



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS DE SAPONIFICACIÓN SOBRE RESIDUOS DE ACEITE DE PALMA (*ELAEIS GUINEENSIS*) Y RESIDUOS DE ACEITE DE SOYA (*GLYCINE MAX*) PARA LA ELABORACIÓN DE GRASAS SOBREPASANTES (JABONES CÁLCICOS) A NIVEL DE LABORATORIO**

**María Jimena Ramírez Esteban**

Asesorado por el Ing. Marco Vinicio Carballo García

Guatemala, septiembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS DE SAPONIFICACIÓN SOBRE RESIDUOS DE ACEITE DE PALMA (*ELAEIS GUINEENSIS*) Y RESIDUOS DE ACEITE DE SOYA (*GLYCINE MAX*) PARA LA ELABORACIÓN DE GRASAS SOBREPASANTES (JABONES CÁLCICOS) A NIVEL DE LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARÍA JIMENA RAMÍREZ ESTEBAN**

ASESORADO POR EL ING. MARCO VINIO CARBALLO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS DE SAPONIFICACIÓN SOBRE RESIDUOS DE ACEITE DE PALMA (*ELAEIS GUINEENSIS*) Y RESIDUOS DE ACEITE DE SOYA (*GLYCINE MAX*) PARA LA ELABORACIÓN DE GRASAS SOBREPASANTES (JABONES CÁLCICOS) A NIVEL DE LABORATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 22 de enero de 2019.



**María Jimena Ramírez Esteban**

Ing. Williams Álvarez  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
U.S.A.C  
Presente

Estimado Ingeniero Williams Álvarez:

Por este medio, hago constar que yo, el Ingeniero Marco Vinicio Carballo García, con colegiado número mil ciento ochenta (1181), doy como visto bueno el desarrollo del trabajo de investigación final de graduación del alumno María Jimena Ramírez Esteban, identificado con CUI 3007119990101, alumno a quien he podido apoyar como asesor de su protocolo de tesis.

Dando por concluido el desarrollo de la misma investigación y planteando las soluciones inmediatas y efectivas para el beneficio de la institución donde se desarrolló la misma.

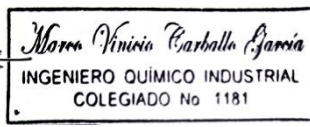

Doy por concluido de forma eficiente ante mi persona el desarrollo de su trabajo de investigación, como tema: "EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS DE SAPONIFICACIÓN SOBRE RESIDUOS DE ACEITE DE PALMA (ELAEIS GUINEENSIS) Y RESIDUOS DE ACEITE DE SOYA (GLYCINE MAX) PARA LA ELABORACIÓN DE GRASAS SOBREPASANTES (JABONES CÁLCICOS) A NIVEL DE LABORATORIO".

Línea de investigación: Informe final

Área: Química

Aprovecho la oportunidad para expresarle mi consideración.

Atentamente.



Marco Vinicio Carballo García  
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL  
COLEGIADO No 1181

Ing. Marco Vinicio Carballo García  
Colegiado 1181



Guatemala, 23 de abril de 2021.  
Ref. EIQ.TG-IF.014.2021.

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **074-2018**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL**

Solicitado por el estudiante universitario: **María Jimena Ramírez Esteban**.  
Identificado con número de carné: **3007119990101**.  
Identificado con registro académico: **201408425**.  
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.  
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

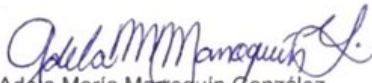
**EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS DE SAPONIFICACIÓN SOBRE RESIDUOS DE ACEITE DE PALMA (*Elaeis Guineensis*) Y RESIDUOS DE ACEITE DE SOYA (*Glycine Max*) PARA LA ELABORACIÓN DE GRASAS SOBREPASANTES (JABONES CÁLCICOS) A NIVEL DE LABORATORIO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

**Marco Vinicio Carballo García, profesional de la Ingeniería Química**

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Adela María Marroquín González  
profesional de la Ingeniería Química  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo

**Adela María Marroquín González**  
**Ingeniera Química Col. No. 1446**



Guatemala, 24 de septiembre de 2021  
Ref. EIQ.188.2021

**Aprobación del informe final del trabajo de graduación**

Ingeniera  
Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS DE SAPONIFICACIÓN SOBRE RESIDUOS DE ACEITE DE PALMA (*Elaeis Guineensis*) Y RESIDUOS DE ACEITE DE SOYA (*Glycine Max*) PARA LA ELABORACIÓN DE GRASAS SOBREPASANTES (JABONES CÁLCICOS) A NIVEL DE LABORATORIO** del(la) estudiante María Jimena Ramírez Esteban, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
DIRECCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
188

Ing. Williams G. Alvarez Mejia; P.H.Q. V.U.I.E.  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Cc. Archivo  
WGAM/wgam



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS  
QUÉDATE EN  
CASA**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Decanato**  
**Facultad de Ingeniería**  
**24189101 - 24189102**

DTG. 455-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS DE SAPONIFICACIÓN SOBRE RESIDUOS DE ACEITE DE PALMA (ELAEIS GUINEENSIS) Y RESIDUOS DE ACEITE DE SOYA (GLYCINE MAX) PARA LA ELABORACIÓN DE GRASAS SOBREPASANTES (JABONES CÁLCICOS) A NIVEL DE LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria: **María Jimena Ramírez Esteban**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, septiembre de 2021

AACE/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser una importante influencia en mi vida y permitirme llegar a este momento.
- Mis padres** Javier Ramírez e Iris Esteban de Ramírez. Por ser mi inspiración y por su amor y apoyo durante todos estos años.
- Mis hermanos** Alejandra, Javier y Dani Ramírez Esteban. Por su comprensión, apoyo y todo su amor.
- Mi familia** Por ser un ejemplo de perseverancia, por su apoyo incondicional y por creer en mí.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el centro de estudios que me ha formado como profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por darme todo el conocimiento necesario para ejercer mi profesión.
<b>Cementos Progreso</b>	Por todo el apoyo brindado y la confianza de brindarme sus instalaciones para poder realizar mi trabajo de investigación.
<b>Mi asesor</b>	Ingeniero Marco Carballo por ser un ejemplo como profesional y por todo el apoyo brindado.
<b>Ingeniera Marcia Salguero</b>	Por acompañarme durante todo este proceso y ser un apoyo incondicional para lograr este proyecto.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Por recorrer este camino juntos y por cada momento de estrés y de alegría que compartimos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Justificación .....	4
1.2. Determinación del problema.....	5
1.2.1. Definición.....	6
1.2.2. Delimitación .....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Animales rumiantes.....	7
2.2. LÍPIDOS .....	8
2.2.1. Lípidos saponificables .....	9
2.3. Influencia del metabolismo lipídico en el balance energético .....	9
2.4. Grasas naturales .....	10
2.4.1. Efecto de residuos de grasas en el medio ambiente.....	11
2.4.2. Composición química y física de las grasas .....	11
2.5. Métodos de protección de las grasas ante la degradación ruminal.....	13
2.6. Palma africana ( <i>Elaeis Guineensis</i> ).....	15

2.7.	Aceite de palma .....	15
2.8.	Ácido graso de palma africana o ácido palmítico .....	15
2.9.	La palma africana en Guatemala .....	16
2.10.	Soya .....	17
2.11.	Aceite de soya.....	17
2.12.	Ácido graso de soya.....	18
2.13.	Grasas de sobrepaso .....	18
2.14.	Jabones cálcicos.....	19
2.15.	Hidróxido de calcio.....	22
2.16.	Óxido de calcio.....	23
2.17.	Proceso productivo de la cal viva y cal hidratada.....	23
2.18.	Óxido de calcio y magnesio .....	24
2.19.	Metodología .....	24
2.20.	Residuos de aceite de palma (RAP) y residuos de aceite de soya (RAS).....	25
2.21.	Propuesta de saponificación .....	26
2.22.	Bosquejo de equipo para la reacción .....	30
2.23.	Bromatología.....	30
2.23.1.	Laboratorio de bromatología de la Universidad de San Carlos de Guatemala .....	31
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	33
3.1.	Localización .....	33
3.2.	Variables del método.....	33
3.3.	Delimitación de campo de estudio .....	34
3.4.	Diseño experimental.....	35
3.5.	Recursos humanos disponibles .....	37
3.6.	Recursos materiales disponibles.....	37
3.6.1.	Equipos auxiliares .....	37

3.6.2.	Cristalería .....	38
3.6.3.	Reactivos .....	38
3.6.4.	Instrumentos de medición.....	39
3.7.	Técnica cuantitativa.....	39
3.8.	Procedimiento.....	39
3.9.	Diseño de tratamientos.....	40
3.10.	Recolección y ordenamiento de la información .....	42
3.10.1.	Datos de la cinética de reacción de saponificación para la elaboración de grasas sobrepasantes .....	42
3.11.	Análisis estadístico .....	44
3.11.1.	Media.....	44
3.11.2.	Desviación estándar .....	44
3.11.3.	Análisis de varianza de n factor (ANOVA) .....	45
3.11.4.	Resultados análisis ANOVA .....	46
3.11.5.	Conclusión análisis ANOVA.....	49
4.	RESULTADOS .....	51
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	59
	CONCLUSIONES .....	63
	RECOMENDACIONES .....	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	67
	APÉNDICES .....	73
	ANEXOS .....	77



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura química de los lípidos .....	8
2.	Influencia de los lípidos en el metabolismo ruminal .....	10
3.	Composición química de las grasas.....	12
4.	Acción de las GS en el sistema digestivo de animales rumiantes..	14
5.	Estructura química del ácido palmítico.....	16
6.	Reacción de saponificación para la elaboración de JC.....	20
7.	Solubilidad de los JC dentro del organismo de animales rumiantes .	21
8.	Molécula del hidróxido de calcio .....	22
9.	Molécula del óxido de calcio .....	23
10.	Balanza digital.....	26
11.	Vidrio de reloj .....	26
12.	Plancha de calentamiento.....	27
13.	Reactor de acero inoxidable .....	27
14.	Varilla de agitación.....	28
15.	Termómetro digital .....	28
16.	Cronómetro digital.....	29
17.	Bandeja rectangular de acero inoxidable .....	29
18.	Dimensiones para el reactor de acero inoxidable .....	30
19.	Servicios prestados en el laboratorio de bromatología .....	31
20.	Diagrama del diseño experimental.....	36
21.	Diagrama de clasificación de muestras.....	41

## TABLAS

I.	Definición operacional de las variables cuantificables .....	34
II.	Cristalería utilizada en la fase experimental .....	38
III.	Cantidad de reactivos a utilizar .....	38
IV.	Datos para la caracterización de las reacciones realizadas para la obtención de las primeras muestras .....	42
V.	Datos para la caracterización de las reacciones realizadas para la obtención de las segundas muestras .....	43
VI.	Datos para la caracterización de las reacciones realizadas para la obtención de las terceras muestras .....	43
VII.	Análisis de varianza para el porcentaje de materia seca en los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite palma variando el tipo de cal utilizado en la reacción.....	46
VIII.	Análisis de varianza para la consistencia de los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de palma variando el tipo de cal utilizado en la reacción.....	46
IX.	Análisis de varianza para el tiempo de reacción de saponificación de los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de palma variando el tipo de cal utilizado en la reacción.....	47
X.	Análisis de varianza para el porcentaje de materia seca en los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de soya variando el tipo de cal utilizado en la reacción.....	47
XI.	Análisis de varianza para la consistencia de los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de soya variando el tipo de cal utilizado en la reacción.....	48
XII.	Análisis de varianza para el tiempo de reacción de saponificación de los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de soya variando el tipo de cal utilizado en la reacción.....	48



XIII.	Características de la reacción de saponificación entre residuos de aceite de palma y cal viva .....	51
XIV.	Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de palma con cal viva (CaO) .....	52
XV.	Características de la reacción de saponificación entre residuos de aceite de palma y cal hidratada.....	52
XVI.	Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de palma con cal hidratada (Ca (OH) <sub>2</sub> ) .....	53
XVII.	Características de la reacción de saponificación entre los residuos de aceite de palma y cal dolomítica .....	53
XVIII.	Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de palma con cal dolomítica (CaMgOH) .....	54
XIX.	Características de la reacción de saponificación entre residuos de aceite de soya y cal viva .....	54
XX.	Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de soya con cal viva (CaO) .....	55
XXI.	Características de la reacción de saponificación entre residuos de aceite de soya y cal hidratada.....	55
XXII.	Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de soya con cal hidratada (Ca (OH) <sub>2</sub> ) .....	56
XXIII.	Características de la reacción de saponificación entre residuos de aceite de soya y cal dolomítica .....	56

XXIV.	Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de palma con cal dolomítica (CaMgOH) .....	57
XXV.	Resumen de caracterización de las reacciones de saponificación realizadas.....	57
XXVI.	Resumen de los parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a las muestras de jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de palma (RAP) .....	58
XXVII.	Resumen de los parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a las muestras de jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de soya (RAS) .....	58

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>% Ca</b>	Porcentaje de calcio absorbido
<b>% MST</b>	Porcentaje de materia seca tratable



## **GLOSARIO**

<b>Aceite de palma</b>	Se produce a partir de los frutos de la palma africana y se utiliza como materia prima para la elaboración de productos de la industria alimentaria y cosmética.
<b>Aceite de soya</b>	Se extrae de las semillas de la soja, el aceite es de color amarillo claro y tiene una proporción muy buena de ácidos grasos insaturados.
<b>Ácido graso</b>	Son componentes de naturaleza lipídica formada por una larga cadena hidrocarbonada lineal que proporcionan energía al cuerpo.
<b>Análisis bromatológico</b>	Por medio de una evaluación química se determinan los porcentajes de humedad, grasa, fibra, cenizas y proteína en los alimentos.
<b>Animales rumiantes</b>	Son animales que digieren los alimentos en dos etapas: primero los consumen y luego realizan la rumia.
<b>Calcio</b>	Es un mineral que ayuda a formar y proteger dientes y huesos y a la coagulación sanguínea.

**Extracto Etéreo**

También conocido como grasa bruta, es el conjunto de sustancias de un alimento que se extraen con éter etílico.

**Fibra cruda**

Es el residuo libre de cenizas que resulta del tratamiento en caliente con ácidos y bases fuertes.

**Grasas protegidas**

Son aquellas que al ser sometidas a diversos procesos de protección se hacen inertes en rumen pasando por este sin interferir con la fermentación de la fibra.

**Hidróxido de calcio**

Conocido como cal hidratada, se obtiene por hidratación del óxido de calcio. Es un producto versátil que puede aplicarse en diversos formatos.

**Jabón cálcico**

Es el resultado de la saponificación de los ácidos grasos libres de iones calcio. Producto fácil de granular y se mezcla de manera homogénea con otros aditivos para alimentación animal.

**Lípidos saponificables**

Son lípidos que están compuestos por alcohol unido y ácidos grasos los cuales producen reacciones químicas de saponificación con estos lípidos.

<b>Óxido de calcio</b>	Conocido como cal viva, es un producto alcalino que permite regular multitud de procesos industriales.
<b>Óxido de calcio y magnesio</b>	Conocido como cal dolomítica, se obtiene mediante la calcinación de la dolomía, con un alto contenido en carbonato de calcio y magnesio.
<b>Proteína cruda</b>	También llamada proteína bruta, se refiere al porcentaje de proteína que contiene un alimento después de haberlo sometido al análisis proximal.
<b>Saponificación</b>	Es la síntesis de jabón a partir de la reacción química de aceites o grasas en un medio alcalino.





## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación a nivel de laboratorio de tres métodos de saponificación usando óxido de calcio,  $\text{CaO}$ ; óxido de calcio y magnesio,  $\text{CaMgO}_2$  e hidróxido de calcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ ; sobre residuos de aceite de palma y sobre residuos de aceite de soya para la obtención de jabones cálcicos (grasas sobrepasantes).

Los residuos de aceite de palma y residuos de aceite de soya se sometieron a tres métodos de saponificación. Se caracterizaron las reacciones para cada método y se evaluó la consistencia de las muestras obtenidas. A partir de las características se determinó que las mejores reacciones se obtuvieron entre los residuos de aceite de palma con los distintos tipos de cal.

El menor tiempo de reacción fue en el método de saponificación entre los residuos de aceite de palma y cal viva siendo este de 16 min, la temperatura de reacción fue de  $54\text{ }^\circ\text{C}$ , obteniendo una cantidad de 249 g de producto con una consistencia de 2,2.

Se realizó un análisis bromatológico completo a las grasas sobrepasantes obtenidas en cada uno de los tratamientos para determinar el porcentaje de calcio que absorbían, materia seca, proteína cruda, fibra cruda, ceniza y extracto etéreo que contenían. Tomando como parámetro más importante el porcentaje de materia seca tratable % MST, se determinó que las reacciones más favorables fueron entre los residuos de aceite de palma con los distintos tipos de cal.

