón}} = 10$$

3.3.2.2 Operación 2. Separación de la Materia Prima

Diagrama III-7
Separación de la materia prima acondicionada



Fuente: Elaboración propia. 2017.

Debido a la cantidad de sebo procesado se separa una mínima porción para realizar las pruebas experimentales de saponificación, y el resto es almacenado.

Por lo que la base de trabajo será:

$$C_6 = 0,1 \text{ kg.} = 100 \text{ g.}$$

$$C_4 = C_6 + C_7 \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$C_7 = C_4 - C_6$$

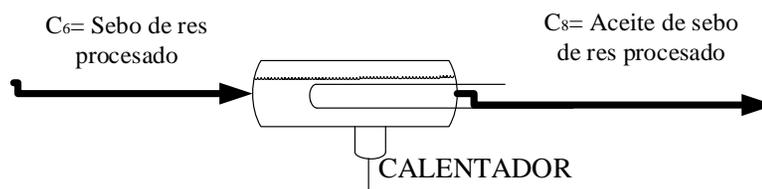
$$C_7 = 990 \text{ kg.} - 0,1 \text{ kg.}$$

$$C_7 = 989,9 \text{ kg.}$$

Al realizar esta separación el sebo tiende a solidificarse rápidamente por lo que la siguiente operación es necesaria.

3.3.2.3 Operación 3. Transformación de la materia prima procesada

Diagrama III-8
Calentamiento de la materia prima acondicionada

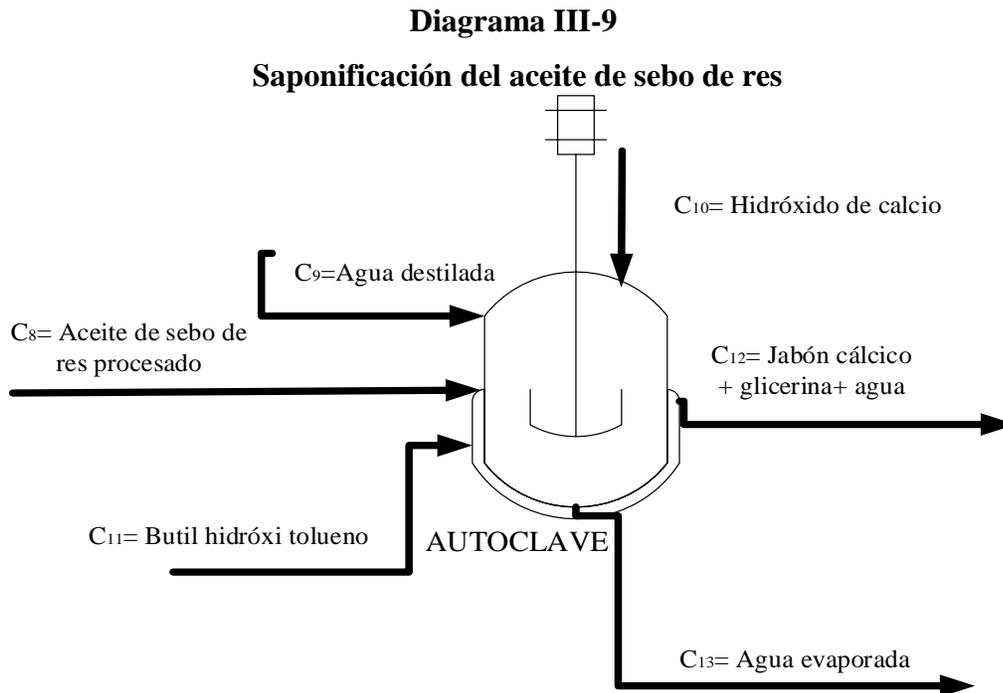


Fuente: Elaboración propia. 2017.

$$C_8 = C_6 = 100 \text{ g.}$$

C_6 y C_8 tienen el mismo valor, ya que solo implica un proceso físico sin cambio en la cantidad de materia, las pérdidas son mínimas ya que la temperatura de calentamiento es controlada.

El balance global del proceso de elaboración de jabón cálcico, se lo realiza tomando como base de cálculo los 100 g. de aceite de sebo de res.



Fuente: Elaboración propia. 2017.

3.3.2.3.1 Hidróxido de calcio

Como los índices de saponificación están expresados en miligramos de hidróxido de calcio por gramo de aceite, se transforman a miligramos de hidróxido de calcio utilizando un factor de conversión. Teniendo que la masa molar del hidróxido de potasio es de 56,1056 g/mol y la masa molar del hidróxido de calcio es de 74,093 g/mol.

Hidróxido de calcio requerido.



PM $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 74,093 \text{ g/mol} = 74.093 \text{ mg/mol}$

PM KOH= 56,1056 g/mol=56.105,6 mg/mol

Índice de saponificación: 229 mg. de KOH/g de grasa (determinado experimentalmente ver ANEXO 1)

$$\text{I. S.} = 229 \frac{\text{mg. KOH}}{\text{g. grasa}} * \frac{1 \text{ mol de KOH}}{56.105,6 \text{ mg. de KOH}} * \frac{1 \text{ mol de Ca(OH)}_2}{2 \text{ mol de KOH}}$$

$$* \frac{74.093 \text{ mg. de Ca(OH)}_2}{1 \text{ mol de Ca(OH)}_2}$$

$$\text{I. S.} = 151,21 \frac{\text{mg. de Ca(OH)}_2}{\text{g grasa}}$$

Usando el índice de saponificación obtenido analíticamente se calcula el hidróxido de calcio necesario para saponificar los 100 g. de grasa:

$$x = 151,21 \frac{\text{mg. de Ca(OH)}_2}{\text{g. de grasa}} * \frac{1 \text{ g. de Ca(OH)}_2}{1000 \text{ mg. de Ca(OH)}_2} * 100 \text{ g. de grasa}$$

$$x = 15,121 \text{ g. de Ca(OH)}_2$$

$$C_{10} = 15,121 \text{ g. de Ca(OH)}_2$$

En la patente WO2007077266 A, Pérez Pablos (2005) comenta que se debe añadir a la mezcla de grasas y/o aceite naturales y CaO una cantidad de agua que es como mínimo la cantidad estequiométrica necesaria para que el CaO añadido se transforme en Ca(OH)₂.

Debido a que en el presente proyecto se trabaja con hidróxido de calcio, la cantidad de agua es determinada bibliográficamente, ya que la solución de hidróxido de calcio en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y ataca varios metales.

Isidro y Luizaga, (2010: 82) llegan a la conclusión que para una obtener una óptima sal de calcio era necesario agregar la misma cantidad de agua que hidróxido de calcio a la fuente de ácidos grasos.

Es decir, que para 15,121 g. de Ca(OH)₂ son necesarios 15,121 g. de agua destilada.

$$C_9 = 15,121 \text{ gramos de agua destilada}$$

Transformando los gramos de agua destilada a mililitros de la misma.

$$\rho_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{agua}}}{V_{\text{agua}}}$$

Donde:

ρ = densidad del agua destilada

m = masa de agua destilada

V = volumen de agua destilada

Despejando el volumen:

$$V_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}}}$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{15,121 \text{ g}}{1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$V_{\text{agua}} = 15,121 \text{ ml.}$$

$$C_9 = 15,121 \text{ g.} = 15,121 \text{ ml. de agua destilada}$$

3.3.2.3.2 Butil hidroxi tolueno

La Droguería Cosmopolita (México) recomienda en la ficha técnica del antioxidante BHT (Butil hidroxi tolueno o Hidroxitolueno butilado) la siguiente dosificación para el sebo de res:

% 0.01 - 0.02

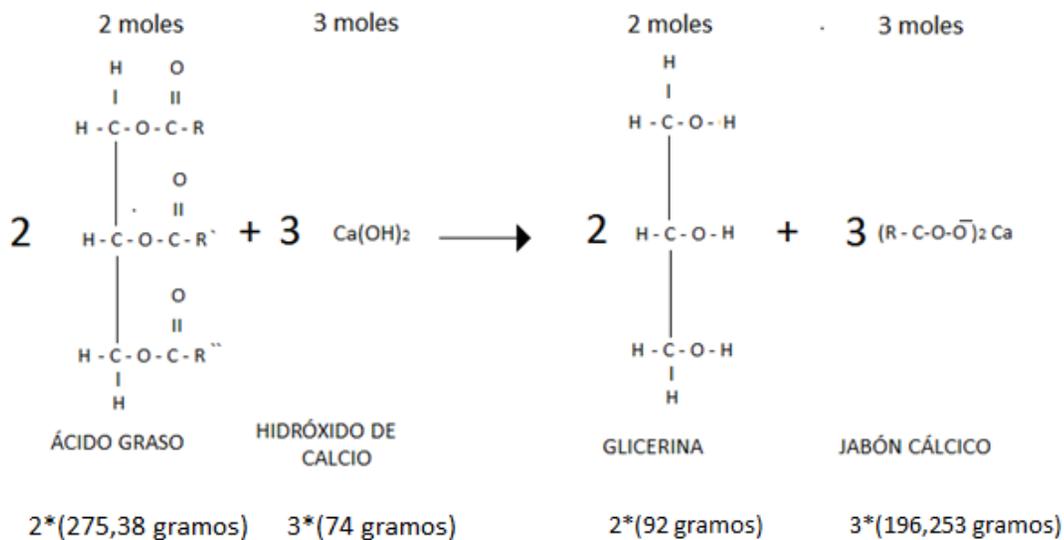
Por lo tanto:

$$C_{11} = 0,02 \text{ gramos de BHT}$$

3.3.2.3.3 Jabón formado

De los análisis realizados en el Centro de Investigaciones Químicas (ANEXO 1), en el apartado 4.1.1.2, se determina un peso molecular estimado de 275,38 gramos/mol de Ácido graso.

Dentro de la autoclave ocurre la siguiente reacción:



De la relación estequiométrica se determina la cantidad de jabón formado:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{jabón}} &= 100 \text{ g. de aceite} * \frac{1 \text{ mol de aceite}}{275,38 \text{ g. de aceite}} * \frac{3 \text{ mol de jabón}}{2 \text{ mol de aceite}} \\
 &\quad * \frac{196,25 \text{ g. de jabón}}{1 \text{ mol de jabón}} \\
 m_{\text{jabón}} &= 106,898 \text{ g. de jabón}
 \end{aligned}$$

También de la relación estequiométrica se determina la cantidad de glicerina formada:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{glicerina}} &= 100 \text{ g. de aceite} * \frac{1 \text{ mol de aceite}}{275,38 \text{ g. de aceite}} * \frac{2 \text{ mol de glicerina}}{2 \text{ mol de aceite}} \\
 &\quad * \frac{92 \text{ g. de glicerina}}{1 \text{ mol de glicerina}} \\
 m_{\text{glicerina}} &= 33,408 \text{ g. de glicerina}
 \end{aligned}$$

Para obtener la masa total de jabón obtenido:

$$\begin{aligned}
 \text{masa total}_{\text{jabón obtenido}} &= m_{\text{jabón}} + m_{\text{glicerina}} \\
 \text{masa total}_{\text{jabón obtenido}} &= 106,898 \text{ g.} + 33,408 \text{ g.}
 \end{aligned}$$

$$\text{masa total}_{\text{jabón obtenido}} = 140,306 \text{ g.}$$

Experimentalmente para 100 g. de sebo de res procesado, se obtiene 109,632 g. de jabón húmedo más glicerina.

Del balance de materia en la autoclave podemos determinar la cantidad de agua evaporada:

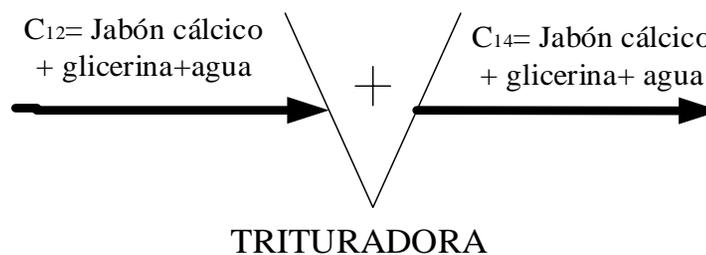
$$C_8 + C_9 + C_{10} + C_{11} = C_{12} + C_{13}$$

$$C_{13} = C_8 + C_9 + C_{10} + C_{11} - C_{12}$$

$$C_{13} = 100 \text{ g.} + 15,121 \text{ g.} + 15,121 \text{ g.} + 0,02 \text{ g.} - 109,632 \text{ g.}$$

$$C_{13} = 20,63 \text{ g.}$$

Diagrama III-10
Trituración del jabón cálcico



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Experimentalmente:

$$C_{12} = 109,632 \text{ g.}$$

$$C_{14} = 107,397 \text{ g.}$$

$$\text{Pérdidas} = C_{12} - C_{14}$$

$$\text{Pérdidas} = 109,632 \text{ g.} - 107,397 \text{ g.}$$

$$\text{Pérdidas} = 2,235 \text{ g. de jabón cálcico + glicerina + agua}$$

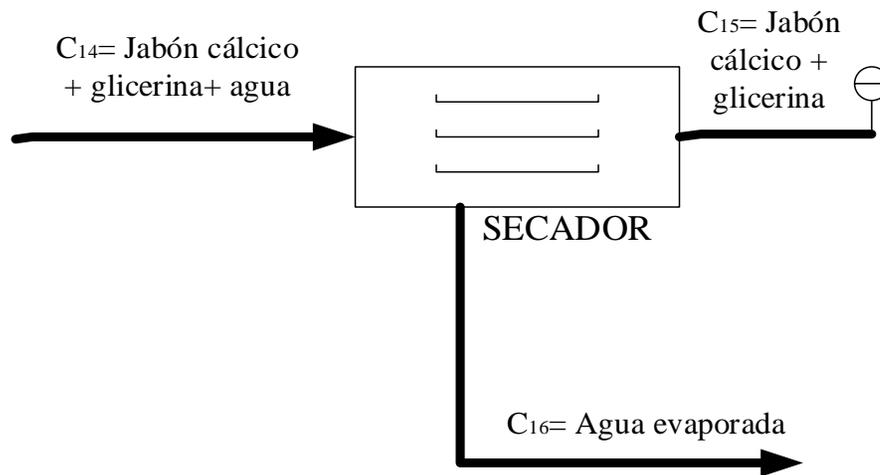
$$\% \text{pérdidas} = \frac{m_{\text{perdida}}}{m_{\text{total}}} * 100$$

$$\% \text{pérdidas} = \frac{2,235 \text{ g.}}{109,557 \text{ g.}} * 100$$

$$\% \text{pérdidas} = 2,04 \%$$

En esta operación hubo una pérdida del 2,04%.

Diagrama III-11
Secado del jabón cálcico



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Experimentalmente:

$C_{14} = 107,397$ g.

Después de una hora de secado se tiene una humedad de 0,67%.

$$C_{14} = C_{15} + C_{16}$$

$$C_{15} = C_{14} - C_{16}$$

Balance para el componente agua:

$$C_{14} * X_{14H2O} = C_{15} * X_{15H2O} + C_{16} * X_{16H2O}$$

$$C_{16} * X_{16H2O} = C_{14} * X_{14H2O} - C_{15} * X_{15H2O}$$

Reemplazando C_{15} del balance general:

$$C_{16} * X_{16H2O} = C_{14} * X_{14H2O} - (C_{14} - C_{16}) * X_{15H2O}$$

$$C_{16} * X_{16H2O} = C_{14} * X_{14H2O} - C_{14} * X_{15H2O} + C_{16} * X_{15H2O}$$

$$C_{16}(X_{16H2O} - X_{15H2O}) = C_{14}(X_{14H2O} - X_{15H2O})$$

$$C_{16} = C_{14} \frac{(X_{14H2O} - X_{15H2O})}{(X_{16H2O} - X_{15H2O})}$$

$$C_{16} = 107,397 \text{ g.} \frac{(0.0693 - 0.0067)}{(1 - 0.0067)}$$

$$C_{16} = 6,768 \text{ g. de agua evaporada}$$

Finalmente se tiene:

$$C_{15} = C_{14} - C_{16}$$

$$C_{15} = C_{14} - C_{16}$$

$$C_{15} = 107,397 \text{ g.} - 6,768 \text{ g.}$$

$$C_{15} = 100,629 \text{ g.}$$

3.3.2.3.4 Rendimiento (conversión de la materia prima a producto)

A partir de la masa inicial de 100 g. de sebo de res procesado se calcula el rendimiento procediendo de la siguiente manera:

Datos:

Masa jabón cálcico + glicerina + agua = 109,632 g.

