

Optimización de condiciones de operación de las materias primas de la elaboración de jabón prieto

Natalia Maricela Palacios Castro¹; Pedro David Vega Cedeño²; Wilmer Ponce Saltos³; Ricardo José Baquerizo-Crespo⁴; Yunet Gómez-Salcedo⁵; Medardo Zambrano-Arcentales^{6*}; Jorge Washington Tumbaco Vera⁷; José Francisco Díaz Izurieta⁸

Resumen

La elaboración de jabón prieto es parte de la tradición de varias comunidades en Ecuador. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las condiciones óptimas de tratamiento de las materias primas para obtener jabón prieto a partir de piñón (*Jatropha curcas L.*) y cenizas de la cáscara de cacao. En paralelo se realizó el mismo experimento usando KOH en lugar de cenizas. En primer lugar, se realizó una extracción Soxhlet de la grasa de las semillas. En segundo lugar, por medio de un diseño experimental, se encontró que la mejor combinación de ceniza y agua arrojó una concentración promedio de 11% de KOH en dos días. Con estos datos establecidos, se procedió a realizar los experimentos de saponificación utilizando la grasa de 50 gramos de semillas en soluciones de KOH en un rango de tiempo de 105 a 255 minutos. Como variable de respuesta se consideró la alcalinidad libre en forma de KOH. Los resultados estadísticamente óptimos de los experimentos corresponden al uso de 11g de KOH y, para el caso de la lejía, 22 g de hidróxidos. Finalmente, se identificó el tipo de jabón obtenido según la norma INEN.

Palabras clave: jabón prieto, jabón artesanal, *Jatropha curcas L.*, cenizas de la cáscara de cacao.

Optimization of operating conditions for raw materials in the production of black soap

Abstract

The production of black soap is part of the tradition of several communities in Ecuador. The objective of this study was to determine the optimal treatment conditions for raw materials to obtain black soap from pine nuts (*Jatropha curcas L.*) and cocoa shell ash. The same experiment was conducted in parallel using KOH instead of ash. First, a Soxhlet extraction of the seed fat was performed. Second, using an experimental design, it was found that the optimal combination of ash and water yielded an average KOH concentration of 11% over two days. With these data established, saponification experiments were conducted using the fat from 50 grams of seeds in KOH solutions over a time range of 105 to 255 minutes. Free alkalinity in the form of KOH was considered the response variable. The statistically optimal results of the experiments correspond to the use of 11 g of KOH and, in the case of lye, 22 g of hydroxides. Finally, the type of soap obtained was identified according to the INEN standard.

Keywords: black soap, artisanal soap, *Jatropha curcas L.*, cocoa shell ash.

Recibido: 28 de agosto 2025

Aceptado: 08 de abril 2026

¹ Laboratorio LASA, Manta, Manabí, Ecuador; npalacios0720@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0005-6629-3445>

² Pablo Sáenz, Parque Industrial, Ambato, Tungurahua, Ecuador; pedrovc1996@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-2851-6949>

³ INIAP, Laboratorio de Bromatología y Calidad, Manabí, Ecuador; wilmer.ponce@iniap.gob.ec; <https://orcid.org/0000-0002-4250-5184>

⁴ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Ecuador; ricardo.baquerizo@utm.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-6268-3965>

⁵ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Ecuador; yunet.gomez@utm.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0002-6614-8644>

⁶ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Ecuador; medardo.zambrano@utm.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-3949-7491>

⁷ INIAP, Estación Experimental Portoviejo, Manabí, Ecuador; jorge.tumbaco@iniap.gob.ec; <https://orcid.org/0009-0008-8308-679X>

⁸ Fundación Pacto Divino / AMBICORP S.A., Baños de Agua Santa, Ecuador; jfdiazizurieta@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-5723-0319>

*Autor de correspondencia

I. INTRODUCCIÓN

El jabón es un agente tensoactivo que se utiliza en cada uno de los hogares de todo el mundo para la limpieza en general [1, 2]. Este se obtiene al reaccionar grasas con álcalis de tal forma que la unión con los ácidos grasos se descompone y forma la glicerina y la sal de sodio denominada jabón [3]. En Ecuador existe una fuente vegetal y sostenible de grasas que es el piñón (*Jatropha curcas* L) [2, 4, 5]. Las aplicaciones que posee el piñón son variadas, entre estos se encuentra el control de plagas, biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, utilidad medicinal [6], extracción del aceite para la elaboración de biocombustibles y jabón, entre otros [7]. La literatura refleja investigaciones relacionadas a la elaboración del jabón a partir de la pasta de piñón, estas no incluyen el uso de alguna ceniza vegetal como fuente de álcali en la saponificación, sino que describen un proceso en el que emplean hidróxido de sodio y se realiza una comparación con muestras de jabón prieto realizado de manera artesanal [8].

