



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“EVALUACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE SAPONINA A PARTIR DEL MOJUELO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*)”

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: RODOLFO SEBASTIÁN LÓPEZ GUANIPATÍN

DIRECTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA

Riobamba - Ecuador

2021

©2021, Rodolfo Sebastián López Guanipatín

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Auto

Yo, Rodolfo Sebastián López Guanipatín, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 04 de febrero del 2021

RODOLFO
SEBASTIAN
LOPEZ
GUANIPATIN



Firmado digitalmente
por RODOLFO
SEBASTIAN LOPEZ
GUANIPATIN
Fecha: 2021.03.01
10:24:32 -05'00'

Rodolfo Sebastián López Guanipatín

CI: 180431156-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación; Tipo Proyecto de Investigación, **“EVALUACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE SAPONINA A PARTIR DEL MOJUELO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*)”** de responsabilidad del señor **RODOLFO SEBASTIÁN LÓPEZ GUANIPATÍN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Robert Alcides Cazar Ramírez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: ROBERT ALCIDES CAZAR RAMIREZ	2021-02-04
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACION	 Firmado electrónicamente por: MABEL MARIELA PARADA RIVERA	2021-02-04
Dra. Susana del Pilar Abdo López MIEMBRO DE TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SUSANA DEL PILAR ABDO LOPEZ	2021-02-04

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres Cipriano y María Luisa y mi hermana Carolina que siempre han sido mi pilar fundamental y apoyo incondicional a lo largo de mi vida y en el cumplimiento de este sueño; a mis maestros que a lo largo del camino universitario me inculcaron valores y conocimientos para mi desarrollo y crecimiento tanto personal como profesional; a mis amigos que llegaron a formar parte de mi vida en este largo camino, y a toda mi familia por siempre estar en todo momento apoyándome y aconsejándome en cada decisión tomada.

Sebastián

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, y permitirme conocer a maravillosas personas que se convirtieron en grandes amigos y ahora colegas.

Un agradecimiento especial a mi tutora de tesis, Ing. Mabel Parada por brindarme su apoyo y asesoría profesional e incondicional en la realización de mi trabajo de integración curricular; y a la Dra. Susana Abdo por su ayuda y aporte en la realización de este trabajo de investigación, ya que sus conocimientos fueron de mucha importancia.

Sebastián

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1 Antecedentes del proyecto de vinculación.....	5
1.2 Antecedentes de la Investigación	5
1.3 Marco Conceptual.....	9
1.3.1 <i>Quinoa (Chenopodium quinoa)</i>	9
1.3.1.1 <i>Taxonomía</i>	9
1.3.1.2 <i>Generalidades</i>	9
1.3.1.3 <i>Usos</i>	10
1.3.1.4 <i>Composición química</i>	12
1.3.1.5 <i>Anti-nutrientes presentes en la quinoa</i>	12
1.3.2 <i>Saponinas</i>	12
1.3.3 <i>Mojuelo de quinoa</i>	14

1.3.4	<i>Operaciones unitarias básicas para la obtención de saponinas del mojuelo de la quinua</i>	14
1.3.4.1	<i>Maceración</i>	14
1.3.4.2	<i>Refrigeración</i>	14
1.3.4.3	<i>Sedimentación</i>	15
1.3.4.4	<i>Filtración</i>	15
1.3.4.5	<i>Evaporación</i>	16
1.3.4.6	<i>Secado</i>	17

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	19
2.1	Tipo y Diseño de Investigación	19
2.1.1	<i>Método Deductivo</i>	19
2.1.2	<i>Método Inductivo</i>	19
2.1.3	<i>Método Experimental</i>	19
2.2	Enfoque de la Investigación	20
2.3	Identificación de Variables	20
2.3.1	<i>Variables Dependientes</i>	20
2.3.2	<i>Variables Independientes</i>	20
2.4	Operacionalización de Variables	20
2.4.1	<i>Operacionalización de Variables</i>	20
2.4.2	<i>Matriz de consistencia</i>	21
2.5	Diseño de la Investigación	23
2.5.1	<i>Diseño del tratamiento experimental</i>	24
2.6	Unidad de Análisis	25
2.7	Población de estudio	25
2.8	Tamaño de la muestra	25