Masa jabón cálcico + glicerina = 100,629 g. = Masa experimental

Masa teórica = 140,306 g.

$$\% \eta = \frac{m_{\text{experimental}}}{m_{\text{teórica}}} * 100$$

$$\% \eta = \frac{102,035 \text{ g.}}{140,306 \text{ g.}} * 100$$

$$\% \eta = 72,72 \%$$

Este rendimiento obtenido resulta no muy alto, debido a que parte de la glicerina se separa del jabón porque no toda queda integrada dentro del producto sino como sobrenadante.

3.3.3 Balance de energía

En este acápite se realiza el balance de energía en los procesos de extracción del sebo de res procesado y la saponificación.

3.3.3.1 Balance de energía para la extracción del aceite de sebo de res

Durante el proceso de extracción del aceite de sebo de res se requiere vapor para elevar la temperatura ambiente, aproximadamente de 23°C a 100°C, y mantener en estas condiciones durante el tiempo de extracción (1 hr.). Para realizar el cálculo de la cantidad de vapor requerido, es necesario calcular la cantidad de calor que se requiere para extraer el aceite de sebo del chicharrón, y en base a las propiedades el vapor se puede encontrar el requerimiento de vapor para la extracción.

Los cálculos para el balance de energía para la extracción del aceite de sebo de res son los siguientes:

Especificaciones:

T. alimentación: 23°C

T. extracción: 100°C

$$\Delta T = 77^\circ\text{C}$$

De tablas de Capacidad calorífica se tiene:

C_p aceite de sebo de res = 0.21 kcal/kg °C (ver anexo 4 Tabla 4-B)

m sebo de res = 1.100 kg.

Para calcular la cantidad de calor:

Q=Calor

$$Q = m * C_p * \Delta T$$

$$Q = 1.100 \text{ kg.} * 0,21 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * 77^\circ\text{C}$$

$$Q = 17.787 \text{ kcal}$$

Hay que contar con las pérdidas de calor del 10% por radiación y conducción (Jurado E., 2010):

$$Q \text{ pérdidas} = Q * 10\%$$

$$Q \text{ pérdidas} = 17.787 \text{ kcal} * 0,1$$

$$Q \text{ pérdidas} = 1.778,7 \text{ kcal.}$$

$$Q_1 = Q + Q \text{ pérdidas}$$

$$Q_1 = 17.787 \text{ kcal.} + 1.778,7 \text{ kcal.}$$

$$Q_1 = 19.565,7 \text{ kcal.}$$

Cálculo de la cantidad de vapor:

Datos

$$P = 1,03323 \text{ kg./ cm}^2 = 101,3252498 \text{ kPa.}$$

Con esta presión se va a las tablas para vapor y se tiene los siguientes datos:

Temperatura de saturación=100 °C

$$H_{\text{vapor saturado y seco}} = 2.878,0 \text{ KJ/Kg.} = 687,86 \text{ kcal/kg.}$$

$$H_{\text{liquido}} = 419,1 \text{ KJ/Kg.} = 100,17 \text{ kcal/ kg.}$$

$$\Delta H = H_V - H_L$$

$$\Delta H = 687,86 \frac{\text{kcal.}}{\text{kg.}} - 100,17 \frac{\text{kcal.}}{\text{kg.}}$$

$$\Delta H = 587,69 \frac{\text{kcal.}}{\text{kg.}}$$

La cantidad de vapor necesaria para realizar el proceso de extracción del sebo de res será:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{Q_1}{\Delta H}$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{19.565,7 \text{ kcal.}}{587,69 \frac{\text{kcal.}}{\text{kg.}}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 33,29 \text{ kg.}$$

Hay que considerar las pérdidas de vapor por fuga en válvulas y uniones del 1% en la entrada (Jurado E., 2010):

$$m_{\text{pérdidas de vapor}} = m_{\text{vapor}} * 1\%$$

$$m_{\text{pérdidas de vapor}} = 33,29 \text{ kg.} * 0,01$$

$$m_{\text{pérdidas de vapor}} = 0,3329 \text{ kg.}$$

$$m_{\text{vapor total}} = m_{\text{vapor}} + m_{\text{pérdidas de vapor}}$$

$$m_{\text{vapor total}} = 33,29 \text{ kg.} + 0,3329 \text{ kg.}$$

$$m_{\text{vapor total}} = 33,6229 \text{ kg.}$$

3.3.3.2 Balance de energía para la saponificación del aceite de sebo de res

Los cálculos para el balance de energía para la saponificación del aceite de sebo de res son los siguientes:

Especificaciones:

De manera experimental se obtienen los datos de la temperatura:

$$T. \text{ alimentación: } 23^{\circ}\text{C}$$

$$T. \text{ saponificación: } 121^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 98^{\circ}\text{C}$$

De tablas de Capacidad calorífica se tiene:

$$Cp_{\text{agua}} = 1 \text{ kcal/kg } ^{\circ}\text{C} \text{ (ver anexo 4 Tabla 4-B)}$$

$$Cp_{\text{aceite de sebo de res}} = 0.21 \text{ kcal/kg } ^{\circ}\text{C} \text{ (ver anexo 4 Tabla 4-B)}$$

$$Cp_{\text{jabón}} = 0.650 \text{ kcal/kg } ^{\circ}\text{C} \text{ (Jurado E., 2010)}$$

$$Cp_{\text{Ca(OH)}_2} = 0.282 \text{ kcal/kg } ^{\circ}\text{C} \text{ ([48] Wikipedia, 2017)}$$

Los resultados de las masas del balance de materia son los siguientes:

$$m_{\text{agua}} = 15,121 \text{ g.}$$

$$m_{\text{aceite de sebo de res}} = 100 \text{ g.}$$

$$m_{\text{jabón}} = 106,898 \text{ g.}$$

$$m_{\text{Ca(OH)}_2} = 15,121 \text{ g.}$$

$$\text{Total} = 237,14 \text{ g.}$$

La capacidad calorífica media es:

$$\bar{C}_p = \sum c_{pi} * X_i$$

$$\bar{C}_p = C_p \text{ agua} * X_{\text{agua}} + C_p \text{ aceite s. r.} * X_{\text{aceite s. r.}} + C_p \text{ jabón} * X_{\text{jabón}} \\ + C_p \text{ Ca(OH)}_2 * X_{\text{Ca(OH)}_2}$$

$$\bar{C}_p = 1 \frac{\text{kcal.}}{\text{kg.} * ^\circ\text{C}} * \frac{0,015121 \text{ Kg.}}{0,23714 \text{ Kg.}} + 0,21 \frac{\text{kcal.}}{\text{kg.} * ^\circ\text{C}} * \frac{0,1 \text{ Kg.}}{0,23714 \text{ Kg.}} + 0,650 \frac{\text{kcal.}}{\text{kg.} * ^\circ\text{C}} \\ * \frac{0,106898 \text{ kg.}}{0,23714 \text{ Kg.}} + 0,282 \frac{\text{kcal.}}{\text{kg.} * ^\circ\text{C}} * \frac{0,015121 \text{ kg.}}{0,23714 \text{ Kg.}}$$

$$\bar{C}_p = 0,46 \frac{\text{kcal.}}{\text{kg.} * ^\circ\text{C}}$$

Para calcular la cantidad de calor requerido para la saponificación es:

Q=Calor

$$Q_2 = m * \bar{C}_p * \Delta T$$

$$Q_2 = 0,1 \text{ kg.} * 0,46 \frac{\text{kcal.}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * 98^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = 4,508 \text{ kcal.}$$

Para calcular la cantidad de vapor necesario para realizar el proceso de saponificación es:

Datos:

$$P=2,1 \text{ bar}= 2,1414 \text{ kg/ cm}^2= 210 \text{ kPa.}$$

$$\text{Temperatura de saturación}=121 ^\circ\text{C}$$

Con esta presión se va a las tablas para vapor (ver tablas anexo 4) y se tiene los siguientes datos:

$$H_{\text{vapor saturado y seco}} = 2.708,4 \text{ KJ/Kg.} = 647,32 \text{ kcal/kg.}$$

$$H_{\text{liquido}} = 507,95 \text{ KJ/Kg.} = 121,40 \text{ kcal/ kg.}$$

$$\Delta H = H_v - H_L$$

$$\Delta H = 647,32 \frac{\text{kcal}}{\text{kg.}} - 121,40 \frac{\text{kcal}}{\text{kg.}}$$

$$\Delta H = 525,92 \frac{\text{kcal}}{\text{kg.}}$$

La cantidad de vapor necesaria para realizar el proceso de saponificación será:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{Q_2}{\Delta H}$$
$$m_{\text{vapor}} = \frac{4,508 \text{ kcal}}{525,92 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}}$$
$$m_{\text{vapor}} = 0,00857 \text{ kg.}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de la materia prima

Los análisis físico-químicos se realizaron en los laboratorios del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, en el Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA) dependiente de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca y en el Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) en Quillacollo.