Se considera que el uso del piñón como ingrediente de jabón es el más rentable debido al rico contenido en ácido palmítico y altos niveles de hidrofobicidad lo que resulta en la elaboración de un producto suave, duradero, incluso bajo el más simple proceso de fabricación [9]. Además, se ha descrito la síntesis de jabón medicinal presentando un estudio de los parámetros de calidad de este, los resultados muestran un rendimiento del 97% de saponificación y un porcentaje de materia grasa total del 60%, con una actividad antimicrobial de 29%, lo cual caracteriza al jabón, según las normas de la Oficina de Normas de la India (BIS, por sus siglas en inglés) como uno de grado III y que puede ser usado para propósito general de baño [10]. En países como Portugal la producción de este jabón es comercial y es usado como una alternativa para las personas que presenten alguna reacción alérgica a los jabones comunes y en países del oeste de África como Zambia, Nigeria, Zimbabwe es comercializado como un jabón suave para lavar ropa, estos procesos excluyen las cenizas como fuente del álcali de manera que usan hidróxido de sodio o potasio en solución [11].

En trabajos recientes se ha encontrado que se busca abordar el problema de la disponibilidad de recursos para la producción de jabón proponiendo la

revalorización materias primas poco convencionales en esta industria [12–14]. También mencionan la importancia de un jabón con valor añadido en términos de cuidado de la piel [15, 16]. En general, los trabajos utilizan hidróxido de sodio producido industrialmente como reactivo evidenciando pocos estudios que utilicen una fuente biodegradable de álcali como las cenizas vegetales. En Ecuador la mayoría de las personas que elaboran el jabón prieto (un tipo de jabón artesanal) derivado del piñón lo realizan empíricamente a partir de esta semilla con ceniza para obtener lejía y conocimientos obtenidos entre las generaciones. Sin embargo, no existe un método estandarizado para la producción de jabón prieto, lo cual ocasiona productos de baja calidad que no cumplen con normas técnicas, así como el enranciamiento de las grasas o aceites que no reaccionaron en la saponificación o un exceso de álcali en el producto [17].

Este trabajo tuvo como objetivo principal optimizar las condiciones de operación para el tratamiento de las materias primas utilizadas en la producción de jabón prieto a partir de semillas de piñón y cenizas de cáscara de cacao. Se utilizó hidróxido de potasio como control positivo. Para esto se evaluó la relación agua – ceniza, así como el tiempo retención de estos dos componentes para extraer la mayor concentración de hidróxidos. Después, utilizando una cantidad fija de semillas de piñón, se evaluó la mejor concentración y tiempo de retención para obtener el mejor jabón en términos de alcalinidad libre. Finalmente, se analizó y comparó el jabón obtenido con las normas técnicas ecuatorianas.

A pesar de los avances reportados en la producción de jabones a partir de materias primas no convencionales, persiste una limitada estandarización en el uso de fuentes alternativas de álcali, particularmente en contextos artesanales. En este sentido, la presente investigación aporta evidencia experimental sobre la viabilidad de emplear cenizas de cáscara de cacao como sustituto parcial de hidróxidos industriales, contribuyendo al desarrollo de procesos más sostenibles y adaptados a condiciones locales.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas

Para la obtención de jabón prieto, se empleó

como materia grasa semillas de piñón y como álcalis hidróxido de potasio y cenizas de cacao. Las semillas de piñón, hidróxido de potasio y las cenizas se obtuvieron del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), estación Portoviejo. Se determinó el contenido de grasa en las semillas mediante extracción Soxhlet utilizando hexano. Las cenizas se sometieron a tamizado para eliminar las partículas de mayor tamaño como carbón, hojas, ramas, trazas de cáscaras no carbonizadas y piedras. Posteriormente, se realizó un análisis de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo para caracterizar las cenizas.

Determinación de la proporción agua – ceniza para la obtención de lejía

Para el análisis de la influencia de la proporción agua y ceniza, se realizaron 3 intervalos de cantidad de ceniza en gramos por cada 100 ml de agua destilada. El primer intervalo comprendió desde 0.100 g de ceniza hasta 0.500 g con un punto intermedio. El segundo intervalo fue desde 30.0 g hasta 60.0 g con dos puntos intermedios. En el tercer intervalo se consideró el trabajo de [18] en el cual emplean 46.0 g como límite inferior y se propuso como límite superior 96.0 g con 1 punto intermedio. Los puntos intermedios en cada intervalo fueron equidistantes entre sí. Para todos los experimentos se empleó un tiempo de contacto de 24 horas.

Determinación del tiempo de retención

Se seleccionaron las soluciones de ceniza entre los intervalos que presentaron una mayor concentración y se evaluaron tiempos de retención en un periodo de 3 días. Se midió el cambio en la concentración valorada como hidróxido de potasio presente en la solución, lo cual se realizó por medio de análisis volumétrico con ácido sulfúrico. Con los mejores resultados de los experimentos previos se realizó un diseño factorial n^k , con 3 niveles para cada factor, precisados como CC para la cantidad de ceniza en gramos y TR tiempo de retención en minutos. En la tabla I se detallan las combinaciones obtenidas para el diseño propuesto, los factores se presentan como variable codificada.

Tabla 1. Diseño experimental de la relación ceniza – agua

Unidad Experimental	CC	TR
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0
9	1	1

Evaluación de la saponificación de jabón prieto

Para la evaluación del proceso de obtención de jabón prieto se realizaron dos experimentos. El primero empleó KOH grado reactivo cuyos resultados se emplearon como punto de comparación para los resultados obtenidos con las cenizas de cacao. Los resultados se obtuvieron a partir del empleo de la NTE INEN 821 que establece el método para determinar la alcalinidad libre y la alcalinidad total en agentes tensoactivos, valorándose la alcalinidad libre como porcentaje de hidróxido de potasio. La norma mencionada presenta medición de alcalinidad libre por NaOH según la ecuación 1.