2.9	Selección de muestra	25
2.10	Localización del Trabajo de Integración Curricular	26
2.11	Técnicas de Recolección de Datos	27
2.11.1	<i>Procedimiento para la obtención de saponinas a nivel de laboratorio</i>	27
2.11.2	<i>Procedimiento para la cuantificación de saponinas por espectrofotometría UV-VIS.</i>	30
2.11.2.1	<i>Etapa de Purificación</i>	30
2.11.2.2	<i>Construcción de Curva de Calibración</i>	33
2.11.3	Escalamiento Industrial para la obtención de saponinas	36
2.11.3.1	<i>Etapa de Remojo</i>	36
2.11.3.2	<i>Etapa de Macerado</i>	38
2.11.3.3	<i>Etapa de Refrigeración</i>	40
2.11.3.4	<i>Etapa de Filtración</i>	41
2.11.3.5	<i>Etapa de Evaporación</i>	43
2.11.3.6	<i>Etapa de Secado en bandejas</i>	46
2.11.3.7	<i>Proforma de equipos para la obtención de saponina cristalizada</i>	49
2.11.4	Balance de Materia General	50
2.12	Tratamiento y Diseño Experimental	51

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	52
3.1	Resultados obtenidos para la obtención de saponina a nivel de laboratorio	52
3.1.1	<i>Resultados de la operación de refrigeración</i>	52
3.1.2	<i>Resultados de la operación de evaporación</i>	53
3.1.3	<i>Resultados de la operación de secado en bandejas</i>	55
3.1.4	<i>Estudio estadístico para la determinación de los parámetros de obtención más óptimos</i>	56
3.2	Resultados obtenidos en el escalamiento industrial del proceso	60

