

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE JABÓN LÍQUIDO A PARTIR DE LA
EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA BORRA DE CAFÉ (*Variedad
arábica*) A ESCALA LABORATORIO EN EL DEPARTAMENTO
DE TARIJA**

Por:

VANESA ALEJANDRA QUISPE GONZALES

Proyecto de grado, modalidad de graduación: “Investigación Aplicada”, presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Agosto de 2022

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia

DECANO

Facultad De Ciencias Y Tecnología

M.Sc. Ing. Gustavo Succi

VICEDECANO

Facultad De Ciencias Y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. David Balderrama Paredes

Ing. Juan Pablo Herbas

Ing. Cecilia Calderón

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

A Dios, por estar presente en mi vida, guiarme, renovar mi espíritu, amor, aumentar mi Fe en tiempos buenos y malos.

A mis padres, por tanto, amor y apoyo incondicional. A mis familiares y todos mis seres queridos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por permitirme lograr una meta más en mi vida, por brindarme una gran Familia, a mis padres Bonny Q. y María G. que con mucho amor y esfuerzo me ayudaron a cumplir este sueño. Por tanto, apoyo moral e incondicional en el transcurso de todos estos años, quienes han creído en mí siempre y me inculcaron los valores para seguir adelante. Por brindarme buenas amistades que son parte de familia Fernández A. Carrizo M., por apoyarme y acompañarme en buenos, difíciles, estresantes, días universitarios, como así también laborales.

PENSAMIENTO

Aprendí que un tropezón no es una caída, que todo en la vida vuelve, que no hay mal que por bien no venga, que con voluntad y esfuerzo todo resulta más fácil.

Que lo más valioso del mundo es, la familia y los amigos de verdad, que no se llora a quien no te valora, que por más tropezón, caída u obstáculo que se interponga en el camino, el objetivo es levantar la cabeza y seguir adelante

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

Página

Antecedentes.....	1
Objetivos.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos	4
Justificación.....	4

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Definición del jabón.....	7
1.2 Materia prima	8
1.2.1 Cafetos (coffea).....	8
1.2.2 Variedad de granos de café.....	9
1.2.2.1 Coffea arábica.....	9
1.2.2.2 Coffea canephora.....	10
1.2.3 Borra de café.....	11
1.3 Aceite de la borra de café.....	13
1.3.1 Componentes y propiedades del aceite de la borra de café.....	14
1.3.2 Análisis físico-químico del aceite de la borra de café.....	15
1.3.2.1 Físicos	15
1.3.2.2 Químico.....	16
1.3.3 Factores que influyen en la calidad del aceite de la borra de café.....	17

1.3.3.1 Oxidación.....	17
1.3.1.2 Hidrólisis.....	18
1.3.1.3 Inadecuado almacenamiento.....	18
1.4 Teoría de la extracción sólido-líquido.....	18
1.4.1 Definición.....	18
1.4.2 Variables que influyen en la velocidad de extracción.....	19
1.4.2.1 Tamaño de partícula.....	19
1.4.2.2 Selectividad del líquido extractor o solvente.....	20
1.4.2.3 Temperatura de extracción.....	20
1.4.2.4 Tiempo de extracción.....	21
1.5 Procedimientos de extracción de aceite de la borra de café.....	21
1.5.1 Extracción en laboratorio del aceite de la borra de café.....	21
1.5.1.1 Extracción soxhlet.....	21
1.5.1.2 Descripción del equipo de extracción: Soxhlet.....	21
1.5.1.3 Solvente.....	23
1.5.1.4 Características para la extracción con el equipo soxhlet.....	23
1.5.1.5 Ventajas y desventajas de la extracción Soxhlet.....	24
1.5.1.6 Selección del solvente para la extracción de aceite de la borra de café.....	24
1.5.1.7 Etanol.....	25
1.5.2 Extracción por prensado.....	26
1.5.2.1 Prensado discontinuo.....	26
1.5.2.2 Prensado continuo.....	28

1.6	Saponificación.....	29
1.6.1	Álcali.....	30
1.6.2	Hidróxido de potasio.....	31
1.6.2.1	Propiedades físicas y químicas.....	31
1.6.3	Reacción química.....	32
1.6.4.	Mecanismo de la reacción de saponificación.....	33
1.6.5	Índice de saponificación.....	34
1.7	Procedimiento de elaboración de jabón.....	35
1.7.1	Modo operación.....	36
1.7.1.1	Proceso continuo.....	36
1.7.1.2	Proceso discontinuo (batch).....	36
1.7.1.3	Elección del reactor.....	37
1.7.1.4	Alternativa seleccionada.....	37
1.7.2	Proceso industrial.....	37
1.8	Velocidad de reacción.....	39
1.8.1	Determinación de la cinética de saponificación.....	40
1.9	Requerimientos de calidad del producto terminado.....	41