Para estas reacciones los valores obtenidos para los parámetros fueron los siguientes: entre 92 % y 94 % para % MST, entre 27 % y 40 % de extracto etéreo, de cenizas entre 4,5 % y 5,5 %, entre 4,5 % y 6 % de proteína cruda y calcio absorbido entre 2 % y 2,7 %.

# OBJETIVOS

## General

Evaluar tres métodos de saponificación con óxido de calcio, óxido de calcio y magnesio e hidróxido de calcio en residuos de aceite de palma (*Elaeis Guineensis*) y residuos de aceite de soya (*Glycine Max*) para la obtención de grasas sobrepasantes (Jabones Cálcidos) a nivel de laboratorio.

## Específicos

1. Caracterizar la reacción química que ocurre en cada método de saponificación estudiado.
2. Evaluar la consistencia de los jabones cálcidos obtenidos en cada uno de los métodos de saponificación estudiados.
3. Determinar por medio de una evaluación química el porcentaje de materia seca, proteína, grasa, ceniza, fibra y porcentaje de calcio absorbido de los jabones cálcidos obtenidos en cada uno de los métodos de saponificación estudiados.
4. Determinar cuál es el método de saponificación más efectivo para obtener jabones cálcidos de mejor calidad.
5. Proponer un diseño del proceso para la elaboración de jabones cálcidos para el mejor método de saponificación encontrado.



# HIPÓTESIS

## Hipótesis científica

Es posible evaluar tres métodos de saponificación usando óxido de calcio, CaO; óxido de calcio y magnesio, CaMgO<sub>2</sub> e hidróxido de calcio, Ca(OH)<sub>2</sub>; sobre los residuos de aceite de palma y residuos de aceite de soya para la obtención de jabones cálcicos, grasas protegidas, destinados a la alimentación de animales rumiantes.

## Hipótesis nula:

H<sub>01</sub> = No existe diferencia significativa en el porcentaje de materia seca de los jabones cálcicos obtenidos según el método de saponificación utilizado sobre los residuos de aceite de palma ni sobre los residuos de aceite de soya.

H<sub>02</sub> = No existe diferencia significativa entre la consistencia de los jabones cálcicos obtenidos según el método de saponificación utilizado sobre los residuos de aceite de palma ni sobre los residuos de aceite de soya.

H<sub>03</sub> = No existe diferencia significativa en el tiempo de saponificación requerido para cada método utilizado sobre los residuos de aceite de palma ni sobre los residuos de aceite de soya.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

### **Hipótesis alternativa:**

$H_{i1}$  = Existe diferencia significativa en el porcentaje de materia seca de los jabones cálcicos obtenidos según el método de saponificación utilizado sobre los residuos de aceite de palma ni sobre los residuos de aceite de soya.

$H_{i2}$  = Existe diferencia significativa entre la consistencia de los jabones cálcicos obtenidos según el método de saponificación utilizado sobre los residuos de aceite de palma ni sobre los residuos de aceite de soya.

$H_{i3}$  = Existe diferencia significativa en el tiempo de saponificación requerido para cada método utilizado sobre los residuos de aceite de palma ni sobre los residuos de aceite de soya.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

## INTRODUCCIÓN

La investigación de la grasa protegida como fuente de energía representa una opción que permite impactar sobre los bajos niveles de producción, debidos a un balance energético negativo en los animales rumiantes. A partir de esto, se puede considerar suplementar a los animales rumiantes con grasas protegidas de la degradación ruminal, de forma que funcione como un suplemento para aumentar el nivel de calcio, proteína y elevar la capacidad de reproducción.

En los últimos años se han realizado investigaciones a nivel internacional sobre el efecto de las grasas sobrepasantes (jabones cálcicos), en la alimentación de animales rumiantes. Principalmente en Sudamérica se han desarrollado dietas nutricionales que incorporan las grasas sobrepasantes, para determinar los efectos de estas en el balance energético de los animales rumiantes determinando que la incorporación de estas grasas contribuye positivamente en el balance energético, mejorando la reproducción e incrementado la producción de leche con un mayor porcentaje de calcio en los animales que aplica.

De igual forma las carnes provenientes de estos animales destinadas para la venta y consumo contienen un mayor porcentaje de grasa, lo que mejora la calidad de esta.

La saponificación es una reacción química entre un ácido graso y una base. Para la investigación se busca utilizar los residuos de aceite de palma y los residuos de aceite de soya. El escaso aprovechamiento de estos recursos contribuye a la contaminación ambiental. Los contenidos relativamente altos de

ácidos grasos insaturados presentes en los residuos de aceite de palma y aceite de soya se pueden aprovechar en la alimentación de animales rumiantes, pero para esto se requiere proteger estas grasas de la degradación ruminal, de modo que se conviertan en grasas de sobrepaso o grasas protegidas. Para esto las grasas son sometidas a una reacción de saponificación.

En Guatemala se han realizado estudios sobre el efecto de las grasas sobrepasantes en la alimentación de los animales rumiantes, obteniendo resultados similares a los estudios realizados a nivel internacional. Sin embargo, las grasas protegidas que se utilizan a nivel nacional son importadas porque no existe una empresa nacional dedicada a la producción de grasas sobrepasantes. Es por esto que en la empresa Cementos Progreso, a través de su marca HORCALSA, con la finalidad de encontrar nuevos usos para la cal, proponen una investigación para la producción de grasas sobrepasantes, jabones cálcicos, a partir de la saponificación sobre residuos de aceite de palma (RAP), y residuos de aceite de soya (RAS), con tres tipos diferentes de cal y así contribuir con la disminución de contaminación de aguas causada por estos residuos y con el mejoramiento del balance energético de animales rumiantes, que pertenecen a los grupos dedicados a la agroindustria del país.



## 1. ANTECEDENTES

La elaboración de jabones cálcicos a partir de residuos de aceite de palma africana y álcalis de calcio no solo evita el incremento de desechos no deseados, sino que también contribuye al aporte energético en la dieta de animales rumiantes mejorando su metabolismo, la eficiencia reproductiva y la calidad de la leche y la carne. Para los trabajadores del área pecuaria del país podría representar un gran beneficio disminuyendo sus costos de producción, mejoramiento en la calidad de sus productos y un mejoramiento en la dieta de sus animales.

La producción de cualquier tipo de jabón existe desde hace aproximadamente 5000 años. Como explica Borrás en un artículo publicado en 2013, se ha demostrado que el jabón fue manufacturado en el Medio Oriente por la mezcla caliente de cenizas, agua y grasa animal. Los carbonatos en las cenizas reaccionaron con la grasa y se convirtió en jabón. Los árabes y los romanos perfeccionaron el proceso de hacer jabón y experimentaron con distintas grasas y aceites; ellos descubrieron que la sal ayudaba a endurecer el jabón. Durante la Edad Media la fabricación de jabón se extendió por Europa donde usaban aceite de oliva para hacer jabón de alta calidad para cuidado personal. Estos jabones estaban libres de impurezas alcalinas.

A mediados de la década de los 60, mientras se mejoraban las alternativas desarrolladas de suplementos protegidos, se logró el desarrollo de las grasas de sobrepeso basadas en la saponificación de triglicéridos con álcalis de Calcio, como su óxido e hidróxido. En 1982, la Universidad de Ohio realizó ensayos de las sales cálcicas de ácidos grasos con resultados exitosos dentro de la industria

pecuaria. Desde la década de los noventa como indica Serrano, se encuentra una enorme cantidad de desarrollos en torno a este tipo de productos orientados a la alimentación animal. El éxito lo han logrado aquellas compañías que han trabajado en la corrección de las causas de afecciones y desbalances nutricionales al realizar la aplicación del producto.

A nivel internacional se han realizado varios estudios sobre la elaboración de jabones cálcicos y el efecto que tienen al incorporarlos en la dieta de animales rumiantes. Entre los estudios más actuales se encuentra el realizado en el año 2016 por Duarte, Ramírez y Castañeda, donde describieron los aspectos generales sobre la importancia de las grasas protegidas en la alimentación de rumiantes, revisando los aspectos sobre su procesamiento y obtención. Para la elaboración del jabón cálcico estudiaron la saponificación entre el hidróxido de sodio, potasio y calcio, para sebo ovino y residuos de aceite de palma y concluyeron que este tipo de grasas sobrepasantes tienen un efecto positivo sobre los parámetros productivos y reproductivos de animales rumiantes.

Otro estudio fue el de 2015 realizado por Proaño y otros autores, en el Laboratorio de Ciencias Químicas, perteneciente a la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador; donde se evaluó la saponificación de dos tipos de grasas, sebo ovino y residuos de palma africana, utilizando hidróxido de sodio, potasio y calcio, con el propósito de proteger estas grasas de la degradación ruminal bovina. Realizaron un estudio bromatológico de los jabones obtenidos, evaluaron la consistencia y su rentabilidad por medio del indicador beneficio-costos y concluyeron que la materia seca, la ceniza y el beneficio-costos presentaron valores más altos en los jabones de residuos de aceite de palma africana tratados con calcio.

La caracterización química y validación de residuos de aceite de palma y sebo ovino como materias primas para grasas protegidas, es otro estudio realizado por Proaño y otros autores, quienes luego de varios análisis realizados concluyeron que los residuos de aceite de palma son comparables con los de sebo ovino y resulta similar el comportamiento en sus jabones. La utilización de residuos de aceite de palma y sebo ovino permite elaborar grasas protegidas ante la degradación ruminal. Comenta Yubaille en un estudio realizado en 2013 que los jabones cálcicos son los más rentables, de mejor consistencia y mejor protegidos ante la degradación ruminal, por lo que en su estudio donde se evaluó tres métodos de saponificación de grasas destinadas a la alimentación de vacas lecheras recomienda profundizar en el estudio de la digestibilidad (in vitro) e (in vivo), y luego probar los efectos nutricionales y reproductivos sobre vacas lecheras.

En Guatemala no hay registro de algún estudio realizado acerca de la elaboración de jabones cálcicos y no hay empresas dedicadas a este proceso de fabricación; sin embargo se realizó un estudio sobre el efecto que tiene el incorporar este tipo de grasas sobrepasantes en la dieta de vacas Holstein. El estudio realizado en Engormix en el 2016 fue con el objetivo de mejorar el comportamiento reproductivo de las vacas, desde la segunda semana posparto hasta la doceava semana posparto, mediante el suministro de una dieta a base de pasto fresco, concentrado mega vaca, sal mineralizada Provimi 8 % y grasa de sobrepaso; se concluyó que Ganagras es una fuente energética económica altamente eficiente en el mejoramiento de la condición corporal de las vacas, los resultados indicaron que la adición de Ganagras mejoran el estado energético de las vacas en producción bajo pastoreo, mejora el índice reproductivo de las vacas en producción, aumenta la fertilidad posparto y aumenta y sostiene la curva de lactancia.

## **1.1. Justificación**

La Agroindustria es toda actividad que implica procesamiento, beneficio o transformación de productos ganaderos por los subsectores agrícola, pecuario, forestal y pesquero. En el país hay un gran sector de la población que se dedican a actividades pecuarias y se enfrentan con la necesidad de resolver problemas de bajos niveles de producción láctea, bajos niveles reproductivos y baja calidad de sus productos debido a un balance energético negativo de sus animales rumiantes. Con la intención de resolver estos bajos niveles que se dan principalmente en el posparto temprano se consideró en ámbito científico la suplementación energética a animales rumiantes utilizando grasas protegidas de la degradación ruminal.

Dentro de las grasas protegidas utilizadas para la suplementación energética de los animales rumiantes se encuentran los jabones cálcicos. En Guatemala aún no hay empresas dedicadas a la fabricación de este tipo de jabones cálcicos para incorporarlos en la dieta de los animales únicamente se han realizado estudios de los beneficios de la incorporación de este tipo de grasas sobrepasantes en vacas lecheras con productos importados de Colombia y México como GANAGRAS y TECNIGRASAS respectivamente. Por otro, lado la industria aceitera guatemalteca ha experimentado un crecimiento tecnológico y económico importante, pero aún no se ha resuelto el problema contaminante de sus residuos, conocidos como lodos de aceite.

Según el grupo HAME en 2016 Guatemala ocupaba el cuarto puesto a nivel mundial en exportación de palma africana; Godoy indica en su estudio que Guatemala es el quinto país exportador de aceite de palma a nivel mundial esto representa el 1 % del PIB de Guatemala. Al incrementar la producción de aceite de palma para su uso en industrias alimenticias, químicas, energéticas y de

cuidado personal se ha incrementado los residuos de aceite de palma que se generan; por lo que resulta conveniente incursionar en una nueva área de producción donde se puedan aprovechar estos residuos y reducir la contaminación del medio ambiente.

Es por esto por lo que se propone el proyecto de elaboración de jabones cálcicos para el aprovechamiento de estos residuos de aceite de palma, RAP, y de residuos de aceite de soya, RAS, saponificando los residuos con álcalis de calcio; esto contribuye de igual manera a nuevos usos para la cal fuera del ámbito de la construcción lo cual impulsaría la industria productora nacional de cal.

Por último en el área pecuaria del país las mayores fincas han estado aplicando esta técnica de alimentación para aumentar el peso corporal de su ganado, aumentar su capacidad reproductiva y mejorar la dieta de los animales rumiantes; todo esto se podría seguir logrando sin necesidad de depender de productos importados, esto a su vez incrementa la calidad de los productos provenientes de estos animales como la carne y la leche, la capacidad reproductiva de los animales y mejorando su balance energético; incursionando en una nueva área, innovando, aportando con soluciones prácticas para la reducción de residuos y contribuyendo a la economía del país.

## **1.2. Determinación del problema**

A continuación, se explica de manera detallada de dónde surgió la idea de realizar este proyecto y limitaciones que se presentó el mismo durante la experimentación.

### **1.2.1. Definición**

En el Departamento de Investigación y Desarrollo de Cal y Pulverizados de HORCALSA de Cementos Progreso, se buscan formas de darle nuevos usos a la cal producida. Por este motivo se propuso el proyecto de investigación de elaboración de jabones cálcicos a partir de la saponificación de residuos de aceite de palma y residuos de aceite de soya con óxido de calcio, óxido de calcio y magnesio e hidróxido de calcio; y así verificar cuál de los tres métodos de saponificación es el más efectivo para obtener un producto de mejor calidad. Determinar la reacción óptima y posteriormente realizar el diseño del proceso para su producción. El proyecto será apoyado por Naturaceites proporcionando los residuos de los aceites para la fase de experimentación.

### **1.2.2. Delimitación**

Se realizarán tres tratamientos a los residuos de aceite de palma y tres a los residuos de aceite de soya por medio de la saponificación de estos con cal viva en el primer tratamiento, cal viva dolomítica en el segundo y con cal hidratada en el tercero. Luego de realizar 3 repeticiones por cada tratamiento se analizará química y físicamente los productos obtenidos para establecer el mejor método de saponificación para los residuos de aceite de palma y residuos de aceite de soya y caracterizar las reacciones para determinar las condiciones de la reacción que produce los jabones cálcicos de mayor calidad.

## **2. MARCO TEÓRICO**

La suplementación con grasas de sobrepaso es una alternativa para incrementar la densidad energética en raciones suministradas a animales rumiantes que tienen un balance energético negativo después del parto en los primeros meses de vida, pues las grasas son inertes en el rumen y digestibles en el tracto ruminal. En el estudio realizado por Proaño y otros autores en 2015 se indica que existen cuatro tipos de grasas inertes: recubiertas con proteínas, grasas endurecidas hidrogenadas, semillas intactas y sales de calcio de los ácidos grasos.

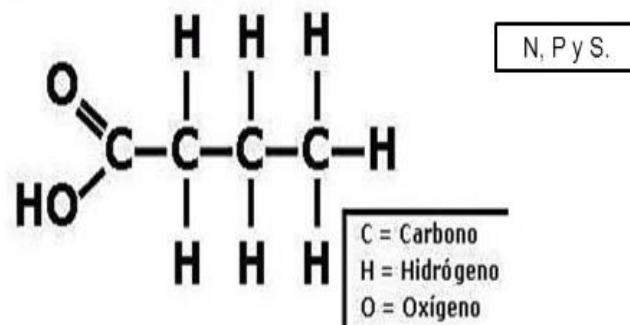
### **2.1. Animales rumiantes**

En el texto escrito por Guzmán en 2018 se describe de manera simple el funcionamiento del organismo de los animales rumiantes. Estos son mamíferos herbívoros con aparatos digestivos complejos formados por 4 cavidades, que realizan su digestión en dos pasos. Primero ingieren la materia vegetal, y luego se tumban para rumiar. La rumia consiste regurgitar la materia vegetal semidigerida, y volver a masticarla, desmenuzarla y tragarla. Estos animales tienen 4 cavidades entre el esófago y el duodeno, por ello se conocen como animales poligástricos. Por medio de la rumia, estos animales son capaces de extraer energía de partes de las plantas que no son capaces de extraer energía de partes de la planta que no son aprovechables para muchos otros animales.