Ecuación 1

$$AL_{NaOH} = \frac{40 \cdot M \cdot V}{m}$$

Donde: AL_{NaOH} , alcalinidad libre expresada como porcentaje en masa de hidróxido de sodio; 40, masa molecular del hidróxido de sodio en g/mol; M , molaridad de la solución de ácido clorhídrico; V , volumen de ácido clorhídrico consumido en litros; m , masa de la muestra en gramos. Ya que en este trabajo se expresó la alcalinidad libre como porcentaje de hidróxido de potasio, la ecuación 1 se ajusta con la masa molecular correspondiente obteniéndose la ecuación 2.

Ecuación 2

$$AL_{KOH} = \frac{56 \cdot M \cdot V}{m}$$

Saponificación con hidróxido de potasio

Para el proceso de saponificación se emplearon 50.0 g de semillas de piñón y las condiciones experimentales desarrolladas en [19] en la cual se detalla que el índice de saponificación del aceite de piñón es 186 mg KOH/g de aceite. Por lo cual se desarrolló un diseño de experimento factorial n^k . Los factores involucrados fueron la concentración de hidróxido de potasio (COH) y el tiempo de reacción (TRx). A partir del resultado previo, y a causa de que el hidróxido de potasio genera un efecto hidrolítico sobre la materia orgánica, el factor COH se duplicó, triplicó y cuadruplicó con respecto al resultado previo correspondiente a la dosis mínima necesaria para la saponificación del contenido de aceite en las semillas. Además, se evaluaron tiempos de reacción desde 105 min hasta 255 minutos en intervalos igualmente espaciados. Cada unidad experimental se realizó por triplicado. No se consideró el efecto de la temperatura en el análisis de resultados, la misma se mantuvo en un intervalo entre 70 a 80 °C. En la tabla II, se presenta el diseño experimental codificado.

Tabla 2. Diseño experimental de la saponificación

Unidad Experimental	COH o CL	TR
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0
9	1	1

Saponificación con solución de lejía

Esta etapa se realizó bajo las mismas condiciones de la experimentación con KOH, con el cambio de las soluciones de hidróxido de potasio por lixiviados provenientes de ceniza de cacao (Tabla II). Los factores modificados fueron concentración de la solución de lejía (CL) y tiempo de reacción (TRx), cada factor a tres niveles igualmente espaciados. El factor CL se estableció entre 10.8 y 21.6 gramos, asimismo el factor TRx varió entre 105 y 255 minutos. Para cada unidad experimental se realizaron réplicas por triplicado.

Análisis de calidad del jabón prieto

El análisis de calidad del jabón prieto se realizó con base a las NTE INEN 839 que exponen los requisitos fisicoquímicos de agentes surfactantes, jabón en barra. Por lo que se consideró el jabón en mejor condición con alcalinidad libre de las saponificaciones con hidróxido de potasio y ceniza de cacao para evaluar el tipo y calidad.

III. RESULTADOS

Materia grasa en las semillas de piñón

La extracción Soxhlet permitió conocer el porcentaje de grasa presente en las semillas de piñón con un promedio de 58.22%±3% (Tabla III), valor utilizado en el respectivo balance de masa para establecer estequiométricamente las cantidades de KOH a usar dentro del experimento. Para 50.0 g de semillas con un contenido aproximado de aceite de 29.11 g, junto con el índice de saponificación de 186 mg KOH/g de aceite se determinó 5.40 g KOH como la cantidad mínima de KOH necesaria para la saponificación del aceite. Debido a la materia orgánica presente en la semilla se dispuso a usar soluciones 10.8% de hidróxido de potasio como límite mínimo y 21.8% como límite máximo para llevar a cabo el diseño de experimento.

Tabla 3. Porcentaje de materia grasa presente en las semillas de piñón

Muestra	Semillas (g)	Balón (g)	Peso final (g)	% grasa
1	19.574	1286.011	1297.727	59.85
2	19.747	1279.742	1290.978	56.89
3	19.557	1047.962	1059.292	57.93

Caracterización de la ceniza

El porcentaje de metales presentes en la ceniza de cáscara de cacao por medio de ICP-MS se detalla en la Tabla IV.

Tabla 4. Porcentaje de materia grasa presente en las semillas de piñón

Elemento	Total (ppm)
Ca3158	1119.0
Cr2055	0.2898
Fe2599	232.1
K_7664	3842.0
Mn2576	9.324
Na7889	77.03

El análisis demuestra que el potasio es el elemento predominante en la ceniza, lo cual resulta relevante dado que este constituye el principal precursor para la formación de hidróxidos durante la obtención de lejía, influyendo directamente en la eficiencia del proceso de saponificación.

Determinación de la proporción agua – ceniza para la obtención de lejía

En la tabla V se detalla el porcentaje de hidróxido de potasio obtenido a partir de soluciones de ceniza a diferentes concentraciones.