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1	Caracterización de la materia prima.....	43
2.2	Descripción del método de investigación.....	44

2.2.1	Selección del método (proceso tecnológico) de obtención de aceite de la borra de café.....	44
2.2.2	Selección del solvente utilizado en el proceso tecnológico de obtención de aceite de la borra de Café.....	47
2.3	Diseño factorial del proceso tecnológico experimental.....	50
2.3.1.	Diseño factorial en la extracción de aceite de la borra de café.....	50
2.3.2	Diseño Factorial en el proceso de Saponificación.....	51
2.3.2.1	Variables a Medir.....	54
2.3.3	Cálculo del análisis de varianza en el proceso tecnológico experimental....	55
2.4	Procedimientos y técnicas empleados para la obtención de los resultados..	57
2.4.1	Materiales de laboratorio, equipos, utensilios e insumos utilizados para obtener jabón líquido de aceite de borra de café.....	57
2.4.1.1	Materiales de laboratorio.....	57
2.4.1.2	Equipos utilizados en el proceso de obtención de jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	58
2.4.1.3	Utensilios e insumos utilizados en proceso de obtención de jabón líquido....	59
2.4.2	Proceso para la obtención de jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	60
2.4.3	Descripción del proceso para obtener jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	62
2.4.3.1	Recolección de la Materia Prima.....	62
2.4.3.2	Secado de la Materia Prima.....	62
2.4.3.3	Molido de la materia prima.....	64

2.4.3.4 Extracción Soxhlet.....	64
2.4.3.5 Destilación Simple.....	65
2.4.3.6. Descarte del solvente en el aceite de borra de café.....	66
2.4.3.8 Descarte del solvente de la borra de café húmeda.....	67
2.4.3.9 Saponificación.....	68
2.4.4 Balance de materia del proceso tecnológico experimental de obtención de jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	74
2.4.4.1 Balance de materia en la etapa de descarte del solvente en el producto.....	78
2.4.4.2 Balance de materia del proceso de destilación simple.....	79
2.4.4.3 Balance de materia del proceso de descarte del solvente en la borra de café extraída.....	80
2.4.4.4 Balance de materia de la etapa de extracción de aceite de la borra de café.....	80
2.4.4.6 Balance de materia de la etapa de secado de la borra de café húmeda.....	83
2.4.4.7 Rendimiento de la extracción de aceite de la borra de café.....	84
2.4.4.8 Resumen general de balance de materia en el proceso de extracción de aceite	84
2.4.4.9 Balance de materia en la etapa de saponificación.....	85
2.4.4.10 Balance de materia en la etapa de mezclado.....	90
2.4.4.10 Resumen general de balance de materia en el proceso de obtención de jabón líquido.....	94
2.4.5 Balance de energía del proceso tecnológico experimental para la extracción de aceite de la borra de café.....	95
2.4.5.1 Balance de energía en el proceso de secado de la borra de café.....	96

2.4.5.2 Balance de energía en el proceso de extracción de aceite de la borra de café ..	99
2.4.5.3 Balance de energía en el sistema de Refrigeración	101
2.4.5.4 Balance de energía en el proceso de descarte del solvente en el producto...	103
2.4.4.6 Balance de energía en el descarte del solvente en la borra extraída.....	105
2.4.6 Cinética de la reacción química en el proceso de saponificación	107
2.4.6.1 Conversión del aceite durante la reacción	109
2.4.6.2 Concentración del aceite en función del número de moles y del volumen...	109
2.4.6.3 Cálculo del tiempo de reacción en el proceso de saponificación.....	109
2.4.6.4 Calculo de la velocidad de reacción en el proceso de saponificación.....	111
2.4.6.5 Cálculo de la entalpia de reacción.....	112
2.4.6.6 Balance de energía en la etapa de saponificación.....	114
2.4.7 Estimación de costos del consumo de energía en el proceso tecnológico experimental de obtención de jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	117
2.4.7.1 Costo del consumo de energía en el proceso de secado.....	117
2.4.7.2 Costo del consumo de energía en el proceso de molino de la borra de café	117
2.4.7.3 Costo del consumo de energía en el proceso de extracción de aceite.....	118
2.4.7.4 Costo del consumo de energía en el proceso de destilación de la mezcla solvente-aceite.....	118
2.4.7.5 Costo del consumo de energía en el proceso de descarte del solvente en la borra extraída.....	118
2.4.7.6 Costo del consumo de energía en el proceso de descarte del solvente en el producto.....	119

