

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

PROYECTO DE GRADO



**“OBTENCION DE EXTRACTO DE SAPONINA A PARTIR DE
LA QUINUA REAL BLANCA (*Chenopodium Quinoa Willd*)”**

POR: DARLEEN ARIANA SERRUTO ALARCON

**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.**

MAYO, 2025

TARIJA-BOLIVIA

VºBº

MSc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO

Ing. Fernando Cortez Aguirre
VICEDECANO A.I.

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Jimena Durán Durán

Ing. Yolanda Ojeda Castro

Ing. Ernesto Evaristo Caihuara Alejandro

ADVERTENCIA

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, quien ha guiado mis pasos y me ha dado la fortaleza necesaria para culminar esta etapa. A mis amados padres, Wilma y Andres, quienes con su amor incondicional y apoyo constante me han impulsado a alcanzar esta meta. A mi compañero de vida, Alejandro, quien ha sido mi soporte emocional, mi fuerza y mi inspiración durante todo este proceso. A mi compañera de desvelos, Chuby, quien fue mi fuerza vital y mi motivación. Gracias a ustedes por creer en mí y acompañarme en este camino. Este trabajo es el reflejo de su amor y su fe en mí.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios por guiarme y no dejarme sola, por siempre darme una fuerte perseverancia y fortaleza para culminar esta etapa académica con éxito.

A mis padres, Wilma Alarcon y Andres Serruto, quienes han sido mi mayor motivación y apoyo incondicional a lo largo de este recorrido. Gracias por creer en mí, por sus consejos, su paciencia y por todo el amor que me han brindado.

A mi amor Alejandro Medina, por ser mi roca en los momentos difíciles y mi mayor fuente de inspiración. Gracias por tu amor, tu comprensión y por alentarme a seguir adelante en mi carrera y nunca dejar que me diera por vencida. Te amo

A mi compañera de desvelos Chuby, gracias por ser mi inquebrantable mejor amiga, gracias por siempre motivarme cuando el mundo se me caía encima, gracias por acompañarme cada noche desolada y consolar mi alma cuando todo el mundo me daba la espalda, sin ti no habría podido superar cada obstáculo, sin ti nada de esto sería posible, vivirás siempre en mi corazón y en esta tesis, todo esto es gracias a ti mi linda gatita.

A mi mejor amigo, Alexander Rabaj, por brindarme una amistad inquebrantable, por ser mi hermano de corazón y siempre estar para mí tanto en los momentos felices como en los momentos difíciles.

A mi hermano, Alejandro Serruto, por tenerte como hermano, por todas las risas y recuerdos juntos a lo largo de nuestras vidas, espero tomes mi camino como ejemplo a ser mejor.

A mis familiares y amigos cercanos, quienes han estado presentes a lo largo de este proceso, brindándome su apoyo emocional y celebrando conmigo cada uno de los logros. Ustedes han sido fundamentales para mantener mi motivación y perseverancia.

A la Universidad Juan Misael Saracho y a todos los docentes que han sido parte de mi formación académica, por brindarme las herramientas y el conocimiento necesarios para culminar esta etapa.

"El futuro pertenece a aquellos que creen en la belleza de sus sueños."

Eleanor Roosevelt, Primera dama y activista

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Página	
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v

TABLA DE CONTENIDO	Pag.
Antecedentes	1
Historia De La Quinoa (<i>Chenopodium Quinoa</i>)	1
La Saponina.....	3
Producción De Quinoa En Bolivia Y La Saponina En La Quinoa	5
Objetivos	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos.....	7
Justificación.....	7
Justificación Técnica.....	8
Justificación Del Método De Extracción	8
Justificación Social.....	9
Justificación Económica.....	10
Justificación Ambiental.....	11
1.1. Generalidades De La Quinoa Real Blanca.....	12
1.1.1. Biodiversidad De La Quinoa Real Blanca	12
A) Taxonomía De La Quinoa Real Blanca	12
B) Características De La Quinoa Real Blanca	12
1.2. Tensoactivos O Surfactantes: Conceptos.....	14
1.2.1. Estructura Molecular Característica.....	14
A) Región Hidrofóbica (Cola):.....	14
B) Región Hidrofílica (Cabeza):	14
1.2.2. Clasificación De Tensoactivos.....	15
A) Clasificación Según Su Naturaleza Iónica	15
B) Clasificación De Saponinas De Quinoa	15
C) Propiedades Surfactantes: Fundamentos Físico-Químicos	16