Tabla 5. Porcentaje de hidróxido de potasio en la solución de ceniza

Intervalo	CC [g]	KOH [%]
1	0.10	0.02
1	0.25	0.07
1	0.50	0.11
2	30	3.69
2	40	4.74
2	50	5.27
2	60	6.32
3	46	4.22
3	71	5.80
3	96	8.17

Determinación del tiempo de retención

En la determinación de la proporción agua – ceniza para la obtención de lejía se estableció que el intervalo 3 presentó mayores concentraciones de KOH. A continuación, se presenta el comportamiento de dichas soluciones a través del tiempo (Figura 1).

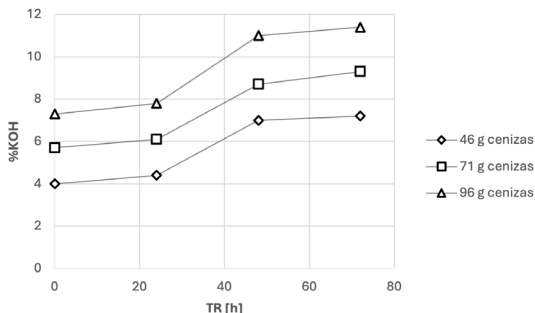


Figura 1. Relación entre las concentraciones de KOH y el tiempo para distintas cantidades de ceniza

Ya que se encontró que luego de 48 horas no existe una mayor diferencia en la concentración de KOH, se procedió a realizar el diseño experimental con ese límite de tiempo. Los resultados obtenidos se encuentran en la Tabla VI.

Tabla 6. Porcentaje de hidróxido de potasio en la solución de ceniza.

Unidad Experimental	CC [g]	TR [h]	KOH [%]
1	46	0	3.87 ± 0.30
2	46	24	4.39 ± 0.30
3	46	48	6.94 ± 3.64
4	71	0	5.66 ± 0.34
5	71	24	6.06 ± 0.26
6	71	48	8.78 ± 2.90
7	96	0	7.38 ± 0.79
8	96	24	7.82 ± 0.40
9	96	48	10.98 ± 2.39

El análisis del diseño experimental indica que al ajustar el modelo se estima un R² de 76.387%, un error estándar del modelo muestra que la desviación estándar de los residuos es 1.46488. El error medio absoluto (MAE) de 1.02021 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si existe alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. La prueba de varianza se realizó con un nivel de confianza (α) del 5% y demuestra que existe una relación directa entre la cantidad de ceniza y el tiempo de retención en la obtención de una solución alcalina. El diseño de experimento se asocia a un modelo que contempla los factores A (CC, concentración de ceniza), B (TR, tiempo de retención), BB como factores significativos. Se reporta que no existe una incidencia de los factores ambientales y experimentales sobre los resultados, esto se refleja en el elevado p-valor, asignado al factor bloque. Para las interacciones AB y AA no se reflejan valores significativos. En la Figura 2 se presenta el diagrama de Pareto relacionado al diseño del experimento.

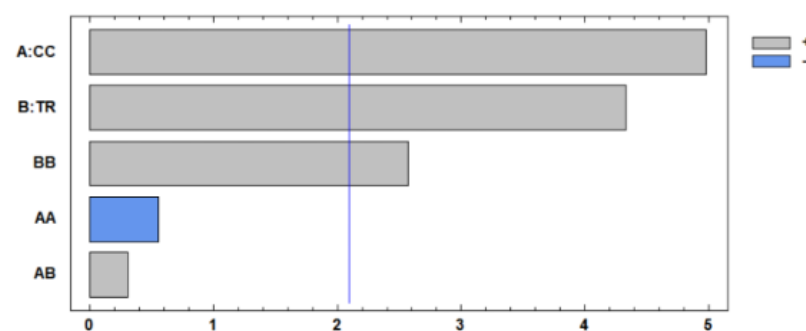


Figura 2. Diagrama de Pareto estandarizada para %KOH

El diagrama de Pareto presentado indica que los factores A, B y BB tienen una influencia positiva sobre el proceso. Esto indica que a medida que incrementan los valores de A y B, se incrementa la variable respuesta. No obstante, los incrementos de B

influyen de mayor manera debido a que este registra una interacción doble BB. Dicho comportamiento se observa en la superficie de respuesta estimada, presentada en la Figura 3.

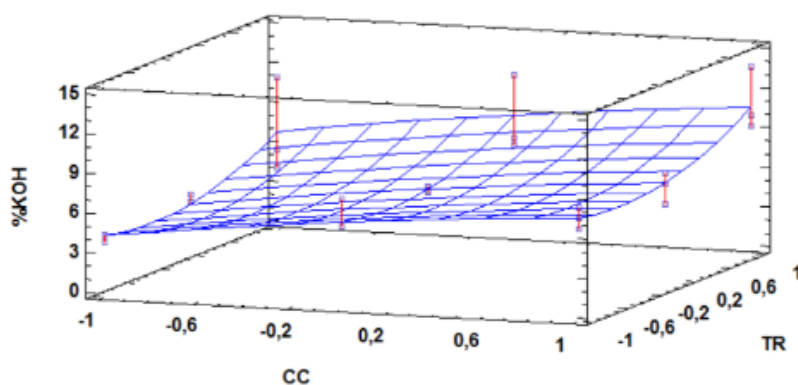


Figura 3. Superficie de respuesta para %KOH.

