



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESTUDIO DE LA SAPONIFICACIÓN DE LA CERA DEL ARRAYÁN (*Myrica*
Cerífera L.) EVALUANDO EL ÁLCALI ALTERNATIVO CENIZA DE LEÑA DE
ENCINO RESPECTO AL CARBONATO DE POTASIO (K_2CO_3)

ALVARO ESAÚ MIRANDA MOSCOSO

Asesorado por: Ing. Cesar Alfonso García Guerra

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO DE LA SAPONIFICACIÓN DE LA CERA DEL ARRAYÁN (*Myrica Cerífera* L.) EVALUANDO EL ÁLCALI ALTERNATIVO CENIZA DE LEÑA DE ENCINO RESPECTO AL CARBONATO DE POTASIO (K_2CO_3)

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

ALVARO ESAÚ MIRANDA MOSCOSO

ASESORADO POR ING. CESAR ALFONSO GARCIA GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2004
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMINA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Ing. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Ing. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing: Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL AEXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
EXAMINADOR	Ing. Edgar Adolfo Reynoso Enríquez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdés
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala Presento a consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE LA SAPONIFICACIÓN DE LA CERA DEL ARRAYÁN (*Myrica Cerífera* L.) EVALUANDO EL ÁLCALI ALTERNATIVO CENIZA DE LEÑA DE ENCINO RESPECTO AL CARBONATO DE POTASIO (K_2CO_3)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Química con fecha 22 de marzo de 2004.

Alvaro Esaú Miranda Moscoso

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS** **Por ser ese ser divino, que me cuida, me protege, y me perdona todas mis imperfecciones, y alumbra ese camino tan lindo por el cual me guía y que no permite ningún mal a no ser por un bien mayor.**
- A MIS PADRES** **Arnaldo Miranda y Olga Moscoso de Miranda, bueno no me queda mas que darles mil gracias, y este título es suyo porque debido al empeño he llegado hasta aquí, gracias por ser mis papás. Los quiero mucho.**
- A MIS HERMANOS** **Deycy, Mario, Heidi, Marlen y Analilian gracias por la paciencia que me tienen, y por el apoyo recibido por parte de ustedes, los quiero mucho y espero mi triunfo les llene de satisfacción.**
- A MI DEMAS FAMILIA** **Abuelos, tíos, primos, sobrinos y cuñados que Dios los bendiga.**
- A MIS AMIGOS** **Que son muchos, a cada uno les agradezco su amistad, a los que mas aplaudan, gracias por ser como son, gracias por ser como son, espero no defraudarlos y cuando necesiten ayuda no duden en pedirla, de igual manera, yo no dudaré.**

AMIS COMPAÑEROS **De química industrial, por la ayuda brindada, a Víctor Cardona por su colaboración en los aspectos técnicos de la tesis y por su valiosa amistad.**

A MI ASESOR **Ing. Cesar García por ser amigo, asesor y un buen ejemplo a seguir.**

A DON LUIS **El Bibliotecólogo, por ser cuate.**

A LA UNIVERSIDAD **De San Carlos de Guatemala por brindarme la oportunidad de una educación superior, en especial al Centro de Investigaciones de Ingeniería.**

A USTED **En especial, gracias.**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
GLOSARIO	VIII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XII
HIPÓTESIS	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV

1 MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Historia del jabón	2
1.3 Lípidos	6
1.3.1 Concepto de lípidos	6
1.4 Grasas, aceites y sus productos	8
1.4.1 Propiedades determinadas por la composición	8
1.4.2 Formación de las grasas y aceites	9
1.4.3 Ceras	10
1.4.3.1 Solubilidad de las ceras	11
1.4.3.2 Acción de los álcalis en las ceras	11
1.4.3.2.1 Saponificación incompleta	11
1.5 A que se le llama ácidos grasos	11
1.6 Jabón	11
1.6.1 Materias primas	14
1.6.2 Propiedades generales de los jabones	16

1.6.3	Manufactura	22
1.6.4	Factores sanitarios y de seguridad	23
1.6.5	Análisis de los jabones	24
1.6.5.1	Determinación de agua	24
1.6.5.1.1	Procedimiento normal	24
1.6.5.1.2	Método rápido Fahrion	25
1.6.5.2	Determinación de grasas totales	26
1.6.5.2.1	Procedimiento ordinario	26
1.6.5.2.2	Método unificado propuesto por La Union de Jaboneros Alemanes	26
1.6.5.3	Determinación del álcali total	27
1.6.5.4	Determinación del álcali combinado con los ácidos grasos	28
1.6.5.5	Determinación del álcali cáustico libre	28
1.6.5.5.1	Si existe álcali en gran cantidad	28
1.6.5.5.2	Si existe álcali en pequeñas cantidades	28
1.6.5.6	Determinación del álcali carbonatado	29
1.6.5.7	Determinación de la grasa neutra	29
1.6.5.8	Determinación de la glicerina	30
1.6.5.8.1	Método del dicromato para la determinación de la glicerina	30
2	METODOLOGIA DE INVESTIGACION	33
2.1	Localización	33
2.2	Recursos humanos	33
2.3	Materiales	33
2.4	Equipo	34
2.5	Metodología experimental	36

2.5.1	Diseño de tratamientos	36
2.5.2	Diseño experimental	36
2.5.3	Unidad experimental	38
2.5.4	Manejo del experimento	38
3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
4	RESULTADOS	42
5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	52
	CONCLUSIONES	57
	RECOMENDACIONES	58
	BIBLIOGRAFÍA	59
	ANEXO	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Estructura química de los lípidos.	6
2	Estructura de un triglicérido.	7
3	Proyección de las densidades para los cuatro tipos de jabones analizados.	46
4	Proyección del porcentaje de álcali total para los cuatro tipos de jabones analizados.	47
5	Proyección del porcentaje de álcali combinado con los ácidos grasos para los cuatro tipos de jabones analizados.	48
6	Proyección del porcentaje de materia insaponificable para los cuatro tipos de jabones analizados.	49
7	Proyección del porcentaje de materia saponificable para los cuatro tipos de jabones analizados.	50
8	Proyección de los diferentes tipos de jabón, evaluando el transcurso de la saponificación a través de la evolución del pH, conforme el tiempo.	51

TABLAS

I	Codificación de corridas según cera (cruda o refinada) y agente saponificador (carbonato de potasio (K_2CO_3) o ceniza de encino).	37
II	Análisis de varianza.	41
III	Promedio de las tres repeticiones realizadas para determinar la humedad en la caracterización de la ceniza de leña de encino utilizada como álcali.	42
IV	Promedio de las tres repeticiones realizadas para la determinación de pérdida por fusión en la caracterización de la ceniza de leña de encino utilizada como álcali.	42
V	Resultados obtenidos en la determinación de los componentes de la ceniza de leña de encino utilizada como álcali, realizado con espectrofotometro de llama en el laboratorio de Cementos Progreso, planta San Miguel Km. 47 ruta al Atlántico.	43
VI	Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de dos horas, para cera cruda (<i>Myrica cerífera L.</i>) utilizando como álcali carbonato de potasio (K_2CO_3), (CCC).	44

VII	Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de dos horas, para cera cruda (<i>Myrica Cerífera L.</i>) utilizando como álcali ceniza de leña de encino, (CCA).	44
VIII	Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de dos horas, para cera blanqueada (<i>Myrica Cerífera L.</i>) utilizando como álcali carbonato de potasio (K_2CO_3), (CBC).	45
IX	Resultados Obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de dos horas, para cera blanqueada (<i>Myrica cerífera L.</i>) utilizando como álcali ceniza de leña de encino, (CBA).	45
X	Resultados obtenidos en la determinación de la densidad a una temperatura ambiente de 22 °C y una humedad del 6 por ciento, para los cuatro tipos de jabón analizados.	46
XI	Resultados obtenidos en la determinación del álcali total promedio (álcali libre y combinado con los ácidos grasos) analizados con una humedad del 6 por ciento para los cuatro tipos de jabón.	47
XII	Resultados obtenidos en la determinación del álcali combinado con los ácidos grasos promedio, analizados con una humedad del 6 por ciento, para los cuatro tipos de jabón.	48

XIII	Resultados obtenidos en la determinación de la materia insaponificable analizados con una humedad del 6 por ciento, para los cuatro tipos de jabón.	49
XIV	Resultados obtenidos en la determinación de la materia saponificada, analizados con una humedad del 6 por ciento, para los cuatro tipos de jabón.	50
XV	Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera cruda (<i>Myrica cerífera L.</i>) extraída del fruto del árbol del arrayán, utilizando como álcali carbonato de potasio (CCC).	61
XVI	Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera cruda (<i>Myrica cerífera L.</i>), extraída del fruto del árbol del arrayán utilizando como álcali ceniza de encino (CCA).	61
XVII	Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera blanqueada (<i>Myrica cerífera L.</i>), extraída del fruto del árbol del arrayán, utilizando como álcali carbonato de potasio (CBC).	62
XVIII	Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera blanqueada (<i>Myrica cerífera L.</i>), extraída del fruto del árbol de arrayán utilizando como álcali ceniza de encino (CBA).	62

XIX Resultados experimentales obtenidos para la determinación de la densidad a temperatura ambiente de 22 °C y una humedad del 6 por ciento, para los cuatro tipos de jabón analizados.	63
XX Resultados experimentales obtenidos en la determinación de la alcalinidad total	63
XXI Resultados experimentales obtenidos en la determinación de la alcalinidad con los ácidos grasos	63
XXII Resultados experimentales obtenidos en la determinación de la materia insaponificable.	64
XXIII Resultados experimentales obtenidos en la determinación de la materia saponificable.	64

GLOSARIO

Aceite	Producto lípido, líquido a temperatura ambiente que suele obtenerse a partir de las plantas, por ello se le conoce como aceite vegetal. También puede ser de origen animal.
Ácidos grasos	Compuestos químicos orgánicos comprendidos dentro de los conocidos ácidos carboxílicos. Se encuentran presentes en aceites y grasas como mezclas de ésteres grasos y glicerina.
Álcali	Nombre que se utiliza para identificar a los compuestos que contienen metales alcalinos (litio, sodio, potasio, rubidio, cesio y francio). Son completamente solubles en agua.
Aldehídos	Compuestos orgánicos que contienen un grupo carbonilo enlazado a un átomo terminal de carbono. Las reacciones químicas de los aldehídos son esencialmente las del grupo carbonilo terminal. Los aldehídos son de los compuestos orgánicos más reactivos se oxidan y reducen fácilmente y participan en una multitud de reacciones por adición.
Base	Sustancia química que combinada con un ácido forma una sal.

Concreto	Es el producto sólido o semisólido tras la obtención de los principios activos de ciertas materias primas de origen vegetal, mediante el uso de solventes volátiles (hexano, benceno, etc.). Es una mezcla pastosa sólida de moléculas odoríferas, ceras y pigmentos llamados resinoide cuando proviene del tratamiento de raíces, granos, musgos bálsamos, gomas, resinas, etc. Y concreto cuando proviene especialmente de flores y frutos.
Grasa insaturada	Fuente de ácidos grasos sólida a temperatura ambiente que presenta enlaces múltiples en sus cadenas de carbono.
Grasa saturada	Fuente de ácidos grasos sólida a temperatura ambiente que presenta enlaces simples en sus cadenas de carbono.
Índice de yodo	Prueba fisicoquímica utilizada para medir mediante un valor numérico, la cantidad de insaturaciones o enlaces múltiples que posee la estructura molecular de una grasa. El yodo es un elemento bastante reactivo, el cual ataca los enlaces químicos múltiples. Valores altos en el índice de yodo significan mayor grado de insaturación, lo cual se puede traducir en inestabilidad.
Índice de saponificación	Es el valor que indica el número de mg de KOH (hidróxido de potasio) necesarios para saponificar completamente los ácidos grasos contenidos en 1 g de grasa o aceite.

Jabón	Pasta soluble en agua que sirve para lavar, es el resultado de la combinación de un álcali con ácidos grasos. En términos químicos es el producto de la reacción química de un ácido graso con una base.
Jabón potásico	Jabón elaborado con hidróxido de potasio (KOH), en vez de hidróxido de sodio (NaOH).
Lejía	Solución acuosa de hidróxidos o carbonatos metálicos empleada para neutralizar ácidos.
Rancidez	Es el resultado de la degradación de las grasas o aceites. Puede ser manifestada por mal olor o decoloración. Es consecuencia de las reacciones secundarias indeseadas en las grasas.
Saponificación	Proceso mediante el cual se realiza la reacción química de neutralización de un ácido graso y un álcali, produciéndose jabones.
Solubilidad	Capacidad de disolverse con facilidad en un líquido.

RESUMEN

Actualmente se conocen dos corrientes para la elaboración de jabón, siendo estas la región occidental o asiática, o simplemente por la fuente de ácidos grasos principales. La primera utiliza generalmente grasas de origen animal y la segunda grasas de origen vegetal. En Guatemala se ha utilizado generalmente la corriente occidental, sin embargo hoy en día, debido al mundo competitivo, deben tomarse en cuenta no solo los aspectos de la calidad, sino además nuevas alternativas de materias primas grasas que cumplan los factores económicos, logísticas y de adaptación técnica a las necesidades.

La cera de Arrayán (*Myrica Cerífera L.*) es extraída de la frutilla del árbol del Arrayán y presenta ácidos grasos (palmítico y esteárico) para la producción de jabón ya que se encuentran dentro de las fuentes de ácidos grasos de cadena carbonada larga (C_{14} , C_{16}).

En la presente investigación se determinó si era factible la saponificación de la cera del árbol del Arrayán, así como el procedimiento óptimo para llevar a cabo dicho experimento.

Se realizaron pruebas fisicoquímicas para los jabones terminados, el proceso de saponificación realizado fue por lotes, a nivel de laboratorio, trabajando a condiciones de 640 mm de Hg. De presión y a una temperatura de 78 ± 2 °C.

OBJETIVOS

General

Evaluar el rendimiento obtenido en la saponificación de la cera del Arrayán, utilizando ceniza de leña como álcali, y comparando dicho rendimiento con la saponificación hecha con carbonato de potasio (K_2CO_3) grado industrial.