1.3.	Generalidades De La Saponina	18
1.3.1.	Definición De La Saponina	18
1.3.2.	Tipo De Saponinas De La Quinoa (<i>Chenopodium Quinoa Willd</i>).....	19
1.3.3.	Saponinas De La Quinoa <i>Chenopodium Quinoa Willd</i> : Triterpénicas ...	20
1.3.4.	Estructura Química Específica De La Saponina En La Quinoa Real Blanca	20
A)	Aglicona	20
1.3.5.	Estructura Anfifílica De La Saponina De Quinoa Real	22
A)	Región Hidrofílica (Grupo Polar)	22
B)	Región Hidrofóbica (Grupo No Polar).....	22
1.4.	Importancia De La Saponina De La Quinoa	22
1.5.	Aplicaciones En Ingeniería Química	25
1.6.	Conceptos Básicos De Extracción Sólido - Líquido	27
1.6.1.	Definición De Extracción Sólido - Líquido	27
1.6.2.	Variables Que Influyen En La Extracción Sólido - Líquido.....	29
1.6.3.	Tamaño De La Partícula:	29
1.6.4.	Aplicaciones Específicas.....	30
1.6.5.	Selección Del Solvente	31
A)	Definición Y Características Generales	31
B)	Propiedades Críticas.....	31
C)	Criterios De Selección.....	31
D)	Solvente Hidroalcohólico.....	32
A.	Etanol	32
B.	Agua Desionizada	34
E)	Temperatura De Extracción	35
1.6.6.	Proceso De Extracción Sólido Líquido	35
1.6.7.	Métodos De Contacto Sólido-Líquido	36
1.7.	Método Soxhlet	37
1.7.1.	El Origen	37
1.7.2.	Proceso De Extracción	37
1.7.3.	Funcionamiento.....	38
1.8.	Métodos Para Cuantificación De Saponina.....	39
1.8.1.	Afrosimétrico O Método De La Espuma Para La Determinación De Saponinas	39
1.8.2.	Fundamento Del Método De La Espuma.....	40
1.8.3.	Aplicaciones Del Método De La Espuma.....	40
1.8.4.	Procedimiento Experimental Del Método De La Espuma	41
A)	Preparación De Soluciones Patrón	41
B)	Generación Y Medición De Espuma.....	41
C)	Elaboración De La Curva De Calibración	42
D)	Análisis De Muestras Desconocidas	42

1.8.5.	Consideraciones Y Limitaciones Del Método	43
1.8.6.	Cromatografía Líquida De Alta Resolución (Hplc) Para La Cuantificación De Saponinas	43
A)	Superioridad De Hplc En La Cuantificación De Saponinas	44
B)	Equipo Hplc Lc 2020	45
C)	Método De Hplc Para La Cuantificación De Saponinas	45
D)	Preparación De La Muestra.....	45
E)	Condiciones Cromatográficas	46
F)	Cuantificación	46
G)	Ventajas Y Consideraciones Del Método Hplc	46
Capítulo II.....		48
Parte Experimental		48
2.1.	Descripción Y Análisis De Materias Primas.....	48
2.1.1.	Caracterización Física De La Materia Prima: Quinoa Real Blanca (<i>Chenopodium Quinoa Willd</i>).....	48
2.2.	Descripción Del Método De Investigación.	48
2.3.	Diseño Experimental Del Proceso De Obtención De Extracto De Saponinas A Partir Del Grano De La Quinoa Real Blanca (<i>Chenopodium Quinoa Willd</i>)	49
2.3.1.	Identificación De Variables De Operación A Utilizar En La Extracción.....	49
A)	Temperatura	49
B)	Concentración De Solvente.....	49
C)	Tiempo De Extracción	49
D)	Variable Respuesta.....	50
2.3.2.	Determinación Del Número De Ensayos	50
2.4.	Materiales Y Equipos.....	54
2.4.1.	Materiales, Materia Prima Y Reactivos	54
2.4.2.	Equipos Utilizados	57
2.4.3.	Solvente Hidroalcohólico.....	57
2.4.4.	Agua Desionizada	58
2.5.	Descripción Del Proceso Experimental De Obtención De Extracto De Saponina En Diagrama De Bloques.....	59
2.5.1.	Selección Y Limpieza De La Materia Prima: Quinoa Real Blanca	60
2.5.2.	Caracterización De La Materia Prima: Quinoa Real Blanca	62
2.5.3.	Pesado De La Quinoa.....	63
2.5.4.	Medición De La Concentración Del Solvente Hidroalcohólico	64
2.5.5.	Proceso De Extracción Por Equipo Soxhlet.....	70
2.5.6.	Preparación De La Muestra:.....	71
2.5.7.	Montaje Del Equipo Soxhlet:.....	72
2.5.8.	Proceso De Extracción:	75
2.5.9.	Recuperación Del Extracto:	79