2.4.7.7 Costo del consumo de energía en el proceso de saponificación.....	119
2.4.7.8 Costo del consumo total de energía en la obtención de jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	119

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de los análisis fisicoquímicos de la borra de café.....	121
3.2 Resultados de los análisis fisicoquímicos del aceite extraído de borra de café	122
3.2.1 Comparación de los resultados de los análisis fisicoquímicos del aceite de la borra de café.....	123
3.2.2 Resultado del proceso de extracción de aceite de la borra de café.....	124
3.2.3 Análisis estadístico del diseño factorial realizado en el proceso de extracción	124
3.2.3.1 Análisis de Varianza para regresión lineal en el proceso de extracción.....	125
3.2.3.2 Análisis de regresión lineal en el proceso de extracción.....	127
3.3 Resultados de los análisis fisicoquímicos del jabón líquido.....	129
3.3.1 Análisis estadístico del diseño factorial realizado en el proceso de saponificación	130
3.3.1.1 Análisis de Varianza para regresión lineal en el proceso de saponificación	130
3.3.1.2 Análisis de regresión lineal en el proceso de saponificación.....	131
3.3.2 Control de calidad del Jabón líquido.....	133
3.3.2.1 Prueba del hilo.....	133
3.3.2.2 Prueba de persistencia espuma.....	134

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.....	135
4.2. Recomendaciones.....	138

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1: Tipos de Café y Países que lo producen.....	10
Tabla I-2: Comparación entre el café robusta y el café arábico.....	11
Tabla I-3: Composición química del grano del café.....	11
Tabla I-4: Análisis físico-químico de la borra de café.....	12
Tabla I-5: Características del aceite de la borra de café.....	15
Tabla I-6: Propiedades físicas del aceite de la borra de café.....	16
Tabla I-7: Propiedades químicas del aceite de la borra de café.....	17
Tabla I-8: Propiedades físicas y químicas del etanol.....	25
Tabla I-9: Propiedades físicas del Hidróxido de Potasio.....	32
Tabla I-10: Índices de saponificación.....	35
Tabla I-11: Especificaciones del jabón líquido de tocador.....	42
Tabla II-1: Informe de ensayo de la borra de café.....	44
Tabla II-2: Escala de calificación de Likert en el proceso de extracción de aceite	45
Tabla II-3: Valores de ponderación para la selección del método (proceso tecnológico) de obtención de aceite de la borra de café.....	46
Tabla II-4: Matriz de decisión para el método (proceso tecnológico) de extracción de aceite de la borra de café.....	47
Tabla II-5: Selección del solvente para el proceso tecnológico de obtención de aceite de la borra de café.....	48
Tabla II-6: Matriz de decisión para el solvente utilizado en el proceso tecnológico de obtención de aceite de la borra de café.....	49
Tabla II-7: Niveles de variación de los factores en el proceso de extracción de aceite	50
Tabla II-8: Matriz de diseño experimental en el proceso de extracción de aceite..	51
Tabla II-9: Niveles de variación de los factores en el proceso de saponificación..	52
Tabla II-10: Diseño Factorial del proceso de saponificación.....	53
Tabla II-11: Matriz de diseño experimental en el proceso de saponificación.....	54
Tabla II-12: Análisis de Varianza (ANOVA).....	57
Tabla II-13 Materiales en el proceso de Extracción de aceite.....	58

Tabla II-14: Equipos utilizados en el proceso de obtención de jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	59
Tabla II-15: Utensilios utilizados en el proceso de obtención de jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	60
Tabla II-16: Insumos utilizados en el proceso de obtención de jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	60
Tabla II-17: Representación de corrientes del proceso tecnológico para la extracción del aceite de la borra de café.....	76
Tabla II-18: Resumen de balance de materia en el proceso de extracción de aceite de la borra de café.....	85
Tabla II-19: Resumen de balance de materia en el proceso de saponificación.....	94
Tabla II-20: Resumen de balance de materia en el proceso de mezclado.....	95
Tabla II-21: Calor específico (J/kg*K) de acuerdo Choi y Okos.....	97
Tabla II-22: Calor específico para la borra de café y el extracto.....	97
Tabla II-23: Entalpías de enlace de varios enlaces entre elementos.....	114
Tabla III-1: Comparación de datos fisicoquímicos de la borra de café.....	121
Tabla III-2: Características físicas y químicas del aceite extraído de la borra de café.....	122
Tabla III-3: Comparación del aceite extraído de la borra de café.....	123
Tabla III-4: Datos experimentales del proceso de extracción de aceite de borra de café.....	124
Tabla III-5: Datos experimentales del proceso de extracción de aceite de la borra de café.....	125
Tabla III-6: Datos para el cálculo del análisis de varianza.....	126
Tabla III-7: Análisis de varianza en el proceso de extracción de aceite.....	126
Tabla III-8: Coeficientes del modelo.....	127
Tabla III-9: Resultados del Rendimiento observado y obtenido con el modelo matemático.....	128
Tabla III-10: Resultados fisicoquímicos del jabón líquido.....	129