Específicos

- 1 – Evaluar las características físicoquímicas (granulometría, metales alcalinos y alcalinoterreos, pérdida por fusión etc.) de la ceniza de leña utilizada para el proceso de saponificación de la cera del arrayán
- 2 – Evaluar el rendimiento y calidad del jabón producido, a través del uso de materia prima tratada químicamente (cera blanqueada), y otra sin ningún tratamiento químico (cera cruda), con respecto al producido con carbonato de potasio (K_2CO_3).
- 3 – Evaluar la calidad del jabón producido (cera cruda y refinada), a partir del análisis de sus propiedades físicas y químicas.

HIPÓTESIS

Es posible determinar el rendimiento de la saponificación de la cera del arrayán obtenida de la región de Cóbán Alta Verapaz, tanto cruda como refinada, utilizando como álcali ceniza de leña, y teniendo como testigo del rendimiento el obtenido por tratamiento con carbonato de potasio (K_2CO_3) para las dos clases de cera.

HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

HIPÓTESIS NULA

H_0 = No existe ninguna diferencia significativa, en el rendimiento de la saponificación de la cera del arrayán, ya sea que se trate químicamente, o no y se utilice como álcali ceniza de leña o carbonato de potasio (K_2CO_3).

$$H'_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$$

$$H''_0: \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H'''_0: (\alpha\beta)_1 = (\alpha\beta)_2 = \dots = (\alpha\beta)_{12} = 0$$

HIPÓTESIS ALTERNA

H_i = Existe diferencia significativa, en el rendimiento de la saponificación de la cera del arrayán, al ser tratada químicamente se utilice como álcali ceniza de leña o carbonato de potasio (K_2CO_3).

$$H'_1: \alpha_1 \neq \alpha_2 \neq \alpha_3 \neq 0$$

$$H''_1: \beta_1 \neq \beta_2 \neq 0$$

$$H'''_1: (\alpha\beta)_1 \neq (\alpha\beta)_2 \neq \dots \neq (\alpha\beta)_{12} \neq 0$$

INTRODUCCIÓN

La existencia de la humanidad está fuertemente ligada a su medio ambiente, específicamente a los vegetales, los cuales han proporcionado alimento, vivienda, vestido, y con énfasis en recursos para mantenerse saludables y limpios. **El reino vegetal es factor decisivo en el desarrollo social y económico de los humanos.** El conocimiento y utilización del recurso renovable que brinda el mundo vegetal es razón plena para su investigación en diversos aspectos que mejoren su aprovechamiento en forma sostenible.

Al protagonizar un papel importante en los ciclos biológicos, las plantas son indispensables para la supervivencia de los humanos. **La información resultado de la saponificación de la cera del Arrayán (*Myrica cerífera* L) esta orientada a la obtención de jabón artesanal, con el fin de lograr un mejor aprovechamiento de sus partes con fines científicos y tecnológicos.**

Guatemala es un país con una abundante biodiversidad y ha utilizado las plantas ceríferas tales como el Arrayán (*Myrica cerífera* L.) como fuente de materiales combustibles para propósitos de iluminación, utilizándose principalmente en ritos religiosos y altares domésticos y para iluminación doméstica. **Dichas candelas son un artículo común en los mercados artesanales, particularmente en el altiplano.** La cera del Arrayán ha sido utilizada para pulir cuero y se tienen referencias que también se le puede dar uso en jabonería. El fruto del Arrayán (*Myrica cerífera* L.) actualmente esta siendo aprovechada su cera cruda por parte de una organización llamada Proyecto Ecológico Quetzal, mediante la elaboración de candelas pero el potencial de su aprovechamiento es mas amplio.

Por sus propiedades medicinales también se le encuentra uso ya que **hay referencia de su utilidad para gargarismos o colutorio en el tratamiento de resfrío y también para reducir los periodos menstruales o emenagogo usándose como duchas vaginales.** Se menciona también sus propiedades repelentes sobre las moscas y las cucarachas mediante la colocación de pequeñas ramas en los ambientes de las viviendas o dentro de los roperos o en gavetas.

En la actualidad existen muchas materias primas que son utilizados para obtener un solo producto, cuando se puede trabajar obteniendo varios productos optimizando los recursos, esto a través del estudio de los componentes de dicha materia prima, de los cuales se pueden realizar otros procesos que pueden ser de mucho beneficio económico.

La cera del fruto del arrayán es trabajada en la fabricación de candelas de exportación para lo cual la empresa encargada compra la cera por libras, a varias comunidades. Esta cera contiene ácidos mirístico y palmítico, según estudios anteriores útiles en la fabricación del jabón, es por ello que se realizara la saponificación de estos aceites utilizando ceras obtenidas de la región norte del departamento de Cobán.

Para la saponificación se trabajará con dos tipos de ceras, una tratada químicamente para eliminar los metabolitos secundarios (cera blanqueada) y la otra cera (concreto) sin ninguna modificación, esto para evaluar el rendimiento y verificar si existe algún beneficio realizar el tratamiento respectivo de dicha cera, además de evaluar el tipo de producto que se obtendrá con dada una de los respectivos reactivo. Para el caso se utilizara dos tipos de álcali para saponificar, ceniza de leña y carbonato de sodio para que sirva como testigo del rendimiento de la ceniza de leña como álcali.

El proceso se llevará a cabo a la presión atmosférica local (640 mm de Hg) y a una temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Actualmente el Ingeniero Cesar Alfonso García Guerra, refiere una línea de investigación sobre el fruto del arrayán y se han realizado cinco estudios dentro del marco de trabajo de graduación, las cuales están dirigidas a la cera del arrayán, siendo estas: “La evaluación preliminar de la cera extraída del árbol del arrayán (*Myrica Lindeliana L.*) realizada por Héctor Estrada, en 1991. Siendo la materia prima un concreto para la realización de la evaluación.

Posterior a este estudio se realizo otro bajo el titulo de: “Evaluación del proceso de blanqueo de la cera del arrayán (*Myrica Cerífera L.*) en suspensión con hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a diferentes concentraciones y valores de pH. Realizado por Carlos Cardona Cabrera, en 1994.

Luego se realizaron dos trabajos mas bajo el nombre de “Evaluación del proceso de blanqueo de la cera del fruto del árbol del arrayán (*Myrica Cerífera Lindeliana*) a $\text{pH} = 5$ y diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) y tiempos de contacto por el estudiante Víctor Monzón Valdez, en 1996 y también el estudiante Gerson Pérez cardoza, realizo la “evaluación de la influencia de la temperatura y el tiempo de proceso en el blanqueo de la cera del Arrayán (*Myrica cerífera L.*) a nivel de laboratorio crudo fundido con hipoclorito de calcio dihidratado $\text{Ca}(\text{COCl})_2\text{H}_2\text{O}$. Así como también el estudio llamado “Evaluación de las Propiedades físicoquímicas de los concretos y cera refinada, obtenidos del fruto de Arrayán (*Myrica Cerífera L.*) mediante la extracción con solventes orgánicos (etanol y hexano) y agua. (Recolectados de los bosques naturales del área nor - central de Guatemala). Por el estudiante Diego Omar Hernández Aguilar en el 2003.

De los cuales en la recopilación bibliográfica se obtuvo el índice de saponificación para el concreto siendo este de 239.14 y para la cera de 196.40, así como también el porcentaje de ácidos grasos saturados siendo estos mirístico 38.39 %, palmítico 47.10 % y C18 el 0.37 % .

Estos trabajos son de gran importancia ya que son la base sobre la cual se partió para el estudio de la saponificación de la cera del arrayán.

1.2 Historia del jabón

A pesar que el origen del jabón no está muy bien documentado, fue utilizado por las civilizaciones crecientes alrededor del año 2,000 A.C. Durante esta época el jabón fue utilizado como medicamento para heridas o agente embellecedor del cabello, pues sus propiedades limpiadoras no habían sido descubiertas.

Incluso los bien conocidos baños de la reina Cleopatra no utilizaban jabones. (Aceites esenciales, arena blanca fina, y agentes abrasivos para la limpieza eran utilizados en estos rituales.)

Los grandes baños de la ancestral Roma emplearon cosméticos, esencias y aceites pero no jabón. Mas tarde los romanos entendieron las propiedades limpiadoras del jabón, pero su uso no fue difundido.

Los árabes y mas tarde los turcos, fueron las primeras sociedades en reconocer el valor del jabón. Cuando los turcos invadieron el imperio Bizantino, el jabón fue introducido en Europa.

De cualquier manera, las tribus aisladas y los Celtas descubrieron el jabón independiente. Los celtas son acreditados como los introductores del jabón en Inglaterra alrededor del año 1,000 D.C.

No es hasta el siglo XIII que la historia de la elaboración del jabón se concretó. Marsella en Francia surgió como el primer gran centro de manufactura y de los principales productores hasta la época medieval. Génova, Venecia y Bari en Italia se convirtieron en rivales de Marsella, así como Castilla en España.

Cada una de estas regiones contaban con una abundante fuente de aceite de oliva y barilla (una planta carnosa cuyas cenizas eran utilizadas para la producción de lejía). Esta formulación se convirtió en la tradicional hasta el siglo XVII.

A principios del siglo XVIII ciertos cosechadores de olivo indujeron a los fabricantes de jabón a investigar otros aceites adicionales al de Olivo.

Avances paralelos en la navegación a vapor mejoraron a la obtención de aceites de otros lugares. Estos cambios trajeron como resultado la modificación en las formulaciones a partir de la utilización de mezclas de grasas y aceites cuidadosamente seleccionadas.

La mayor parte del jabón producido era utilizado para lavandería. Es una pena mencionar que hasta el siglo XVIII la gente no consideraba la limpieza como una virtud positiva y una norma social.

En el siglo XVIII el baño se convirtió en una moda como un tratamiento curativo y restaurativo. El agua fue considerada como un fluido mágico, el cual aplicado correctamente podía beneficiar en cualquier situación infecciosa.

Avances en la plomería, incluyendo los cauces de agua, cañerías y drenajes, llevaron al jabón a ser aceptado por las masas. De esta manera la elaboración de los jabones se desarrolló en Europa e Inglaterra.

Adicionalmente a los fabricantes y distribuidores de jabones, surgió la elaboración doméstica, destinada a las mujeres.

Las mujeres de esa época almacenaban la grasa de cocina y grasa animal a lo largo de todo el año para el día especial destinado a la elaboración del jabón, un evento anual que precedía la limpieza de primavera.

Las cenizas de las fogatas también eran almacenadas para hacer lejía. El agua de lluvia era conducida a través de las cenizas para lavar la lejía que contenía sales de potasio provenientes de la madera quemada. Un huevo fresco era utilizado para determinar si la lejía era utilizada para determinar si la lejía tenía la concentración adecuada. Si el huevo se hundía lentamente, todo estaba bien. Si flotaba, la lejía estaba muy concentrada y había que diluirla. Si el huevo se sumergía muy rápido, la lejía estaba muy débil y había que agregarle más filtrado de ceniza o ponerla a ebullición para concentrarla.

Las grasas sólidas eran separadas y puestas a ebullición para después decantar todas las impurezas suspendidas como el pelo, suciedades, especies y otros materiales indeseables. Posteriormente, se filtraban utilizando telas finas. Después se agregaba la lejía a las grasas. Si se separaba, probaban de nuevo. Este proceso duraba casi un día completo.

Alrededor de 150 años transcurrieron antes de que empresarios decidieran producir y distribuir jabón para las masas. Dichos empresarios aparecieron a mediados del siglo XVIII. Ellos utilizaron grupos de propietarios locales quienes compraban las grasas almacenadas y vendían de vuelta el jabón terminado a las amas de casa.

El jabón fue inicialmente ofrecido de puerta a puerta. Eventualmente era distribuido en tiendas generales, donde eran vendidos en lotes grandes. Los clientes además podían indicar la cantidad que querían y la entrega se hacía a domicilio.

En 1806 William Colgate abrió una fábrica de jabón en Nueva York llamada Colgate & Compañía, la cual se convirtió en la primera y más grande manufacturera de jabón en Estados Unidos. No fue hasta 1830 que dicha empresa comenzó a vender barras individuales con pesos uniformes. En 1872 Colgate introdujo el jabón perfumado Cashmere Bouquet.

Al mismo tiempo que Colgate & Compañía introdujo el jabón Cashmere Bouquet, William Procter y James Gamble se convirtieron en socios y fundaron su negocio en Cincinnati. Ambos vendían velas y jabones de casa en casa en una carreta.

En unos pocos años Procter & Gamble se convirtió en el más grande fabricante de jabones, distribuidora de grandes cantidades de producto a lo largo de las ciudades más grandes del Río Ohio, incluyendo Pittsburg, Memphis y Louisville. En 1879 Procter & Gamble introdujo el jabón Ivory al mercado.

Al oeste de los Estados Unidos, la compañía B. J. Johnson elaboraba un jabón completamente de palma y aceite de oliva. El jabón fue suficientemente popular para cambiar de nombre a la compañía a Palmolive. Debe mencionarse que el jabón Palmolive actual no es el mismo que el original.

En el medio oeste, una empresa manufacturera de Kansas conocida como Peet Hermanos se unió con Palmolive para dar paso a la empresa Palmolive-Peet.

En 1928 Palmolive-Peet se unió a la compañía Colgate para crear Colgate-Palmolive-Peet. (En 1953 Peet fue despojada del título dejando a la empresa como Colgate-Palmolive).

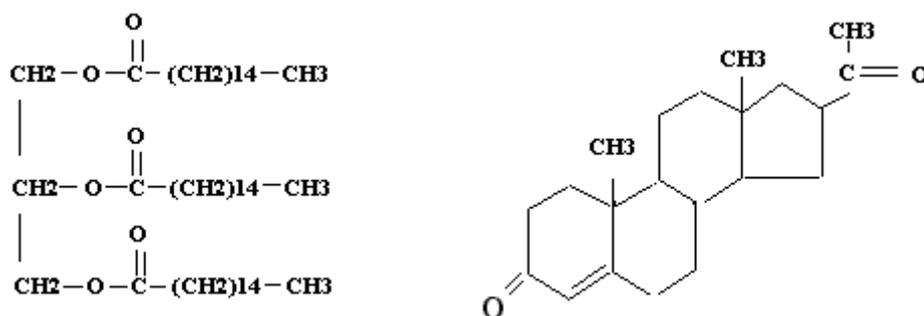
Mientras tanto los hermanos Lever, una firma inglesa, enviaron representantes a los Estados Unidos para iniciar el negocio introduciendo al mercado el jabón Lifeboy en 1985.