La superficie de respuesta estimada confirma lo presentado por el diagrama de Pareto, puesto que indica que en los mayores tiempos de retención las concentraciones de KOH se incrementan de forma

exponencial. La ecuación que describe a dicha superficie se presenta a continuación.

Ecuación 3

$$\%KOH = 6.088 + 1.719CC + 1.493TR - 0.3307CC^2 + 0.1318CC \cdot TR + 1.540 \cdot TR^2$$

Debido a la poca significación de los factores AA y AB, estos se pueden despreciar del modelo.

Los datos obtenidos a partir de la aplicación de las NTE INEN 821 en las saponificaciones con hidróxido de potasio y solución de lejía se presentan en las tablas VII y VIII respectivamente.

Evaluación de la saponificación de jabón prieto

Tabla 7. Porcentaje de alcalinidad libre al final de la saponificación con hidróxido de potasio

Unidad Experimental	COH [g]	TRx [min]	AL _{KOH}
1	10.8	105	0.48 ± 0.08
2	10.8	180	0.17 ± 0.05
3	10.8	255	0.15 ± 0.07
4	16.2	105	1.56 ± 0.30
5	16.2	180	1.34 ± 0.04
6	16.2	255	1.22 ± 0.04
7	21.6	105	2.42 ± 0.55
8	21.6	180	3.44 ± 0.40
9	21.6	255	3.07 ± 0.31

Tabla 8. Porcentaje de alcalinidad libre al final de la saponificación con solución de lejía.

Unidad Experimental	CL [g]	TRx [min]	AL _{KOH}
1	10.8	105	0.06 ± 0.01
2	10.8	180	0.06 ± 0.01
3	10.8	255	0.06 ± 0.01
4	16.2	105	0.06 ± 0.02
5	16.2	180	0.05 ± 0.01
6	16.2	255	0.05 ± 0.02
7	21.6	105	0.04 ± 0.01
8	21.6	180	0.09 ± 0.07
9	21.6	255	0.04 ± 0.01

El diagrama de Pareto presentado en la Figura 4 (con su respectiva ecuación) muestra que existe un efecto de mezcla entre los efectos A (COH, concentración de hidróxido de potasio) y B (TRx, tiempo de retención) con ligera influencia significativa de la COH sobre TRx, mientras que la Figura 5 (con su respectiva ecuación) demuestra que la influencia entre CL (A, concentración de lejía) y TRx (B, tiempo de reacción) no es tan significativa. Las superficies de respuesta estimada correspondientes a las Figuras 6 y 7 exhiben grandes diferencias entre sí, la primera como indica el diagrama de Pareto, el porcentaje de alcalinidad libre al final del proceso es proporcional

a la concentración inicial de hidróxido de potasio y debido a la ligera influencia entre la concentración del mismo con el tiempo de reacción la respuesta óptima para minimizar la variable medida pertenece a una menor concentración inicial de KOH y el mayor tiempo de reacción establecido. Entre tanto, para la Figura 7 ocurre lo mismo con relación a la concentración del álcali, no obstante, al no existir otra interacción significativa entre las variables, la respuesta óptima para minimizar la variable medida tiene lugar con la mayor concentración de lejía junto con el mayor tiempo de reacción.

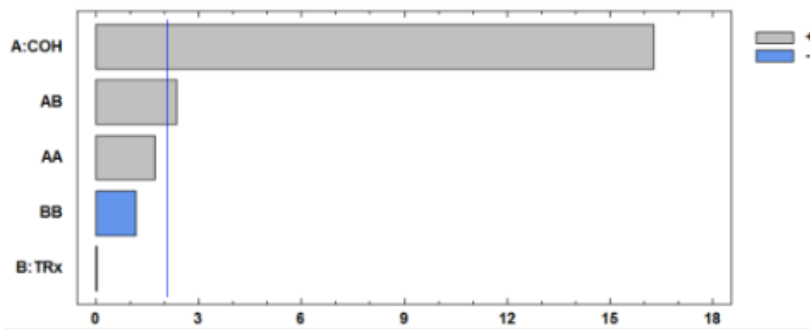


Figura 4. Diagrama de Pareto estandarizada para alcalinidad libre con KOH.

Ecuación 5

$$AL_{KOH} = 1.485 + 1.355COH - 0.003289TRx + 0.2502COH^2 + 0.2417COH \cdot TRx - 0.1698TR^2$$

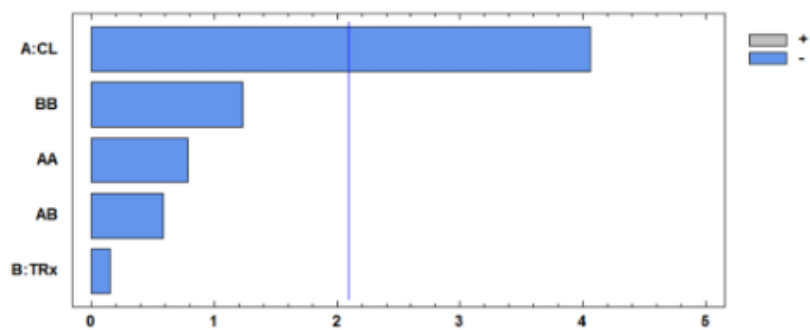


Figura 5. Diagrama de Pareto estandarizada para alcalinidad libre con lejía.