2.5.10.	Extracción De Saponina (Post-Proceso Por El Equipo Soxhlet)	80
2.5.11.	Recuperación Del Solvente:.....	80
2.5.12.	Proceso De Evaporación: Proceso En El Rotavapor.....	81
2.5.13.	Secado Del Extracto:.....	85
2.5.14.	Almacenamiento Del Extracto:	87
2.6.	Diagrama De Flujo Del Proceso De Extracción De Saponina	92
2.7.	Balance De Materia Y Energía	93
2.7.1.	Balance De Materia.....	93
2.7.2.	Balance De Materia En Equipo Soxhlet.....	96
2.7.3.	Balance De Materia En El Rota-Evaporador	98
2.7.4.	Balance De Materia En El Secador.....	100
2.8.	Balance De Energía.....	102
2.8.1.	Balance De Energía En El Equipo Soxhlet	103
2.8.2.	Balance De Energía En Rota- Evaporador.....	107
2.8.3.	Balance De Energía En El Secador.....	112
2.9.	Selección De La Muestra Patrón Y Método De Espuma Para Saponinas	115
2.10.	Selección De La Muestra Patrón Mediante El Método De Espuma	116
2.10.1.	Agitación Y Reposo:.....	117
2.10.2.	Medición De La Altura De Espuma:.....	118
2.11.	Análisis Cromatografía Líquida De Alta Presión Hplc En La Muestra Patrón.	120
2.12.	Evaluación De La Saponina En Los Extractos	120
2.12.1.	Preparación De La Solución Patrón:	120
2.12.2.	Preparación De Diluciones Patrón:	122
2.12.3.	Procedimiento Prueba De Espuma Para Cada Dilución:	122
2.12.4.	Registro De Datos Para La Curva De Calibración:.....	127
2.12.5.	Representación Gráfica De La Curva De Calibración:	127
2.12.6.	Análisis Para Cada Una De Las 5 Pruebas Restantes:	128
2.12.7.	Registro De Datos Para Las Muestras Problema:	129
2.12.8.	Cálculo De La Concentración De Saponinas	130
2.12.9.	Tabla De Resultados Finales:.....	133
2.12.10.	Análisis De Resultados:	134
2.12.11.	Representación Gráfica:	135
A)	El Porcentaje De Saponinas Vs. Temperatura De Extracción	135
B)	El Porcentaje De Saponinas Vs. Concentración De Solución Hidroalcohólica	135
C)	El Porcentaje De Saponinas Vs. Tiempo De Extracción	136
Capítulo Iii		138
Resultados Y Discusión		138

3.1.	Análisis Fisicoquímicos De La Materia Prima: Quinoa Real Blanca	138
3.2.	Análisis De Cuantificación Por Cromatografía Hplc Del Extracto De Saponina.....	139
3.3.	Análisis Físicos De Los Extractos Concentrados De Saponina De Quinoa Real Blanca	140
3.4.	Resultados Del Proceso De Obtención Del Extracto De Saponina.....	141
3.5.	Comparación Del Contenido De Extracto De Saponina De La Quinoa Real Blanca Con Otros Extractos De Saponina De Diferentes Plantas Naturales	142
3.6.	Análisis Estadísticos Del Diseño Experimental.....	147
3.6.1.	Cálculo Del Análisis De Varianza	149
3.7.	Análisis Estimativo De Costos Para La Obtención Del Extracto De Saponina De La Quinoa Real Blanca.....	153
3.8.	Discusión.....	157
	Capítulo Iv.....	159
	Conclusiones Y Recomendaciones	159
4.1.	Conclusiones:	159
4.2.	Recomendaciones.....	160
4.3.	Bibliografía Y Referencias.....	160
4.3.1.	Bibliografía	161
4.3.2.	Referencias.....	161
4.4.	Referencias Bibliográficas	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.5.	Bibliografía Adicional.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4.6.	Bibliografía Adicional.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
	Anexos.....	166

INDICE DE TABLAS

Tabla I-1 Características físicas de la Quinoa.....	12
Tabla I- 2 Descripción del Etanol	32
Tabla I- 3 Propiedades físicas, químicas y termodinámicas del Etanol	33
Tabla I- 4 Identificación de riesgos de Etanol	33
Tabla I- 5 Descripción del Agua Desionizada.....	34