El establecimiento de estas grandes empresas convirtió al jabón en una industria multimillonaria. Cada una de estas empresas fueron muy competitivas y determinaron sus productos como líderes en el mercado hasta la actualidad. Anuncios en promociones y afiches impresos fueron las primeras herramientas en las ventas para este tiempo.

1.3 LÍPIDOS

Se conoce con el nombre genérico de lípidos a un grupo de sustancias naturales que forman parte de los tejidos animales y vegetales y que son insolubles en agua y solubles en éter o hexano. Comprende los glicéridos, contenidos en las grasas naturales o los monoésteres que poseen propiedades análogas.

Figura 1. Estructura química de los lípidos



1.3.1 Concepto de lípido

Los lípidos son biomoléculas orgánicas formadas básicamente por carbono e hidrógeno y generalmente también oxígeno; pero en porcentajes mucho más bajos. Además pueden contener también fósforo, nitrógeno y azufre. Es un grupo de sustancias muy heterogéneas que solo tienen en común dos características: son insolubles en agua, y son solubles en disolventes orgánicos, como éter cloroformo y benceno, etc.

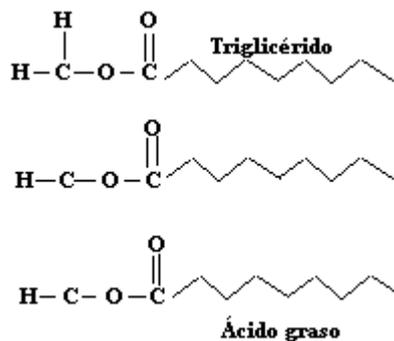
Los lípidos se clasifican en:

- **Lípidos simples**
- **Glicéridos (ésteres cuyo alcohol es la glicerina)**
- **Céridos (esterificados con alcoholes superiores)**
- **Estéridos (esterificados con un estero)**
- **Etólidos (ésteres de alcohol – ácido, como en algunas ceras de coníferas).**

Glicéridos

Los glicéridos son ésteres de la glicerina con ácidos grasos (triglicérido).

Figura 2. Estructura de un triglicérido



Las grasas son mezclas naturales constituidas principalmente por glicéridos mixtos, es decir, glicéridos en los que los ácidos que esterifican la glicerina no son los tres iguales (saturadas y/o insaturadas).

A estos glicéridos los acompañan en las grasas pequeñas cantidades de: Fosfátidos, esteroides, hidrocarburos, lipocromos, resinas, y ceras, ácidos grasos libres y glicerina libre además otros alcoholes, vitaminas, mucilagos, antioxidantes, oxidasas, etc.

Las grasas de origen animal constituyen el tejido adiposo y en los vegetales se encuentran principalmente en los frutos y semillas. Las primeras se suelen extraer por fusión y las de origen vegetal por expresión. También se emplea extracción con disolventes.

Estando formadas las grasas por glicéridos principalmente, se comprende que las diferencias entre unas y otras se deba a los ácidos grasos que las forman .

Aparte de algunas excepciones, los ácidos grasos son monocarboxílicos de las series parafínica (saturada), olefínica (insaturada).

Los ácidos que mas abundan en las grasas son, por este orden: el palmítico (C₁₆), el láurico (C₁₂), el mirístico (C₁₄) y el esteárico (C₁₈). Los inferiores al láurico (C₁₂) sólo se encuentran en las leches de los mamíferos, como el butírico (C₄).

1.4 GRASAS, ACEITES Y SUS PRODUCTOS

1.4.1 Propiedades determinadas por la composición

Una típica molécula de triglicérido son tres ácidos grasos diferentes que están esterificados o ligados a la glicerina. Existen numerosos ácidos grasos diferentes y el hecho en que unos u otros estén esterificados a la glicerina determina en gran parte las propiedades de las grasas, entre otras el que estén sólidas o líquidas a la temperatura ambiente.

Las grasas y aceites pueden ser de origen animal, vegetal. Las grasas vegetales incluyen formas sólidas como manteca de cacao, y líquidas como aceite de maíz, aceite de soya, aceite de semilla de algodón, aceite de cacahuete, aceite de olivo, y muchas mas.

Son sustancias insolubles en agua y menos densas que ella. En cambio se disuelven en otros disolventes tales como el nafta, el éter, hexano, el benceno, el tetracloruro de carbono, el cloroformo.

Las grasas pueden hidrolizarse, dando nuevamente el glicerol y los ácidos grasos que las constituyen, en una reacción inversa a la de su formación (esterificación).

Las grasas son insolubles en agua pero a temperaturas superiores a 200⁰ C son solubles.

Por el comportamiento que presentan cuando se extienden en película o capa delgada (barnices o lacas) se clasifican en secantes, semisecantes y no secantes, según que se sequen rápidamente, con cierta lentitud o no lo hagan.

Por la acción del tiempo las grasas adquieren un olor desagradable (rancio), debido a la alteración de los ácidos grasos (enranciamiento), cuyas causas varían según la naturaleza de la grasa y las condiciones en las que se encuentre: oxidación de ácidos grasos no saturados, formación de aldehídos o cetonas, intervención de microorganismos. En el caso de la mantequilla hay una liberación de ácidos grasos por hidrólisis.

Característica de todas las grasas es la saponificabilidad, o sea la propiedad que tienen de hidrolizarse en glicerina y sales alcalinas de los ácidos grasos por la acción de las lejías alcalinas (fundamentos de la fabricación de jabones).

1.4.2 Formación de las grasas y aceites

Se forman por la combinación del polialcohol glicerol o propanotriol (comúnmente llamado glicerina) con ciertos ácidos, llamados ácidos grasos.

Las grasas y aceites son ésteres (un alcohol y un ácido). Como el alcohol que los forma es el glicerol, se les llama también triglicéridos.

1.4.3 Ceras

Con el nombre de ceras se designa a un conjunto de monoésteres formado por ácidos grasos de alto peso molecular y alcoholes también de peso elevado, existiendo por otra parte ácidos y alcoholes libres, además de hidrocarburos (parafinas), en nuestro caso se trabajará con una cera extraída del árbol del arrayán (*Myrica Cerífera* L) que según estudios anteriores se encuentra constituida en mayor porcentaje por los ácidos grasos Myrístico y Palmítico por lo que no se encuentran esterificados con un triglicérido si no que con alcoholes de alto peso molecular .

Los principales componentes ácidos de las ceras, el ácido palmítico (C_{16}), el esteárico (C_{18}), el cerótico (C_{26}), el lignocérico (C_{24}), que están esterificados con los alcoholes, cetílico (C_{16}), cerílico ($C_{14:1}$), y mirícilico. Estos constituyentes están en parte libres, así como también los hidrocarburos heptocosano (C_{27}), triacontano (C_{30}) y hentriacontano (C_{31}).

1.4.3.1 Solubilidad de las ceras

La información obtenida hasta el momento acerca de la variación de la solubilidad de las ceras se debe a las impurezas, al diferente grado (insaturación) o a la fuente de suministro, temperatura y otros factores.

1.4.3.2 Acción de los álcalis en las ceras

1.4.3.2.1 Saponificación incompleta con álcalis

Principalmente ésteres de alto peso molecular, alcoholes y ácidos, además de ácidos libres. Principalmente de ceras tipo candelilla, carnauba y montano.

También de ácidos de alto peso molecular, así como ésteres. Principalmente de cera de abeja y cera china.

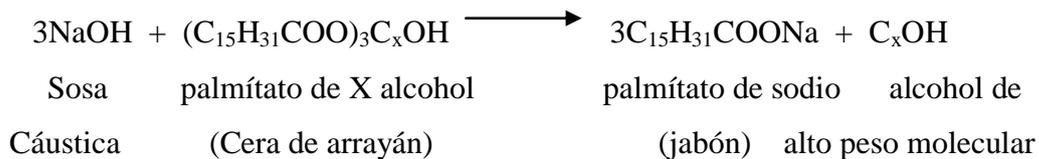
1.5 A que se le llama ácidos grasos

Estos compuestos tienen, en general, una cadena hidrocarbonada larga, variable entre 12 y 26 átomos de carbono, en uno de cuyos extremos se encuentra la función carboxilo (COOH). La cadena hidrocarbonada puede ser saturada, es decir, tener enlaces simples entre sus carbonos, o bien presentar uno o más enlaces dobles (insaturada).

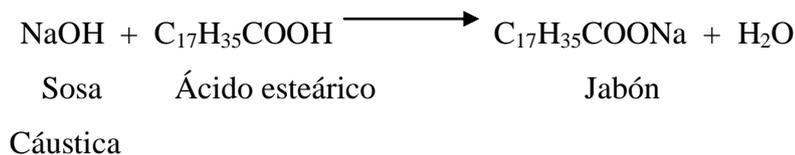
1.6 Jabón

Es la sal sódica o pótasica del ácido esteárico y otros ácidos grasos; es soluble en agua y la solución tiene excelentes propiedades limpiadoras. Otros metales como el calcio, el aluminio y el plomo, también forma jabones con los ácidos grasos, pero estos compuestos son insolubles en agua y se usan para otros propósitos, por ejemplo, lubricantes, pinturas, etc.; siempre se les designa como “jabón de cal” , “jabón de plomo”, etc.

El jabón se prepara por acción de una solución caliente de sosa, sobre sebos, grasas, aceites grasos y ceras, con la formación simultánea de glicerina o algún alcohol de peso molecular elevado si se trata de una cera que es nuestro caso de análisis, esto en un tiempo se desperdiciaba a se dejaba en el jabón, como todavía se hace en algunos casos; la glicerina o glicerol es un producto valioso. La reacción es como sigue:



El jabón también se puede producir por la acción de la sosa cáustica sobre un ácido graso sin formación de glicerina:

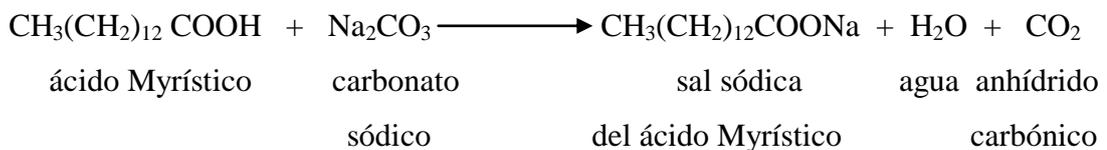


El triglicérido o el monoéster (que es el caso del arrayán) que se usa nunca es un solo producto, sino una mezcla de varios, de tal manera que el jabón adquiera las propiedades de todos ellos. El Myristato y palmítato de sodio se disuelve con gran lentitud, mientras que el jabón sódico producido con aceite de coco se disuelve con gran rapidez; una mezcla de ambos produce otras propiedades físicas y las características del uso final.

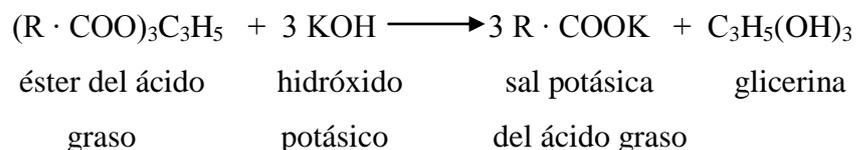
La reacción puede llevarse a cabo en cubas o calderas de acero, en las que la solución de sosa cáustica se mezclan con la grasa o el aceite y se calientan; el jabón queda parcialmente disuelto en el agua y tiene que separarse por adición de sal (NaCl). Para jabones de alta calidad, se usa un tanque de acero con la parte superior construida de acero inoxidable. La glicerina permanece en el agua alcalina y se extrae por el fondo. Las materias primas son en este caso sosa cáustica, potasa cáustica (KOH) o carbonato de sodio (Na₂CO₃), grasas, sebos, aceites o ceras y sal.

El jabón es una sal y como algunas sales se forma por neutralización con un álcali de un ácido graso, en este caso un ácido graso , con una base de un metal alcalino o de cualquier otro metal.

Si se mezcla el ácido graso con hidróxido potásico o carbonato sódico se forma la sal pótasica del ácido graso, tomando la reacción entre el ácido graso Myrístico con carbonato sódico que es uno de los ácidos que contiene en gran cantidad la cera del arrayán (Myrica Cerífera L.) se obtiene la siguiente reacción representada por la ecuación:



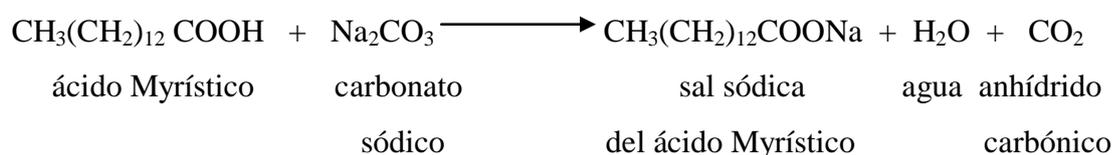
Las grasas, generalmente no se presentan en forma de ácidos grasos libres, sino como ésteres, que es la reacción de formación a partir de los ácidos grasos y la glicerina. A este proceso se llama saponificación. La hidrólisis o saponificación se consigue por ebullición con álcalis cáusticos según la ecuación:



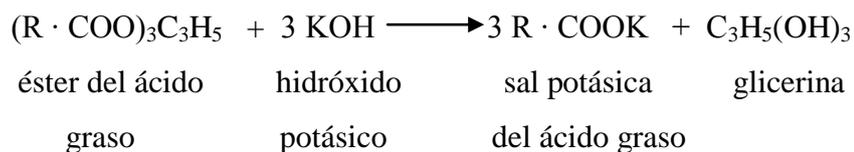
Aquí el ácido graso se combina inmediatamente con el potasio para formar la sal potásica, y se libera el polialcohol - glicerina .

El jabón es una sal y como algunas sales se forma por neutralización con un álcali de un ácido graso, en este caso un ácido graso , con una base de un metal alcalino o de cualquier otro metal.