A continuación, se detallan los tipos de análisis realizados:

Laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID)

En este laboratorio se realizaron los análisis de la materia prima; sebo de res procesado. (ANEXO 1).

- Determinación porcentual de Acidez (como ácido Oleico).
- Determinación del Índice de peróxidos.
- Determinación del Índice de refracción (40°C).

Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA)

En este laboratorio se realizaron los análisis de la materia prima; sebo de res procesado. (ANEXO 1).

- Determinación del Índice de saponificación.
- Determinación porcentual de Acidez (como ác. Oleico).
- Determinación del Índice de peróxidos.

Centro de Investigaciones Químicas (CIQ)

En este laboratorio se realizaron los análisis de la materia prima; sebo de res procesado y análisis del producto.

- Determinación porcentual de la Composición de ácidos grasos.
- Determinación porcentual de la cantidad de calcio presente en el producto.
- Determinación porcentual de la cantidad de materia grasa presente en el producto.

4.1.1 Resultados de los análisis de la materia prima

4.1.1.1 Acidez, Índice de refracción, de peróxidos y saponificación

Los resultados del análisis físico-químico que se realiza a la materia prima (sebo de res acondicionado):

Tabla IV-1
Parámetros de análisis de la materia prima: Acidez, índice de refracción e índice de peróxidos

Parámetro	Unidad	Resultado
Índice de refracción (40°C)		1,4750
Acidez (como ác. Oleico)	%	2,88
Índice de peróxidos	mEqO ₂ /Kg	0,95

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).2017.

Tabla IV-2
Parámetros de análisis de la materia prima: Acidez, índice de saponificación e índice de peróxidos

Parámetro	Unidad	Resultado
Índice de saponificación	mg KOH/g grasa	229
Acidez (como ác. Oleico)	%	2,72
Índice de peróxidos	mEqO ₂ /Kg	1,61

Fuente: Instituto de Tecnología de Alimentos (ITA-Chuquisaca).2017.

Antes de empezar el proceso de elaboración de jabón cálcico se puede analizar los resultados anteriores del sebo de res procesado.

Una materia prima procesada fresca es un producto terminado bajo en acidez y oxidación, pues arrancamos con una materia prima que presenta un bajo nivel de descomposición y un tiempo de residencia bajo a la oxidación.

Para el sebo de res como subproducto de origen animal los valores máximos de acidez e índice de peróxidos establecidos por las normas estadounidenses y brasileñas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IV- 3**Parámetros máximos del índice de acidez e índice peróxidos para el sebo de res**

	USA		BRASIL	
Producto	Acidez %	I. Peróxidos mEqO ₂ /kg	Acidez %	I. Peróxidos mEqO ₂ /kg
Sebo(Bovino)	3,00	10,00	2,00	5,00

Fuente: AAFCO, 2006. Compendio Brasileiro de alimentación animal, 2009.

Aunque los parámetros máximos brasileros son más estrictos que los estadounidenses el sebo de res procesado tiene un índice de peróxidos que está dentro de ambas normas mientras que la acidez está en el medio de los valores límites de los dos países, dentro de la estadounidense pero fuera del brasiler.

Por lo que para detener el proceso oxidativo se usa un antioxidante (BHT).

Y se puede considerar una materia prima apta para el proceso de elaboración de jabón cálcico.

Según la NB 34016, Aceites y grasas- Cebo Comestible-Requisitos, noviembre 2004; nos da un rango del índice de saponificación de 190 como mínimo y 202 como máximo. En este caso, el índice de saponificación es un valor más alto que el rango de la norma que se nos dice que la proporción de ácidos grasos de cadena corta es menor.

4.1.1.2 Composición de la materia prima

El análisis de composición porcentual realizado a la materia prima (sebo de res acondicionado) es de los ácidos grasos más significantes en la muestra:

Tabla IV-4
Composición de la materia prima

Compuesto	Unidad	Resultado
Oleico	%	42,3
Esteárico	%	21,1
Palmítico	%	24,7
Mirístico	%	0
Palmitoleico	%	1,5
Linoleico	%	2,6

Fuente: Centro de Investigaciones Químicas S.R.L. (CIQ).2017.

Los resultados porcentuales de la composición del sebo de res procesado nos permiten obtener la fracción molar, que multiplicada por el peso molecular de cada ácido graso nos ayuda a determinar el peso molecular del sebo de res procesado.

A continuación se detalla lo descrito anteriormente:

Tabla IV-5
Peso molecular del sebo de res acondicionado

Compuesto	Unidad	Resultado	Xi	Peso molecular (PM)	Xi * PM
Oleico	%	42,3	0,423	282,46	119,48058
Esteárico	%	21,1	0,211	284,48	60,02528
Palmítico	%	24,7	0,247	256,2	63,2814
Mirístico	%	0	0	228,37	0
Palmitoleico	%	1,5	0,015	254,41	3,81615
Linoleico	%	2,6	0,026	280,45	7,2917
SUMATORIA	%	92,2			253,89511

Fuente: Elaboración propia. 2017.

El peso molecular de la mezcla de ácidos grasos es igual a la sumatoria de la fracción molar por el peso molecular de cada ácido graso.

Debido a que este peso molecular es el equivalente al 92,2% de la muestra, se debe calcular el peso molecular del 100% de la mezcla.

$$\begin{array}{r}
 253,90 \text{ gramos/mol de \text{Ácido graso}} \text{ ----- } 92,2\% \\
 x \text{ gramos/mol de \text{Ácido graso}} \text{ ----- } 100\% \\
 \\
 x = 275,38 \text{ gramos/mol de \text{Ácido graso}}
 \end{array}$$

Este peso molecular es muy útil en la igualación estequiométrica para realizar el balance de materia del capítulo III.

4.1.2 Resultado de los análisis del producto final

Los análisis realizados para el producto final son el porcentaje de materia grasa total, calcio y humedad.

En la determinación del índice de saponificación de las diferentes muestras saponificadas, la grasa problema se saponifica con un exceso de disolución de KOH en etanol. La cantidad de KOH que no ha reaccionado se determina por valoración con HCl.

Por lo que a mayor cantidad de KOH que no reacciona mayor volumen de HCl al titular, y no reacciona porque el sebo ya ha reaccionado con el álcali en su mayor proporción lo que nos da un menor índice de saponificación.

A continuación se presenta el análisis de la muestra de producto final con más bajo índice de saponificación y mayor rendimiento en cuanto a producto:

Tabla IV-6
Parámetros de análisis del producto final

Parámetros	Unidad	Resultado
Materia grasa total	%	82,88
Calcio	%	7,37
Humedad	%	0,67

Fuente: Centro de Investigaciones Químicas S.R.L. (CIQ).2017.

Si bien los parámetros del análisis del producto se acercan a las especificaciones exigidas por la FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) de un porcentaje mayor al 84% en materia grasa, un porcentaje del 9% \pm 1 de calcio y un contenido de humedad menor al 6%, los mismos son parámetros basados en una fuente de origen vegetal.

En cambio, haciendo una comparación de los parámetros del análisis del producto obtenido y los parámetros de la tabla I-3 que corresponde a la empresa TMP de México que produce una grasa de sobrepaso cálcica de origen animal bajo el nombre de GANAFAT AG, el producto obtenido cumple con los requisitos ya que el porcentaje de materia grasa es mayor al 80%, el calcio presente es mayor al 7% y la humedad gracias al proceso de secado está en un 0,67%.

4.2 Resultado de las pruebas experimentales de elaboración de jabón cálcico

A continuación se detalla las respectivas interacciones que se realizó con las variables tiempo y temperatura; asimismo cada resultado de la variable respuesta.