## 2.2. Lípidos

Según Mateos y otros autores dentro de los lípidos se consideran diversas moléculas que tienen en común ácidos grasos en su estructura química. Incluye productos tales como grasas neutras, lípidos estructurales, ceras y jabones cálcicos. Los lípidos son moléculas hidrófobas que pueden originarse a través de condensaciones de tioésteres. En el artículo escrito por Serrano en 2014 se explica que estos compuestos tienen acciones como: aportadores de energía, protectores de órganos, mediadores hormonales, entre otros, por lo que se convierten en indispensables para la vida.

Figura 1. Estructura química de los lípidos



Fuente: GUALÁN, Inés; ROMERO, Yanela; ZÚÑIGA, Mónica; MAZA, Teddy. *Área agropecuaria y de recursos humanos. Lípidos*. <https://slideplayer.es/slide/10903401/>. Consulta: mayo de 2019.



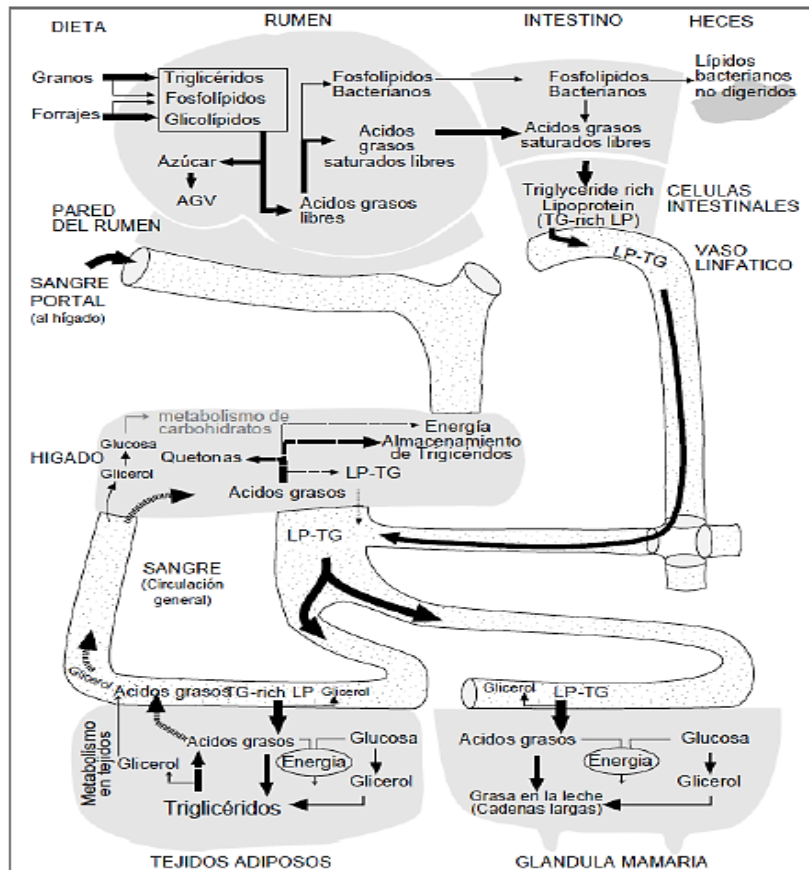
### **2.2.1. Lípidos saponificables**

En el artículo de Gualán y otros autores en 2016 se indica que los lípidos saponificables son aquellos que contienen ácidos grasos. Todos los lípidos saponificables son ésteres de ácidos grasos y un alcohol o un aminoalcohol. Pertenecen a este grupo los lípidos simples u hololípidos, los cuales son aquellos que sólo contiene carbono, hidrógeno y oxígeno; y los lípidos complejos u heterolípidos, que son aquellos que además de contener en su molécula carbono, hidrógeno y oxígeno, también contienen otros elementos como nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros.

### **2.3. Influencia del metabolismo lipídico en el balance energético**

Los ácidos grasos pueden tener diferentes destinos o usos metabólicos. Según Guerrero, pueden cumplir una función estructural como fosfolípidos de membrana, pueden formar parte de un sistema de segundo mensajero como en el caso del fosfatidilinositol, pueden ser usados en la síntesis de prostaglandinas. Sin embargo, el metabolismo lipídico se asocia especialmente al metabolismo energético en el animal como se puede observar en la figura 1. Esto es debido, por un lado, a que aporta por unidad de peso el doble de energía que las proteínas o los hidratos de carbono, y por otro lado porque se puede almacenar en poco espacio, gracias a su baja concentración de agua.

Figura 2. Influencia de los lípidos en el metabolismo ruminal



Fuente: GUERRERO, Pedro., *Obtención y evaluación de grasas protegidas por medio de saponificación y encapsulado para su aplicación en la alimentación de rumiantes*. p. 25.

## 2.4. Grasas naturales

En su artículo Yubaille indica que los aceites y grasas vegetales son en su inmensa mayoría toxicológicamente inofensivos y se degradan biológicamente en la naturaleza, sin intervención humana; sin embargo, durante su proceso de degradación, se perjudica el medio ambiente por la demanda de oxígeno y su capacidad de formar emulsiones acuosas y tienen un potencial contaminante.

#### **2.4.1. Efecto de los residuos de grasas en el medio ambiente**

Como indica Conrado, uno de los más grandes problemas que enfrente la industria de aceite es el alto grado de contaminación que puede llegar a producir el aceite principalmente en el agua, porque un solo litro de aceite usado contamina un millón de litros de agua. Los aceites y grasas residuales que son tirados en cualquier parte sin tomar en cuenta las precauciones para su manejo representan dos de los principales contaminantes que deterioran el medio ambiente.

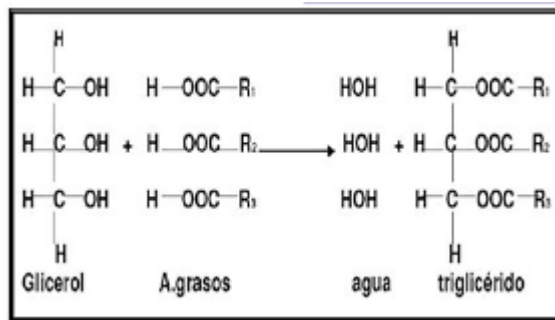
Los desperdicios de agua de los laboratorios producen contaminación y destrucción de la vida en ríos, causando la muerte periódica de peces a lo largo del año y la disminución de la fauna. Según Yubaille, en general se considera que el aceite residual de uso doméstico o industrial es altamente contaminante, esta contaminación se introduce en la cadena alimenticia con consecuencias fatales a largo plazo.

#### **2.4.2. Composición química y física de las grasas**

Como indica Yubaille en su trabajo, las grasas son sustancias complejas formadas básicamente por ácidos grasos y glicerina. Son compuestos formados de carbono, hidrogeno y oxígeno, con predominio del hidrógeno; son capaces de producir mayor cantidad de calorías cuando son sometidas a combustión, en comparación con otros compuestos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno; la grasa animal está contenida principalmente en zona adiposas del cuerpo de los seres vivos; la cantidad de grasa presente en el cuerpo animal depende de la especie animal, sexo, tipo de alimentación, entre otros.

Pinos indicó en su publicación de 1999 que, junto a los glicéridos, las grasas contienen pequeñas cantidades de vitaminas, fosfáticos, esteroides, colorantes, hidrocarburos y agua, en su mayor parte, estas sustancias son insaponificables; las diferencias entre ácidos grasos están dadas por el número de átomos de carbono; la presencia de uno o más dobles enlaces en la molécula, da lugar a la división en ácidos saturados e insaturados, en mayor o menor proporción.

Figura 3. **Composición química de las grasas**



Fuente: GUALÁN, Inés; ROMERO, Yanela; ZÚÑIGA, Mónica; MAZA, Teddy. *Área agropecuaria y de recursos humanos. Lípidos*. <https://slideplayer.es/slide/10903401/>. Consulta: mayo de 2019.

En su trabajo Yubaille indica que las grasas se caracterizan por permitir una descomposición térmica, enranciamiento, reacciones de adición, hidrólisis y saponificación. Los ácidos grasos poseen cadenas hidrocarbonadas con un número par de carbonos, que oscilan entre 16 y 36 carbonos, porque se sintetizan a partir de la unión de dos carbonos. Según presenten dobles enlaces en las cadenas, los ácidos grasos pueden ser saturados o insaturados. Dentro de los ácidos saturados, el palmítico y el esteárico son los más abundantes y están presentes en la mayoría de grasa animales y vegetales.

Según el trabajo publicado por Gualán, las grasas se pueden hidrolizar hirviéndolas con álcalis, con lo que se forma la glicerina y jabones. Esto puede ocurrir de forma natural por la acción del grupo de enzimas llamadas lipasas. La hidrólisis puede producirse por la acción de ácidos o bases fuertes, vapor sobrecalentado o enzimas especiales, denominadas lipasas. Cuando la hidrólisis es producida por una base fuerte, el proceso recibe el nombre de saponificación.

Según la publicación de Hernández y Díaz realizada en 2011, las grasas son importantes en la alimentación de los rumiantes por su alto contenido energético. Así, la combustión completa de un gramo de grasa produce alrededor de 9,45 kcal. Por lo que, los lípidos en general aportan 2,25 veces más energía que las fuentes tradicionales de la misma.

## **2.5. Métodos de protección de las grasas ante la degradación ruminal**

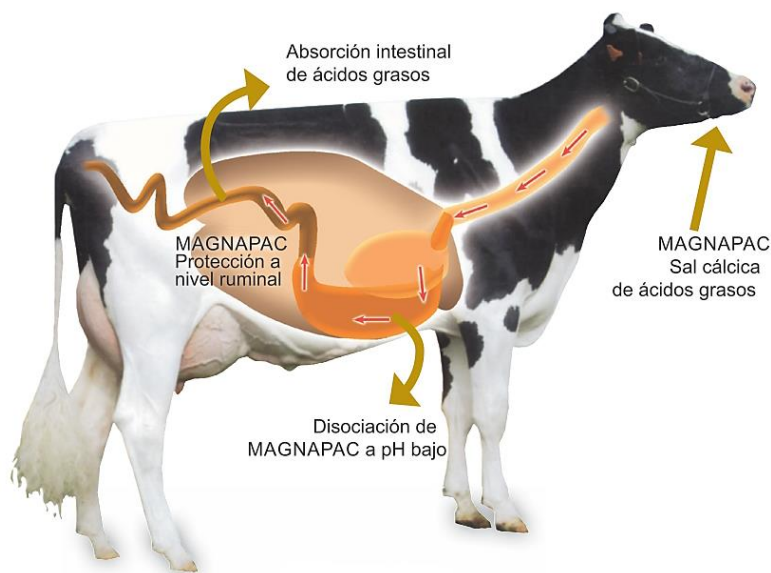
Pedro Guerrero indica en su trabajo que debido a que la solubilidad de ácidos grasos y componentes de triglicéridos incluidos en la grasa utilizada en la alimentación ruminal, llegan a tener efecto negativo sobre los microorganismos del rumen, no deben suministrarse en grandes cantidades. Este problema se puede evitar mediante la innovación en productos que permitan suministrar la grasa pura, y que a través de un recubrimiento externo se evite su metabolismo a nivel ruminal, es decir, que sean inertes al ataque microbiano y al pH de este, facilitando el paso del compuesto lipídico a la parte baja del sistema digestivo del animal, promoviendo así, una eficiencia en la utilización de los nutrientes.

Mateos y Rebollar aseguran que uno de los métodos más utilizados para la protección de las grasas ante la degradación ruminal es la saponificación. La saponificación es una reacción química entre un ácido graso y una base, en la que se obtiene como principal producto la sal del ácido. Las bases o alcalinos

pueden ser sales de sodio, potasio y de calcio; todas tienen un poder cáustico y podrían dar lugar a resultados similares, en cuanto a protección de los ácidos grasos ante la degradación ruminal.

Cuando las grasas naturales son sometidas a este método de protección el producto obtenido de la reacción de saponificación es comúnmente conocido como grasas protegidas o grasas de sobrepaso.

Figura 4. **Acción de las GS en el sistema digestivo de animales rumiantes**



Fuente: Globalvet. *Magnapac: grasa by pass a base de jabón cálcico de origen vegetal.*  
<http://globalvet.perulactea.com/2016/05/06/magnapac-grasa-by-pass-a-base-de-jabon-calcico-de-origen-vegetal/#more-355>. Consulta: mayo de 2018.

## **2.6. Palma Africana (*Elaeis Guineensis*)**

En la página web de infoAgro, se puede encontrar que la palma africana es una planta tropical de clima cálido cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continente africano. La palma africana ha sido utilizada desde la antigüedad para la obtención de aceite. Produce dos tipos de aceite, el del fruto u el de la semilla. El aceite alimentario se comercializa como aceite comestible, margarina, entre otros, y el aceite industrial es utilizado para la fabricación cosméticos, jabones, detergentes, entre otros. La producción de aceite de palma africana representa casi el 25 % de la producción de aceites vegetales en el mundo.

## **2.7. Aceite de palma**

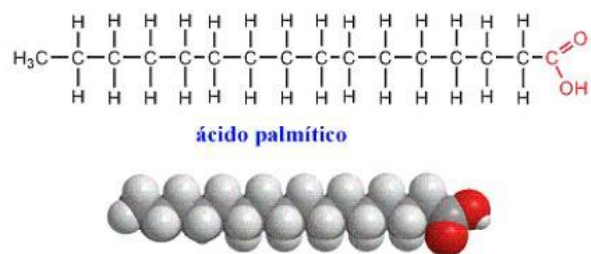
En el artículo publicado por OCU en su sitio web en mayo de 2018 indican que el aceite de palma es el más utilizado en el mundo. Se produce a partir de los frutos de la palma africana y se ha convertido en una materia prima usada a nivel global para la elaboración de una gran cantidad de productos de la industria alimentaria y cosmética. El aceite de palma está desplazando a las grasas hidrogenadas, que se han demostrado nocivas para la salud. Este es un aceite muy rico en grasas saturadas. Se utiliza para la elaboración de cremas y coberturas, pasteles, precocinados, productos de limpieza, cosméticos y velas.

## **2.8. Ácido graso de palma africana o ácido palmítico**

Según el artículo en la página de elaceite.net, el ácido palmítico o ácido graso de palma es un ácido graso saturado de cadena larga, formado por dieciséis átomos de carbono. Por otro lado, en la página web de Acepalma, se indica que es un subproducto obtenido de la refinación física del aceite de palma

con una composición típica del 76 % al 86 % de ácidos de cadena larga. Puede ser utilizado como materia prima principal en el proceso de fabricación de velas, tintas para textiles, en la fabricación de jabones y detergentes. Los jabones cálcicos de este producto constituyen un complemento nutricional en la dieta del ganado vacuno.

Figura 5. **Estructura química del ácido palmítico**



Fuente: El aceite. *El mundo del aceite: aceite de oliva, alimentación, aceites esenciales, aceites corporales*. <http://www.elaceite.net/2014/04/21/general/acido-palmitico/> Consulta: mayo de 2018.

## 2.9. La palma africana en Guatemala

De la página de Grupo HAME se obtuvo las siguientes estadísticas. A nivel mundial Guatemala ocupa el cuarto lugar en exportaciones de palma africana produciendo el 2,7 %. El sector palmicultor representa el 1 % del producto Interno Bruto (PIB) de Guatemala. El cultivo de palma aceitera ocupa el 4 % del área total de cultivos sembrados en el país generando 1 puesto de trabajo por cada 6 hectáreas de palma cultivada. El cultivo de palma de aceite genera inversiones por más de USD 1 800 millones, las exportaciones de palma de aceite representan el año más de USD 400 millones. Los excedentes provenientes del cultivo de palma de aceite generan mayor inversión dentro del mismo sector y en



otros gremios de la economía. Para el año 2014 las grasas y aceites comestibles formaron el sexto producto de exportación a nivel mundial. En este mismo año Guatemala logró convertirse en el país con mayor crecimiento a nivel mundial en exportaciones de aceite de palma.