Si se mezcla el ácido graso con hidróxido potásico o carbonato sódico se forma la sal pótasica del ácido graso, tomando la reacción entre el ácido graso Myrístico con carbonato sódico que es uno de los ácidos que contiene en gran cantidad la cera del arrayán (*Myrica Cerífera L.*) se obtiene la siguiente reacción representada por la ecuación:



Las grasas, generalmente no se presentan en forma de ácidos grasos libres, sino como ésteres, que es la reacción de formación a partir de los ácidos grasos y la glicerina. A este proceso se llama saponificación. La hidrólisis o saponificación se consigue por ebullición con álcalis cáusticos según la ecuación:



Aquí el ácido graso se combina inmediatamente con el potasio para formar la sal potásica, y se libera el polialcohol - glicerina .

1.6.1 Materias primas

Por lo general la sosa cáustica se recibe en tambores de 300 kg. de material sólido; la solución concentrada se prepara invirtiendo el tambor abierto sobre un chorro de vapor y contando con algún dispositivo para recolectar el líquido. La sosa también puede disolverse después de triturarla agitándola con agua. La sosa en forma de escamas tiene ciertas ventajas.

Las fabricas de jabón situadas en las cercanías de una planta de este álcali, pueden recibir la sosa en forma de una solución al 50 o 24 %; la conveniencia de esta presentación se pierde cuando se trata de largas distancias, por el costo del flete. La sosa también puede prepararse en la propia planta alcalinizando cenizas de sosa con cal; esto es poco frecuente. La potasa cáustica casi siempre se recibe como sólido en tambores. El despacho a granel de potasa cáustica líquida puede resultar bastante económico.

Se usan también sebos de reses y ovejas en muchos grados de calidad que van desde el grado No. 1 comestible, hasta el mas económico que se extrae de desperdicios; el grado que seleccione dependerá de la calidad del jabón que se desee fabricar. El sebo nunca se usa sin mezclar con otras grasas o aceites, pues produce un jabón muy duro y demasiado insoluble; por lo general se mezcla con aceite de coco.

El aceite de coco es un sólido (punto de fusión 20-25 °C); forma un jabón bastante duro, pero muy soluble. Es la base de los jabones marinos, pues produce espumas incluso con agua de mar. De acuerdo con su país de origen y el método de extracción, el aceite de coco varia en su contenido de ácidos grasos; mientras mas bajos sean los ácidos grasos, mas alta es la calidad del aceite; esta regla es la aplicación general a todos los aceites grasos. Entre los aceites de coco, el tipo de Cochín es el de mejor calidad.

El aceite de palma suele ser de color anaranjado o café y tiene un 6% de ácidos grasos libres; es una materia prima importante para los jabones de tocador. El aceite de semillas de palma tiene un color mas pálido.

El aceite de ricino se usa para jabones transparentes.

El aceite de oliva de menor calidad, que ya no se considera comestible, es muy apreciado por los fabricantes de jabón; para los jabones de tocador finos, se usa aceite de oliva comestible después de desnaturalizarlo con la adición de aceite de manzanilla, pues de esta forma causa un menor impuesto a la importación. El jabón de Castilla era originalmente un jabón sódico de aceite de oliva, lo mismo que el Savon de Marseille.

La refinación del aceite de semilla de algodón se inicia con la adición de una solución cáustica; los licores alcalinos contienen el sedimento y se usan para la fabricación del jabón. También se usa el propio aceite de algodón, por lo general en combinación con los sedimentos, o después de un tratamiento para formar los ácidos libres (proceso Twitchell).

Para el comprador de materias primas, la palabra “grasa” denota una grasa animal, mas blanda que el sebo, que se obtiene calentando los restos de animales muertos, o bien de desperdicios municipales o domésticos, o de desperdicios de huesos. La brea se usa para jabones de lavandería.

1.6..2 Propiedades generales de los jabones

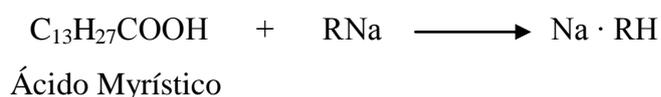
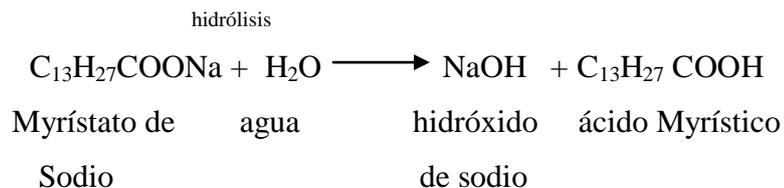
Los jabones comerciales son en lo esencial mezclas de sales sódicas o potásicas de ácidos grasos de alto peso molecular. Los ácidos grasos mas importantes son el ácido esteárico (C_{18}), el palmítico (C_{16}) y el oleico ($C_{18:1}$). Con el empleo de los aceites de coco y de nuez de palma, hay que considerar también los ácidos láurico (C_{16}) y mirístico (C_{14}). Como ácidos grasos valiosos, en la industria del jabón, cuentan todos los que en su cadena de carbonos tienen de 7 a 18 átomos de carbono. Los que tienen mayor o menor de esta cantidad de estos átomos de carbono no interesan para la fabricación del jabón, los jabones son solubles en alcohol; insolubles en éter, benceno, bencina, éter de petróleo y hexano. Los jabones potásicos de ácidos grasos no saturados son mas solubles que los jabones sódicos y los de ácidos grasos saturados. Las soluciones alcohólicas son claras y filtrables y a una concentración determinada se solidifican como una gelatina.

Si las soluciones alcohólicas se evaporan hasta sequedad, se obtiene el jabón como una masa sólida clara y transparente, exenta de todas las impurezas cristalinas .

Los jabones anhidros son muy higroscópicos. Los jabones potásicos, absorben más humedad del aire que los sódicos. El estearato potásico puede absorber hasta 30% de agua, el oleato potásico hasta 160%, mientras que el oleato sódico sólo absorbe 12% de agua.

Es de importancia extraordinaria el comportamiento del jabón con respecto al agua, pues en ello se basa el uso del jabón como agente de lavado. En agua pura hirviendo, el jabón se disuelve dando una solución completamente clara, mientras que la solución acuosa de jabón preparada en frío no es clara si no turbia. Al disolverse se observa primero un reblandecimiento, también un hinchamiento y una formación filamentosa peculiar. Se observa, también, que los jabones de ácidos grasos saturados, solo si se disuelven a la temperatura de ebullición, la solución es transparente, mientras que en la de los ácidos grasos no saturados es ya clara a la de temperatura ambiente.

Los jabones potásicos también son mas solubles que los sódicos. Por enfriamiento, la solución de jabón sódico de ácidos grasos saturados disuelta en caliente se enturbia, debido a que los ácidos grasos formados por hidrólisis del jabón son insolubles en agua fría. El jabón se hidroliza en solución acuosa y se disocia liberando el álcali y los ácidos grasos. El ácido graso liberado se combina de nuevo e inmediatamente con el jabón aun no disociado, formando la sal ácida del metal alcalino, con el ácido graso. Los jabones se comportan, exactamente, como otras sales alcalinas de ácidos débiles . El proceso químico se produce según las ecuaciones siguientes, tomando como base el ácido Myrístico y el palmítico, por estar estos en gran proporción en la cera de arrayán (*Myrica Cerífera* L) que será la cera trabajada en la saponificación:



En donde R, es el radical del ácido graso.

El jabón ácido es insoluble en agua fría y, por consiguiente, un jabón debe de enturbiarse al enfriarse. La disociación del jabón depende de la cantidad de agua presente y de la temperatura. Además, la hidrólisis aumenta con el peso molecular creciente del ácido graso.

En cambio, la disociación de los ácidos grasos no saturados es mucho menor.

Los jabones de ácidos esteárico y palmítico, en presencia de mucha agua, están disociados en 50%, mientras que los jabones de aceites de nuez de palma o de coco están muy poco disociados. Por adición de álcali libre, la hidrólisis se contiene, al igual que por la adición de un alcohol. Con un contenido de, por lo menos, 40% de alcohol, la disociación se detiene por completo.

Según Stiepel, la formación de espuma en una solución de jabón se debe a la existencia de jabón disuelto en agua, junto con un ácido graso libre y jabón ácido; así que una solución de jabón cuya disociación esta limitada o se ha interrumpido no forma espuma. La experiencia lo demuestra: una solución alcohólica de jabón forma poca espuma o no da absolutamente ninguna. Lo mismo se confirma en el caso de los ácidos caproico, caprílico, nonílico y ricinoleico, cuyos jabones no se hidrolizan, y por consiguiente no pueden dar espuma.

Sin embargo, si se agrega a estos jabones un ácido graso libre, esto es, si se produce así un jabón ácido, se obtiene abundante espuma. Por consiguiente, no es necesario el álcali libre para la formación de espuma. La formación de espuma es un fenómeno físico.

Una solución de jabón forma membranas muy fuertes que pueden dilatarse mucho, de ahí la estabilidad de la espuma del jabón. Si se evapora una solución de jabón, a medida que aumenta la concentración se va espesando se torna viscosa y forma hebras; si se enfría en este estado de líquido espeso, se solidifica como una gelatina o una masa compacta. Los aceites líquidos dan una gelatina y las grasas sólidas una masa dura: duro, el jabón sódico, o blando, el potásico. La masa gelatinosa y la masa sólida contienen mucha agua y la retienen con mucha fuerza. Parte de esta agua queda retenida, incluso a 100 °C. Si se corta la solución de jabón solidificada en una masa sólida, se ve que ésta no es homogénea. El jabonero habla en este caso de grano y flujo.

La gelatinización es una propiedad característica de los coloides. También otras propiedades características de los jabones nos indican que se trata de coloides. Una solución concentrada de jabón en agua pura no muestra elevación en el punto de ebullición; en el ultramicroscopio se ven suspensiones de partículas pequeñísimas. En reacción alcalina ocurre una diálisis con la penetración parcial de jabón por la membrana dializadora, sin embargo en cuanto la solución se hace neutra, por hidrólisis simultánea con el paso rápido por el electrólito por la membrana, la diálisis disminuye y por último llega al punto muerto, pues la solución de jabón ha pasado a ser suspensión gruesa de jabón ácido, al sustraérsele el álcali. También el hinchamiento que en el jabón precede al proceso de disolución, es un signo del comportamiento coloidal.

Con el aumento de la acidez, se hace más marcado el carácter coloidal; el jabón ácido es un coloide fuerte. Si se mezcla una solución acuosa de jabón con sal común, con determinada cantidad de sal, se separa el jabón de la solución. Esto ocurre lo mismo en caliente que a la temperatura ambiente.

Si se intenta disolver un trozo de jabón en una solución de sal, que no necesita ser tan fuerte, ello será un esfuerzo inútil; el jabón es insoluble en agua salada.

Llevando esta solución a la ebullición, evidentemente, el jabón se ablanda, pero siendo imposible la disolución, el jabón flotará en la solución. Además si a una solución de jabón se le agrega sal común sólida, la sal sustrae el agua de la solución jabonosa para disolverse en ella, y se formarán dos capas. Este es el fenómeno de la separación del grano de jabón por adición de sal.

La sensibilidad para con los electrolitos varia para cada jabón. En primer lugar se adquiere con la disminución del peso molecular del ácido graso dentro de la serie homologa, y por otra parte, con el incremento del carácter no saturado en ácidos con el mismo número de átomos de carbono.

Mientras que las llamadas grasas de grano, son todas las grasas con un índice de saponificación hasta 200, separan el jabón con una concentración de sal de 6⁰ Bé, los jabones de las grasas de la cola, con índice de saponificación hasta 250, toleran concentraciones salinas particularmente más altas. Si en el jabón hay una mezcla de ambos tipos de grasas, éstas no pueden separarse por graneado fraccional.. De modo semejante a las grasas de la cola, se comportan los ácidos grasos cuyo hidrogeno ha sido sustituido por halógenos grupos hidróxilos, o sulfogrupos; especialmente en el aceite de ricino sulfonado (aceite rojo turco)se observa una estabilidad notable frente a la sal.

La concentración de la solución salina con la cual se separa el jabón, se llama concentración limite de la lejía y depende del tipo del electrolito.

Las sales potásicas salan peor que las sales sódicas. La acción del electrolito varia con la temperatura. A temperatura mas elevada se necesita una concentración más alta pues la solubilidad del jabón en la solución salina aumenta con la temperatura. Una acción parecida a la de la sal común, aunque menos activa, ejercen las soluciones de acetato potásico, carbonato sódico y sulfato sódico.

Mientras que las lejías cáusticas débiles disuelven todos los jabones, estos son separados con las soluciones concentradas de sal.

Si se tratan los jabones potásicos con sales sódicas (sal común), se produce un intercambio parcial, esto es, ocurre una sustitución del potasio por el sodio. Sin embargo, el intercambio no es completo y parte del potasio queda inalterable. Este fue, durante largo tiempo, el único camino para fabricar jabones sólidos. Se saponificaba la grasa con lejía potásica (la antigua lejía de cenizas) y se agregaba sal común, para intercambiar las bases. Dado que el intercambio no es completo, como ya se ha dicho, estos jabones resultaban algo blandos.

La mayor parte del grano de jabón no se forma sobre la lejía sino encima de la cola, esto es, de los sedimentos de la separación. Así pues, no se ha logrado la concentración límite de la lejía. La solución de electrólito contiene todavía jabón disuelto y es viscosa. En la obtención directa, esto ocurre debido a la separación parcial, y en la obtención indirecta, por la debilidad de la solución salina, es decir, que no alcanza la concentración límite, el grano se disuelve de nuevo. En caso favorable se pueden obtener separadamente en la caldera del jabón tres capas, esto es, el grano de jabón, la cola y la lejía.

La adición de sal puede ser limitada, pues, de manera que a la temperatura de ebullición la cola de jabón sea homogénea y su separación en grano y lejía de cola a una temperatura limitada, a la cual esta última esté bien gelatinizada, de tal modo que una separación ya no sea posible. Con ulterior enfriamiento, las dos fases marchan juntas y entremezcladas. El cocedor de jabón habla entonces de flujo y grano. Las vetas blancas representan el grano, y el sólido de la lejía de cola, el flujo. Si se seca esta agua de sudado, queda la sal y se forma la llamada aureola.

1.6.3 Manufactura

Los jabones comunes de lavandería y de baño se pueden fabricar con el “proceso de ebullición” que se adapta a lotes que van desde 500 a 350,000kg; el jabón también se prepara también por medio de una saponificación o neutralización continua de ácidos grasos. El “proceso frío” se usa para jabones especiales.