3.3	Análisis de Hipótesis	61
3.3.1	<i>Hipótesis 1</i>	61
3.3.2	<i>Hipótesis 2</i>	61
3.3.3	<i>Hipótesis 3</i>	61
3.3.4	<i>Hipótesis 4</i>	62
3.3.5	<i>Hipótesis 5</i>	62
3.4	Discusión de Resultados.....	62
	CONCLUSIONES.....	64
	RECOMENDACIONES.....	65
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Antecedentes relacionados con la investigación	7
Tabla 2-1: Taxonomía de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>)	9
Tabla 3-1: Composición química de la quinua	12
Tabla 4-1: Clasificación de la quinua según su concentración de saponinas.....	14
Tabla 1-2: Operacionalización de Variables para la obtención de saponina a partir del mojuelo de quinua	21
Tabla 2-2: Matriz de Consistencia de Aspectos Generales y Específicos.....	21
Tabla 3-2: Ensayo 1 (Etanol 5%) para la obtención de saponina a partir de mojuelo de quinua..	28
Tabla 4-2: Ensayo 2 (Etanol 15%) para la obtención de saponina a partir de mojuelo de quinua	29
Tabla 5-2: Ensayo 3 (Etanol 25%) para la obtención de saponina a partir de mojuelo de quinua	30
Tabla 6-2: Datos para la construcción de la curva de calibración.....	33
Tabla 7-2: Cuantificación de porcentaje de pureza de saponinas por espectrofotometría UV-VIS	35
Tabla 8-2: Datos de partida para la Operación de Remojo	36
Tabla 9-2: Datos de partida para la operación de macerado	38
Tabla 10-2: Datos de partida para la Operación de Refrigeración.....	40
Tabla 11-2: Datos de partida para la Operación de Secado en Bandejas	46
Tabla 12-2: Proforma de equipos para la obtención de saponina	49
Tabla 1-3: Resultados de volumen de sedimentos formados en la etapa de refrigeración.....	52
Tabla 2-3: Resultados de volumen evaporado y concentrado en la operación de evaporación	54
Tabla 3-3: Resultados de variaciones de peso en la operación de secado en bandejas.....	55
Tabla 4-3: Análisis de la desviación estándar en función al porcentaje de saponina obtenido.....	56
Tabla 5-3: Análisis del porcentaje de saponina obtenido por concentración de etanol	56
Tabla 6-3: Medias para porcentaje de saponina por concentración de etanol, 95% de confianza .	57
Tabla 7-3: Prueba de múltiples rangos para porcentaje de saponinas por concentración de etanol	57
Tabla 8-3: Análisis de varianza para porcentaje de saponinas.....	58
Tabla 9-3: Comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Aplicaciones de la quinua en el sector industrial	11
Figura 2-1:	Aplicaciones de la quinua en el sector industrial	11
Figura 3-1:	Estructura general de una saponina.....	13
Figura 4-1:	Fuerzas impulsadoras en la filtración.....	16
Figura 1-2:	Representación esquemática del Diseño de la Investigación.....	23
Figura 2-2:	Diseño Experimental de la Investigación.....	24
Figura 3-2:	Localización de la empresa “Maquita Cushunchic”	26
Figura 4-2:	Ubicación de los laboratorios de Procesos Industriales e Investigación.....	26
Figura 5-2:	“Shaker” para extracción	31
Figura 6-2:	Extracto butanólico (capa superior)	32
Figura 7-2:	Rotavapor escala de laboratorio.....	32
Figura 8-2:	Balance de Materia General del Proceso de Obtención de Saponinas	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Curva de Calibración para cuantificación de saponinas.....	34
Gráfico 1-3:	Volumen de sedimentos formados en la etapa de refrigeración.....	53
Gráfico 2-3:	Volumen de solución evaporado en la etapa de evaporación.....	54
Gráfico 3-3:	Peso final de saponina cristalizada obtenido.....	55
Gráfico 4-3:	Dispersión por código de nivel.....	59
Gráfico 4-3:	Porcentajes de saponina (ANOVA).....	59

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Etapas preliminares para el proceso de obtención de saponinas

ANEXO B: Operación de macerado con diferentes concentraciones de etanol

ANEXO C: Operación de filtración y tratamiento de sedimentos

ANEXO D: Operaciones finales para el proceso de obtención de saponinas

ANEXO E: Construcción de la curva de calibración para cuantificación de saponinas

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar un proceso industrial para la obtención de saponina a partir del mojuelo de quinua (*Chenopodium quinoa willd*), el mojuelo como materia prima se obtuvo de la empresa “Maquita Cushunchic”, las operaciones principales para el tratamiento de mojuelo hasta la obtención de saponina cristalizada fueron remojo, maceración, refrigeración, sedimentación, filtración, evaporación y secado en bandejas. El diseño experimental de la investigación para el análisis de las muestras constó de nueve ensayos, variando cada tres repeticiones la concentración de etanol en la operación de extracción por macerado (5%, 15% y 25%); y el tiempo de refrigeración, 24, 36 y 48 horas respectivamente. Las etapas de evaporación y secado fueron determinantes para la eliminación total de humedad de las muestras. Posteriormente, una de las muestras fue purificada y utilizada como patrón de referencia para la construcción de una curva de calibración y posterior cuantificación de saponinas por espectrofotometría uv-visible, mediante la medición de absorbancias de todas las muestras, determinándose que el tratamiento de mojuelo con etanol a una concentración del 15% y refrigeración por 24 horas favorece a una mejor obtención en cuanto a porcentaje de saponina (25,01%) y producto final obtenido. En base a los resultados obtenidos, se realizó el escalamiento del proceso global de obtención a nivel industrial bajo los parámetros de operación más viables y con un enfoque hacia el tratamiento de 300 quintales de mojuelo producido anualmente en la empresa en mención, para una obtención de 70 quintales de saponina cristalizada. Además, se recomienda el estudio de dicha investigación con mojuelo proveniente de otras empresas y otras zonas de cultivo debido a las diferencias de amargor del grano de quinua, lo que significa variación en porcentaje de saponinas.