### **2.10. Soya**

Para Mary Gavin, la soya es una legumbre versátil, se encuentra en alimentos como la leche, salsa, el miso, aceite y el tofu. Los alimentos que contienen soya entera son una buena fuente de proteínas para los vegetarianos, dado que proporcionan los aminoácidos que las personas necesitan para mantenerse sanas, así como fibra, vitamina B y ácidos grasos omega 3. Los alimentos que contienen proteína de soya también son buenas alternativas para reemplazar la carne u otros productos de origen animal, que contienen colesterol y grasas saturadas.

### **2.11. Aceite de soya**

En la página web de EcuRed existe información que hace referencia al aceite de soya, indica que es el más consumido en el mundo. Es untuoso, ligero y de color amarillento. Se obtiene del prensado en ácidos grasos poliinsaturados, como Omega 3 y Omega 6, aceites esenciales para la salud. Previene el envejecimiento y retrasan las arrugas por sus propiedades hidratantes, regeneradoras, protectores y suavizantes. En la actualidad se utiliza para consumo humano, también se emplea para alimentar el ganado y peces. Además, se usa para fabricar pinturas, barnices, lubricantes y combustible biodiesel. El aceite de soya se caracteriza por poseer moléculas de cadena larga de 13 a 16 enlaces lo cual le da muy buenas propiedades para el uso industrial.

## **2.12. Ácido graso de soya**

En la página web de INTERFAT Natural Oils se comenta que el ácido graso de aceite de soya se obtiene, por el desdoblamiento y posterior destilación al vacío del aceite de soya. El producto obtenido tiene un punto de fusión sobre los 25 °C. En estado sólido tiene un color amarillento y en estado líquido un color claro según la temperatura ambiente. Es rico en ácido linoleico y en menor medida oleico.

## **2.13. Grasas de sobrepaso**

Nuevas tecnologías han generado grasas modificadas químicamente, que permiten su utilización en mayores niveles y con una menor interacción a nivel ruminal indica Guerrero en un estudio, reduciendo los efectos deletéreos de los lípidos sobre la actividad del rumen. Este tipo de grasas son conocidas como grasas sobrepasantes, grasas inertes, by-pass, o grasas protegidas. Las grasas de sobrepaso son un medio para incrementar el consumo diario de grasas por parte del rumiante; estas permanecen inertes en el rumen y, sin embargo, son totalmente digeribles en el tracto inferior.

Las grasas de sobrepaso se definen como aquellas que han sido diseñadas comenta Jenkins específicamente para tener muy poco, o ningún efecto negativo sobre la digestibilidad de los alimentos en rumiantes. A menudo, las grasas sobrepasantes son sales de calcio carboxiladas (jabones cálcicos), ácidos grasos saturados o grasas hidrogenadas.

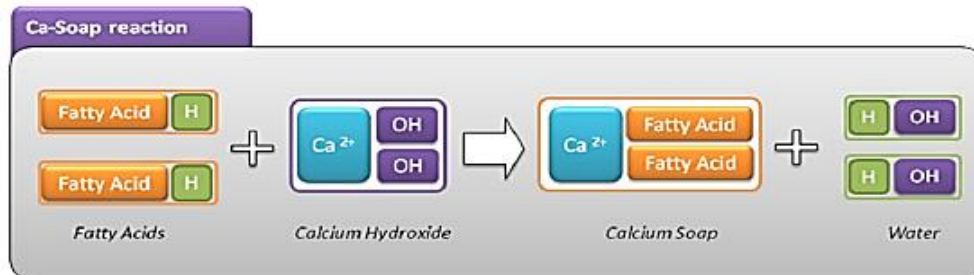
## **2.14. Jabones cálcicos**

Según el estudio de Guerrero, los jabones cálcicos no interfieren en el metabolismo del rumen, son insolubles en el rumen y resisten el ataque microbiano, no recubren la fibra en el rumen ni inhiben la acción de los microorganismos del rumen; ni tampoco reduce la digestión de la fibra. Esto se debe al pH al que se encuentra el rumen. La grasa está protegida una vez pasa el rumen, esta se diluye en el abomaso porque se encuentra a un pH menor a 3.

En su trabajo de grado Yubaille indica que para la fabricación de jabones se requieren ácidos grasos presentes en las grasas de origen animal o de origen vegetal; los jabones duros se fabrican con aceites y grasas que contienen un elevado porcentaje de ácidos saturados, para lo cual utilizan sales de calcio y los jabones blandos se elaboran con aceites y grasas que contienen un elevado número de ácidos grasos insaturados los cuales generalmente se saponifican con hidróxido de calcio.

La reacción química que se efectúa en la fabricación de jabón comenta Tegeder, la saponificación se produce por acción de tres moléculas de sal sobre un triglicérido, dando como resultados tres moléculas de jabón y una de glicerina. Esta reacción se denomina también desdoblamiento hidrolítico y es una reacción exotérmica. De acuerdo con Yubaille, el hidróxido de calcio también tiene un poder cáustico al igual que el de sodio y potasio; es obtenido al reaccionar óxido de calcio con agua y es susceptible de descomponerse en óxido de calcio y agua, es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y ataca varios metales.

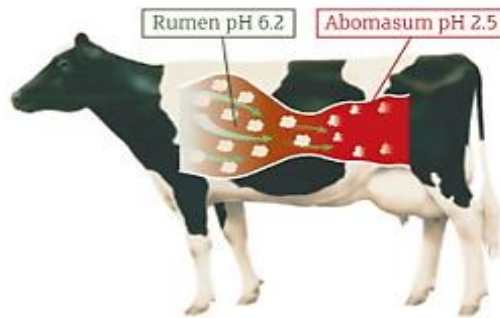
Figura 6. **Reacción de saponificación para la elaboración de JC**



Fuente: LIPICO. *LIPICO-PGE Calcium soap process*. [http://www.lipico.com/processes\\_calcium-soap-production.html](http://www.lipico.com/processes_calcium-soap-production.html). Consulta: mayo de 2018.

Según Proaño, Stuart y otros autores, los jabones de calcio o sales de calcio se obtienen por medio de un proceso de saponificación donde los ácidos grasos libres se unen con iones de calcio formando una sal o jabón. Estos compuestos presentan punto de fusión alto y solubilidad en pH inferior a 5,5. Por tanto, no se disocian en el rumen ni se disuelven en el líquido ruminal. El abomaso de los animales rumiantes presenta un pH de 2 a 2,5, que puede disociarse mediante la liberación de moléculas de ácidos grasos y calcio, compuestos que pueden ser digeridos en el intestino de los animales.

Figura 7. **Solubilidad de los JC dentro del organismo de animales rumiantes**



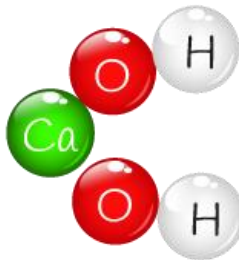
Fuente: LIPICO. *LIPICO-PGE Calcium soap process*. [http://www.lipico.com/processes\\_calcium-soap-production.html](http://www.lipico.com/processes_calcium-soap-production.html). Consulta: mayo de 2018.

La utilización de los jabones cálcicos permite la incorporación de un mayor nivel de ácidos grasos insaturados en la dieta de rumiantes; esto es importante en el caso de los ácidos grasos esenciales, los cuales no solo aportan un efecto energético, sino que pueden tener efectos específicos sobre el metabolismo de tejidos y órganos. (1). (2) Propone un procedimiento de fabricaciones de jabones cálcicos para la alimentación animal. El invento corresponde a un proceso para fabricar jabones cálcicos por saponificación de grasas o aceites naturales con óxido de calcio, CaO, con calentamiento y sometiendo a presión reducida la masa de reacción, mediante este procedimiento se logran jabones cálcicos que, sin necesidad de ningún proceso posterior de lavado o concentración, alcanzan contenidos de ácidos grasos superiores al 80 %, dicho contenido elevado de ácidos grasos los hace especialmente indicados para formar parte en alimentación animal.

## 2.15. Hidróxido de calcio

Conocida también como cal hidratada, cal apagada o cal muerta, es un producto hidróxido cáustico con fórmula  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , la cal hidratada es un polvo blanco que se obtiene al reaccionar óxido de calcio con agua.

Figura 8. **Molécula del hidróxido de calcio**



Fuente: Research Gate. *Fórmula molecular del hidróxido de calcio.*

[https://www.researchgate.net/figure/Figura-11-Formula-molecular-del-hidroxido-de-calcio\\_fig1\\_335676028](https://www.researchgate.net/figure/Figura-11-Formula-molecular-del-hidroxido-de-calcio_fig1_335676028). Consulta: mayo de 2018.

Al someterse al calentamiento a 760 °C, el hidróxido de calcio se descompone en óxido de calcio y agua. La solución de hidróxido de calcio en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y ataca varios metales; en este proceso se enturbia en presencia de dióxido de carbono por la precipitación de carbonato de calcio.

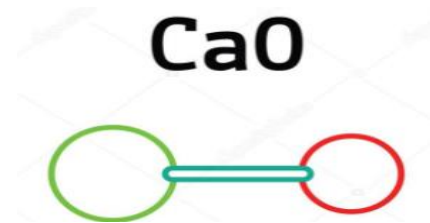
El hidróxido de calcio se utiliza en la industria de la construcción, también se le ha incluido en la producción alimenticia como es el tratamiento del trigo y el maíz; porque no es tóxico, sin embargo, se ha establecido que es irritante para la piel y para las vías respiratorias como para la vista según la ficha técnica del producto.

## 2.16. Óxido de calcio

El óxido de calcio o cal viva es un álcali fuerte al ser utilizado en acuicultura, industria agrícola, sanidad urbana, sanidad animal y sanidad vegetal. La cal viva es el resultado de la cocción de una roca caliza, desintegrándose el  $\text{CaCO}_3$  de la roca para dar óxido de calcio,  $\text{CaO}$ .

La cal viva es un material que se comercializa normalmente en forma de terrones. Se trata de una cal altamente reactiva, que presenta una gran acidez de 12,4 aproximadamente por el agua. De hecho, tiende a absorber el vapor de agua presente en el ambiente si no es almacenada cuidadosamente.

Figura 9. Molécula del óxido de calcio



Fuente: Depositphotos. *Óxido de calcio*. <https://sp.depositphotos.com/vector-images/%C3%B3xido-de-calcio.html>. Consulta: mayo de 2018.

## 2.17. Proceso productivo de la cal viva y cal hidratada

La cal es un producto químico base cuyo proceso de producción de forma general es el siguiente:

- Selección y explotación de piedra caliza
- Extracción del yacimiento natural

- Trituración y clasificación de la piedra caliza de acuerdo con su tamaño y sus características.
- La piedra caliza se somete a un proceso de calcinación en donde es transformada en cal viva u óxido de calcio.
- Para producir cal hidratada, la cal viva es sometida al proceso de hidratación en el que se le agrega agua para producir hidróxido de calcio o cal hidratada.

## **2.18. Óxido de calcio y magnesio**

En la página web de Caleras San Miguel se indica que el óxido de calcio y magnesio es un material compuesto por óxido de calcio y carbonato de magnesio. Se obtiene después calcinar y pulverizar la piedra dolomita en su estado natural después de aplicarle calor por arriba de los 760 °C. Tiene propiedades que disminuyen la acidez del suelo y es de gran utilidad para suelos con deficiencia de magnesio, aumenta los niveles de fertilidad de los suelos agotados por acidez.

## **2.19. Metodología**

Para la parte experimental la materia prima que se utilizará son los residuos de aceite de palma y los residuos de aceite de soya, estos se harán reaccionar con óxido de calcio, hidróxido de calcio y óxido de calcio y magnesio. Se tendrá un diseño experimental de seis tratamientos diferentes con tres repeticiones cada uno. Primero se caracterizará cada reacción que se realice, se determinará la consistencia del producto obtenido y cada una de las muestras se llevara a un laboratorio para realizarles un análisis bromatológico.



## **2.20. Residuos de aceite de palma (RAP) y residuos de aceite de soya (RAS)**

Los residuos de aceite de palma y los residuos de aceite de soya subutilizados se pueden convertir en materia prima muy atractiva si se implementa un reciclaje eficiente de nutrientes reduciendo los contaminantes que terminan en diferentes cuerpos de agua. Según Naturaceites los residuos de aceite de palma que se obtienen al final de su línea de producción están compuestos en un 15 % por residuos remanentes de aceite de palma y el otro 85 % por ácidos grasos. En cuanto a los residuos de aceite de soya que obtienen están compuestos en un 40 % de residuos remanentes de aceite de soya y otro 60 % de ácidos grasos.

Estos residuos comúnmente se venden a compañías que se dedican a la producción de jabones para limpieza; sin embargo, el obtener 225 toneladas de residuos al mes, no les basta con vender únicamente un porcentaje de estos residuos porque en Naturaceites aún no cuentan con un método eficiente para la disposición de los residuos que les quedan. Es por esto que Naturaceites ha mostrado gran interés en apoyar ese proyecto, para poder disponer de gran parte de estos residuos en la producción de grasas sobrepasantes implementando una planta piloto para la producción de estas.

En la página web de LIPICO indican que algunos de los beneficios que se obtienen al incluir las grasas sobrepasantes en la dieta diaria de los animales rumiantes son: proporciona energía para aumentar la producción de leche en vacas, aumenta la cantidad de grasa en la leche, mejora la fertilidad, mejora la condición corporal y la salud en general.

## 2.21. Propuesta de saponificación

A continuación, se enlista toda la cristalería y el equipo necesario para poder llevar a cabo el proceso de saponificación planteado para este proyecto:

- Balanza digital: instrumento de pesaje de funcionamiento no automático que utilizan la acción de gravedad para determinación de la masa.

Figura 10. **Balanza digital**



Fuente: Instrumentos de laboratorio. *Balanza de laboratorio*.

<https://instrumentosdelaboratorio.org/balanza-de-laboratorio>. Consulta: mayo de 2018.

- Vidrio de reloj: se utilizará para pesar la cantidad de cal que se utilizará en cada reacción.

Figura 11. **Vidrio de reloj**



Fuente: Instrumentos de laboratorio. *Vidrio de reloj*.

<https://instrumentosdelaboratorio.org/balanza-de-laboratorio>. Consulta: mayo de 2018.

- Plancha de calentamiento: una plancha de calentamiento es un equipo de sobremesa, posee uno o más elementos de calefacción eléctrica, y que se emplea para calentar recipientes con líquidos, de forma controlada.

Figura 12. **Plancha de calentamiento**



Fuente: TECCIOS. *Plancha de calentamiento*. <https://teccios.com/producto/plancha-de-calentamiento-hp-500d/>. Consulta: mayo de 2018.

- Reactor de acero inoxidable: es una olla de acero inoxidable donde se realizará la reacción de saponificación entre los residuos de aceite y cales.

Figura 13. **Reactor de acero inoxidable**



Fuente: MIMARHOME. *Ollas para caldos*. <https://mimarhome.com/64-ollas-para-caldos>. Consulta: mayo de 2018.

- Varilla de agitación: varilla de vidrio utilizada para la agitación de los reactivos dentro del reactor de acero inoxidable para que ocurra la saponificación.

Figura 14. **Varilla de agitación**



Fuente: TP-Laboratorio Químico. *Bagueta o varilla de agitación*.

<https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/bagueta-o-varilla-de-agitacion.html>. Consulta: mayo de 2018.

- Termómetro digital: se utilizará para medir la temperatura en grados Celsius a la que se da cada una de las reacciones de saponificación que se van a realizar.

Figura 15. **Termómetro digital**



Fuente: HANNA instruments. *Termómetro digital*. <https://hannainst.com.gt/producto/termometro-digital-checktemp/>. Consulta: mayo de 2018.

- Cronómetro: se utilizará para registrar el tiempo en que tarda en ocurrir por completo la reacción de saponificación.

Figura 16. **Cronómetro digital**



Fuente: TQC Sheen. *Cronómetro digital*. <https://www.tqcsheen.com/es/producto/digital-stopwatch-es/>. Consulta: mayo de 2018.

- Bandeja de acero inoxidable: La bandeja de acero inoxidable se utilizará para la etapa de secado del producto.

Figura 17. **Bandeja rectangular de acero inoxidable**

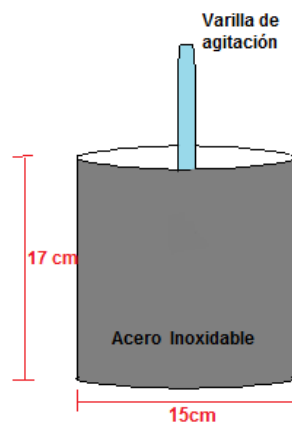


Fuente: TRAMONTINA. *Bandeja rectangular de acero inoxidable*. <https://www.tramontina.com.br/es/p/61712480-119-bandeja-rectangular-tramontina-buena-acero-inoxidable-49-x-33-cm>. Consulta: mayo de 2018.