Este procedimiento se llevó a cabo en el laboratorio de operaciones unitarias perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho con colaboración del Laboratorio de Química.

Tabla IV-7
Variable respuesta obtenida de las interacciones del proceso de elaboración de jabón cálcico

	Número de ensayo	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	I.S. (mg de Ca(OH) ₂ /g de grasa)
Replica 1	1	115	20	33,05
	2	115	30	24,40
	3	115	40	23,02
	4	121	20	36,97
	5	121	30	21,15
	6	121	40	19,74
	7	133	20	42,80
	8	133	30	36,44
	9	133	40	32,33
Replica 2	10	115	20	31,33
	11	115	30	20,59
	12	115	40	24,70
	13	121	20	33,49
	14	121	30	21,04
	15	121	40	22,00
	16	133	20	37,61
	17	133	30	33,78
	18	133	40	34,50
Replica 3	19	115	20	30,94
	20	115	30	23,61
	21	115	40	24,97
	22	121	20	32,81
	23	121	30	22,64
	24	121	40	20,42
	25	133	20	34,84
	26	133	30	36,70
	27	133	40	36,12

Fuente: Elaboración propia 2017

A continuación se detalla un resumen de las variables consideradas en las interacciones, la variable respuesta, el porcentaje de humedad, la masa inicial, la masa obtenida y el rendimiento.

121	30	21,15	7,21	100,01	108,059	100,792	140,320	71,83
121	30	21,04	7,68	100,156	107,027	99,393	140,525	70,73
121	30	22,64	7,5	100,024	105,877	98,490	140,340	70,18
121	40	19,74	6,93	100,002	109,632	100,629	140,309	72,72
121	40	22	7,13	100,005	104,606	97,644	140,313	69,59
121	40	20,42	7,41	100,55	105,011	97,767	141,078	69,3
133	20	42,8	6,78	100,105	101,204	94,778	140,453	67,48
133	20	37,61	7,44	100,22	98,698	91,864	140,615	65,33
133	20	34,84	6,66	100,1	100,726	94,436	140,446	67,24
133	30	36,44	6,03	100,258	104,599	98,651	140,668	70,13
133	30	33,78	6,98	100,206	104,745	97,910	140,595	69,64
133	30	36,7	6,5	100,087	103,298	96,994	140,428	69,07
133	40	32,33	6,55	100,13	107,613	100,997	140,489	71,89
133	40	34,5	6,61	100,225	104,237	97,774	140,622	69,53
133	40	36,12	6,12	100,005	103,218	97,265	140,313	69,32

Fuente: Elaboración propia. 2017.

Como se puede apreciar en la tabla IV-8, para las 27 interacciones de las variables temperatura y tiempo arrojan índices de saponificación distintos; asimismo, como se trata de sebo de res procesado no todas las muestras iniciales se realizaron con 100 gramos exactos debido a la untuosidad de la materia prima por lo que se registró la masa inicial de cada muestra para obtener un rendimiento más exacto.

Asimismo, para obtener el rendimiento de cada prueba se tuvo que obtener una masa teórica y una experimental. Para obtener la masa experimental lo primero que se realizó fue el secado del producto resultante para posterior pesado del jabón real seco (g) + Glicerina. Y la masa teórica se calcula analíticamente como en el apartado 3.3.2.3.3 Jabón formado del capítulo III.

Finalmente, el rendimiento se obtiene como se demuestra el apartado 3.3.2.3.4 Rendimiento del capítulo III, dividiendo la masa experimental entre la masa teórica y multiplicando por 100.

4.3 Análisis estadístico del diseño experimental

Para el tratamiento estadístico de los datos del diseño factorial, se utilizó el programa SPSS STATISTICS 18.0 (Statistical Package for the Social Sciences).

Mediante el Análisis de Varianza Univariante, se determina la influencia de los factores; tiempo y temperatura de saponificación, sobre la variable respuesta índice de saponificación expresado como los miligramos de hidróxido de calcio/ gramo de materia grasa. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del proceso de extracción introducidos al SPSS. De acuerdo al diseño factorial de 3^2 con tres replicas, se tiene:

Tabla IV-9
Datos para el análisis de varianza

	Número de ensayo	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	I.S. (mg de Ca(OH) ₂ /g de grasa)
Réplica 1	1	-1	-1	33,05
	2	-1	0	24,40
	3	-1	1	23,02
	4	0	-1	36,97
	5	0	0	21,15
	6	0	1	19,74
	7	1	-1	42,80
	8	1	0	36,44
	9	1	1	32,33
Réplica 2	10	-1	-1	31,33
	11	-1	0	20,59
	12	-1	1	24,70
	13	0	-1	33,49
	14	0	0	21,04
	15	0	1	22,00
	16	1	-1	37,61
	17	1	0	33,78
	18	1	1	34,50
Réplica 3	19	-1	-1	30,94
	20	-1	0	23,61
	21	-1	1	24,97
	22	0	-1	32,81
	23	0	0	22,64
	24	0	1	20,42
	25	1	-1	34,84
	26	1	0	36,70
	27	1	1	36,12

Fuente: Elaboración propia. 2017.

La siguiente tabla muestra las variables introducidas al programa para su análisis.

Tabla IV-10
Factores inter-sujetos

		N
Temperatura	-1,00	9
	0,00	9
	1,00	9
Tiempo	-1,00	9
	0,00	9
	1,00	9

Fuente: SPSS 18.0. 2017.

A continuación, la siguiente tabla muestra el análisis de varianza y la significancia de las variables analizadas.

Tabla IV-11
Análisis de Varianza

Variable dependiente: IS Índice de Saponificación					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1142,032 ^a	8	142,754	35,590	0,000
Intersección	23231,413	1	23231,413	5791,883	0,000
Temperatura	624,917	2	312,459	77,900	0,000
Tiempo	414,421	2	207,210	51,660	0,000
Temperatura * Tiempo	102,694	4	25,674	6,401	0,002
Error	72,199	18	4,011		
Total	24445,644	27			
Total corregida	1214,231	26			

a. R cuadrado = 0,941 (R cuadrado corregida = 0,914)

Fuente: SPSS 18.0. 2017.

De la tabla de análisis de varianza, se observa que las variables temperatura, tiempo y las interacciones; Temperatura, Tiempo y Temperatura* tiempo, influyen sobre el índice de saponificación, debido a que la significancia es menor que 0,05 considerando una confiabilidad del 95%.

El modelo matemático apropiado para el proceso de extracción es una ecuación empírica polinómica de segundo orden. (Wang, Xiaokun, & Wang, 2015); (Ahmadi, Heidari, & Mohammadi Nafchi, 2015). La predicción de la variable respuesta (Índice de Saponificación) está correlacionada a los coeficientes: (A) intersección, (B, C) lineales, (D, E) cuadráticos y (F) coeficientes de interacción.

$$Y = A + BX_1 + CX_2 + DX_1^2 + EX_2^2 + FX_1X_2$$

Los coeficientes se encontraron mediante regresión no-lineal partiendo de los coeficientes al azar; en la tabla IV-12 se tiene el historial de iteraciones.

Tabla IV-12
Historial de iteraciones

Número de iteraciones ^a	Suma de cuadrados residual	Parámetro					
		A	B	C	D	E	F
1.0	22408,912	1,000	0,100	0,500	0,200	0,300	0,900
1.1	166,001	22,957	4,917	-4,224	5,623	3,941	,861
2.0	166,001	22,957	4,917	-4,224	5,623	3,941	,861
2.1	166,001	22,957	4,917	-4,224	5,623	3,941	,861

Fuente: SPSS 18.0. 2017.

Tabla IV-13
Estimaciones de los parámetros

Parámetro	Estimación	Error típico	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
A	22,957	1,210	20,441	25,473
B	4,917	,663	3,539	6,295
C	-4,224	,663	-5,603	-2,846
D	5,623	1,148	3,236	8,010
E	3,941	1,148	1,554	6,328
F	,861	,812	-0,827	2,549

Fuente: SPSS 18.0. 2017.

La siguiente tabla muestra la variabilidad de los datos respecto al modelo. Un R^2 aproximado a 1 indica que la variación de y es explicada por los términos presentes en el modelo.