Jabón por lotes en calderas. Cuando se usa el proceso de ebullición, un lote de por ejemplo, 135 toneladas de jabón, se fabrica una marmita de 8.5 m de diámetro y 10 m de profundidad, con un fondo ligeramente cónico.

La solución de sosa cáustica de 18 a 20 °Bé (12.6 14.4% de NaOH) se introduce en la caldera y después se bombean (por lo general con una bomba Taber) las grasas fundidas o los aceites. La cantidad de sosa se regula de tal manera que la cantidad sea la justa para combinarse con todos los ácidos grasos.

El calor se suministra con vapor directo que entra por un serpentín situado en el fondo de la caldera. El equipo no tiene un agitador, pues la agitación se logra por medio de un chorro directo de vapor que entra por la base por una tubería central. La caldera se mantiene a ebullición hasta que se obtiene una saponificación casi completa esto requiere unas 4 horas. Después se adiciona sal (NaCl) y se permite que se disuelva, continuando la ebullición hasta que se separa el jabón en la capa superior. La capa inferior contiene glicerina (4%) y sal y se extrae por el fondo de la caldera; su proceso de concentración se describirá mas adelante. El total de la operación que se acaba de describir es la etapa de saponificación y requiere unas 8 horas. La sal que se usa es de roca y la mayor parte de recupera para recircularla.

Al segundo día se vuelve a añadir agua y algo de sosa cáustica y se hierve con el jabón; la glicerina que podría estar atrapada se disuelve la solución, que vuelve a ser la capa inferior, se extrae por el fondo y se combina con la primera extracción.

Al tercer día se agrega una lejía de 10⁰Be (6.5% de NaOH) recién preparada y se hierve con el jabón. Así se saponifica cualquier cantidad de glicérido que haya quedado del primer tratamiento; el ácido remanente sin neutralizar se combina con la lejía. El jabón, que es insoluble en el licor alcalino, adquiere una estructura granulosa. A este proceso se le llama etapa de fortificación. Después de dejar sedimentar, la lejía se extrae y se usa en un nuevo lote.

Al cuarto día, el jabón se hierve en agua que en su mayor parte queda incorporada en el jabón. (en este punto se añade también algo de sal.) Con este tratamiento, el jabón fundido adquiere una apariencia tersa y brillante.

Al sedimentar se forman tres capas: la superior es el jabón fundido; la intermedia, de color oscuro, consiste en una mezcla física de jabón en solución e impurezas; la tercera capa, muy pequeña en comparación con las otras dos, contiene algo de álcali. El jabón fundido se extrae bombeándolo a través de un tubo pivotante sin agitar la capa intermedia, que puede permanecer en el tanque adicionada al siguiente lote; la capa inferior es un desperdicio. Esta operación es la etapa de terminación y dura varios días, pues es necesario lograr una buena sedimentación. Usualmente, el ciclo total de operación transcurre en una semana.

El jabón fundido limpio se bombea a mezcladores de jabón (“crutchers”), a los secadores o al almacenamiento; contiene 30 a 35% de agua. Un kilogramo de grasa produce más o menos 1.4 kg. de jabón por este proceso; el rendimiento exacto depende de las materias primas.

1.6.4 Factores sanitarios y de seguridad

La manipulación de soluciones concentradas de sosa cáustica encierra probablemente el mayor peligro en la industria jabonera. La sosa generalmente se almacena y se emplea en solución de 50⁰Be. (50% en peso de NaOH, 1.54 de densidad). Esta lejía es muy corrosiva de los tejidos del cuerpo humano, y causa graves daños a los ojos.

Las partes del cuerpo en que por accidente caiga la lejía deben lavarse rápidamente con agua abundante. Los obreros que trabajan con sosa cáustica deben usar anteojos protectores.

1.6.5 Análisis de los jabones

Para un análisis se necesitan por lo menos 200 gramos de la substancia. Pero es preferiblemente tomar una porción mayor.

Si la muestra consiste en un trozo único, se dividirá diagonalmente para el análisis en cuatro partes, de cada una de las cuales se tomara una porción para cortarla primero en hojas de 6 a 7 mm de espesor, y después en dados de 6 a 7 mm de lado, que se mezclaran y se guardaran en un recipiente de cierre hermético, de donde se irán tomando a medida que se necesiten para el ensayo.

Si la muestra esta formada de varios fragmentos se tomara de cada uno una porción, que se dividirá, como antes, en cubitos. Esto para jabones duros.

Cuando se trate de jabones blandos, se pasa la muestra a un recipiente de cierre hermético, de donde se sacara a cucharadas a medida que vaya siendo necesario.

1.6.5.1 Determinación de agua

1.6.5.1.1 procedimiento normal

Si se trata de jabones duros, secos, o se polvos de jabón, que contienen poca agua, se pesa una porción en una cápsula de platino y se calienta en una estufa a 100-105 °C hasta peso constante.

Cuando se trata de jabones que tienen elevada proporción de humedad, se pesan de 5 a 8 gramos en una cápsula de platino, junto con una pequeña varilla de vidrio, que se utiliza para romper la película que se forma al calentar y para agitar la masa; después se agregan de 20 a 25 gramos de arena fina previamente calcinada y también cuidadosamente pesada.

Antes de ponerlo en la estufa se agrega un poco de alcohol, que servirá para mezclar mejor el jabón con la arena. Se calienta al principio a 60 – 70 °C, después se eleva la temperatura a 100 – 105 °C y se mantiene así hasta obtener un peso constante. Bastan por lo general 4 horas de caldeo, durante el cual se deberá agitar varias veces con la varilla de vidrio.

1.6.5.1.2 Método rápido de Fahrion

Se pesan en un crisol de platino de 2 a 4 gramos de jabón; se agregan oleína en proporción de 3 respecto al peso del jabón. La oleína debe calentarse primero durante algún tiempo a 120°C y conservarse después en vasijas bien cerradas. Caliéntese paulatinamente el crisol con un mechero de bunsen hasta que se evapore completamente el agua y se mezcle el jabón con la oleína formando un líquido claro que no despida olor a quemado. Se coloca en una desecadora y se pesa. El peso perdido equivale a la cantidad de agua existente en la muestra.

Este método es rápido y da buenos resultados; pero no puede seguirse cuando el jabón contiene carbonatos, porque se tendría desprendimiento de anhídrido carbónico, debido a la formación de jabón entre la oleína y el carbonato.

1.6.5.2 Determinación de la grasa total

1.6.5.2.1 Procedimiento ordinario

Se pesan en un vidrio de reloj 10 gramos de la muestra de jabón cortada en trozos; se disuelven en unos 250 ml de agua caliente y se descomponen agregando un ligero exceso de ácido clorhídrico; se deja en reposo de 5 a 6 horas (en baño maría hasta una o dos horas) para que los ácidos grasos separados se acumulen en la superficie.

Se tara un papel filtro y se filtra la muestra, se lava bien con agua caliente hasta que no exista reacción ácida; se seca en una estufa entre 95-100⁰ C hasta peso constante.

Pero si se trata de ácidos grasos de aceite de coco o de palmisto, que contengan ácidos grasos volátiles, no conviene elevar la temperatura a más de 55⁰ C.

Si se trata de ácidos grasos de aceite de linaza, será preciso desecar en la atmósfera de anhídrido carbónico para impedir la oxidación.

1.6.5.2.2 Método unificado propuesto por la Unión de Jaboneros Alemanes

Se disuelven entre 10-15 gramos de jabón en agua caliente; y se depositan en una ampolla de decantación, y se trata con un ligero exceso de ácido sulfúrico diluido (un volumen de ácido concentrado y 3 agua).

Se agregan 100 cm³ de éter de petróleo cuyo punto de ebullición no exceda de 65⁰C y se agita se deja separar y luego se pasa la fase acuosa a una segunda ampolla, donde se agita nuevamente con 100 cm³ de éter.

Las soluciones etéreas se lavan con agua para purgarlas de ácido sulfúrico, se recogen en un matraz tarado, se evaporan al baño maría y finalmente se desecan en una estufa a 98° C.

Pero si se trata de ácidos grasos de aceite de coco o de palmisto, que contengan ácidos grasos volátiles, no conviene elevar la temperatura a más de 55° C.

Si se trata de ácidos grasos de aceite de linaza, será preciso desecar en la atmósfera de anhídrido carbónico para impedir la oxidación.

1.6.5.3 Determinación del álcali total

Se entiende por álcali total la suma de álcali libre y el combinado con los ácidos grasos, con el ácido carbónico, y eventualmente con los ácidos silícico y bórico.

Se pueden proceder a este ensayo cuantitativo al mismo tiempo que a la determinación de la grasa total: basta descomponer con los ácidos sulfúrico y clorhídrico normales el jabón disuelto en agua caliente.

Para 12 gramos de jabón seco bastan 50 cm³ de dichos ácidos. Al separar la grasa de la fase acuosa, se recoge al último junto con las aguas de loción y se valora con potasa normal empleando como indicador el naranja de metilo.

El álcali se calcula como Na₂O si se trata de jabones sódicos, o como K₂O si se trata de jabones potásicos.

1 cm³ de HCl normal = 0.031 gramos de Na₂O

1 cm³ de HCl normal = 0.047 gramos de K₂O

Puede seguirse cualquiera de los métodos señalados para la determinación de la grasa total.

1.6.5.4 Determinación del álcali combinado con los ácidos grasos

Sobre los ácidos grasos separados, se determina el índice de neutralización (número de acidez). Se pesan de 1 a 2 gramos de sustancia, y se agregan 50 o 60 cm³ de alcohol al 96% se calientan en un baño maría al punto de ebullición y se valora con potasa seminormal, tomando como indicador fenolftaleína.

1 cm³ de potasa seminormal = 0.015 g de Na₂O

1 cm³ de potasa seminormal = 0.0235 g de K₂O

1.6.5.5 Determinación del álcali cáustico libre

1.6.5.5.1 Si existe álcali en gran cantidad

Se determinan los álcalis cáusticos libres disolviendo en un baño maría 10 gramos de jabón en 100 cm³ de alcohol, lavando con agua caliente y decantando la muestra para ser valorada con ácido clorhídrico decinormal hasta que desaparezca el color rojo característico de la fenolftaleína.

1 cm³ de HCl decinormal = 0.0040 gramos de NaOH

1 cm³ de HCl decinormal = 0.0056 gramos de KOH

1.6.5.5.2 Si existe álcali en pequeñas cantidades

Se disuelven 10 gramos de jabón en 300 ml de agua caliente para expulsar al anhídrido carbónico y a la solución calentada hasta la ebullición se agregan 15 cm³ de solución de cloruro de bario al 30%.

Se calienta algún tiempo más, con llama directa, para reunir el jabón de bario precipitado, después se filtra y se valora con ácido clorhídrico decinormal y fenolftaleína como indicador.

1.6.5.6 Determinación del álcali carbonatado

El álcali carbonatado se puede determinar al mismo tiempo que el álcali libre, basta recoger en un filtro la parte insoluble en alcohol absoluto, lavarla con alcohol, disolverla en agua y valorar con ácido clorhídrico decinormal empleando como indicador, naranja de metilo.

1.6.5.7 Determinación de la grasa neutra no saponificada y de las sustancias insaponificables

Se disuelven 15 gramos de jabón en agua caliente y se trata con exceso de ácido clorhídrico. Se separan los ácidos grasos obtenidos y se disuelven en alcohol al 96% en una cápsula de porcelana y se neutraliza con potasa alcohólica seminormal, empleando como indicador fenolftaleína.

Se agregan 35 gramos de arena cuarzosa y se calientan en baño maría, agitando hasta sequedad. Se tiene la cápsula dos horas en una estufa a 100°C y después se practica la extracción con el aparato de Soxhlet, utilizando éter de petróleo. La extracción debe durar por lo menos 5 horas, una vez terminada se evapora el éter, se calienta en estufa 2 horas a 100°C y se pesa.

De esta manera se han separado del jabón, además de las grasas neutras las sustancias insaponificables en él contenidas. Para obtener separados los dos datos, se vuelve a saponificar con potasa alcohólica en exceso el residuo obtenido, se añaden 50 ml de agua y se practica una segunda extracción con 100 cm³ de éter de petróleo en el aparato de Soxhlet. Se lava dos veces el líquido acuoso en 50 cm³ de éter, que se reúnen a los anteriores. La disolución etérea se lava tres veces con 20 cm³ de alcohol al 58%, se evapora, se seca el residuo a 100°C y se pesa. En esta operación se obtienen sólo las sustancias insaponificables, y restando su peso del que se obtuvo primeramente resultará el de la grasa neutra no saponificada.

1.6.5.8 Determinación de la glicerina

Se disuelven 30 gramos de jabón en agua caliente, se descomponen con un exceso de ácido clorhídrico, luego se calienta en baño maría hasta obtener una solución acuosa limpia debajo de la capa superficial de ácidos grasos, se filtra en un matraz tarado de 1 litro, se lava con agua y se completa el volumen.

Se toman 200 cm³ para evaporarlos al baño maría hasta un décimo del volumen inicial; se les agrega arena cuarzosa y lechada de cal hasta que se de la reacción alcalina y se evapora hasta la consistencia de papilla blanda.

El residuo se trata con 50 cm³ de alcohol al 95%, se hierve en baño maría, se filtra se lava con unos 150 cm³ de alcohol caliente y luego se evapora hasta obtener una consistencia de jarabe.

Se mezcla el residuo con 10 cm³ de alcohol absoluto y 15 cm³ de éter sulfúrico, se deja en reposo y luego se decanta o se filtra en un matraz, luego se calienta hasta que el contenido haya perdido fluidez. Cuando el jabón no contenga mas sustancias oxidables por el bicromato que la glicerina, puede neutralizarse el liquido filtrado, defecar con acetato de plomo, completar el volumen, filtrar y dosificar la glicerina por el método de bicromato, en una alícuota.

1.6.5.8.1 Método del dicromato para la determinación de la glicerina

Fue adoptado por la comisión internacional porque con él se obtienen resultados precisos e idénticos a los obtenidos, por el método a la acetina, en las gliceras puras. Según la misma comisión, no daría resultados precisos en los otros casos.