## 2.22. Bosquejo de equipo para la reacción

A continuación, se muestra en el bosquejo las dimensiones del reactor de acero inoxidable utilizado en la fase experimental.

Figura 18. Dimensiones para el reactor de acero inoxidable



Fuente: elaboración propia, empleando Paint 2018.

## 2.23. Bromatología

De acuerdo con el informe de Gladys Ramírez, la palabra bromatología proviene del griego “Beopos” que quiere decir alimento. La bromatología abarca el estudio de las sustancias alimentarias en los siguientes aspectos:

- Determinación de la composición y propiedades nutricionales de los alimentos naturales, procesados y sus adulteraciones.
- Comprobación de estándares de higiene, y calidad fisicoquímica.
- Estudio de los cambios químicos y bioquímicos producidos durante la manipulación, industrialización, almacenamiento, entre otros.

- Mejoramiento de los alimentos con respecto al color, olor, sabor, textura, valor nutritivo y funcionalidad.

### 2.23.1. Laboratorio de bromatología de la Universidad de San Carlos de Guatemala

El laboratorio de Bromatología pertenece a la unidad de alimentación animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este laboratorio brinda sus servicios desde junio de 1988, es especializado en el análisis químico de alimentos de consumo animal y humano.

Figura 19. Servicios prestados en el laboratorio de bromatología

Análisis	Método de Referencia	Aplicable	Unidades	Rango
Materia seca	AOAC: 930.15	4,8,9	%	85 a 100
Materia seca	Bateman 6.111	1,2,5,6	%	1 a 85
Materia seca	AOAC: 925.04	3	%	10 a 85
Proteína cruda	AOAC: 976.05 Tecator: Manual del kjeltec Auto 1030 Analyzer	1,2,3,4,5,6,9	%	1 a 300
Fibra cruda	Tecator: Manual del 1010/1021 Fibertec System I AOAC: 962.09 Bateman	1,2,3,4,5,6,7,8	%	1 a 60
Fibra ácido detergente	Tecator; Manual del 1010/ 1021 Fibertec System I	1,2,3,4	%	0 a 60
Fibra neutro detergente	Tecator Manual del 101061021 Fibertec System I	1,2,3,4	%	0 a 90
Extracto etéreo	Bateman 9.110	1,2,3,4,5,6,8	%	0 a 100
Cenizas	AOAC: 942.05	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	%	0 a 100
Extracto libre de nitrógeno	Bateman: 10.200	1,2,3,4,5,6	%	0 a 100

Fuente: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, USAC. *Bromatología*.  
<http://www.fmvz.usac.edu.gt/index.php/2016-06-28-06-20-37/2016-06-28-06-20-55/bromatologia>. Consulta: mayo de 2018.





### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Localización**

La fase experimental se llevó a cabo en el Laboratorio del Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso en la Planta la Pedrera, zona 6 de la Ciudad de Guatemala.

Los residuos de aceite de palma y los residuos de aceite de soya provienen de la empresa Naturaceites, ubicada en el departamento de Escuintla. Los tres tipos de cal utilizados provienen de HORCALSA de la planta de producción de San Miguel ubicada en el departamento de El Progreso.

Para el análisis químico se realizó un análisis proximal completo a las muestras obtenidas, estas se realizaron en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### **3.2. Variables del método**

Se definieron las variables independientes, dependientes y los parámetros que se mantuvieron constantes durante el desarrollo de la investigación. Las variables utilizadas fueron cuantitativas para poder obtener datos numéricos que permitieran determinar la calidad del producto obtenido.

En el trabajo de investigación se hizo una comparación entre las muestras obtenidas a partir de las distintas reacciones de saponificación sobre los residuos de aceite de palma y residuos de aceite de soya al variar el tipo de cal utilizado.

Tabla I. **Definición operacional de las variables cuantificables**

No.	Variable	Unidad	Factor potencial de diseño		Tipo de variable	
			Constantes	No constante	Independiente	Dependiente
1	Temperatura de la reacción	°C		X		X
2	Presión	atm	X		X	
3	Tiempo	min		X	X	
4	Peso de MP*	g		X	X	
5	Peso de Cal	g		X	X	

\*MP (Materia prima de residuos de aceite de palma y residuos de aceite de soya).

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Delimitación de campo de estudio

El trabajo de investigación se limitó a realizar el estudio a escala de laboratorio. Se evaluaron tres reacciones de saponificación con cal viva, cal hidratada y cal viva dolomítica sobre residuos de aceite de palma y residuos de aceite de soya.

De las muestras de jabones cálcicos obtenidas se evaluó y comparó la consistencia de cada uno. Se adaptó el método de saponificación propuesto por María Fernanda Yubaille en su investigación para la elaboración de jabones cálcicos a partir de residuos de aceites (RAP y RAS) utilizando tres tipos distintos de cal. Se realizó una caracterización química mediante bromatología para realizar un análisis proximal de las muestras y así analizar los parámetros de los

porcentajes de materia seca, fibra cruda, proteína cruda, extracto etéreo y cantidad calcio.

### **3.4. Diseño experimental**

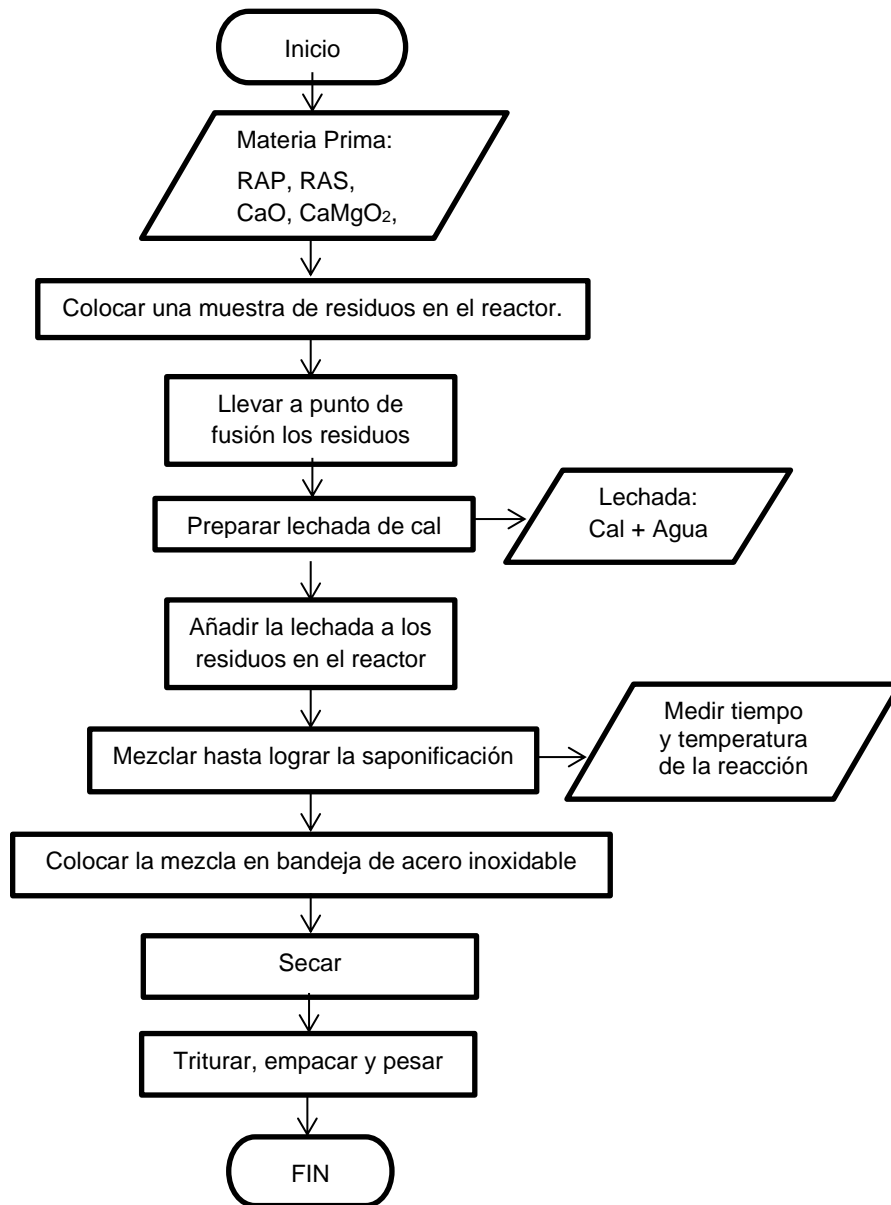
El estudio se realizó para dos tipos de residuos de aceite, residuo de aceite de palma y residuos de aceite de soya, utilizando tres tipos de cal para realizar las reacciones de saponificación obteniendo así 6 tratamientos; se determinó la consistencia, el porcentaje de materia seca, el porcentaje de fibra cruda y de proteína cruda, el porcentaje de extracto etéreo y el porcentaje de calcio absorbido, realizándose tres repeticiones por cada tratamiento.

Dependiendo del tratamiento, se llevó a punto de fusión los residuos de aceite y se preparó una lechada de cal con relación 1:2 de agua y cal para los tratamientos con residuos de aceite de palma y lechada con relación 1:3 de agua y cal para los tratamientos con residuos de aceite de soya. Al estar fundidos los residuos se agregó la lechada para comenzar la saponificación agitando constantemente, la temperatura de la reacción se mantuvo entre un rango de 52 °C a 56 °C para los residuos de aceite de palma y entre 40 °C a 45 °C para los residuos de aceite de soya. Luego de que la saponificación estuviera completa se tomó el tiempo de reacción y se colocó la muestra en una bandeja de acero inoxidable para el proceso de secado de 7 días.

Se evaluaron tres tratamientos para cada tipo de residuos de aceite, variando el tipo de cal utilizado para la saponificación. Para cada uno de los 6 tratamientos se realizaron 3 repeticiones, haciendo un total de 18 tratamientos. Se tomaron las muestras luego del secado y se evaluó la consistencia. Para determinar el perfil químico de los jabones cálcicos obtenidos, se llevaron las

muestras al laboratorio de bromatología para obtener un análisis proximal completo y el porcentaje de calcio que se conservó en los jabones cálcicos.

Figura 20. **Diagrama del diseño experimental**



Fuente: elaboración propia.

### **3.5. Recursos humanos disponibles**

Se detalla de manera resumida el perfil de los recursos humanos disponibles para la realización del presente trabajo de investigación.

- Investigador: María Jimena Ramírez Esteban, estudiante de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Asesor: Ing. Marco Vinicio Carballo García, Ingeniero Químico Industrial. Gerente de Investigación y Desarrollo de Cal y Pulverizados de Cementos Progreso.
- Análisis químico: jefe del laboratorio de bromatología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Tutela durante la fase experimental: Inga. Marcia Salguero.

### **3.6. Recursos materiales disponibles**

A continuación, se describen todos los materiales que se utilizaron para la elaboración de la fase experimental.

#### **3.6.1. Equipos auxiliares**

- Balanza
- Plancha eléctrica de calentamiento
- Reactor de acero inoxidable
- Bandejas de acero inoxidable
- Papel mayordomo

### 3.6.2. Cristalería

Cantidades y dimensiones de la cristalería utilizada en la fase experimental de proyecto.

Tabla II. **Cristalería utilizada en la fase experimental**

<b>Cristalería</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
<i>Beacker</i>	50 mL	Vidrio	3
Probeta	25 mL	Vidrio	3
Varilla de agitación	-	Vidrio	1

Fuente: elaboración propia.

### 3.6.3. Reactivos

Cantidades en gramos de cada uno de los reactivos a utilizar en la fase experimental del proyecto.

Tabla III. **Cantidad de reactivos a utilizar**

<b>REACTIVO</b>	<b>CANTIDAD (g)</b>
Materia Prima (RAP Y RAS) *	2 000 por cada uno
Óxido de calcio (Cal Viva)	200
Hidróxido de calcio (Cal Hidratada)	200
Óxido de calcio y magnesio (Cal dolomítica)	200
Agua	Cantidad necesaria

\*RAP (Residuos de Aceite de Palma)

\*RAS (Residuos de Aceite de Soya)

Fuente: elaboración propia.

#### **3.6.4. Instrumentos de medición**

- Termómetro
- Cronómetro

#### **3.7. Técnica cuantitativa**

El presente trabajo de investigación es de carácter experimental y se trabajó con una técnica cuantitativa, para analizar los porcentajes obtenidos en cada parámetro del análisis proximal realizado a las muestras. Se analizó la influencia de la temperatura de saponificación y la influencia del tipo de cal utilizado en el tiempo de reacción y en la consistencia obtenida de los jabones cálcicos.

Para determinar la consistencia de los jabones cálcicos se aplicó la técnica establecida por Kruskal y Wallis, la cual es específica para evaluaciones no paramétricas. Se establece una escala de puntuación de 0 a 4 en donde las puntuaciones de 0 equivalen a jabones con separación de fases (acuosa y saponificada), 1 para jabones pastosos, 2 para jabones semi blandos, 3 para jabones blandos y 4 para jabones firmes o duros.

#### **3.8. Procedimiento**

Se describirá el procedimiento para la saponificación de los residuos de aceite de palma y los residuos de aceite de soja utilizando tres tipos de cal diferentes.

- Tomar una muestra de 150g de residuos de aceite.
- Colocar en un reactor de acero inoxidable y llevar a su punto de fusión.
- Colocar en un *beacker* 7g de cal.

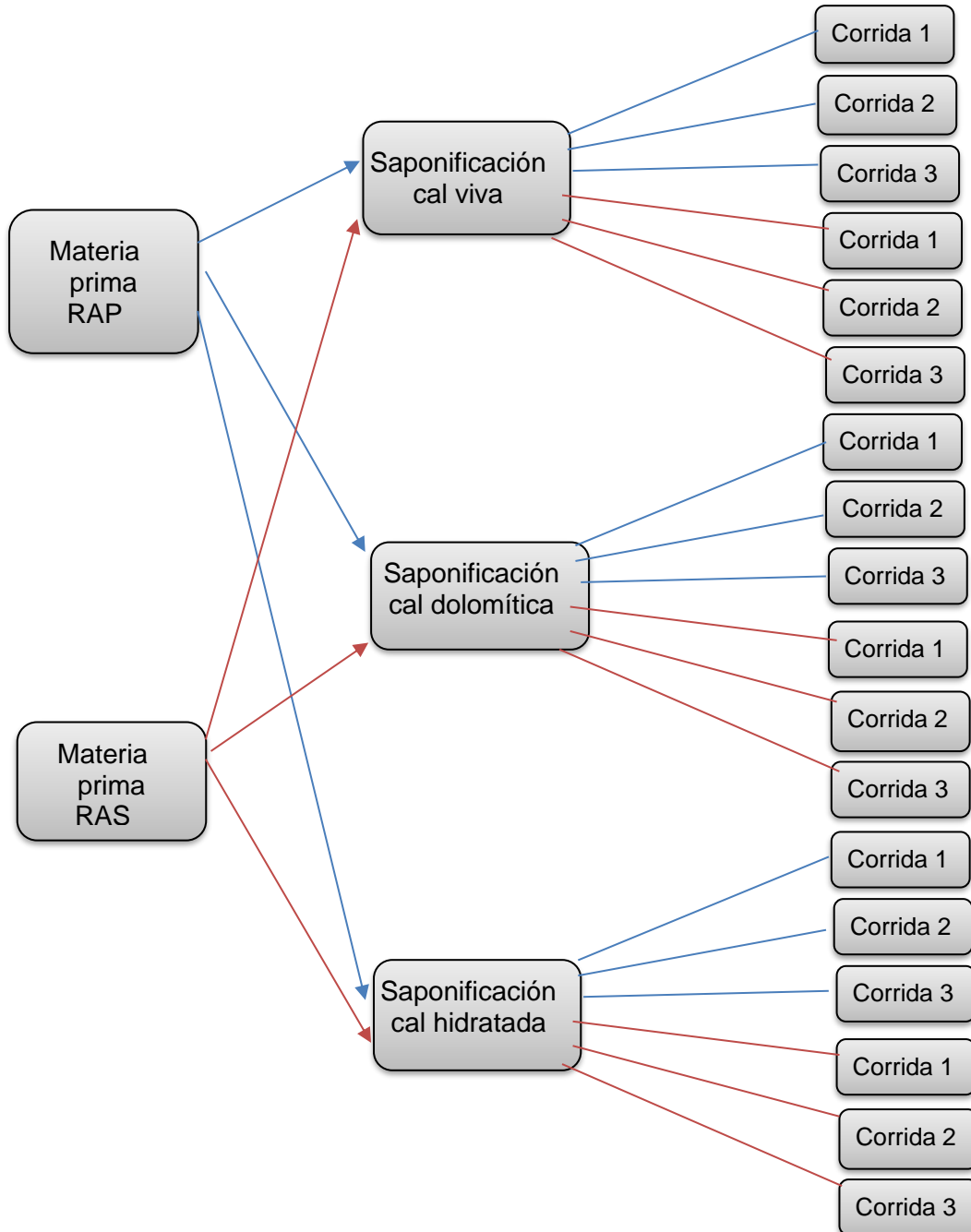
- Colocar en una probeta 15g de agua destilada.
- Cuando los residuos hayan alcanzado su punto de fusión, mantener la temperatura de la solución en  $\pm 4$  °C.
- Agregar poco a poco el agua al *beacker* con cal y agitar constantemente hasta conseguir una lechada.
- Agregar la lechada al reactor con los residuos de ácidos grasos y agitar constantemente hasta que se dé la saponificación completa.
- Anotar la temperatura de la reacción y el tiempo de reacción.
- Colocar la mezcla obtenida en una bandeja de acero inoxidable y dejar secar por un período de 7 días.
- Pasado el período de 7 días, evaluar la consistencia, tomar el peso de la muestra y empacar.
- Llevar las muestras obtenidas al laboratorio de bromatología para realizar un análisis proximal y análisis de porcentaje de calcio absorbido a cada una de las muestras.