Tabla III-11: Datos introducidos para el análisis de varianza en el proceso de saponificación.....	130
Tabla III-12: Análisis de varianza en el proceso de saponificación.....	131
Tabla III-13: Coeficientes del modelo en el proceso de saponificación.....	131
Tabla III-14: Resultados de la cantidad de pasta jabonosa obtenida experimental y el modelo matemático.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1 Reacción de saponificación.....	7
Figura 1- 2 Variedad de grano de café.....	9
Figura 1-3 Equipo de Soxhlet, Extracción de aceites por solvente.....	22
Figura 1-4 Equipo de Prensado.....	26
Figura 1-5 Esquema de dispositivos de cajetines para el empleo en prensas de abierto.....	27
Figura 1-6 Prensa de jaula tipo cerrado.....	28
Figura 1-7 Prensa cilindro con agujeros utilizada para la extracción de aceites vegetales comestibles.....	28
Figura 1-8 Mecanismo de acción de los jabones en la limpieza.....	30
Figura 1-9 Reacción Química de Saponificación.....	33
Figura 1-10 Reacción de saponificación detallada.....	34
Figura 2-1 Diagrama de bloques del proceso de obtención de jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	61
Figura 2-2 Recolección de la borra de café.....	62
Figura 2-3 Secado de la Borra de Café en la Estufa Conterm.....	63
Figura 2-4 Analizador de humedad electrónica de la borra de café.....	64
Figura 2-5 Molido de la borra de café en seco en molino de bolas.....	64
Figura 2-6 Extracción de aceite de la borra de café.....	65
Figura 2-7 Destilación simple, recuperación del solvente y obtención de aceite.....	66
Figura 2-8 Eliminación del solvente presente en el aceite de la borra de café.....	67
Figura 2-9 Aceite de borra de café libre de solvente.....	67

Figura 2-10 Borra de Café seca libre de presencia de Etanol.....	68
Figura 2-11 Reactor montado para el proceso de saponificación.....	69
Figura 2-12 Proceso de filtrado y calentamiento del aceite de la borra de café.....	69
Figura 2-13 Preparación de la solución de hidróxido de potasio.....	70
Figura 2-14 Reacción del aceite y la solución de KOH, traza cremosa	71
Figura 2-15 Proceso de cocción de la pasta jabonosa	71
Figura 2-16 Pasta jabonosa de aceite de borra de café	72
Figura 2-17 Prueba de saponificación y prueba de espuma	72
Figura 2-18 Mezcla de la pasta jabonosa con agua destilada.....	73
Figura 2-19 Envasado de jabón líquido	74
Figura 2-20 Jabón líquido a partir del aceite de borra de café	74
Figura 2-21 Diagrama de bloques de la obtención de jabón líquido a partir de la extracción de aceite de la borra de café.....	75
Figura 2-22 Etapa de descarte del solvente en el aceite.....	78
Figura 2-23 Etapa de la destilación simple.....	79
Figura 2-24 Etapa de descarte del solvente en la borra de café húmedo	80
Figura 2-25 Etapa de extracción de aceite	81
Figura 2-26 Etapa de molienda de la borra de café seca.....	82
Figura 2-27 Etapa de secado de la borra de café húmeda	83
Figura 2-28 Proceso de saponificación.....	86
Figura 2-29 Resultados de las cantidades y composiciones en el proceso de saponificación.....	89
Figura 2-30 Proceso de mezclado	90
Figura 2-31 Proceso del secado de la borra de café	98
Figura 2-32 Proceso de extracción para el balance de energía.....	100
Figura 2-33 Sistema de refrigeración para el balance de energía	101
Figura 2-34 Proceso de descarte del solvente en el producto para el balance de energía	104
Figura 2-35 Proceso de eliminación de solvente en la borra de café húmeda	106

Figura 2-36 Reacción química de saponificación entre el triglicérido y la potasa	113
Figura 3-1 Rendimiento observado vs obtenido con el modelo matemático	128
Figura 3-2 Cantidad de pasta jabonosa experimental vs el modelo matemático....	133
Figura 3-3 Prueba del hilo	134
Figura 3-4 Prueba de espuma	134
Figura 3-5 Prueba de saponificación	135