Los reactivos que hay que utilizar son los siguientes:

Dicromato potásico puro. Pulverizado y desecado en la atmósfera libre de polvillo y de residuos orgánicos, a 120°C.

Solución de dicromato. Una solución obtenida disolviendo 7.4564 gramos de dicromato potásico en un litro de agua a 15.5°C. El dicromato debe ser químicamente puro, pulverizado y desecado en la atmósfera libre de polvillo y de residuos orgánicos a 120°C.

Sulfato ferroso amónico. Se disuelven 3.7282 gramos de dicromato potásico puro en 50ml de agua. Se agregan 50cm³ de ácido sulfúrico al 50% en volumen, y se añade a esta solución fría un ligero exceso de sulfato ferroso amónico valorando con la solución de dicromato diluido. El valor de la sal ferrosa se refiere al dicromato.

Carbonato de plata. Se prepara de nuevo para cada ensayo 140cm³ de una solución al 0.5% de sulfato de plata se agregan 4.9cm³ de sosa normal. Dejar sedimentar el precipitado, decantar y se lava una vez por decantación.

Acetato básico de plomo. Se hierve durante una hora una solución de acetato de plomo puro al 10% con un exceso de litargirio, substituyendo el agua evaporada y filtrando en caliente.

Solución al 0.1% de ferrocianuro potásico.

Marcha del análisis. Se diluye 20 gramos de glicerina hasta 250cm³. A 25cm³ de esta solución se le agrega el carbonato de plata y se agita durante 10 minutos, se agrega un ligero exceso de acetato de plomo, se espera unos minutos, se diluye con agua destilada hasta 100cm³, se agregan otros 0.15cm³ para compensar el volumen del precipitado, se agita y se filtra, a través de un filtro desecado al aire, en un matraz de cuello delgado, tirando los primeros 10cm³ y filtrando otra vez el remanente.

Ensayando el filtrado, no debe enturbiarse por adición de acetato básico de plomo. En la mayor parte de los casos basta una adición de 5cm^3 . Pero a veces la glicerina exige la adición de mayor cantidad y entonces se toman otros 25cm^3 de glicerina diluida y se agregan a 6cm^3 de acetato básico de plomo.

Todo exceso mayor de esta sustancia debe ser absolutamente evitado. En un matraz previamente tratado con bicromato y ácido sulfúrico se vierten 25cm^3 del filtrado límpido, se agregan 12 gotas de ácido sulfúrico (1:4) para precipitar el ligero exceso de plomo y se agregan 3.7282 gramos de dicromato en polvo lavando con 25cm^3 agua. Dejar hasta que se haya disuelto todo el dicromato. A solución obtenida se agregan 50cm^3 al 50%.

Se deja sumergido el matraz durante dos horas en agua hirviente, al abrigo del polvo y del contacto de vapores orgánicos. Agréguese un ligero exceso de sulfato ferroso amónico, ensayando de vez en cuando gotas de líquido sobre una placa de porcelana con la solución de ferrocianuro y luego se valora ese exceso con la solución de dicromato. De la cantidad reducida de éste se deduce el tanto por ciento de la glicerina pues un gramo de glicerina corresponde a 7.4564 gramos de dicromato y un gramo de dicromato corresponde a 0.13415 gramos de glicerina.

Observaciones. **1.** Es importante fijar la concentración del ácido en la mezcla de oxidación y la duración de la oxidación. **2.** Antes de agregar el dicromato a la solución de glicerina es necesario que el exceso de plomo se precipite con ácido sulfúrico, como se ha indicado en la descripción del procedimiento. **3.** Para las gliceras brutas que prácticamente están exentas de cloruros, la cantidad de carbonato de plata puede reducirse a un quinto y la de acetato de plomo a 0.5cm^3 . **4.** Es recomendable la adición de una pequeña cantidad de sulfato potásico para obtener un filtrado claro.

2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

2.1 Localización

La parte experimental se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala en las siguientes instalaciones.

Laboratorio de Química Industrial Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Laboratorio de Química y Microbiología del agua del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Ingeniería.

2.2 Recursos humanos

- Investigador Alvaro Esaú Miranda Moscoso
- Asesor Ing. Químico Cesar Alfonso García Guerra
- Co - asesor Ing. Químico Nery Lique

2.3 Materiales

- Cera extraída del fruto de Arrayán procedente del departamento de Cobán Alta Verapaz, Guatemala.
- Agua desmineralizada salvavidas.

- Ceniza de leña de encino, recolectada de un horno de pizza (pizzeria Vesubio)
- Carbonato de potasio (K_2CO_3) grado industrial.
- Cloruro de potasio (NaCl) grado de mesa.
- Sílica gel, indicador de humedad, Droguería Profaquín
- Ácido clorhídrico.
- Ácido sulfúrico

2.4 Equipo

- Saponificador de vidrio Pyrex con agitador incorporado de 1700 ml de capacidad.
- Bomba de vacío marca Gast, 120 voltios, 1725 RPM, 1/6 HP.
- Horno con unidad de extracción al vacío marca Cornelius Or 97113, 120 voltios modelo 1415 M.
- Plancha de calentamiento de superficie cerámica marca Corning, modelo 84303 – 20, 120 Voltios.
- Quitasato de vidrio de capacidad de 1 litro.
- Embudo de porcelana Coors, 13.4 cm. de diámetro.
- Desecadora de vidrio.

- Lámpara estroboscópica 117 V, 50 – 60 Hz.
- Crisoles de porcelana
- Espátulas
- Equipo Soxhlet de 500 ml.

2.5 Metodología experimental

2.5.1 Diseño de tratamientos

En este estudio se determinó el porcentaje de rendimiento para la saponificación de la cera del fruto del arrayán, y propiedades físicoquímicas, humedad, porcentaje de material insaponificable, porcentaje de grasas neutras, alcalinidad y densidad para el producto final (jabón) de cera refinada como sin refinamiento (cera cruda), esto a partir de dos agentes alcalinos, ceniza de leña y carbonato de potasio (K_2CO_3) como testigo del rendimiento. Por lo tanto se tienen 4 variaciones de saponificación, realizando 3 repeticiones para cada serie de pruebas, lo cual da un total de 12 corridas para la evaluación del estudio de la saponificación.

2.5.2 Diseño Experimental

Se realizó un experimento factorial con un arreglo combinatorio y una distribución, completamente al azar con doce procesos de saponificación empleándose un análisis de varianza como método para hacer todas las comparaciones múltiples de rendimiento, con un nivel de confianza del 95 %.

En donde:

U = clase de cera utilizada.

CC = cera sin tratamiento alguno proveniente de Cóbán Alta Verapaz

CB = Cera con tratamiento (eliminación del color) e impurezas realizado

en el laboratorio, proveniente de Cóbán Alta Verapaz

V = Agente alcalino saponificador.

A = Ceniza de leña

C = Carbonato de potasio (K_2CO_3)

r = repetición (1, 2, 3)

Tabla I. Codificación de corridas según cera (cruda o refinada) y agente saponificador (Na_2CO_3 o Ceniza de Encino)

TIEMPO	U	V	
		C	A
2 HORAS	CC	CCC1	CCA1
2 HORAS		CCC2	CCA2
2 HORAS		CCC3	CCA3
2 HORAS	CB	CBC1	CBA1
2 HORAS		CBC2	CBA2
2 HORAS		CBC3	CBA3

2.5.3 Unidad experimental

Se analizó cuatro factores: cera blanqueada, cera cruda, alcalinización con ceniza de leña, y carbonato de potasio (K_2CO_3). El factor cera blanqueada, cera cruda constó de una misma cera proveniente del valle de Cóbán Alta Verapaz, Guatemala, pero una parte fue tratada químicamente para eliminarle el color y la otra fue trabajada en la forma en que vino (concreto).

Se mantuvo constante el tiempo de saponificación (2 horas) y una temperatura de 80 ± 2 °C y la cantidad de materia prima (150 g), así como la cantidad de agua (500 ml), la cantidad de agente saponificador (ceniza de leña o carbonato de potasio K_2CO_3), fue de 90 g, se trabajó con un equivalente de 1/8 de la solución de sal al 28% en peso de cloruro de sodio (NaCl).

Este procedimiento se basó en las recomendaciones para saponificaciones a nivel industrial según asesoramiento del Ingeniero Nery Lique, quien se desempeña en la planta industrial de jabón La Popular.

2.5.4 Manejo del experimento

La cera ya sea tratada químicamente o cruda se fundió en un beacker, mientras que el carbonato de sodio o ceniza de leña se puso a agitar a una temperatura de 80 ± 2 °C junto con el agua y la sal en un recipiente, en una plancha de calentamiento con agitación.

Para la saponificación de la cera del arrayán se empleó el método por lotes a nivel laboratorio.

El método por lotes consistió en introducir la materia prima en el reactor que contiene agua y una solución de cloruro de sodio y carbonato de potasio (K_2CO_3) o ceniza de leña, y se agitó a una temperatura de 80 ± 2 °C, se dejó por dos horas, luego se dejó que se separe la solución en dos fases y se utilizó mantas como método de eliminación de agua, hasta separar toda la fase líquida, se obtiene la fase sólida y se dejó secar en una incubadora hasta obtener un 20 % de humedad. Para los tratamientos con ceniza se requirió una filtración final en vista de que este álcali era poco soluble por lo que se requiere separación del producto final.

3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DATOS

Los resultados que se obtendrán fueron sometidos a un análisis de varianza. La idea de este método es expresar una medida de la variación total de un conjunto de datos como una suma de terminos, que se pueden atribuir a fuentes o causas específicas de variación en su forma más simple, se aplica a experimentos que se planifican como diseños completamente aleatorios.

El análisis de varianza tuvo entonces que tomar en cuenta los siguientes factores:

- La clase de cera (refinada o sin refinar).
- El tipo de saponificador a utilizar (ceniza de leña o carbonato de potasio).

El primer factor tuvo relación pues justifica si existe o no diferencia en el tipo de jabón obtenido, al refinar o no la cera del fruto del arrayán por presencia de los metabolitos secundarios existentes, empleando una misma secuencia de saponificación. Mientras que el segundo factor pudo establecer el rendimiento que se obtiene de la saponificación de los dos tipos de cera (refinada y sin refinar), al utilizar como agente saponificador (álcali) ceniza de leña de encino respecto al rendimiento base que se el obtiene con carbonato de potasio.

Lo anterior implicó por tanto una variación en el lote de un factor de 2 pues son dos muestras diferentes y una variación en la secuencia de saponificación en un factor de 2 que representan las diferentes combinaciones posibles. Se repitió cada experimento 3 veces con el fin de obtener una mayor confiabilidad en los resultados, por lo tanto se trabajara con 12 datos en total.

Tabla II. Análisis de varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Medias de cuadrados	Estadístico
Tratamientos	k - 1	SS(Tr)	MS(Tr)	MS(Tr)/MSE
Error	k(n - 1)	SSE	MSE	
Total	k(n - 1)	SST		

En donde k representó el numero de tratamientos y n es el numero de experimentos por cada saponificación.

Las fórmulas empleadas descritas con mayúsculas en el cuadro 3 son las siguientes:

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - 1/kn * T^2$$

$$SS(Tr) = 1/n * \sum_{i=1}^k T_i^2 - 1/kn * T^2$$

$$SSE = SST - SS(Tr)$$

$$MS(Tr) = SS(Tr)/(k - 1)$$

$$MSE = SSE/K(n - 1)$$

En donde T representa el total general de los datos.

3 RESULTADOS

Las tablas siguientes brindan los resultados obtenidos del procedimiento de la saponificación con dos diferentes tipos de álcali (ceniza de leña de encino y carbonato de potasio (K_2CO_3)) utilizando como materia prima el concreto del fruto del árbol del arrayán (*Myrica Cerífera L.*) así como también el de la cera producto del proceso de refinamiento de los concretos.

4.1 Análisis de la ceniza de leña de encino

Tabla III. Promedio de las tres repeticiones realizadas para determinar la humedad en la caracterización de la ceniza de leña de encino utilizada como álcali.

Periodo (días)	Porcentaje humedad perdida
6	15.28 ± 0.92

Tabla IV. Promedio de las tres repeticiones realizadas (base seca) para la determinación de perdida por fusión en la caracterización de la ceniza de leña de encino utilizada como álcali.

Periodo (días)	Perdida por calcinación
6	28.81 ± 0.79

Tabla V Resultados obtenidos para la determinación de los componentes de la ceniza de leña de encino utilizada como álcali, realizado con espectrometria de rayos X en los laboratorios de la empresa Cementos Progreso Planta San Miguel Km. 43 ruta al Atlántico

Sumatoria	Compuesto	Porcentaje encontrado en la muestra
Mayor	SiO₂	2.11 Menor
	Al₂O₃	1.50 Menor
	Fe₂O₃	0.27 Trazas
	CaO	34.73 Mayor
	MgO	1.63 Menor
	K₂O	15.91 Mayor
79.04	Na₂O	0.01 Trazas
	SO₃	2.54 Menor
	P₂O₅	3.28 Menor
11.06	TiO₂	0.17 Trazas
	Cr₂O₃	0.01 Trazas
	MnO	0.09 Trazas
0.53	LOI¹	28.40 Mayor
90.63	TOTAL	90.63

¹ LOI = Lost Of Ignition que significa perdida por ignición o calcinación.

4.2 Resultados obtenidos para los análisis de saponificación

Tabla VI. Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera cruda (*Myrica cerífera L.*) extraída del fruto del árbol del arrayán, utilizando como álcali carbonato de potasio (CCC).