Tabla I- 6 Propiedades físicas y químicas del Agua Destilada.....	34
Tabla I-7. Concentraciones y volúmenes requeridos para la disolución	41
Tabla II-1 Características físicas de la Quinoa.	48
Tabla II-2 Matriz de diseño factorial de 3 factores y 2 niveles.	51
Tabla II-3 Niveles de variación de los factores.....	53
Tabla II-4 Diseño factorial para el Proceso de Extracción de Saponina	54
Tabla II-5 Materia prima y Reactivos Utilizados en el Proyecto.....	55
Tabla II-6 Materiales Utilizados en el Proyecto.....	55
Tabla II-7 Equipos a Utilizar en el Proyecto.	57
Tabla II- 8 Propiedades físicas, químicas y termodinámicas del Etanol	58
Tabla II- 9 Propiedades físicas y químicas del Agua Destilada	58
Tabla II- 10 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la materia prima.....	62
Tabla II- 11 Concentraciones y volúmenes requeridos para la disolución	70
Tabla II-12 Resumen detallado del problema en los ensayos 6 y 8	78
Tabla II- 13 Pesos de los extractos secos	90
Tabla II- 14 Pesos de los extractos secos de la réplica.	91
Tabla II-15 Lista de Equipos.....	92
Tabla II- 16 Corrientes del proceso de extracción	93
Tabla II- 17 Datos del proceso de obtención de Extracto de saponina	93
Tabla II-18 Balance de materia completo para las pruebas de extracción Soxhlet de quinua.....	97
Tabla II-19 Balance de materia completo para las réplicas de extracción Soxhlet de quinua.....	98
Tabla II-20 Resultados de balance de materia para el rota-evaporador:.....	99
Tabla II-21 Resultados de balance de materia para el rota-evaporador en la replica:.....	100
Tabla II-22 Resumen del balance de materia para el secador:.....	101
Tabla II-23 Resumen del balance de materia para el secador de la replica:	102
Tabla II-24: Balance de energía corregido para el equipo Soxhlet	105
Tabla II-25: Costo energético del proceso Soxhlet.....	106

Tabla II-26: Balance de energía para el Rota-evaporador:	109
Tabla II-27: Balance de energía corregido para el Rota-evaporador (Réplicas)	
.....	110
Tabla II-28: Costo energético del proceso de Rota-evaporador	111
Tabla II-29 Costos energéticos actualizados para las réplicas del rotavapor: .	111
Tabla II-30: Balance de energía detallado para el Secador (Pruebas originales)	
.....	114
Tabla II-31: Balance de energía detallado para el Secador (Réplicas)	115
Tabla II-32 Muestras y alturas de espuma de las pruebas y sus replicas	119
Tabla II-33 Concentraciones y volúmenes requeridos para la disolución	122
Tabla II-34 Concentraciones y Alturas de espuma	127
Tabla II-35 Alturas de espuma para las 5 pruebas restantes	129
Tabla II-36 Alturas de espuma para las 6 pruebas replicas restantes	129
Tabla II-37 Resultados de las muestras	133
Tabla II-38 Resultados de las muestras replicas	133
Tabla III- 1 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la materia prima	138
Tabla III- 2 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la materia prima	139
Tabla III- 3 Análisis de Saponina por Cromatografía Líquida de Alta Presión	
HPLC.....	140
Tabla III- 4 Densidad de los extractos.....	140
Tabla III- 5 pH a 20 °C de los extractos.....	141
Tabla III-6 Resultados para las pruebas originales:.....	141
Tabla III-7 Resultados para las réplicas:.....	142
Tabla III-8 Comparación de contenido del extracto de saponina de Quinua Real	
Blanca con otros extractos de diferentes materias primas naturales	143
Tabla III-9 Comparación de contenido del porcentaje de saponinas en la Quinua	
Real Blanca con otros datos bibliograficos	144
Tabla III-10 Comparación de condiciones de extracción.....	145
Tabla III-11 Comparación de condiciones métodos de cuantificación	146
Tabla III-12 Variables experimentales.....	148

Tabla III- 13 Factores Inter sujetos.....	149
Tabla III- 14 Pruebas de efectos Inter sujetos.....	150
Tabla III- 15 Variables entradas/eliminadas ^a	150
Tabla III- 16 Resumen del modelo ^b	150
Tabla III- 17 ANOVA ^a	151
Tabla III- 18 Coeficientes ^a	151
Tabla III- 19 Rendimientos	152
Tabla III- 20 Detalle de Servicios Directos	154
Tabla III- 21 Detalle de Servicios Indirectos	155
Tabla III- 22 Detalle de Materia Prima y Reactivos	155
Tabla III- 23 Detalle de Materiales.....	155
Tabla III- 24 Detalle de Material de Escritorio.....	156
Tabla III- 25 Detalles de Consumo de Energía en los Equipos.....	156
Tabla III- 26 Costo Total.....	157