Tabla IV-14
ANOVA^a

Origen	Suma de cuadrados	gl	Medias cuadráticas
Regresión	24279,644	6	4046,607
Residual	166,001	21	7,905
Total sin corrección	24445,644	27	
Total corregido	1214,231	26	

Variable dependiente: Índice de Saponificación

a. R cuadrado = $1 - (\text{Suma de cuadrados residual}) / (\text{Suma corregida de cuadrados}) = ,863$.

Fuente: SPSS 18.0. 2017.

El modelo matemático para la elaboración de jabón cálcico es:

$$Y = 22,957 + 4,917X_1 - 4,224X_2 + 5,623X_1^2 + 3,941X_2^2 + 0,861X_1X_2$$

Esta ecuación relaciona todas las variables introducidas con el rendimiento. Donde:

Y; mg de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /g de grasa

X1; Temperatura, °C.

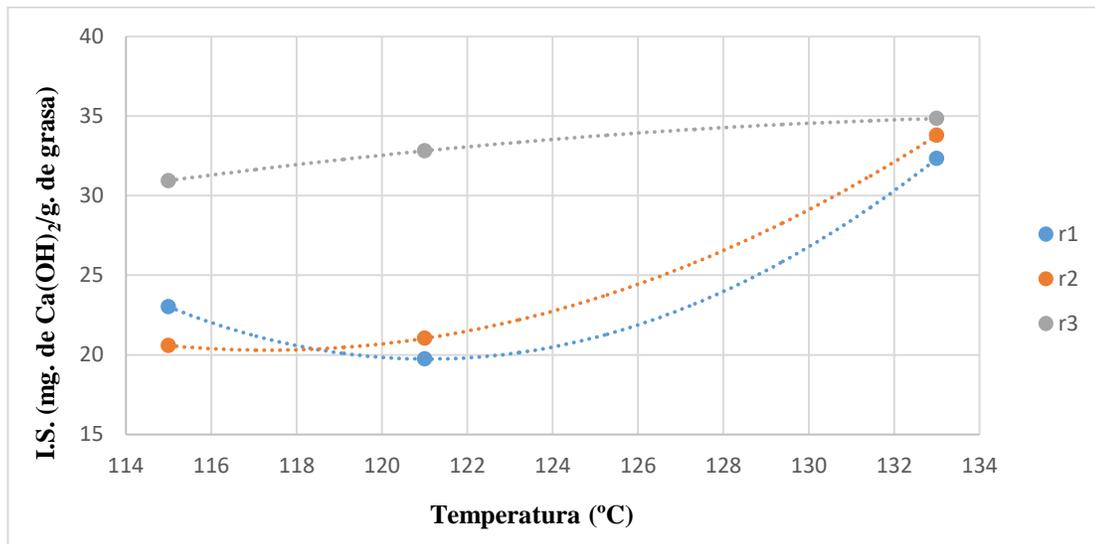
X2; Tiempo, minutos.

Para observar la influencia de una variable o factor sobre otro, se presenta el siguiente análisis.

4.3.1 Temperatura vs Índice de saponificación

Para observar el efecto de la temperatura sobre el índice de saponificación se construyeron las siguientes gráficas a diferentes tiempos considerando el mejor valor de las tres réplicas.

Figura 4-1
Variación del índice de saponificación respecto a la temperatura



Donde r1, r2 y r3 son los tiempos: 40, 30 y 20 minutos respectivamente.

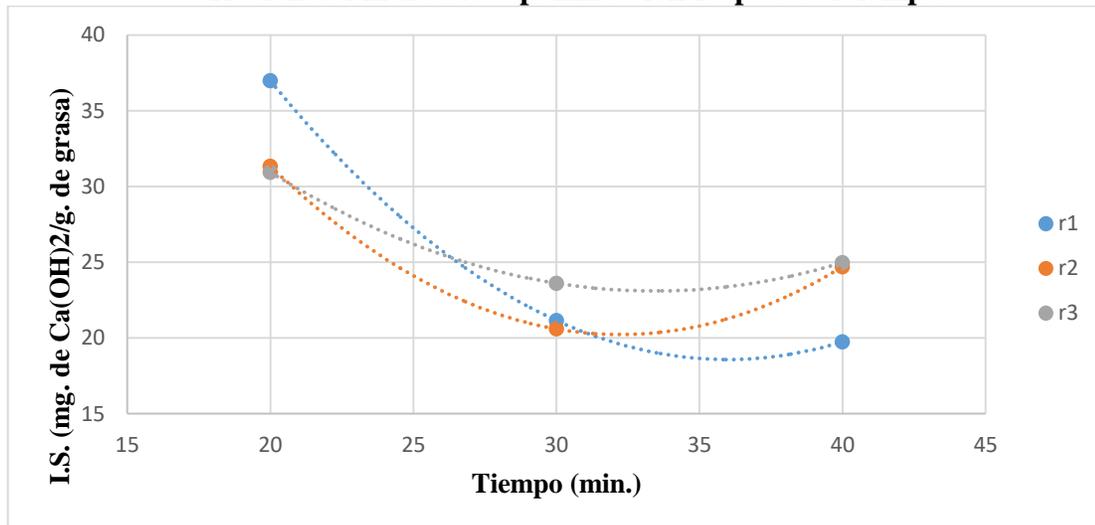
Fuente: Elaboración propia. 2017.

Como se puede observar en la gráfica, el índice de saponificación disminuye a menor temperatura; por tanto, esa disminución nos dice que se saponifica mayor cantidad de grasa y se obtiene mayor cantidad de jabón cálcico.

4.3.2 Tiempo vs Índice de saponificación

La siguiente gráfica construida a partir de los datos de la tabla IV-6 muestra la variación del índice de saponificación en función del tiempo a las diferentes temperaturas (121, 115 y 133 °C).

Figura 4-2
Variación del índice de saponificación respecto al tiempo



Donde r1, r2 y r3 son las temperaturas: 121, 115 y 133 grados centígrados respectivamente.

Fuente: Elaboración propia. 2017.

Como se puede observar en la gráfica, el índice de saponificación disminuye a mayor tiempo; por tanto, esa disminución nos dice que se saponifica mayor cantidad de grasa y se obtiene mayor cantidad de jabón cálcico.

4.4 Cálculos y resultados del balance de materia y energía

A continuación se presenta un resumen de balance de materia y energía:

Tabla IV-15
Resumen del balance de materia

Corriente	Cantidad	Unidad
C ₁ =Sebo de res a procesar	1.100	kilogramos
C ₂ = Sebo de res picado	1.100	kilogramos
C ₃ = Sebo de res picado y refrigerado	1.100	kilogramos
C ₄ = Aceite de sebo de res	990	kilogramos
C ₅ = Chicharrón	110	kilogramos
C ₆ = Aceite de sebo de res para el proceso experimental	100	gramos
C ₇ = Aceite de sebo de res para almacenar	989,9	kilogramos
C ₈ = Aceite de sebo de res procesado	100	gramos
C ₉ =Agua destilada	15,121	gramos
C ₁₀ = Hidróxido de calcio	15,121	gramos
C ₁₁ = Butil hidróxi tolueno	0,02	gramos
C ₁₂ = Jabón cálcico + glicerina+ agua	109,362	gramos
C ₁₃ = Agua evaporada	20,63	gramos
C ₁₄ = Jabón cálcico + glicerina+ agua	107,397	gramos
C ₁₅ = Jabón cálcico + glicerina	100,629	gramos
C ₁₆ = Agua evaporada	6,768	gramos

Fuente: Elaboración propia. 2017.

Tabla IV-16
Resumen del balance de energía

Corriente	Cantidad	Unidad
Q ₁ = Calor necesario para la extracción del sebo de res	19.565,7	kilocalorías
Q ₂ = Calor necesario para la saponificación del aceite de res	4,508	kilocalorías

Fuente: Elaboración propia. 2017.

4.5 Análisis estimativo de los costos de producción a escala laboratorio

Para el cálculo de costos se tiene las siguientes referencias de costos; energía eléctrica 1,502 bs/ KWh, combustible gas 8 bs/m³, de agua es de 0,7 bs/m³ y del reactivo de hidróxido de calcio es de 1200 bs/kilo. Para el análisis de costos se tiene que de los

100 gramos de sebo de res procesado, se obtienen 100,437 gramos de jabón cálcico. La siguiente tabla estima el costo de producción.