Palabras clave: <OPERACIONES UNITARIAS>, <PROCESOS INDUSTRIALES>, <QUINUA (*Chenopodium quinoa willd*)>, <MOJUELO>, <ETANOL>, <SAPONINA CRISTALIZADA>, <CUANTIFICACIÓN>, <ESCALAMIENTO INDUSTRIAL>.



Firmado electrónicamente por:
MABEL MARIELA
PARADA RIVERA



Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH
FERNANDA AREVALO
MEDINA



0633-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

This study evaluated an industrial process to obtain saponin from quinoa bran or mojuelo (*Chenopodium quinoa* willd). Mojuelo as raw material was obtained from the company “Maquita Cushunchic”. The main operations for the treatment of mojuelo until obtaining crystallized saponin were: soaking, maceration, cooling, sedimentation, filtration, evaporation and drying in trays. The experimental design of the research for the analysis of the samples consisted of nine tests which ethanol concentration varied every three repetitions in the extraction by maceration (5%, 15% and 25%); and the refrigeration time, 24, 36 and 48 hours respectively. The evaporation and drying stages were decisive for the total removal of moisture from the samples. Subsequently, one of the samples was purified and used as a reference standard for the construction of a calibration curve and subsequent quantification of saponins by uv-visible spectrophotometry by measuring absorbances of all samples. It was determined that mojuelo (quinoa bran) treatment with Ethanol at a concentration of 15% and refrigeration for 24 hours favors the percentage of saponin (25.01%) and the final product. Based on the results, the global production process was scaled up at an industrial level under the most viable parameters and with a focus on treating 300 quintals of mojuelo produced annually in the company for a production of 70 quintals of crystallized saponin. It is recommended to conduct research with mojuelo from other companies and other growing areas due to the differences in bitterness of the quinoa grain, which means variation in percentage of saponins.

Keywords: <UNIT OPERATIONS>, <INDUSTRIAL PROCESSES>, <QUINOA (*Chenopodium quinoa* willd)>, <MOJUELO/ QUINOA BRAN>, <ETHANOL>, <CRYSTALIZED SAPONIN>, <QUANTIFICATION>, <INDUSTRIAL SCALING>.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el consumo de quinua ha incrementado debido a su gran valor nutritivo por su alto contenido de proteínas, almidones y ácidos grasos; considerándola como un producto estrella por sus propiedades nutricionales y su alto potencial biológico, es el único cereal que posee todos los aminoácidos esenciales, además de ser una de las mejores alternativas entre los alimentos de origen vegetal (Hernández, 2015, p.305).

Los principales productores de quinua son aquellos países que conforman la Cordillera de los Andes: Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Chile. La quinua, debido a su favorable adaptabilidad al clima y al suelo propio de estos países no sufre destrucciones ambientales, sus producciones son anuales y sus propiedades nutricionales, terapéuticas y agrícolas conllevan a un gran aprovechamiento y explotación de sus cultivos (Ahumada et al., 2016, p. 440).

Para la etapa de procesamiento y comercialización de la quinua se procede a eliminar el mojuelo o cascarilla mediante un proceso de escarificado; el cual contiene significativamente saponinas. Las saponinas son el principal factor anti nutricional de la quinua, éstas se encuentran contenidas en la cáscara y son responsables del sabor amargo, la mayor cantidad de saponinas se encuentra en el epispermo del grano, por lo que son abundantes en los residuos (mojuelo) (Apaza et al., 2016, p. 63). Las saponinas son glicósidos triterpénicos solubles en agua (Ahumada et al., 2016, p. 440).

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar las metodologías y parámetros de obtención más eficientes y escalarlos a un nivel industrial, contribuyendo a una correcta utilización de este producto de desecho y reduciendo al impacto ambiental que genera.