Ecuación 6

$$AL_{KOH} = 0,05844 - 0,0105CL - 0,0004056TRx - 0,003522CL^2 - 0,001858CL \cdot TRx - 0,005539TR^2$$

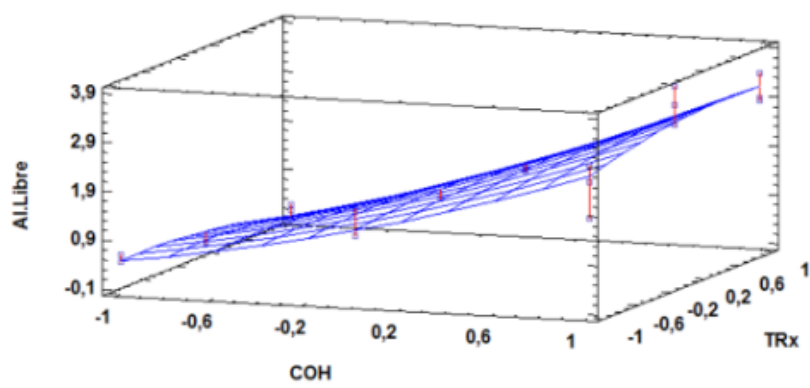


Figura 6. Superficie de respuesta estimada para la alcalinidad libre con KOH.

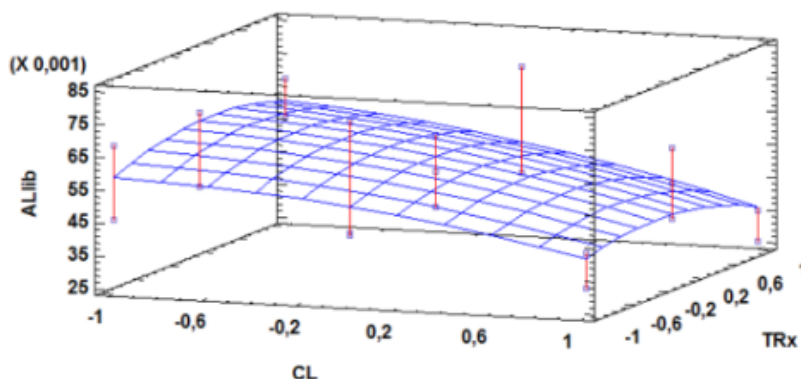


Figura 7. Superficie de respuesta estimada para la alcalinidad libre con lejía.

Análisis de calidad del jabón prieto
Se realizó el respectivo análisis de calidad a los jabones tratados con los diferentes álcalis bajo las

condiciones que tenían mejor resultado de alcalinidad libre, los cuáles son expuestos a continuación (Tabla IX).

Tabla 9. Análisis al jabón de la reacción con KOH y con lejía. A Excepción del pH, los requisitos están expresados como porcentaje en masa.

Requisitos	KOH	Lejía
Materia grasa total	40.5 ± 1.15	26.7 ± 1.53
Humedad y materia volátil	37.4 ± 2.05	18.7 ± 1.03
Alcalinidad libre como NaOH	0.08 ± 0.00	0.04 ± 0.01
Materia insoluble en agua	8.40 ± 0.19	51.0 ± 14.6
pH	10.9 ± 0.07	11.2 ± 0.04
Cloruros	0	0

El tipo de jabón obtenido con KOH se ajusta a un tipo III: jabón para lavar, cuya formulación puede utilizar relleno, perfumes, pigmentos o colorantes. Mientras que el jabón obtenido con lejía no se ajusta en los tipos que se presentan en la norma.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Determinación de la proporción agua-ceniza para la obtención de lejía

El análisis estadístico evidencia que los factores CC y TR influyen en el proceso de obtención de lejía, así como una interacción cuadrática del tiempo de retención (TR²). El rendimiento del álcali obtenido en los experimentos sigue la tendencia planteada en otros trabajos [20] quienes explican que para un volumen de agua, la cantidad de álcali en el lixiviado variará en relación al material de donde se deriva la ceniza, este plantea además los rendimientos de ceniza de vaina de cacao donde existe una mayor presencia de carbonatos que de hidróxidos, los cuales se forman a partir de la autoionización del agua en H⁺ y OH⁻ que al entrar en contacto con el material,

los K₂CO₃ se ionizan en K⁺ y CO₃⁻², lo que resulta en la disminución del H⁺ con la consecuente formación de HCO₃⁻.

Además, se aumenta la presencia de OH⁻, esto provoca un incremento del pH del medio. El sodio y potasio están ligados a la matriz orgánica y junto a la excesiva liberación de CO₂ en la combustión, se favorece la formación de los carbonatos. Según [21] los elementos que forman la ceniza pueden provenir de dos formas:

En la estructura química de la biomasa que reacciona en la combustión y pueden volatilizarse;

Los adicionados como partículas minerales de las tierras donde han sido cultivadas que no se volatilizan.