Tabla IV-17
Costos de producción

	Requerimiento energético para el proceso de acondicionamiento de la materia prima					
Equipos	Potencia (HP)	Potencia (KW)	Tiempo (hr)	Energía (KW-hr)	Costo (Bs)	Costo total (Bs)
Caldera	2,96	2,21	1,00	2,21	3,32	
Motor de digestor	20,00	14,91	1,50	22,37	33,60	
Bomba de la caldera	2,96	2,21	1,00	2,21	3,32	
Bomba de retorno	2,96	2,21	1,00	2,21	3,32	
Bomba de tratamiento de agua	2,96	2,21	1,00	2,21	3,32	
Gas natural					61,86	
Agua					47,72	
Sebo (1.100 kg)					2.750	
Costo proceso					2.906,46	0,29
	Requerimiento energético para el proceso de elaboración de jabón cálcico					
Equipos	Potencia (HP)	Potencia (KW)	Tiempo (hr)	Energía (KW-hr)	Costo (Bs)	
Calentador		0,63	1,13	0,71	0,83	
Autoclave		2	1,67	3,34	3,91	
Secador		2	1,5	3,00	3,51	
Costo proceso					8,26	8,26
	Requerimiento de insumos y reactivos					
Reactivos	Volumen (L)	Costo (Bs/L)	Costo (Bs)			
Agua	3	0,0007	0,00			
Agua destilada	0,015121	9	0,14			
	Peso (Kg)	Costo (Bs/Kg)				
Hidróxido de calcio	0,015121	1200	18,15			
BHT	0,00002	1000	0,02			
Costo insumo y reactivos			18,30			18,3

Costo Total (Bs)	26,85
------------------	-------

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El costo total de producción de aproximadamente 100,437 gramos de jabón cálcico fue de 26,85 Bs.

Para producir aproximadamente 1000,437 gramos de jabón cálcico seco se requeriría 1000 gramos de sebo de res procesado y 151,21 gramos de hidróxido de calcio; por lo tanto, el costo total pronosticado sería de 268,5 Bs.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados en el presente proyecto, se tienen las siguientes conclusiones.

- ✓ El sebo de res utilizado para el proceso de elaboración de jabón cálcico, fue obtenido del Matadero Frigorífico Municipal de Tarija. Los parámetros físico-químicos analizados por el laboratorio CEANID e ITA son; Índice de saponificación 229 mg de KOH/ g grasa, la acidez (como ac. Oleico) del 2,72 %, índice de peróxidos 1,61 meq/ Kg y el índice de refracción de 1,4750.
De acuerdo a normas internacionales del procesado de subproductos de origen animal, las características presentadas por el aceite de sebo de res son las adecuadas para considerarlo como materia prima para la elaboración de jabón cálcico.
- ✓ De acuerdo a una matriz de selección se determinó que la forma de elaboración de jabón cálcico más óptima es por el método de saponificación a altas presiones ya que:
 - ♣ Alcanza altos contenidos de ácidos grasos sin necesidad de ningún proceso adicional.
 - ♣ El tiempo de saponificación es menor.
 - ♣ Los parámetros de reacción pueden ser operados de forma automática.
- ✓ Las variables estudiadas fueron temperatura y tiempo, siendo ambas variables significativas de acuerdo al análisis de varianza. Las condiciones óptimas de saponificación son; temperatura: 121°C y 40 minutos, correspondiente al nivel medio en la variable temperatura y el nivel máximo en la variable tiempo, con un rendimiento del 72,72% (1,00629 g. /g. de sebo de res procesado).
- ✓ La variable respuesta fue el índice de saponificación y de acuerdo a los resultados obtenidos de la misma para cada muestra, se escogió a la que da

menor índice de saponificación y un mayor rendimiento; para posterior análisis de la calidad del jabón cálcico obtenido.

- ✓ Los análisis realizados en el Centro de Investigaciones Químicas da como resultado un jabón cálcico con un contenido de materia grasa total del 82,88%, un 7,37 % en contenido de calcio y un 0,63% de humedad.
- ✓ Comparando el jabón cálcico obtenido con el comercializado en México que es elaborado con la misma fuente de ácidos grasos, bajo el nombre de GANAFAT AG:

COMPOSICIÓN		
	GANAFAT AG	EXPERIMENTAL
Ácidos grasos totales	80.22%	82,88%
Humedad	12.00%	0,67%
Calcio	7.00%	7,37%

Se puede decir que el jabón cálcico obtenido experimentalmente cumple satisfactoriamente los parámetros exigidos.

- ✓ Aunque el rendimiento no es tan alto debido a la composición de ácidos grasos de la materia prima, es el rendimiento más alto que se espera obtener de esta fuente.
- ✓ Se puede concluir que el sebo proveniente de la provincia Cercado del departamento de Tarija es apto para la elaboración de complementos alimenticios para su posterior incorporación en alimento balanceado para animales monogástricos.
- ✓ El costo del producto es demasiado elevado debido al costo del hidróxido de calcio adquirido, ya que para producir aproximadamente 1000,437 gramos de jabón cálcico seco se requeriría 1000 gramos de sebo de res procesado y 151,21 gramos de hidróxido de calcio, lo que implica un costo de 268,5 Bs.; comparado a los 9,17 Bs que es el costo de importación.

5.2 Recomendaciones

- ✓ Adquirir una cal específica para trabajar en el sector agroalimentario, la misma, al no ser un reactivo para análisis de laboratorio, disminuye considerablemente su costo.
- ✓ A escala laboratorio y sin agitación, trabajar con menor cantidad de materia prima implica mayor superficie de contacto entre las partículas de sebo de res y el álcali.
- ✓ Controlar el proceso de extracción del aceite de sebo de res ya que excederse en el tiempo de fusión conlleva una degradación térmica que de igual manera nos dará un valor alto de índice de acidez e índice de peróxidos.
- ✓ Aprovechar el chicharrón separado del proceso de fusión del sebo de res, para la elaboración de harina de carne.
- ✓ Realizar un estudio de prefactibilidad económica que permita definir la rentabilidad de producir jabón cálcico de sebo de res a escala industrial en las condiciones establecidas en la investigación.
- ✓ Probar los efectos nutricionales sobre los animales monogástricos del jabón cálcico obtenido, puesto que el mismo cumple con las especificaciones de jabones cálcicos comercializados actualmente y de la misma fuente lipídica.

Referencias bibliográficas

- [1] **Alemán Miguel.** (2015). GanaFat AG®. Recuperado el 23 de octubre de 2016, desde: <http://www.tmpmexico.mx/images/media/inicio/ganafat-ag.pdf>
- [2] **Alfredo Vinci, Kenneth R. Cummings, M. Esteban Lajoie.** Proceso por lotes para la producción de sal de metal alcalinotérreo de ácidos grasos. Estados Unidos, US 08/285,432, CI. C07C51/41, Estados Unidos, 1993.
- [3] **Avihol Cía Ltda. (s.f.).** Magnapac. Recuperado el 20 de junio de 2016, desde: <http://avihol.com.ec/web/index.php/producto/magnapac/>
- [4] **Baley, A. (1951).** Aceites y grasas industriales (2ª. Ed.). Argentina: Buenos Aires.
- [5] **Biblioteca digital. (s.f.).** Jabones, saponinas y detergentes. Recuperado el 20 de junio de 2016, desde: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/51/htm/sec_10.html
- [6] **Borras, W. (2013, martes, diciembre).** Teoría Básica de Jabones. Recuperado el 20 de junio de 2016, desde: <http://teoriadejabones.blogspot.com/2013/12/saponificacion-y-neutralizacion.html>
- [7] **Carrero I.; Herráez A. (s.f.).** Enranciamiento de los lípidos de los alimentos. Recuperado el 18 de mayo de 2017, desde: <http://biomodel.uah.es/model2/lip/enranciamiento.htm>
- [8] **Calфина (s.f.)** Datos técnicos de la CAL y sus derivados. Recuperado el 18 de mayo de 2017, desde: https://calfina.com.mx/datos_tecnicos_de_la_cal.php
- [9] **Cajal A. (s.f.)** Hidróxido de Calcio: Fórmula, Propiedades, Reactividad y Usos. Recuperado el 18 de mayo de 2017, desde: <https://www.lifeder.com/hidroxido-de-calcio/>
- [10] **Calcinor. (s.f.).** El carbonato cálcico micronizado se emplea como aditivo alimentario en piensos animales. Recuperado el 18 de junio de 2017, desde: <http://www.calcinor.com/es/sectores/agroalimentario/alimentacion-animal/>

[11] **Chambilla, M. (2016).** Elaboración de jabón duro a partir de aceite usado proveniente de frituras de pollo, por el método de reacción en caliente. Proyecto de Grado, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija, Bolivia.