Planteamiento del problema

La producción y cultivo de quinua ha tomado gran importancia en la zona centro del país, particularmente en la provincia de Chimborazo debido al crecimiento de la demanda tanto local como mundial; es por eso que, empresas como Sumak Life o COPROBICH producen aproximadamente 400 toneladas al año (San Francisco Consulting, 2020, pp. 11-12). MAGAP en el 2017 manifestó que en el Ecuador se proyecta una producción de quinua en 16 mil hectáreas con el compromiso de incrementar la producción y comercialización de esta y de productos derivados para consumo nacional e internacional, dentro del cual están involucradas provincias como Chimborazo, Pichincha, Imbabura y El Carchi (Ministerio de agricultura y ganadería, 2017).

Sin embargo, la quinua posee un componente anti nutricional, denominado saponina, la cual es responsable del sabor amargo y que es altamente contaminante y tóxico para el consumo humano.

La saponina es eliminada mediante lavado con agua fría, proceso altamente contaminante ya que el agua con saponina es eliminada directamente al desagüe sin un tratamiento previo afectando a la fauna local, especialmente a los animales de respiración branquial al ser ictiotóxica; o mediante una escarificación en seco, generando una cascarilla o mojuelo que representa el 4,5 % del total del grano de quinua, lo que significa pérdidas para los productores (Pajuelo et al., 2016, pp. 17-36).

Justificación

Debido al gran incremento del consumo de quinua tanto a nivel nacional como internacional, su proceso de producción genera toneladas de cascarilla o mojuelo, subproducto que al ser considerado de desecho genera grandes pérdidas de materia prima y ocasiona un gran impacto ambiental al momento de su lavado ya que el agua utilizada es desechada de manera desordenada e irresponsable.

Además, en los últimos años se ha determinado que las saponinas presentan evidentes beneficios hacia la salud como en la inhibición de absorción de glucosa, colesterol y de presentar propiedades anticancerígenas. Se le confiere propiedades surfactantes de origen natural que han sido empleados en productos de limpieza personal (Netala et al., 2015; citado en Guilcapi, 2019); razones por las cuales, juntamente con las ya mencionadas en cuanto a las pérdidas como materia prima y al impacto ambiental que genera su lavado, es necesaria su obtención para ocuparla en futuros procesos que compensarán dichas pérdidas y solucionar los demás problemas.

Mencionado varios aspectos de interés, con la realización de este proyecto de investigación se busca aprovechar el mojuelo, considerado producto de desecho; utilizando conocimientos de ingeniería para

lograr obtener toda la saponina de este de manera óptima, económica y sustentable, dándole un valor agregado para su posterior utilización en campos industriales como el farmacológico, agrícola y de cosméticos; ya sea en su forma natural o sometida a otros procesos.

Como beneficiarios directos de este proyecto tenemos a los productores de quinua, ya que reducirán las pérdidas económicas en cuanto al porcentaje de material de desecho; y al medio ambiente, ya que se reducirá la contaminación de aguas y suelos.

Objetivos de la Investigación

General

- Evaluar un proceso industrial para la obtención de saponina a partir del mojuelo de quinua (*Chenopodium quinoa*).

Específicos

- Realizar un estado del arte de los procesos de obtención de saponina del mojuelo de la quinua.
- Determinar el proceso de extracción de saponina más efectivo a partir del mojuelo de la quinua como materia prima.
- Establecer el mecanismo de filtración más óptimo para la separación de saponina de otros componentes no deseados, como proteínas y almidones.
- Decidir el proceso de secado más eficiente para la obtención final de saponina.
- Validar el proceso industrial más óptimo mediante la cuantificación y evaluación de la calidad de saponina extraída a través de técnicas cromatográficas como HPLC o espectrofotometría UV-VIS.

Hipótesis

Hipótesis General

- Con la “EVALUACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE SAPONINA A PARTIR DEL MOJUELO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*)” se logrará optimizar el proceso global de obtención y mejorar sus valores cuantificables.