Los componentes que se volatilizan dependen de muchos factores, principalmente la morfología y composición química del combustible, así como de la temperatura de combustión y el tiempo de residencia. Las cenizas absorben agua a causa de su sequedad inicial, grado de finura que ofrece gran superficie de contacto, textura irregular y porosa, así mismo

menciona que las cenizas denominadas brutas las cuales contienen minerales absorben sensiblemente más líquido que las trituradas o molidas [22].

Evaluación de la relación agua – material graso y el tiempo de mezcla que generan la solución con mayor concentración de material saponificable

Los resultados que presentaron un mejor rendimiento en relación con la alcalinidad libre en ambos experimentos corresponden a las condiciones de:

Menor dosis junto al mayor tiempo de reacción respecto a la saponificación con KOH.

Mayor dosis con el mayor tiempo de reacción para el proceso con lejía o lixiviado proveniente de la ceniza del cacao.

El comportamiento de las semillas en contacto con KOH responde a un proceso de hidrólisis alcalina de la materia orgánica, en el cual no se requieren altas temperaturas, pero sí extensos tiempos de reacción, este proceso separa la lignina y la hemicelulosa [23] provocando una solvatación parcial de la misma [24]. Esto explica el comportamiento observado en el cual a dosis mayores de KOH industrializado en el primer experimento existe una mayor proporción de alcalinidad libre y apariencia viscosa del producto, mientras que la menor correspondiente a una dosis doble fue suficiente para obtener una muestra con una alcalinidad menor y apariencia sólida.

Respecto a los resultados obtenidos en la saponificación con lejía, se considera la presencia de los carbonatos no disociados en contacto con el agua utilizando así una lejía impura en hidróxido de potasio afectando el rendimiento de la reacción y obteniéndose muestras de una apariencia muy distinta a las del primer experimento, con material orgánico sin solvatar pero a su vez mostrando baja alcalinidad libre.

Calidad del jabón prieto obtenido a través de las NTE INEN 839.

Se observa que los parámetros de materia grasa total e insoluble en agua para los jabones producidos difieren entre sí, no obstante, la calidad de los jabones se encuentra dentro de las Normas Técnicas Ecuatorianas correspondientes. En un trabajo se analizaron jabones bajo condiciones de materia

prima de aceite de *Jatropha curcas* y determinaron un tipo III dentro de las normas establecidas por la Oficina de Estándares de la India (BIS-Bureau of Indian Standards), que evalúa el tipo de jabón con una materia grasa total de 60,2% [10], mientras que las NTE INEN 0823 las evalúa hasta con 40% como valor mínimo.

La diferencia de parámetros entre los jabones obtenidos se asume como resultado del bajo rendimiento a causa de los carbonatos presentes en la solución de lejía. Esto impidió que la materia grasa saponifique adecuadamente. Esto justifica que en los valores de materia insoluble en agua para el jabón realizado con lejía el promedio es aproximadamente del 50% muy por encima del 8% obtenido por el jabón con KOH.

Los resultados obtenidos evidencian el potencial de las cenizas vegetales como fuente alternativa de álcali en procesos de saponificación; sin embargo, las limitaciones observadas en la eficiencia del proceso, asociadas a la presencia de carbonatos y variabilidad en la composición química, sugieren la necesidad de estandarizar los métodos de obtención de lejía. En este contexto, el uso de hidróxidos industriales continúa ofreciendo mayor control del proceso, aunque con menor sostenibilidad. Por tanto, el equilibrio entre eficiencia y sostenibilidad representa un desafío clave para futuras investigaciones en este campo.

V. CONCLUSIONES

La relación de agua – ceniza que genera una solución con mayor alcalinidad es aquella que tiene 96 g ceniza por cada 100 ml de agua en un tiempo de retención de 48 horas y depende de las condiciones que ha sido tratada la ceniza para obtener una mayor disociación de carbonatos a hidróxidos. Se estableció que para una reacción de saponificación con mayor cantidad de materia saponificable usando semillas de piñón y KOH basta con una solución al 10.8%, mientras que, con lejía, éste es el cuádruplicado de la cantidad requerida para una reacción normal con aceite y un tiempo de reacción para ambos de 4 horas y 15 min. Finalmente, la calidad del jabón realizado con KOH ingresa en el rango de tipo III dentro de la normal, mientras que el jabón con lejía presentó cumplimiento de calidad en parámetros de alcalinidad libre y humedad y materia volátil,

mientras que los demás no cumplen con las normas sin determinar a la vez que tipo de jabón se considera.