### **3.9. Diseño de tratamientos**

La reacción de saponificación se realizó con tres tipos de cal: cal viva ( $\text{CaO}$ ), cal dolomítica ( $\text{MgCaO}$ ) y cal hidratada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). De cada tratamiento se realizaron 3 corridas.



Figura 21. Diagrama de clasificación de muestras



Fuente: elaboración propia.

### 3.10. Recolección y ordenamiento de la información

La recolección y ordenamiento de la información se describe a continuación.

#### 3.10.1. Datos de la cinética de reacción de saponificación para la elaboración de grasas sobrepasantes

Los datos sobre la cinética de cada una de las reacciones de saponificación para la elaboración de las grasas sobrepasantes se muestran a continuación.

Tabla IV. Datos para la caracterización de las reacciones realizadas para la obtención de las primeras muestras

Tipo de grasa	Método de saponificación	Materia prima (g)	Cantidad de cal (g)	Cantidad de agua (g)	Tiempo de saponificación (min)	Temperatura de saponificación (°C)
RAP	Cal hidratada	104,80	4,05	9,49	24	47
	Cal dolomítica	104,88	4,00	9,53	27	45
	Cal viva	104,87	4,07	9,30	20	47
RAS	Cal hidratada	105,00	11,45	35,0	40	47
	Cal dolomítica	105,00	6,50	22,0	40	45
	Cal viva	105,00	15,0	30,0	35	47

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Datos para la caracterización de las reacciones realizadas para la obtención de las segundas muestras**

Tipo de grasa	Método de saponificación	Materia prima (g)	Cantidad de cal (g)	Cantidad de agua (g)	Tiempo de saponificación (min)	Temperatura de saponificación (°C)
RAP	Cal hidratada	460,53	20,05	35,0	30	60
	Cal dolomítica	462,03	25,00	45,0	45	55
	Cal viva	460,45	25,00	35,8	20	60
RAS	Cal hidratada	460,90	40,80	45,0	50	50
	Cal dolomítica	461,18	41,00	65,0	35	50
	Cal viva	460,11	41,00	45,0	45	47

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Datos para la caracterización de las reacciones realizadas para la obtención de las terceras muestras**

Tipo de grasa	Método de saponificación	Materia prima (g)	Cantidad de cal (g)	Cantidad de agua (g)	Tiempo de saponificación (min)	Temperatura de saponificación (°C)
RAP	Cal hidratada	150,91	7,17	15,63	8	54,7
	Cal dolomítica	150,15	7,03	15,21	13	53,0
	Cal viva	150,06	7,03	15,12	8	55,0
RAS	Cal hidratada	150,00	10,00	25,60	17	41,5
	Cal dolomítica	150,23	10,14	25,17	35	40,0
	Cal viva	150,70	10,80	23,60	19	42,4

Fuente: elaboración propia.

### 3.11. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de datos se utilizarán los siguientes métodos.

#### 3.11.1. Media

A continuación, se muestra la ecuación que indica el promedio de una medición. Esto da una idea de cómo están centrados los datos y facilita la realización de comparaciones entre distintos parámetros.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} \quad \text{Ecuación 1}$$

$\bar{x}$  = Media de los datos

$\sum x_i$  = sumatoria de los valores

$N$  = número de datos

#### 3.11.2. Desviación estándar

Es una medida de dispersión, indica cuánto están alejados los datos respecto de la media.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$\delta$  = Desviación estándar

$\bar{x}$  = Media de los datos

$x_i$  = valor individual de cada dato

$N$  = número de datos

### 3.11.3. Análisis de varianza de n factor (ANOVA)

Para el análisis experimental de los resultados, el análisis de varianza permite aprobar o rechazar una hipótesis, ya sea la hipótesis nula o hipótesis alterna. Un ANOVA consiste en determinar si el factor que se va a estudiar (tratamiento) influye sobre la variable de respuesta (variable dependiente). Para ello, se compara la varianza entre las medias de los grupos y la varianza dentro de los grupos para determinar si los grupos forman parte de una misma población o son poblaciones separadas con características distintas.

La hipótesis nula indica que, al aplicar distintos tratamientos, las variables de respuesta serán iguales; mientras que la hipótesis alterna describe que por lo menos una de las variables de respuesta difiere de las demás.

El ANOVA para el presente trabajo de investigación se realizó en el programa Microsoft Excel. Para el presente trabajo los factores fueron los distintos tipos de cal utilizados para la saponificación y las variables de respuesta fueron el porcentaje de materia seca, la consistencia final de los jabones cálcicos y el tiempo de saponificación.

Para aceptar o rechazar una hipótesis estadística, se utilizó la distribución de Fisher con una confiabilidad del 95 % y se comparó la F crítica con la F calculada a partir de los siguientes criterios para el análisis de varianza:

Si  $F > F_{crítica}$ , se rechaza la hipótesis nula.

Si  $F < F_{crítica}$ , se acepta la hipótesis nula.

### 3.11.4. Resultados análisis ANOVA

A continuación, se muestran las tablas obtenidas del análisis de varianza de los resultados obtenidos en la fase experimental.

Tabla VII. **Análisis de varianza para el porcentaje de materia seca en los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite palma variando el tipo de cal utilizado en la reacción**

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	64,10	2	32,05	0,987	0,426	5,143
Dentro de los grupos	194,82	6	32,47			

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Análisis de varianza para la consistencia de los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de palma variando el tipo de cal utilizado en la reacción**

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2,06	2	1,028	19,5	0,0027	5,143
Dentro de los grupos	0,33	6	0,06			

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Análisis de varianza para el tiempo de reacción de saponificación de los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de palma variando el tipo de cal utilizado en la reacción**

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	232,67	2	116,33	0,803	0,491	5,143
Dentro de los grupos	869,33	6	144,89			

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Análisis de varianza para el porcentaje de materia seca en los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de soya variando el tipo de cal utilizado en la reacción**

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	91,18	2	45,59	2,93	0,197	9,55
Dentro de los grupos	46,71	3	15,57			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Análisis de varianza para la consistencia de los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de soya variando el tipo de cal utilizado en la reacción**

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,17	2	0,583	10,5	0,0109	5,143
Dentro de los grupos	0,33	6	0,056			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Análisis de varianza para el tiempo de reacción de saponificación de los jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de soya variando el tipo de cal utilizado en la reacción**

<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	21,57	2	10,78	0,069	0,934	5,143
Dentro de los grupos	933,33	6	155,56			

Fuente: elaboración propia.



### 3.11.5. Conclusión análisis ANOVA

Para validar cada una de las hipótesis se utilizó una confiabilidad del 95 % en el análisis de varianza. Para la primera hipótesis dado que la F experimental es menor a la F crítica ( $F < F_c$ ), se acepta la hipótesis nula para los residuos de aceite de palma y de aceite de soya. Esto infiere que el tipo de cal que se utilice para la saponificación no afectará significativamente el porcentaje de materia seca obtenido en las muestras.

Para la segunda hipótesis dado que la F experimental es mayor que la F crítica ( $F > F_c$ ), se acepta la hipótesis alterna para los residuos de aceite de palma y de aceite de soya. Esto indica que el tipo de cal utilizado para la saponificación afectará significativamente la consistencia de los jabones cálcicos obtenidos.

Para la última hipótesis la F experimental es menor que la F crítica ( $F < F_c$ ), por lo tanto, se acepta la hipótesis nula para los residuos de aceite de palma y de aceite de soya. Esto indica que el tipo de cal utilizado para la saponificación no afectará significativamente el tiempo de la reacción.



## 4. RESULTADOS

Tabla XIII. **Características de la reacción de saponificación entre residuos de aceite de palma y cal viva**

	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio	Desviación Estándar (%)
<b>Cantidad de M. P (g)</b>	104,87	460,45	150,06	238,46	193,57
<b>Cantidad de cal (g)</b>	4,07	25,00	7,03	12,03	11,33
<b>Cantidad de agua (g)</b>	9,30	35,80	15,12	20,07	13,93
<b>Tiempo de reacción (min)</b>	20,00	20,00	8,00	16,00	6,93
<b>Temperatura de reacción (°C)</b>	47,00	60,00	55,00	54,00	6,56
<b>Cantidad de JC obtenida (g)</b>	103,80	480,30	157,90	247,33	203,56
<b>Consistencia final de JC</b>	2,50	2,00	2,00	2,17	0,29

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de palma con cal viva (CaO)**

<b>Parámetro</b>	<b>Rep. 1</b>	<b>Rep. 2</b>	<b>Rep. 3</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Desviación Estándar (%)</b>
% M.S. T	73,55	92,70	90,85	85,70	10,56
% E. E	93,84	39,69	70,46	67,99	27,16
% F.C	0,02	0,07	0,00	0,03	0,036
% Proteína cruda	0,10	4,72	0,05	1,62	2,68
% Cenizas	5,97	4,68	6,47	5,71	0,92
% E.L. N	0,07	50,83	23,01	24,64	25,42
% Calcio	0,00	1,88	0,18	1,03	1,202

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Características de la reacción de saponificación entre residuos de aceite de palma y cal hidratada**

	<b>Rep. 1</b>	<b>Rep. 2</b>	<b>Rep. 3</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
<b>Cantidad de M. P (g)</b>	104,80	460,53	150,91	238,75	193,45
<b>Cantidad de cal (g)</b>	4,05	20,05	7,17	10,42	8,48
<b>Cantidad de agua (g)</b>	9,49	35,00	15,63	20,04	13,31
<b>Tiempo de reacción (min)</b>	24,00	30,00	8,00	20,67	11,37
<b>Temperatura de reacción (°C)</b>	47,00	60,00	54,70	53,90	6,54
<b>Cantidad de JC obtenida (g)</b>	104,20	492,60	159,20	252,00	210,17
<b>Consistencia final de JC</b>	1,50	2,00	2,00	1,83	0,29

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de palma con cal hidratada (Ca (OH)<sub>2</sub>)**

Parámetro	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio (%)	Desviación Estándar (%)
% M.S. T	82,18	92,78	88,6	87,85	5,34
% E. E	94,91	27,96	65,99	62,95	33,58
% F.C	0,03	0,26	0,00	0,097	0,14
% Proteína cruda	0,06	5,25	0,06	1,79	2,99
% Cenizas	4,91	4,96	4,92	4,93	0,026
% E.L. N	0,09	61,56	30,82	30,82	30,74
% Calcio	0,00	2,22	0,09	1,16	1,51

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Características de la reacción de saponificación entre los residuos de aceite de palma y cal dolomítica**

	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Promedio	Desviación Estándar
<b>Cantidad de M. P (g)</b>	104,88	462,03	150,15	239,02	194,45
<b>Cantidad de cal (g)</b>	4,00	25,00	7,03	12,01	11,35
<b>Cantidad de agua (g)</b>	9,53	45,00	15,21	23,25	19,05
<b>Tiempo de reacción (min)</b>	27,00	45,00	13,00	28,33	16,04
<b>Temperatura de reacción (°C)</b>	45,00	55,00	53,00	51,00	5,29
<b>Cantidad de JC obtenida (g)</b>	106,40	479,90	157,30	247,87	202,55
<b>Consistencia final de JC</b>	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de palma con cal dolomítica (CaMgOH)**

<b>Parámetro</b>	<b>Rep. 1</b>	<b>Rep. 2</b>	<b>Rep. 3</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Desviación Estándar (%)</b>
% M.S. T	92,26	93,80	93,12	93,06	0,77
% E. E	96,50	27,55	97,92	73,99	40,22
% F.C	0,13	0,05	0,04	0,073	0,049
% Proteína cruda	0,05	5,89	0,19	2,043	3,33
% Cenizas	2,64	5,34	1,42	3,13	2,01
% E.L. N	0,68	61,17	0,42	20,76	34,99
% Calcio		2,64	0,12	1,38	1,78

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Características de la reacción de saponificación entre residuos de aceite de soya y cal viva**

	<b>Rep. 1</b>	<b>Rep. 2</b>	<b>Rep. 3</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
<b>Cantidad de M. P (g)</b>	105,00	460,11	150,70	238,60	193,19
<b>Cantidad de cal (g)</b>	15,00	41,00	10,80	22,27	16,36
<b>Cantidad de agua (g)</b>	30,00	45,00	23,60	32,87	10,98
<b>Tiempo de reacción (min)</b>	35,00	45,00	19,00	33,00	13,11
<b>Temperatura de reacción (°C)</b>	47,00	47,00	42,40	45,47	2,66
<b>Cantidad de JC obtenida (g)</b>	112,10	519,30	166,70	266,03	221,03
<b>Consistencia final de JC</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de soya con cal viva (CaO)**

<b>Parámetro</b>	<b>Rep. 1</b>	<b>Rep. 2</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Desviación Estándar (%)</b>
% M.S. T	97,06	96,34	96,70	0,51
% E. E	27,62	89,62	58,62	43,84
% F.C	0,3	0	0,15	0,21
% Proteína cruda	1,85	0,09	0,97	1,25
% Cenizas	15,37	9,16	12,27	4,39
% E.L. N	54,86	1,22	28,04	37,93
% Calcio	2,19	0,08	1,14	1,49

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Características de la reacción de saponificación entre residuos de aceite de soya y cal hidratada**

	<b>Rep. 1</b>	<b>Rep. 2</b>	<b>Rep. 3</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
<b>Cantidad de M. P (g)</b>	105,00	460,90	150,00	238,63	193,80
<b>Cantidad de cal (g)</b>	11,45	40,80	10,00	20,75	17,38
<b>Cantidad de agua (g)</b>	35,00	45,00	25,60	35,20	9,70
<b>Tiempo de reacción (min)</b>	40,00	50,00	17,00	35,67	16,92
<b>Temperatura de reacción (°C)</b>	47,00	50,00	41,50	46,17	4,31
<b>Cantidad de JC obtenida (g)</b>	114,30	496,20	164,20	258,23	207,59
<b>Consistencia final de JC</b>	2,00	1,50	2,00	1,83	0,29

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de soya con cal hidratada (Ca (OH)<sub>2</sub>)**

<b>Parámetro</b>	<b>Rep. 1</b>	<b>Rep. 2</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Desviación Estándar (%)</b>
% M.S. T	96,61	93,49	95,05	2,21
% E. E	20,80	79,13	49,97	41,25
% F.C	0,24	0	0,12	0,17
% Proteína cruda	2,26	0,09	1,18	1,53
% Cenizas	12,64	7,68	10,16	3,51
% E.L. N	64,06	13,27	38,67	35,91
% Calcio	1,33	0,22	0,78	0,79

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Características de la reacción de saponificación entre residuos de aceite de soya y cal dolomítica**

	<b>Rep. 1</b>	<b>Rep. 2</b>	<b>Rep. 3</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
<b>Cantidad de M. P (g)</b>	105,00	461,18	150,23	238,80	193,91
<b>Cantidad de cal (g)</b>	6,50	41,00	10,14	19,21	18,96
<b>Cantidad de agua (g)</b>	22,00	65,00	25,17	37,39	23,96
<b>Tiempo de reacción (min)</b>	40,00	35,00	35,00	36,67	2,89
<b>Temperatura de reacción (°C)</b>	45,00	50,00	40,00	45,00	5,00
<b>Cantidad de JC obtenida (g)</b>	113,80	509,40	169,20	264,13	214,21
<b>Consistencia final de JC</b>	1,20	1,50	1,00	1,23	0,25

Fuente: elaboración propia.