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación esquemática de una molécula de surfactante, y de su adsorción en las interfases y su asociación en solución.....	17
Figura 2 Estructura general de la saponina. Se muestra el enlace entre la aglicona y un glucósido	18
Figura 3 Estructura de las principales saponinas de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) (A) Saponina A y (B) Saponina B, R ₁ =glucosa-arabinosa, R ₂ =glucosa, R ₃ =OH y R ₄ =COOCH ₃	20
Figura 4: Agliconas de saponinas triterpénicas de Chenopodium Quinoa Willd.	21
Figura 5. Tipos de contacto sólido-líquido.....	36
Figura 6. Extracción sólido-líquido (Soxhlet).....	39
Figura 7. Limpieza del lugar de trabajo.	60
Figura 8. Limpieza de la Quinoa.	61
Figura 9. Limpieza de la Quinoa.	61

Figura 10. Balanza analítica del LOU.....	63
Figura 11. Añadiendo la muestra en la balanza analítica del LOU.	64
Figura 12. Concentración 30% medido con alcoholímetro.	68
Figura 13. Concentración 75% medido con alcoholímetro.	69
Figura 14. Alcoholímetro.....	69
Figura 15. Colocando la quinua en la cámara del extractor.	71
Figura 16. Quinua en la cámara del extractor.	72
Figura 17. Quinua en filtro colocado en la cámara del extractor.	73
Figura 18. Quinua en filtro colocado en la cámara del extractor.	73
Figura 19. Montaje del equipo Soxhlet del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU).	74
Figura 20. Equipo Soxhlet del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU). .	75
Figura 21. Refrigerante del Equipo Soxhlet.	76
Figura 22. Extracto de Saponina recuperado del Equipo Soxhlet.....	77
Figura 23. Equipo Rota-Evaporador del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU).	79
Figura 24. Recipiente donde se recoge el concentrado.	80
Figura 25. Equipo Rota-Evaporador del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU).	81
Figura 26. Extracto de saponina entrando al Equipo Rota-Evaporador.....	82
Figura 27. Extracto de saponina en el baño maría del Equipo Rota-Evaporador	82
Figura 28. Extracto de saponina en el Equipo Rota-Evaporador	83
Figura 29. Recuperación del solvente etanol al 96%	84
Figura 30. Recuperación del solvente etanol al 96%	85
Figura 31. Extractos concentrados de las 6 pruebas.....	85
Figura 32. Extractos colocados en la estufa de convección natural.....	86
Figura 33. Extractos secos de saponina.....	87
Figura 34. Extractos secos de saponina en el mortero.....	88
Figura 35. Extractos secos molidos de saponina.	88

Figura 36. Peso del envase de plástico.....	89
Figura 37. Extractos secos molidos de saponina en el envase de plástico.	89
Figura 38. Peso del envase de plástico.....	90
Figura 39. Replica de extractos secos molidos de saponina en el envase de plástico.....	91
Figura 40. Tubos de ensayo con 5 ml de extracto líquido de saponina.	117
Figura 41. Espuma después de 5 min de agitación de los extractos líquidos de saponina.	117
Figura 42. Altura de espuma de los extractos líquidos de saponina.....	118
Figura 43. Altura de espuma del extracto líquido de saponina de la Prueba 1.	119
Figura 44. Pesaje de extracto seco de saponina.....	121
Figura 45. Medición de agua desionizada en una probeta de 100 ml.....	121
Figura 46. Extracto líquido de saponina de muestra patrón.	123
Figura 47. Espuma del extracto líquido de saponina después de agitar.	123
Figura 48. Espuma del extracto después de 30 min.	124
Figura 49. Espuma del extracto después de agitar.....	124
Figura 50. Espuma del extracto después de 5 min.	125
Figura 51. Altura de espuma de las muestras de saponina.	126

INDICE DE DIAGRAMAS Y GRAFICOS

Diagrama II-1 Diagrama del Proceso de Obtención del extracto de Saponina a Escala de Laboratorio.....	59
Diagrama II- 2 Flujo del proceso de obtención de Extracto de Saponina a partir de la quinua real blanca (<i>Chenopodium quinoa willd</i>).....	92
Grafica II- 1. Grafica de la curva de calibración.	128
Grafica II-2. Grafica de barras de Temperatura.	135
Grafica II-3. Grafica de barras de concentración hidroalcohólica.	136
Grafica II-4. Grafica de barras de Tiempo de extracción.....	137
Gráfica III- 1 Rendimiento Observado y Rendimiento Modelo	152