Los resultados obtenidos permiten establecer que el uso de cenizas de cáscara de cacao constituye una alternativa viable para la producción de jabón prieto; no obstante, su desempeño está condicionado por la composición química de la ceniza y la presencia de compuestos no reactivos. En este sentido, futuras investigaciones deberían enfocarse en la estandarización del proceso y en la optimización de las condiciones de obtención de la lejía, con el objetivo de mejorar la eficiencia de saponificación y garantizar la calidad del producto final

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albarraacín P (2010) Estudios de Caracterización de Aceites Usados en Frituras para ser Utilizados en la Obtención de Jabón. *Revista Investigación y Desarrollo* 32:1-7. <https://www.facet.unt.edu.ar/revistacet/revista-cet-32/>

Alonso O, Lezcano JC (2014) Artrópodos asociados a *Jatropha curcas* Linnaeus. Funciones y estrategia para su manejo. *Pastos y Forrajes* 37:3-16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269131241001>

Alnadif AAMariod, Mirghani MESaeed, Hussein IHassan (2017) Unconventional oilseeds and oil sources. Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128094358/unconventional-oilseeds-and-oil-sources>

Babayemi JO, Dauda KT, Nwude DO, Kayode AAA (2010) Evaluation of the Composition and Chemistry of Ash and Potash from Various Plant Materials-A Review. *Journal of Applied Sciences* 10:1820-1824. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.1820.1824>

Balat M (2011) Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. *Energy Convers Manag* 52:858-875. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.08.013>

Brodeur G, Yau E, Badal K, et al (2011) Chemical and Physicochemical Pretreatment of Lignocellulosic Biomass: A Review. *Enzyme Res* 2011:1-17. <https://doi.org/10.4061/2011/787532>

Casanovas Cosío E, Vera Saldarriaga HE, Cuaces CRM (2014) Tecnología para la producción artesanal del Jabón Prieto de *Jatropha curcas* L. *Revista Agrogeoambiental* 7. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v7n12015598>

Castillo Ospina AM, Cuartas AP, Velásquez Jiménez JA (2011) Obtención de biodiesel a partir de aceite de *jatropha curcas* l por transesterificación etanólica. *Revista Investigaciones Aplicadas* 5:34-41. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3688140>

Duarte JC, Vieira RP (2020) Optimization of fat bleaching in soap production: from laboratory to industrial scale. *Chemical Papers* 74:209-215. <https://doi.org/10.1007/s11696-019-00871-1>

INIAP (2013) Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de piñón (*Jatropha curcas*). Portoviejo. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5517>

Juzer Ali R, Geetha S (2014) Synthesis of Medicinal Soap from Non Edible (*Jatropha* Oil) and Study of its Quality Parameters including Antimicrobial Activity. *Research Journal of Chemical Sciences*. 4:58-62. <https://www.isca.in/rjcs/Archives/v4/i4/9.ISCA-RJCS-2014-041.php>

Melissari B (2012) Comportamiento de cenizas y su impacto en sistemas de combustión de biomasa. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica* 10:69-82. <https://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/366>

Moniz P, Martins D, Oliveira AC, et al (2022) The Biorefinery of the Marine Microalga *Cryptocodinium cohnii* as a Strategy to Valorize Microalgal Oil Fractions. *Fermentation* 8:502. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100502>

Moreno Amado M (2003) Guía para procesos de cerería, jabonería y cremas. Bogotá

Prakash Pandurangan, Narendrakumar Gopakumar, Balakumar Palanisamy Kaliyappan, et al (2020) Cultivation of *Spirulina platensis* Having Humic Acid as Substrate for Soap Production. *Biointerface Res Appl Chem* 11:8895-8903. <https://doi.org/10.33263/BRIAC112.88958903>

Requeno Ardón CE, Madrid Guzmán MG (2012) Fabricación de jabones medicinales a partir de los extractos naturales: Myroxylon balsamum (Bálsamo de El Salvador); Simarouba glauca DC. (Aceituno) y su evaluación antimicrobiana contra Staphylococcus aureus. Universidad de El Salvador. <https://repositorio.ues.edu.sv/items/71a69f1d-a278-4c20-8ab9-c9a512c7b94a/full>

Saldarriaga Zambrano GE (2014) Dosificación óptima de hidróxido de sodio como reactante de la alcalinidad del jabón en barra a base de piñón (*Jatropha curcas* L.). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. <https://biblioteca.espam.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=10641>

Santaella Valencia LE (2001) Caracterización física, química y mineralógica de las cenizas volantes. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 10:47–62. <https://doi.org/10.18359/rcin.1379>

Shahinuzzaman M, Yaakob Z, Moniruzzaman M (2016) Medicinal and cosmetics soap production from *Jatropha* oil. *J Cosmet Dermatol* 15:185–193. <https://doi.org/10.1111/jocd.12209>

Sisodiya S, Gautam S, Aneja D, Debnath M (2024) Exploring the usage of Olive leaf and green synthesized

Olive leaf metallic nanoparticles as soap supplement for the formulation and optimization of innovative germicidal herbal soap. *Ind Crops Prod* 219:119012. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119012>

Spitz Luis (2016) Soap Manufacturing Technology (Second Edition). AOCS Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9781630670658/soap-manufacturing-technology>

Thirunavukkarasu A, Nithya R, Sivashankar R, et al (2023) Green soap formulation: an insight into the optimization of preparations and antifungal action. *Biomass Convers Biorefin* 13:299–310. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01094-1>

Toral OC, Iglesias JM, Montes de Oca S, et al (2008) *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. *Pastos y Forrajes* 31:191–207. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942008000300001

Zavala-Hernández JT, Córdova-Téllez L, Martínez-Herrera J, Molina-Moreno JC (2015) Desarrollo del fruto y semilla de *Jatropha curcas* L. e indicadores de madurez fisiológica de la semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38:275. <https://doi.org/10.35196/rfm.2015.3.275>