Tabla XXIV. **Parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a los jabones cálcicos obtenidos a partir de los residuos de aceite de palma con cal dolomítica (CaMgOH)**

Parámetro	Rep. 1	Rep. 2	Promedio (%)	Desviación Estándar (%)
% M.S. T	83,17	92,29	87,73	6,45
% E. E	74,51	82,93	78,72	5,95
% F.C	0,13	0	0,07	0,09
% Proteína cruda	12,74	0,02	6,38	8,99
% Cenizas	8,86	14,2	11,53	3,78
% E.L. N	3,77	2,84	3,31	0,66
% Calcio	1,22	0,15	0,69	0,76

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Resumen de caracterización de las reacciones de saponificación realizadas**

Método de saponificación	Cantidad de grasa (g)	Cantidad de cal (g)	Cantidad de agua (g)	Tiempo de reacción (min)	Temperatura de reacción (°C)	Consistencia	Producto obtenido (g)
RAP con cal viva	240	12,11	20,20	16	54	2,2	249
RAP con cal hidratada	240	10,5	20,00	21	54	1,8	252
RAP con cal dolomítica	240	12,05	23,4	28	51	3	248
RAS con cal viva	240	22,4	33,06	33	46	2	267,6
RAS con cal hidratada	240	20,9	35,40	36	46	1,8	259,7
RAS con cal dolomítica	240	19,3	37,6	37	45	1,2	265,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Resumen de los parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a las muestras de jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de palma (RAP)**

	<b>Cal viva</b>	<b>Cal hidratada</b>	<b>Cal dolomítica</b>
<b>% M. S. T</b>	92,70	92,78	93,8
<b>% E. E</b>	40,0	27,96	27,55
<b>% F. C</b>	0,07	0,26	0,05
<b>% Proteína cruda</b>	4,72	5,25	1,85
<b>% Cenizas</b>	5,0	4,96	15,4
<b>% Calcio</b>	2,0	2,22	2,64

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Resumen de los parámetros evaluados en el análisis bromatológico realizado a las muestras de jabones cálcicos obtenidos a partir de residuos de aceite de soya (RAS)**

	<b>Cal Viva</b>	<b>Cal Hidratada</b>	<b>Cal dolomítica</b>
<b>% M. S. T</b>	97,06	96,61	92,3
<b>% E. E</b>	27,62	20,80	74,51
<b>% F. C</b>	0,3	0,24	0,13
<b>% Proteína cruda</b>	1,85	2,26	12,74
<b>% Cenizas</b>	15,37	12,64	8,86
<b>% Calcio</b>	2,19	1,33	1,22

Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar tres métodos de saponificación con óxido de calcio, óxido de calcio y magnesio e hidróxido de calcio en residuos de aceite de palma (*Elaeis Guineensis*), y residuos de aceite de soya (*Glycine Max*), para la obtención de jabones cálcicos. Se caracterizó cada una de las reacciones realizadas y para determinar la reacción con la cual se obtiene la muestra con mayor calidad, se realizó un análisis bromatológico a las muestras obtenidas tomando como factor de mayor importancia el porcentaje de materia seca tratable en la muestra.

El proceso consistió en la fabricación de jabones cálcicos por medio de una reacción de saponificación de residuos de aceite con distintos tipos de cal. Debido a que este tipo de reacción es exotérmica, se debe tomar en cuenta la temperatura y el tiempo de reacción. La tabla XXV muestra el resumen de las características obtenidas para cada una de las reacciones de saponificación realizadas. Según las características en la tabla se puede observar que la reacción entre los residuos de aceite de palma con cal viva requiere un menor tiempo de reacción siendo este de 16 min. Durante este tiempo reaccionó 240 g de residuos de aceite de palma con 12,11g de cal viva y 20,2 g de agua, la temperatura de la reacción fue de 54 °C obteniendo 249 g de producto de jabón cálcico.

Si se toma en cuenta como parámetro más importante la cantidad de producto obtenida, la reacción más favorable es la de residuos de aceite de palma con cal hidratada. La tabla XXV muestra que para esta reacción se obtuvo 252 g de producto de jabón cálcico utilizando 240 g de residuos de aceite de palma,

10,5 g de cal y 20 g de agua, se requirió un tiempo de 21 min para la reacción y una temperatura de 54 °C.

Para evaluar la consistencia obtenida de los jabones cálcicos se utilizó la técnica para evaluaciones no paramétricas establecida por Kruskal y Wallis en 1957, la cual se explica en la página 33 de la presente tesis. La tabla XXV muestra que el valor más alto en la columna de consistencia corresponde a la reacción de residuos de aceite de palma con cal dolomítica con un valor de 3; seguido por el valor obtenido de la reacción de residuos de aceite de palma con cal viva con un valor de 2,2.

Para que los jabones cálcicos obtenidos puedan ser incorporados de forma racionada en la dieta de animales rumiantes deben de cumplir con ciertos parámetros importantes. Para poder evaluar estos parámetros se realizó un análisis bromatológico y se comparó el valor obtenido para cada parámetro en todas las muestras y así determinar con qué reacción se obtuvo los mejores valores.

Al reducir la humedad del producto mejora la calidad, reduciendo el deterioro y el crecimiento de hongos no deseados; la mayoría de las compañías que se dedican a la producción de jabones cálcicos recomiendan que el producto obtenido posea un porcentaje mayor al 90 %, preferiblemente al 95 % de materia seca tratable. A partir de los resultados obtenidos del análisis bromatológico se determinó la mejor reacción, tomando como parámetro más importante el porcentaje de materia seca tratable, % M. S. T. La tabla XXVI muestra que para las reacciones con residuos de aceite de palma el % M. S. T se mantuvo entre 92,7 % y 94 % obteniendo el valor más alto en la reacción de RAP con cal dolomítica. La tabla XXVII muestra que en las reacciones con residuos de aceite de soja el % M. S. T se mantuvo entre 92 % y 97 %.

Tomando en cuenta la caracterización de cada una de las reacciones, la cantidad de producto obtenida, la consistencia del producto final y el porcentaje de materia seca tratable del producto obtenido analizadas previamente; se puede concluir que las reacciones más favorables son las reacciones de saponificación entre los residuos de aceite de palma con cal. Este tipo de reacciones son las que requieren un menor tiempo de reacción, menor cantidad de reactivos y de las cuales se obtuvo mejores resultados en el análisis bromatológico realizado.

Continuando con los resultados obtenidos de los demás parámetros del análisis bromatológico; el porcentaje de extracto etéreo o grasa bruta indica la cantidad de grasa disponible para la absorción de vitaminas solubles en grasa en el abomaso de los animales rumiantes. Los porcentajes obtenidos para las reacciones con RAP se mantuvieron entre 27 % a 40 %. Un porcentaje de extracto etéreo mayor a 20 % representará que el animal rumiante tendrá a su disposición suficiente grasa disponible para la absorción de vitaminas.

El siguiente parámetro es la fibra cruda, esta no es nutriente ya que no participa en los procesos metabólicos, además puede causar peristalsis intestinal, por ese motivo se recomienda una cantidad mínima de fibra cruda en el producto. Para las reacciones entre RAP y los tres tipos de cal se lograron obtener valores menores a 0,3 % cumpliendo con el requerimiento que se espera de este tipo de productos.

En el caso de la proteína, debido a que los animales rumiantes pueden utilizar nitrógeno no proteico en el rumen para sintetizar una proteína bacteriana, no necesitan los aminoácidos esenciales por lo que el porcentaje de proteína puede estar entre 0 % a 10 %. Para las reacciones realizadas con RAP los porcentajes se mantuvieron entre 4 % y 6 %, manteniéndose entre los rangos permitidos para los jabones cálcicos.

El porcentaje de calcio absorbido por las grasas sobrepasantes toma un rol más importante cuando el producto es destinado para el consumo de vacas y en estudios realizados en otros países han determinado que el porcentaje máximo permitido es de 9 %. Al incorporar las grasas sobrepasantes se contribuye positivamente en el balance energético mejorando la reproducción e incrementado la producción de leche. Para las reacciones con RAP y cal los valores se mantuvieron entre 2 % y 3 %.

Según el resultado obtenido en el análisis de varianza de un factor (ANOVA) el tipo de cal que se utiliza en la reacción afecta significativamente la consistencia de los jabones cálcicos obtenidos; sin embargo, el tipo de cal no afectará significativamente el tiempo de reacción ni el porcentaje de materia seca que se obtenga.

Debido a que la fase experimental estuvo limitada por distintos factores de equipo, el diseño del proceso que se recomienda a continuación se basa en los realizado en el laboratorio y esta descrito para el que se consideró el mejor método de saponificación a partir de los resultados obtenidos. Primero se lleva a punto de fusión los residuos de aceite de palma, luego se prepara la lechada del tipo de cal a utilizar con el agua. En un reactor de acero inoxidable se agrega la lechada a los residuos de aceite de palma y tratando de mantener la temperatura constante se mezcla constantemente hasta concluir la saponificación. Por último, se vierte la mezcla en una bandeja de acero inoxidable para dejar secar y posteriormente granular el producto obtenido y empacar. El diseño del proceso estará detallado en la sección de anexos.

## CONCLUSIONES

1. Tomando en cuenta como características más importantes el tiempo de reacción, la temperatura de reacción y la cantidad de producto obtenido; el método de saponificación más efectivo es el de los residuos de aceite de palma con cal viva con un tiempo de reacción de 16 min. Durante este tiempo reaccionó 240 g de residuos de aceite de palma con 12,11 g de cal viva y 20,2 g de agua, la temperatura de la reacción fue de 54 °C obteniendo 249 g de producto de jabón cálcico.
2. Si el único factor importante fuera la consistencia obtenida en el producto final, jabones cálcicos, los métodos más efectivos serían los de residuos de aceite de palma con cal dolomítica obteniendo una consistencia de 3; seguido del método de saponificación entre los residuos de aceite de palma con cal viva obteniendo una consistencia de 2,2 en los jabones cálcicos.
3. Del análisis bromatológico se obtuvo que el porcentaje más alto de materia seca tratable se obtuvo de las reacciones con residuos de aceite de palma con cal viva con 92,7 % y de residuos de aceite de palma con cal dolomítica con 94 %. El porcentaje más alto de calcio absorbido corresponde a las reacciones de residuos de aceite de palma con cal manteniéndose dentro de un intervalo de 2 % a 3 %. Para estas reacciones se obtuvo entre 27 % a 40 % de extracto etéreo, 0,3 % de fibra cruda y entre 4 % a 6 % de proteína.

4. El método de saponificación más efectivo es el de residuos de aceite de palma saponificados con cal. Este método es el que requiere un menor tiempo de reacción, menor cantidad de materia prima, mejores rangos de temperatura, de los cuales se obtiene una mayor cantidad producto y mejor calidad en base a los parámetros que se evalúan en el análisis bromatológico.
  
5. Debido a que la fase experimental estuvo limitada por distintos factores de equipo, el diseño del proceso detallado que se recomienda en la sección de anexos se basa en lo realizado en el laboratorio y esta descrito para el que se consideró el mejor método de saponificación a partir de los resultados obtenidos.



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar, en la etapa de secado, el equipo adecuado de forma que el producto obtenido de la mezcla se pueda someter a vacío para reducir su contenido de humedad al máximo y conforme el agua se evapora el producto se pueda convertir en forma de granulado automáticamente.
2. Repetir los pasos de la fase experimental implementando el método en seco para cada una de las corridas de los métodos de saponificación, esto implica no utilizar agua en ninguna de las reacciones a realizar y así determinar si afecta en el porcentaje de materia seca del producto final.
3. Caracterizar las reacciones de las corridas realizadas con el método en seco y realizar un análisis bromatológico completo a las muestras obtenidas. Esto con el fin de poder comparar los resultados que se obtengan con el método en seco con los resultados obtenidos en el presente trabajo.
4. Realizar los pasos de la fase experimental de nuevo, pero variando el tipo de residuo de grasa utilizado, luego analizar las muestras obtenidas y comparar con los resultados obtenidos en el presente para comprobar si hay alguna variación al cambiar el tipo de grasa utilizada.
5. Hacer pruebas con el producto obtenido en animales rumiantes para conocer los beneficios que se podrían obtener en el balance energético de estos al combinar el pienso que consumen los animales rumiantes con las grasas sobrepasantes obtenidas con este proyecto.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Acepalma Comercializadora Internacional. *Productos*. [en línea]. <<http://www.acepalma.com/Productos.php>>. [Consulta: mayo de 2018].
2. ANFACAL. *Proceso productivo de la cal*. [en línea]. <<http://anfocal.org/proceso-productivo-de-la-cal/#>>. [Consulta: mayo de 2018] .
3. BORRAS, Wilmer. *Tecnologías de jabón, grasas y aceites*. [en línea]. <<http://teoriadejabones.blogspot.com/2013/12/saponificacion-y-neutralizacion.html>>. [Consulta: mayo de 2018].
4. Caleras San Miguel. *Cal dolomítica*. [en línea]. <<https://calerasanmiguel.com/productos/agr%C3%ADcola/cal-dolom%C3%ADtica>>. [Consulta: mayo de 2018].
5. CONRADO, Pedro. *Grasas y aceites todo lo referente sobre las grasas*. [en línea]. <<https://estudiaunilibre.webnode.com.co/da%C3%B1os-al-medio-ambiente/>>. [Consulta: mayo de 2018].
6. DUARTE, Jesús; RAMÍREZ, Germán; CASTAÑEDA, Román. *Grasa sobrepasante: aplicaciones y su proceso de obtención para la alimentación de rumiantes en el trópico*. 2. Revista colombiana de Ciencia Animal, Vol. 8, 2016. p. 228-242. ISSN en línea: 2027-4297.

7. EcuRed. *Aceite de soja*. [en línea]. <[https://www.ecured.cu/Aceite\\_de\\_soja](https://www.ecured.cu/Aceite_de_soja)>. [Consulta: mayo de 2018].
8. El aceite. *El mundo del aceite: aceite de oliva, alimentación, aceites esenciales, aceites corporales*. [en línea]. <<http://www.elaceite.net/2014/04/21/general/acido-palmitico/>>. [Consulta: mayo de 2018].
9. Engormix. *Rendimiento de vacas Holstein en lactación alimentadas con grasa sobrepasante en la dieta*. Guatemala: Cámara de productores de leche, 2016, Notileche, Vol. 85.
10. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Bromatología*. [en línea]. <<http://www.fmvz.usac.edu.gt/index.php/2016-06-28-06-20-37/2016-06-28-06-20-55/bromatologia>>. [Consulta: junio de 2018].
11. GAVIN, Mary. *Los alimentos de soja y la salud*. [en línea]. <<https://kidshealth.org/es/teens/soy-esp.html>>. [Consulta: mayo de 2018].
12. GODOY, Juan. *Siete datos que no sabías sobre el aceite de palma en Guatemala*. [en línea]. <<http://republica.gt/2018/02/20/siete-datos-que-no-sabias-sobre-el-aceite-de-palma-en-guatemala/>>. [Consulta: mayo de 2018].
13. Grupo HAME. *Palma de aceite*. [en línea]. <<http://grupohame.com/palma-de-aceite/>>. [Consulta: mayo de 2018].

14. GUALÁN, Inés; ROMERO, Yanela; ZÚÑIGA, Mónica; MAZA, Teddy. *Área Agropecuario y de Recursos Naturales. Lípidos*. Universidad Nacional Loja, Medicina Veterinaria y Zootecnia, 2016. 37 p.
15. GUERRERO, Pedro. *Obtención y evaluación de grasas protegidas por medio de saponificación y encapsulado para su aplicación en la alimentación de rumiantes*. Tesis de Maestro en Ciencias en Zootecnia. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México : Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2013. 94 p.
16. GUZMÁN, Miguel. *Animales rumiantes definición, ejemplo y curiosidades*. *Petdarling*. [en línea]. <<https://www.petdarling.com/articulos/rumiantes/>>. [Consulta: mayo de 2018].
17. HERNÁNDEZ, Rolando; DÍAZ, Thaís. *Las grasas sobrepasantes y su efecto sobre la actividad productiva y reproductiva en rumiantes*. Astro Data S.A., 2011. Innovación y tecnología en la ganadería doble propósito, Vol. XXXIII, p. 333-343.
18. Info Agro. *Genera industrial*. [en línea]. <[http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma\\_africana\\_aceitera\\_coroto\\_de\\_guinea\\_a\\_aabora.htm](http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_africana_aceitera_coroto_de_guinea_a_aabora.htm)>. [Consulta: mayo de 2018].
19. INTERFAT Natural Oils. *Ácidos grasos aceite de soja destilados*. [en línea]. <<http://www.interfat.com/es/producto/acidograssosaceite-soja-destilados/>>. [Consulta: mayo de 2018].
20. JENKINS, Tom. *Challenges of meeting cow demands for omega fatty acids*. Florida: Ruminant Nutrition Symposium, 2004. 15 p.