[12] **Cuca, M. (s.f.).** Estudios Recientes con Calcio en Gallinas de Postura. Engormix, (s.Nº.pp.).

[13] **Donald L. Palmquist, Thomas C. Jenkins.** Proceso para la alimentación de animales rumiantes y composición para uso en el mismo. Estados Unidos, US 06/567,617, CI. A23K1/16, A61K31/20, Estados Unidos, 1981.

[14] **Droguería Cosmopolita. (2008).** B.H.T. antioxidante [500 g]. Recuperado el 18 de junio de 2017, desde: <http://www.cosmotienda.com/tienda/bht-antioxidante-500-g-p-3221.html>

[15] **Enciclopedia de los Alimentos (s.f.).** Sebo bovino. Recuperado el 20 de junio de 2016, desde: <http://es.foodlexicon.org/r0000350.php>

[16] **Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (s.f.).** Grasas elaboradas, técnicas o industriales. Recuperado el 20 de junio de 2016, desde: http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/grasas-elaboradas-t%C3%A9cnicas-o-industriales

[17] **Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (2002).** NORMAS FEDNA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE MATERIA PRIMA. Recuperado el 2 de noviembre de 2016, desde: http://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/8_Grasas_y_aceites.pdf

[18] **Ganasal (2014).** GANAGRAS también para monogástricos. Recuperado el 15 de abril de 2016, desde: <http://salesganasal.com/2014/02/12/ganagras-tambien-para-monogastricos/>

[19] **García, M. (2011, octubre).** La química en la elaboración del jabón artesanal. Recuperado el 20 de junio de 2016, desde: <http://rincondelaciencia.educa.madrid.org/Curiosid2/rc-139/rc-139.html>

[20] **Grupo Calidra S.A. de C.V. (2007).** Hoja de Seguridad Hidróxido de Calcio. Recuperado el 18 de mayo de 2017, desde: <http://calidra.com/wp-content/uploads/pdf/MSDSCalHidratadaVer07.pdf>

[21] **Guerrero J.; Ojeda A.; Landinez J.; López N. (2014).** Efecto de diferentes sales cálcicas de ácidos grasos sobre parámetros de la fermentación ruminal in vitro de *Cynodon dactylon*. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 39 (6) 404 - 409.

[22] **Ibarra, S. (2014).** Nutrición y manejo de reproductoras livianas: alimentación de la gallina en postura. El sitio avícola, (s.Nº.pp.).

[23] **Inma (2012).** Enranciamiento de las grasas: índices de peróxidos. Recuperado el 18 de mayo de 2017, desde: <http://quimicaparatodosymuchomas.blogspot.com/2012/12/enranciamiento-de-las-grasas-indice-de.html>

[24] **Isidro, J.; Luizaga, I. (2010).** Desarrollo de un proceso para la obtención de jabón cálcico a partir de residuos grasos proveniente de la refinación de aceites de la empresa I.A.S.A. Proyecto de Grado, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

[25] **Jurado, E. (2010).** Optimización de la etapa de saponificación en la producción de jabón duro de la planta “San Lorenzo S.R.L.”. Proyecto de Grado, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija, Bolivia.

[26] **Kenneth R. Cummings, Thomas F. Sweeney, James W. dinas, Gerard J. Gutowski.** Producción de composiciones de sal de ácido graso de la dieta. Estados Unidos, US 07/802,267, CI. A23K1/16, A23K1/175, C07C51/41, Estados Unidos, 1991.

[27] **Meker, D; Hamilton, R. (2014).** Perspectiva general de la industria del reciclaje de subproductos de origen animal. Engormix, (s.Nº.pp.).

[28] **Merck KGaA. (2017).** Hidróxido de calcio. Recuperado el 18 de mayo de 2017, desde: http://www.merckmillipore.com/INTL/en/product/Calcium-hydroxide,MDA_CHEM-102110?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

[29] **Montgomery, D. (1991).** Diseño y análisis de experimentos. México: Iberoamérica.

[30] **Organización Mundial de la Salud- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1999).** Norma del Codex para grasas animales especificadas Codex Stan 211. Rusia.

[31] **Pablos Pérez, E.** Procedimiento de fabricación de jabones cálcicos para alimentación animal. España, PCT/ES2005/070190, CI. C11D9/02, A23K1/00, España, 2005.

[32] **Pablos Pérez, E.** Procedimiento de fabricación de jabones cálcicos para alimentación animal. España, PCT/ES2005/070190, CI. C11D9/02, A23K1/00, España, 2005.

[33] **Pablos Pérez, E.** Procedimiento de producción de jabones cálcicos, sódicos o magnésicos de ácidos grasos o de oleínas de grasas vegetales o animales y su uso como nutrientes en alimentación de animales monogástricos. España, PCT/ES2005/070131, CI. C11D9/02, A23K1/18, C07C31/22, España, 2004.

[34] **R. Codony, F. Guardiola, R. Bou y A. Tres (2010).** Valoración analítica y nutricional de las grasas. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición. (s.v), (p.175). Recuperado el 15 de abril de 2016, desde: http://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/53-10CAP_VII.pdf

[35] **Steve Ziller.** (1996). Grasas y Aceites Alimentarios. España: Editorial Acribia S.A.

[36] **Soto Vásquez M. (2011).** Control de Calidad de Aceites Vegetales. Recuperado el 3 de mayo de 2017, desde: <https://es.slideshare.net/maryluz/control-de-calidad-de-aceites-vegetales-por-qf-maril-roxana-soto-vsquez>

[37] **Spitz, L. (2009).** Soap Manufacturing Technology (1ª. Ed.). USA: Orlando, Florida.

[38] **Textos científicos (2005, jueves, junio).** Jabones- introducción. Recuperado el 20 de junio de 2016, desde: <http://www.textoscientificos.com/jabon/introduccion>

[39] **Textos científicos. (s.f.).** Fabricación de jabones. Recuperado el 18 de junio de 2017, desde: <https://www.textoscientificos.com/jabon/fabricacion>

[40] **TMP México.** (2015). GanaFat AG®. Recuperado el 23 de octubre de 2016, desde: <http://www.tmpmexico.mx/ganafat-ag/>.

[41] **Torres, F. (2012).** Control de acidez y oxidación en aceites y harinas de subproductos de origen animal. Recuperado el 18 de junio de 2017, desde:

<http://www.engormix.com/balanceados/articulos/control-acidez-oxidacion-aceites-t29588.htm>

[42] **Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.** (s.f.). Las necesidades de nutrientes de los animales. Trabajo presentado en la clase de nutrición animal, España.

[43] **Universidad Nacional Abierta y a Distancia.** (s.f.). Lección 32. Ácidos grasos. Recuperado el 2 de noviembre de 2016, desde: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211615/Modulo_exe/211615_Mexe/leccion_32_cidos_grasos.html

[44] **Universidad Nacional Abierta y a Distancia.** (s.f.). Lección 33. Propiedades fisicoquímicas de las grasas y aceites. Recuperado el 2 de noviembre de 2016, desde: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211615/Modulo_exe/211615_Mexe/leccion_33_propiedades_fisicoquimicas_de_las_grasas_y_aceites.html

[45] **Venemedia (2014).** Definición de viscosidad. Recuperado el 18 de mayo de 2017, desde: <http://conceptodefinicion.de/viscosidad/>

[46] **Wikipedia (2013).** Jabón. Recuperado el 20 de junio de 2016, desde: <https://es.wikipedia.org/wiki/Jab%C3%B3n>

[47] **Wikipedia (2017)** Hidróxido de calcio. Recuperado el 18 de junio de 2017, desde: https://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3xido_de_calcio

[48] **William McAskie.** Piensos para rumiantes, su producción y un aparato para uso en el mismo. Estados Unidos, US 06/848,144, CI. A23K1/175, A23K1/16, A23K1/18, Estados Unidos, 1985.

[49] **Yubaille, M. (2013).** Evaluación de tres métodos de saponificación de grasas destinadas a la alimentación de vacas lecheras. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. Recuperado el 15 de abril de 2016, desde: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2751>