Tiempo (min.)	pH CCC1	PH CCC2	pH CCC3	Promedio	Desviación estándar
0	11.82	11.85	11.92	11.86	± 0.04
20	11.64	11.69	11.72	11.68	± 0.03
40	10.56	10.52	10.67	10.58	± 0.06
60	10.49	10.46	10.62	10.52	± 0.07
80	10.43	10.39	10.42	10.41	± 0.02
100	10.37	10.31	10.33	10.34	± 0.02
120	10.29	10.26	10.27	10.27	± 0.01
	$\Delta\text{pH} = 1.53$	$\Delta\text{pH} = 1.59$	$\Delta\text{pH} = 1.65$	$\Delta\text{pH} = 1.59$	± 0.06

Tabla VII Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera cruda (*Myrica Cerífera L.*), extraída del fruto del árbol del arrayán utilizando como álcali ceniza de encino (CCA)

Tiempo (min.)	PH CCA1	PH CCA2	PH CCA3	Promedio	Desviación estándar
0	13.32	13.40	13.38	13.37	± 0.03
20	12.62	12.54	12.59	12.58	± 0.03
40	11.92	11.84	11.94	11.90	± 0.04
60	11.37	11.36	11.43	11.39	± 0.03
80	11.10	11.06	10.98	11.05	± 0.05
100	10.87	10.74	10.72	10.78	± 0.07
120	10.54	10.43	10.39	10.45	± 0.06
	$\Delta\text{pH} = 2.78$	$\Delta\text{pH} = 2.97$	$\Delta\text{pH} = 2.99$	$\Delta\text{pH} = 2.92$	± 0.12

Tabla VIII. Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera blanqueada (*Myrica cerífera* L.), extraída del fruto del árbol del arrayán, utilizando como álcali carbonato de potasio (CBC)

Tiempo (min.)	pH CBC1	pH CBC2	pH CBC3	Promedio	Desviación estándar
0	11.85	12.02	11.98	11.95	± 0.07
20	11.67	11.51	11.50	11.56	± 0.08
40	10.78	11.02	10.35	10.72	± 0.28
60	10.46	10.63	9.85	10.31	± 0.33
80	10.37	10.52	9.62	10.17	± 0.39
100	10.26	10.42	9.52	10.07	± 0.39
120	10.15	10.34	9.49	9.99	± 0.36
	$\Delta\text{pH} = 1.70$	$\Delta\text{pH} = 1.68$	$\Delta\text{pH} = 2.49$	$\Delta\text{pH} = 1.96$	± 0.46

Tabla IX. Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera blanqueada (*Myrica cerífera* L.), extraída del fruto del árbol del arrayán utilizando como álcali ceniza de leña de encino (CBA)

Tiempo (min.)	pH CBA1	pH CBA2	pH CBA3	Promedio	Desviación estándar
0	12.86	12.98	12.92	12.92	± 0.05
20	12.15	12.25	12.18	12.19	± 0.04
40	10.28	10.43	10.34	10.35	± 0.06
60	9.95	10.05	9.98	9.99	± 0.04
80	9.72	9.94	9.88	9.85	± 0.09
100	9.61	9.90	9.82	9.78	± 0.12
120	9.56	9.88	9.75	9.73	± 0.13
	$\Delta\text{pH} = 3.3$	$\Delta\text{pH} = 3.1$	$\Delta\text{pH} = 3.17$	$\Delta\text{pH} = 3.19$	± 0.10

Nota: si se calcula las diferencias de los valores ΔpH respectivamente entre si este es de 1.59 que significa $10^{1.59} = 38.9$ veces la demanda de alcalinidad (OH^-).

4.3 Resultados obtenidos en la determinación de la densidad a una temperatura ambiente de 22 °C y una humedad del 6 por ciento, para los cuatro tipos de jabón analizados

Tabla X. Resultados obtenidos en la determinación de la densidad, a una temperatura ambiente de 22 °C y una humedad del 6%, para los cuatro tipos de jabón analizados.

Jabón según el tipo de cera y álcali utilizado	Densidad promedio
CBC	0.5723 ± 0.015
CBA	0.6949 ± 0.048
CCC	0.5969 ± 0.002
CCA	0.6511 ± 0.012

Figura 3 Proyección de las densidades para los cuatro tipos de jabón analizados

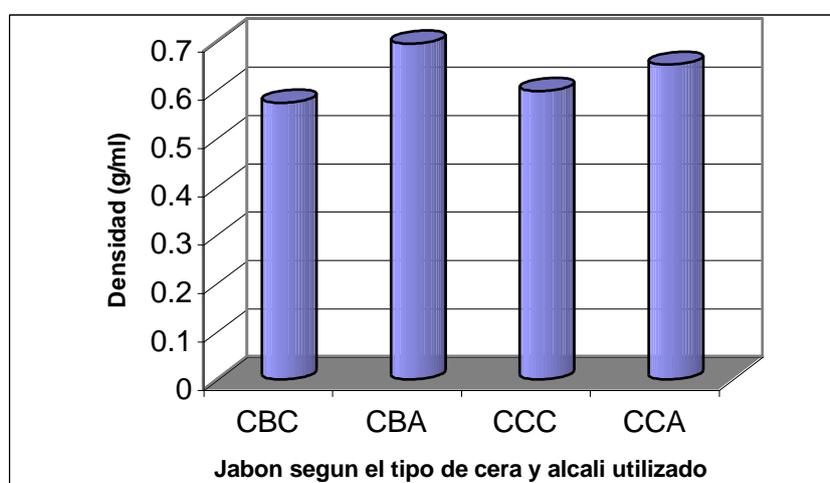


Tabla XI. Resultados obtenidos en la determinación del álcali total promedio (álcali libre, y combinado con los ácidos grasos), analizados con una humedad del 6 %, para los cuatro tipos de jabón.

Jabón según el tipo de cera y álcali utilizado	Porcentaje promedio álcali total
CCC	34.20 ± 0.91
CCA	28.46 ± 0.45
CBC	34.20 ± 0.91
CBA	25.85 ± 0.78

Figura 4 Proyección del álcali total para los cuatro jabones analizados

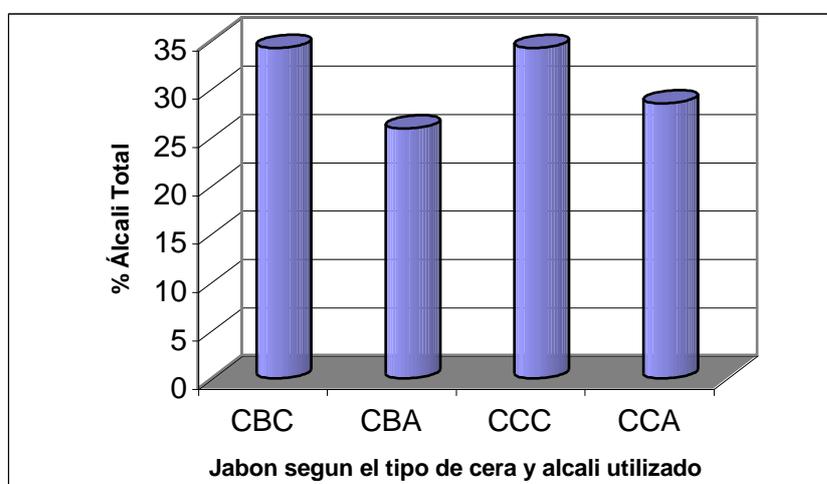


Tabla XII. Resultados obtenidos en la determinación del álcali combinado con los ácidos grasos promedio, analizados con una humedad del 6 por ciento, para los cuatro tipos de jabón.

Jabón según el tipo de cera y álcali utilizado	Porcentaje promedio de álcali combinado con los ácidos grasos
CCC	5.15 ± 0.03
CCA	3.22 ± 0.08
CBC	5.64 ± 0.15
CBA	2.91 ± 0.09

Figura 5 Proyección del porcentaje de álcali combinado con los ácidos grasos para los cuatro jabones analizados.

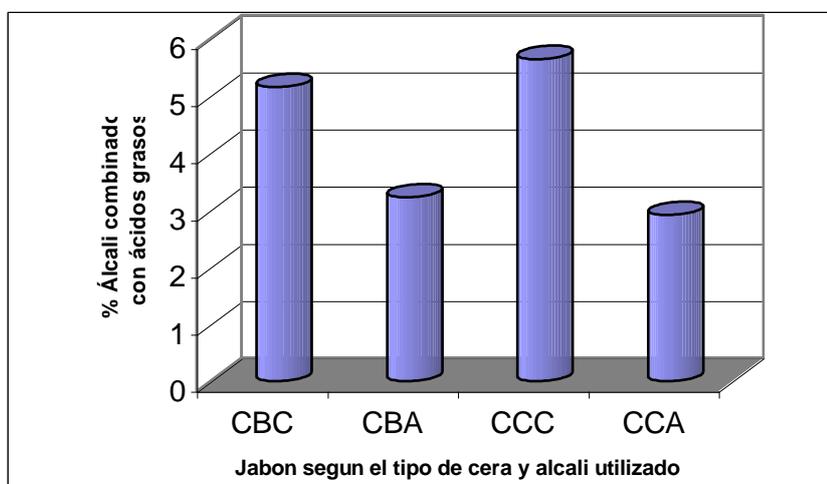


Tabla XIII. Resultados obtenidos en la determinación de materia insaponificable, y trabajados con una humedad del 6 %, para los cuatro tipos de jabón.

Jabón según el tipo de cera y álcali utilizado	Porcentaje de materia Insaponificable
CCC	26.36 ± 0.74
CCA	15.95 ± 0.31
CBC	21.47 ± 0.84
CBA	16.90 ± 0.31

Figura 6 Proyección % materia insaponificable para los cuatro jabones analizados

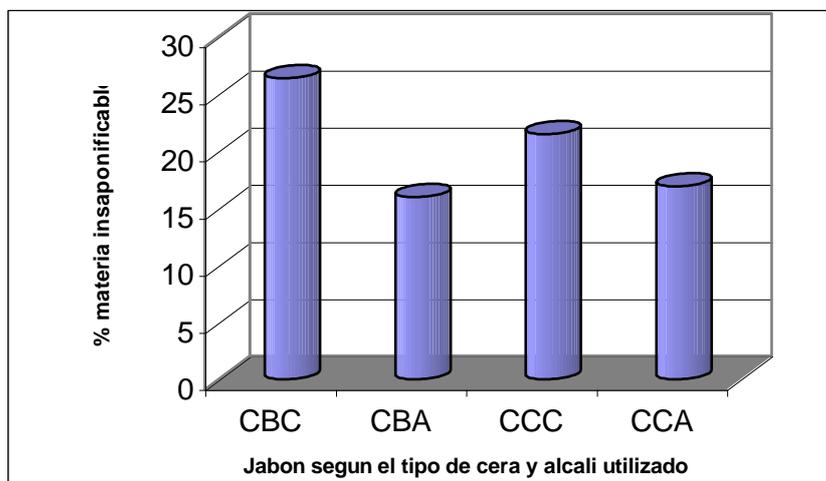


Tabla XIV. Resultados obtenidos para la determinación de la materia saponificada, analizados con una humedad del 6 %, para los cuatro tipos de jabón.

Jabón según el tipo de cera y álcali utilizado	Porcentaje de materia Saponificable
CCC	44.60 ± 1.22
CCA	60.90 ± 0.48
CBC	50.10 ± 0.02
CBA	60.00 ± 0.04

Figura 7 Proyección % materia saponificable para los cuatro jabones analizados.

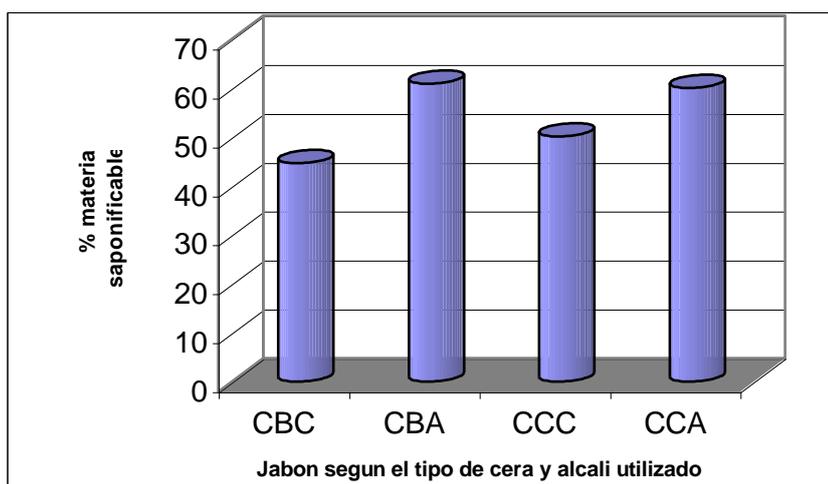
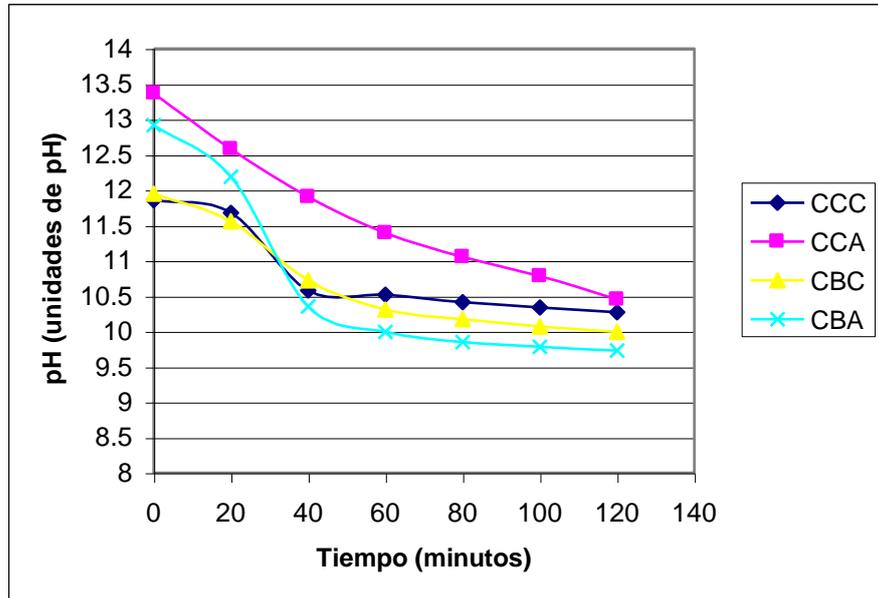


Figura 8 proyección de los diferentes tipos de jabón, evaluando el transcurso de la saponificación, en función del pH vrs el tiempo

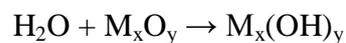


5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Análisis de la ceniza de leña de encino

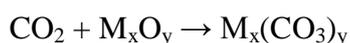
Los resultados obtenidos en el análisis de la ceniza de leña que se utiliza como álcali alternativo para la saponificación del concreto y la cera refinada quedan descritos en las tablas III, IV y VI y la interpretación a dichos resultados es la siguiente:

1. La humedad de origen de la ceniza analizada estaban en un rango alto por la higroscópica y no recibió ningún tratamiento físico (secado) si no que fue utilizada con dicha humedad de origen ya que tomando en cuenta que se encontraba en contacto directo con el medio ambiente y que toda mezcla de óxidos alcalinos y alcalinoterreos tiende a retener humedad. El análisis realizado en la ceniza por espectrometría de rayos X refleja la presencia de numerosos óxidos metálicos (alcalinos y alcalinoterreos) estos tienden a hidratarse por la reacción siguiente:



Y estos son en orden decreciente de contenido $\text{Ca}(\text{OH})_2 > \text{K}(\text{OH}) > \text{Mg}(\text{OH})_2 > \text{Al}(\text{OH})_2$. Por lo que se trabajo con esta humedad en todas las saponificaciones.