21. LIPICO. *LIPICO-PGE calcium soap process*. [en línea]. <[http://www.lipico.com/processes\\_calcium-soap-production.html](http://www.lipico.com/processes_calcium-soap-production.html)>. [Consulta: mayo de 2018].
22. MATEOS, Gonzalo; REBOLLAR, Paloma. *Utilización de grasas y productos lipídicos en alimentación animal: Grasas puras y mezclas*. Madrid: s.n., 1996. 18 p.
23. OCU. *Aceite de palma: todo lo que debes saber*. [en línea]. <<https://www.ocu.org/alimentacion/alimentos/informe/aceite-de-palma#>>. [Consulta: mayo de 2018].
24. PÉREZ, Enrique. *Procedimientos de fabricación de jabones cálcicos para la alimentación animal*. Patente. [en línea]. <<http://www.google.com/patents/WO2007077266A1?cl=es>>. [Consulta: mayo de 2018].
25. PINOS, R. *Texto básico de procesos industriales*. ESPOCH-Riobamba, 1999. 123 p.
26. PROAÑO, Fredy. et al. *Caracterización química y validación de residuos de aceite de palma (Elaeis Guineensis) y sebo ovino como materias primas grasas protegidas de la degradación ruminal*. 1, 2015. La Habana, Cuba. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Vol. 49, p. 41-46. 0034-7485.

27. \_\_\_\_\_. *Evaluación de tres métodos de saponificación en dos tipos de grasas como protección ante la degradación ruminal bovina*. 1, 2015. La Habana, Cuba : Instituto de Ciencia Animal, Revista cubana de Ciencia Animal, Vol. 49, p. 35-39. 0034-7485.
28. RAMÍREZ, Gladys. *Introducción a la bromatología y nociones de nutrición*. Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica. 33 p.
29. SERRANO, Maddelainne. *Lípidos: características principales y su metabolismo*. 2014. Revista de actualización clínica, Vol. 41, p. 2142-2145.
30. SERRANO, Jairo. ¿Qué son las grasas sobrepasantes? *PROSEGAN, Productos y servicios ganaderos*. [en línea]. <<http://jairoserano.com/2011/10/%C2%BFque-son-las-grasas-sobrepasantes/>>. [Consulta: mayo de 2018].
31. TEGEDER, Fritz; MAYER, Ludwig. *Saponificación de las grasas a partir de sales de sodio y de potasio. Métodos de Química Industrial inorgánica*. Quito : 2010. p. 72-83.
32. Word Press. *Sobre la cal*. [en línea]. <<https://sobrelacal.wordpress.com/que-es-la-cal/tipos-de-cal/la-cal-viva/>>. [Consulta: mayo de 2018].
33. YUBAILLE, María. *Evaluación de tres métodos de saponificación de grasas destinadas a la alimentación de vacas lecheras*. Trabajo de

Grado de Ingeniero en Industrias Pecuarias. Riobamba,  
Ecuador :Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2013.112 p.



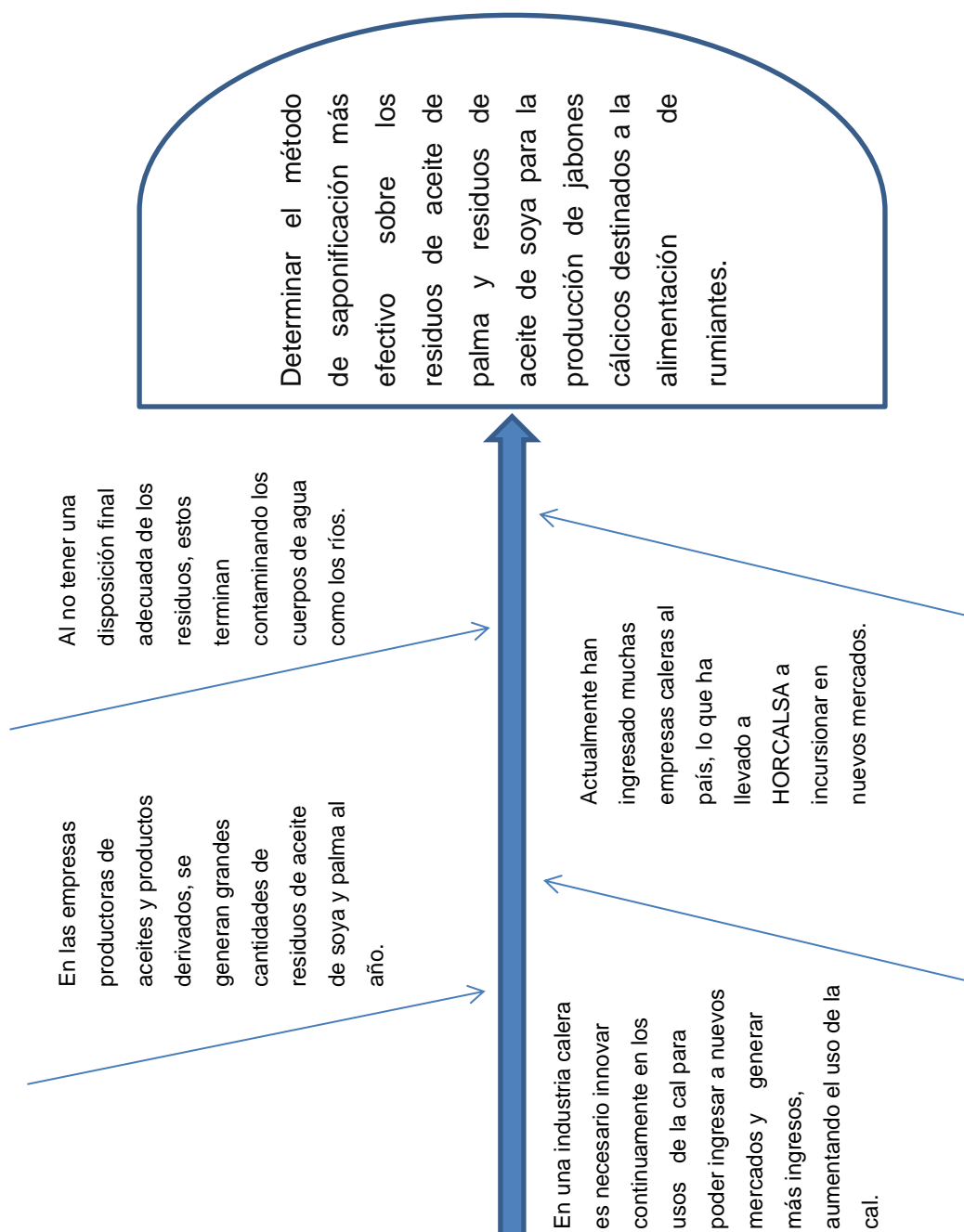
## APÉNDICES

**Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos**

1er paso	2do paso	3er paso	4to paso	5to paso	6to paso	7mo paso
Carrera	Área	Tema genérico	Tema específico	Especificación	Problema por resolver	Hipótesis
Ingeniería Química	Química	Química Orgánica	Saponificación	Saponificación de ácidos grasos	Determinar el perfil de la reacción del método de saponificación sobre residuos de aceite de palma y residuos de aceite de soya más efectivo para la obtención de jabones cálcicos destinados a alimentación de animales rumiantes con la mejor calidad.	Es posible determinar el método de saponificación más efectivo sobre los residuos de aceite de palma y residuos de aceite de soya para la producción de jabones cálcicos destinados a la alimentación de rumiantes.
	Fisicoquímica	Cinética de procesos químicos	Conversión y tamaño del reactor	Leyes de velocidad y estequiometría		
	Especialización	Procesos químicos industriales	Proceso para elaboración de jabones	Proceso para la elaboración de jabones cálcicos.		

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Propuesta para el diseño del proceso para la elaboración de jabones cálcicos a nivel de laboratorio**


- Tomar la muestra necesaria de residuos de aceite
- Colocar en un reactor de acero inoxidable los residuos y llevar a su punto de fusión.
- Colocar en un *beacker* la cantidad necesaria de cal y agregar poco a poco la cantidad necesaria de agua destilada para formar una lechada manteniendo una agitación constante.
- Cuando los residuos hayan alcanzado su punto de fusión, mantener la temperatura de la solución en  $\pm 4$  °C.
- Agregar la lechada al reactor con los residuos de aceite y agitar constantemente hasta que se dé la saponificación completa.
- Colocar la mezcla obtenida en una bandeja de acero inoxidable y dejar secar.
- Pasado el período de secado, evaluar la consistencia, tomar el peso de la muestra, granular y empacar el producto.

Fuente: elaboración propia.



## ANEXOS

### Anexo 1. Resultados obtenidos del análisis bromatológico realizado a las primeras muestras obtenidas



## FORMULARIO BROMATO 7

### INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS

Edificio M6,  
Ciudad de C  
Teléfax: 24'  
E-mail: brom

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Escuela de Zootecnia  
Unidad de Alimentación Animal

Solicitado por: **CEMENTOS PROGRESO, S.A.** Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA, No. 286**

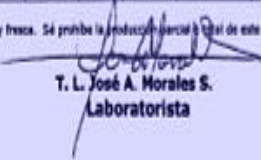
Fecha de recibida la muestra: **14-06-2018.**

Fecha de realización: **DEL 18 AL 21-06-2018.**


Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	PH	TND %
384	JC (CD)	SECA	7.74	82.26	96.50	0.13	0.06	2.64	0.58	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	82.03	0.12	0.06	2.44	---	---	---	---	---	---	---	---	---
385	JC (DI)	SECA	17.82	82.18	94.91	0.03	0.06	4.91	0.09	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	77.99	0.09	0.06	4.03	---	---	---	---	---	---	---	---	---
386	JC (CV)	SECA	26.45	73.55	83.94	0.02	0.10	5.97	0.07	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	69.02	0.02	0.07	4.39	---	---	---	---	---	---	---	---	---
....	.....	SECA	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO															

**OBSERVACIONES:**  
Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.


**TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA:**



**T. L. José A. Morales S.**  
Laboratorista




Resultados 2018/286  
21/06/18



**Lic. Miguel Ángel Rodenas**  
Jefe Laboratorio de Bromatología


Fuente: Laboratorio de Bromatología, Facultad de Veterinaria USAC.

Anexo 2. **Resultados obtenidos del análisis bromatológico realizado a las segundas muestras obtenidas**



## FORMULARIO BROMATO 7

### INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
 Escuela de Zootecnia  
 Unidad de Alimentación Animal

Solicitado por: **CEMENTOS PROGRESO, S.A.** Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA.** No. **514**

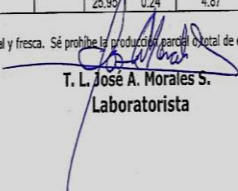
Edificio M6, 2° I  
 Ciudad de Gua  
 Telefax: 24188  
 E-mail: bromat@

Fecha de recibida la muestra: **26-09-2018.** Fecha de realización: **DEL 01 AL 05- 10-2018.**

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA CRUDA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D %	Lignina %	Dig. Pepsina %	PH	TND %
661	JC1	SECA	3.38	96.62	20.80	0.24	2.26	12.64	64.06	1.33	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	20.10	0.23	2.19	12.21	---	---	---	---	---	---	---	---	---
662	JC2	SECA	16.83	83.17	74.51	0.13	12.74	8.86	3.77	1.22	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	61.97	0.11	10.60	7.37	---	---	---	---	---	---	---	---	---
663	JC3	SECA	2.94	97.06	27.92	0.30	1.85	15.37	54.86	2.19	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	28.80	0.29	1.80	14.92	---	---	---	---	---	---	---	---	---
664	JC4	SECA	7.22	92.78	27.98	0.26	5.25	4.96	61.56	2.22	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	25.95	0.24	4.87	4.61	---	---	---	---	---	---	---	---	---

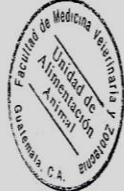
**TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA:**

OBSERVACIONES:  
 Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.


  
**T. L. José A. Morales S.**  
 Laboratorista

**Lic. Miguel Ángel Rodenas**  
 Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2018/514,  
 05/10/18




Continuación del anexo 2.



## FORMULARIO BROMATO 7

# INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
 Escuela de Zootecnia  
 Unidad de Alimentación Animal

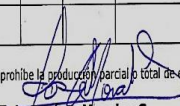
Solicitado por: CEMENTOS PROGRESO, S.A. Dirección: CIUDAD, GUATEMALA. No. 517


Edificio M6, 2º  
 Ciudad de Guatemala  
 Telefax: 24188  
 E-mail: bromat@usac.edu.gt

Fecha de recibida la muestra: 26-09-2018. Fecha de realización: DEL 01 AL 05- 10-2018.


Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA CRUDA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. Pepsina %	PH	TND %
665	JC5	SECA	6.20	93.80	27.55	0.05	5.89	5.34	61.17	2.64	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	25.84	0.04	5.53	5.01	---	---	---	---	---	---	---	---	---
666	JC6	SECA	7.30	92.70	39.69	0.07	4.72	4.68	50.83	1.88	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	36.80	0.07	4.38	4.34	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	-----	SECA	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	SECA	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		COMO ALIMENTO	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

OBSERVACIONES: **TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA: 6**  
 Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.

  
**T. L. Jose A. Morales S.**  
 Laboratorista


  
**Lic. Miguel Ángel Rodenas**  
 Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2018/517  
05/10/18




Fuente: Laboratorio de Bromatología, Facultad de Veterinaria USAC.

Anexo 3. **Resultados obtenidos del análisis bromatológico realizado a las terceras muestras obtenidas**



## FORMULARIO BROMATO 7

### INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Escuela de Zootecnia  
Unidad de Alimentación Animal Solicitado por: CEMENTOS PROGRESO Dirección: CIUDAD, GUATEMALA No. 190

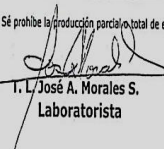
Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala  
Teléfono: 24188307 Teléfono: 24188307 ext. 167  
E-mail: bromato2000@yahoo.es

Fecha de recibida la muestra: 28-04-2019 Fecha de realización: DEL 06 AL 10-05-2019

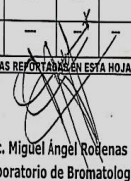
Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. En KOH %	A.G.L. %	TND %	E.D. Mcal/Kg
298	JC 1	SECA	6.88	93.12	97.92	0.04	0.19	1.42	0.42	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-
	COMO ALIMENTO	-	-	91.18	0.04	0.18	1.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
299	JC 2	SECA	9.15	90.85	76.46	0.00	0.05	6.47	23.01	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-
	COMO ALIMENTO	-	-	64.01	0.00	0.05	5.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300	JC 3	SECA	11.40	88.60	65.99	0.00	0.06	4.92	30.82	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-
	COMO ALIMENTO	-	-	58.46	0.00	0.06	4.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
301	JC 4	SECA	7.71	92.29	82.93	0.00	0.02	14.20	2.84	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-
	COMO ALIMENTO	-	-	76.54	0.00	0.02	13.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

OBSERVACIONES: Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Sé prohíbe la producción parcial de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.

TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA 4




I. L. José A. Morales S.  
Laboratorista



Lic. Miguel Ángel Rodríguez  
Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2019/190  
10/05/19





Continuación del anexo 3.



## FORMULARIO BROMATO 7

### INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
 Escuela de Zootecnia  
 Unidad de Alimentación Animal

Solicitado por: CEMENTOS PROGRESO, Dirección: CIUDAD, GUATEMALA, No. 191

Fecha de recibida la muestra: 28-04-2019, Fecha de realización: DEL 06 AL 10-05-2019,

Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Universitaria zona 12  
 Ciudad de Guatemala  
 Telefax: 24188307 Teléfono: 24188307 ext. 161  
 E-mail: bromato2000@yahoo.es

Reg.	Descripción de la muestra	BASE	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA %	Cenizas %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lignina %	Dig. En KOH %	A.G.L. %	TND %	E.D. Mcal/Kg
298	JC5	SECA	3.88	86.34	89.82	0.00	0.09	8.16	1.22	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-
		COMO ALIMENTO	-	-	86.34	0.00	0.08	8.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
299	JC6	SECA	6.51	83.49	79.13	0.00	0.09	7.68	13.27	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-
		COMO ALIMENTO	-	-	73.98	0.00	0.08	7.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
---	-----	SECA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		COMO ALIMENTO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
---	---	SECA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		COMO ALIMENTO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

OBSERVACIONES: TOTAL DE MUESTRAS REPETIDAS EN ESTA HOJA 2  
 Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.

  
**T. L. José A. Morales S.**  
 Laboratorista

  
**Lic. Miguel Ángel Rodenas**  
 Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2019/191  
10/05/19



Fuente: Laboratorio de Bromatología, Facultad de Veterinaria USAC.