2. El análisis físicoquímico realizado con espectrometría de rayos X en los laboratorios de la Planta de San Miguel de Cementos Progreso refleja por la pérdida por calcinación (LOI) que la ceniza de leña contenía carbonatos en alto porcentaje, así también óxidos metálicos que tienden a absorber CO₂ y agua, sobretodo los alcalinoterreos que por la reacción siguiente se obtiene los siguientes productos:



Y estos son en orden decreciente de contenido CaCO₃ > K₂CO₃ > MgCO₃, etc. Por presenta potencial de saponificación como álcali alternativo para la saponificación del concreto y cera de arrayán.

5.2 Análisis de la evolución de la saponificación conforme el tiempo

Los resultados obtenidos en el análisis del avance de la saponificación a través de la variación del pH conforme el tiempo quedan descritos en las tablas VI, VII, VIII y IX.

En los resultados de las tablas VI y VII en las cuales se monitoreo el avance de la saponificación en función del pH en la cera cruda utilizando como álcali carbonato de potasio (K₂CO₃) para los tratamientos experimentales CCC (Tabla VI) y Ceniza de leña para los tratamientos experimentales CCA (Tabla VII), observándose que presenta una diferencia significativa entre ambos tratamientos desde el pH inicial de la solución alcalina, con una diferencia de 10 veces la concentración de iones H⁺ (ΔpH = 1), mostrando que la ceniza es una fuente rica en álcali, por la hidratación de los óxidos e hidrólisis de los carbonatos componentes de esta. Y a partir de este análisis de las propiedades determinadas se obtiene la primera conclusión.

El pH básico final medido en los dos tipos de saponificación muestra que no existe diferencia significativa pues la concentración de iones OH⁻ era mayor en un factor de 3.16.

Se obtuvo un mayor descenso de pH en la cera trabajada con ceniza de leña de encino. Esta evolución es observable en general en la figura 3.

Para los resultados en los tratamientos experimentales CBC (tabla VIII) y CBA (tabla IX) donde se refleja el avance de la saponificación con cera blanqueada utilizando como álcali carbonato de potasio y ceniza de leña respectivamente, se observa que existe una diferencia significativa de 10 veces en la concentración de OH^- en el pH inicial, y esta se ve reducida en el pH de la solución básica final.

También se puede observar que existe diferencia significativa entre el pH final básico de la saponificación de la cera cruda y el pH final de la cera blanqueada en aproximadamente 3.16 veces la concentración de OH^- .

Lo anterior refleja la demanda mayor de álcali en la cera debido a la ausencia de oleorresina que es no saponificable en general como se concluye al establecer la diferencia entre los ΔpH respectivos.

5.3 Análisis realizados al jabón obtenido

Los resultado reportados en la tabla numero X describen una propiedad intensiva del jabón obtenido, como lo es la densidad, la cual fue medido a la temperatura de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con una humedad de 6 %, siendo esta menor que la del agua. También se observa una pequeña diferencia de densidad entre los jabones obtenidos utilizando como álcali carbonato de potasio (menor densidad) y los obtenidos con ceniza de leña de encino (mayor densidad), ya que los de ceniza de leña de encino tienen mayor masa por unidad de volumen porque una parte muy fina de ceniza insoluble en agua, quedo atrapada en el jabón por lo que la masa incluida refleja una densidad mayor, esto se nota de mejor manera en la figura 3.

Los resultados de las tablas XI (álcali total) y XII (álcali combinado con los ácidos grasos), muestra el efecto del agente alcalino utilizado, ya que existe mayor cantidad de álcali total y combinado con los ácidos grasos en los jabones producidos con ceniza, respecto a los de carbonato de potasio. También establece el efecto por el tipo de cera utilizada, con el mismo tipo de agente alcalino y establece que los jabones producidos con carbonato de potasio tienen la mayor cantidad de álcali total en los dos tipos de cera respecto a los producidos con ceniza de leña. Dicho comportamiento se puede analizar de mejor manera en las figuras 4 y 5 respectivamente.

Los resultados de las tablas XIII (materia insaponificable) y XIV (materia saponificable) muestra que el material insaponificable es mayor en los jabones producidos con ceniza de leña de encino respecto a los producidos con carbonato de potasio y no influye el tipo de cera que se utilice ya que de igual manera es mayor la cantidad de material insaponificable en los jabones con ceniza; este mismo comportamiento se nota con la materia saponificable. Pues se puede concluir que la alta alcalinidad de la ceniza permite una saponificación mayor, y por el contrario la baja alcalinidad del carbonato de potasio restringe la cantidad de materia que se saponifica.

La mayor cantidad de materia saponificada en cera blanqueada respecto a cera cruda, sin importar el tipo de álcali, se debe a la oleorresina presente en la cera cruda ya que la cantidad de materia prima utilizada para los diferentes tratamientos experimentales fue la misma. Esto se puede apreciar en las figuras 6 y 7 respectivamente.

5.4 Análisis de la gráfica comparativa del seguimiento de la saponificación conforme el tiempo

La figura No. 8 nos muestra que el pH alcalino inicial para los tratamientos efectuados con ceniza de leña de encino fueron mayores que los tratamientos efectuados con carbonato de potasio.

Este comportamiento se explica en el inciso 5.1 al inicio de la discusión de resultados. Según el tipo de cera que se utiliza con la ceniza en base a la oleorresina existente en la cera cruda presenta un comportamiento diferente para los jabones a base de ceniza. Conforme el tiempo de saponificación transcurre, al final el pH cambia significativamente, ahora bien en las tratadas con carbonato de potasio, se observa un comportamiento similar, desde el pH básico inicial hasta el pH básico final.

También influyo en el consumo de álcali que las ceras tratadas químicamente o blanqueadas tuvieron un mayor consumo de álcali ya sea con carbonato o ceniza por la mayor cantidad de materia saponificable por la eliminación de la oleorresina.

La demanda de álcali durante la primera hora de saponificación muestra un mayor consumo entre el periodo de 20 a 60 minutos. Se puede notar en la figura 8 la pendiente mas pronunciada en ese periodo.

CONCLUSIONES

1. Los análisis físicoquímico realizados a la ceniza de leña de encino utilizada como álcali muestra un contenido alto de óxidos de metales alcalinos y alcalinoterreos, así como un contenido alto de carbonatos, todos aprovechables como fuente de álcali para la saponificación de la cera del fruto del arrayán (*Myrica Cerífera L.*), indistintamente si es cruda o blanqueada.
2. La alta alcalinidad de la ceniza por su composición química, favorece la completa saponificación de la cera del arrayán (*Myrica Cerífera L.*).
3. Para cualquiera de las dos ceras (cruda o blanqueada) se observó que la conversión máxima por saponificación es de 60 %, cuando se utilizo ceniza de leña como álcali, y es independiente del tipo de cera que se utilice.
4. La máxima demanda de álcali en la saponificación con ceniza o carbonato de potasio se tiene en la primera hora de reacción.

RECOMENDACIONES

1. Continuar estudios que evalúen el porcentaje de saponificación de la cera del arrayán en función del pH.
2. Realizar estudios para determinar nuevos nichos para el aprovechamiento de la cera cruda del fruto del arrayán como materia prima.
3. Realizar un estudio comparativo, para determinar el potencial de la alcalinidad proveniente de diferentes cenizas de leña según su origen .

BIBLIOGRAFIA

- 1 KENT, James A. **Manual de Riegel de química industrial** Compañía Editorial Continental, S.A impreso en México 1,984.
- 2 OTERO Aenlle, Enrique **Análisis de grasas y ceras y sus mezclas comerciales** Editorial Dossat, S.A impreso en Madrid 1946.
- 3 BENNET, H **industrial waxes** Chemical Publishing Company, Inc. Printed in New York 1963.
- 4 BADUÍ, Salvador, **Química de los alimentos** Editorial Alhambra, 1ra edición 1981 impreso en México.
- 4 CHEFTEL, J.C. **Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos** volumen 1, Editorial Acribia España 1976.
- 6 Monografias.com, jrodrigg@intramed.net.ar Febrero – Marzo 2004
- 7 GÁLVEZ Barrera, Hugo Alejandro Evaluación del comportamiento de la piedra caliza con diferente contenido de carbonato de magnesio ($MgCO_3$) a través del proceso de calcinación a $850\text{ }^{\circ}C$ y 640 mm de Hg en la obtencion de cal viva mediante la determinación de la densidad aparente (ASTM 188 – 95). Tesis Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala , asesor Ing. Cesar Alfonso García Guerra.

- 8 DE LEÓN, Víctor Evaluación preliminar sobre el aprovechamiento de aceites comestibles desechados de procesos de fritura, mediante su caracterización química para su utilización (reciclaje) en la elaboración del jabón. Tesis, Facultad de Ingeniería USAC Guatemala, 1996

- 9 HERNANDEZ, Diego Evaluación de las propiedades físicoquímicas de los concretos y cera refinada, obtenidos del fruto del arrayán (*Myrica Cerífera* L.) mediante la extracción con solventes orgánicos (etanol y hexano) y agua. (Recolectados de los bosques naturales del área nor – central de Guatemala). Tesis, Facultad de Ingeniería USAC Guatemala 2003.

ANEXO

Tabla XV. Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera cruda (*Myrica cerífera L.*) extraída del fruto del árbol del arrayán, utilizando como álcali carbonato de potasio (CCC)

Tiempo (min.)	PH CCC1	pH CCC2	PH CCC3
0	11.82	11.85	11.92
20	11.64	11.69	11.72
40	10.56	10.52	10.67
60	10.49	10.46	10.62
80	10.43	10.39	10.42
100	10.37	10.31	10.33
120	10.29	10.26	10.27

Tabla XVI. Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera cruda (*Myrica cerífera L.*), extraída del fruto del árbol del arrayán utilizando como álcali ceniza de encino (CCA)

Tiempo (min.)	PH CCA1	pH CCA2	PH CCA3
0	13.32	13.40	13.38
20	12.62	12.54	12.59
40	11.92	11.84	11.94
60	11.37	11.36	11.43
80	11.10	11.06	10.98
100	10.87	10.74	10.72
120	10.54	10.43	10.39

Tabla XVII. Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera blanqueada (*Myrica cerífera L.*), extraída del fruto del árbol del arrayán, utilizando como álcali carbonato de potasio (CBC)

Tiempo (min.)	PH CBC1	pH CBC2	PH CBC3
0	11.85	12.02	11.98
20	11.67	11.51	11.50
40	10.78	11.02	10.35
60	10.46	10.63	9.85
80	10.37	10.52	9.62
100	10.26	10.42	9.52
120	10.15	10.34	9.49

Tabla XVIII. Resultados obtenidos en el monitoreo del pH para la evaluación del avance de la saponificación en un tiempo de 2 horas, para cera blanqueada (*Myrica cerífera L.*), extraída del fruto del árbol de arrayán utilizando como álcali ceniza de encino (CBA)

Tiempo (min.)	PH CBA1	PH CBA2	PH CBA3
0	12.86	12.98	12.92
20	12.15	12.25	12.18
40	10.28	10.43	10.34
60	9.95	10.05	9.98
80	9.72	9.94	9.88
100	9.61	9.90	9.82
120	9.56	9.88	9.75

Tabla XIX Resultados obtenidos para la determinación de la densidad a temperatura ambiente de 22 °C y una humedad del 6%, para los cuatro tipos de jabón analizados

Jabón analizado	R1 (g/ml)	r2 (g/ml)	R3 (g/ml)
CBC	0.577	0.5514	0.5886
CBA	0.6362	0.6504	0.6668
CCC	0.6	0.5942	0.5966
CCA	0.7576	0.6406	0.6864

Tabla XX Resultados experimentales obtenidos en la determinación de la alcalinidad total

Jabón Analizado	ml de KOH consumidos r1	Ml de KOH consumidos r2	Ml de KOH consumidos r3	Alcalinidad (%) r1 (g)	Alcalinidad (%) r2 (g)	Alcalinidad (%) r3 (g)
CBC	45	43	43	35.25	33.68	33.68
CBA	33	34	32	25.85	26.63	25.07
CCC	45	43	43	35.25	33.68	33.68
CCA	36	37	36	28.20	28.98	28.20

Tabla XXI Resultados experimentales obtenidos en la determinación de la alcalinidad con los ácidos grasos

Jabón Analizado	ml de KOH consumidos r1	Ml de KOH consumidos r2	Ml de KOH consumidos r3	Alcalinidad (%) r1 (g)	Alcalinidad (%) r2 (g)	Alcalinidad (%) r3 (g)
CBC	1.2	1.17	1.23	5.64	5.49	5.78
CBA	0.6	0.64	0.62	2.82	3	2.91
CCC	1.10	1.09	1.10	5.17	5.12	5.17
CCA	0.7	0.67	0.69	3.29	3.14	3.24

Tabla XXII Resultados experimentales obtenidos en la determinación de la materia insaponificable

Jabón analizado	r1 (%)	r2 (%)	r3 (%)
CBC	20.62	22.3	21.5
CBA	17.26	16.98	16.45
CCC	25.65	26.32	27.12
CCA	16.25	15.64	15.95

Tabla XXIII Resultados experimentales obtenidos en la determinación de la saponificación

Jabón analizado	r1 (%)	r2 (%)	r3 (%)
CBC	50.08	50.1	50.12
CBA	60.04	59.96	60
CCC	46	44	43.8
CCA	60.78	60.49	61.42