Hipótesis Específicas

- Con la realización de un estado del arte se facilitará el desarrollo efectivo de las operaciones o procesos a utilizar para la obtención de saponina.
- Mediante la evaluación de los procesos de extracción se optimizará la obtención de saponina a partir del mojuelo de la quinua.
- Con la experimentación de operaciones unitarias de filtración se retendrá mayor cantidad de almidones y proteínas como componentes no deseados.
- Mediante la experimentación de operaciones unitaria de secado a desarrollarse se logrará optimizar el proceso de obtención de saponina.
- Mediante técnicas cromatográficas como HPLC o espectrofotometría UV-VIS se validará el proceso industrial más óptimo en base al porcentaje o calidad de saponina extraída.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes del proyecto de vinculación

El proyecto de vinculación “Diseño e implementación de un proyecto de producción, transformación, comercialización y promoción de consumo de la quinua y sus derivados” inició en diciembre del 2016 y su primera fase tiene una duración estimada de 5 años. El proyecto surgió debido a la necesidad de apoyar a los productores, organizaciones y empresas de la cadena de la quinua, que al ser considerados como pequeños agricultores no han podido contar con el apoyo financiero necesario para la industrialización de sus productos; cayendo así, en la obligación de exportar la quinua en crudo para la obtención de un producto terminado extranjero. Por lo tanto, debido a la alta demanda de la quinua ecuatoriana en grandes mercados como Estados Unidos, Asia y la Unión Europea por su alto valor nutricional, se ha tomado la iniciativa de darle un valor agregado a la industria de la quinua mediante proyectos de investigación, con la finalidad de evaluar y proponer diversos procesos de transformación, producción y comercialización para obtener productos terminados de calidad y que puedan competir en el mercado nacional y extranjero. Además, se reducirá la participación de intermediarios, ayudando así, al desarrollo económico de los agricultores de la provincia de Chimborazo y a aquellos que no están ligados a la misma (Proyecto de Vinculación ESPOCH, [sin fecha]).

Dentro del campo investigativo, como una de las tantas actividades a realizarse se encuentra la evaluación de metodologías apropiadas para la extracción de saponinas a partir del mojuelo de la quinua, enfocándose en la eficiencia extractiva de la misma (Proyecto de Vinculación ESPOCH, [sin fecha]).

1.2 Antecedentes de la Investigación

Las saponinas especialmente la clase triterpénica es la causante de generar sabor amargo a la quinua, además de ello se le atribuye como el principal factor anti nutricional que presenta el grano y diferentes partes de la planta como hojas, flores y fruto (Kuljanabagavad et al., 2009; citado en Ahumada et al., 2016).

En la antigüedad, los incas eliminaban el amargor de la quinua mediante el uso de agua de río, en este mismo periodo datos históricos revelan que la quinua era una fuente de alimento, confirmando así, que la eliminación de saponinas está arraigada desde el periodo incaico (Rojas et al., 2011, pp. 1-66).

En el último periodo del siglo XX, existió una demanda elevada de quinua, lo que provocó la realización de diversas técnicas que permitan eliminar saponinas optimizando el proceso a escala industrial. Torres y Minaya (1980), presentaron trabajos de investigación uno de ellos fue el desarrollo de una máquina de escarificación. Con el desarrollo industrial y el apogeo de la quinua otras alternativas para eliminar saponinas aparecieron, dando lugar a los métodos húmedos que se tienen como fundamento someter el grano de quinua por un proceso de remojo, agitación, enjuague y escurrimiento en agua circulante o fija, donde la saponina se elimina por solubilización con el agua (Torres et al, 1980; citado en Arisaca, 2016). “En Bolivia en el año 1983, esta técnica, promovió al desarrollo del proyecto “Huarina”, que consistió en diseñar un tanque vertical provisto de paletas giratorias que produzcan turbulencia y así extraer saponinas en cortos periodos de tiempo sin causar daños a la semilla” (Bacigalupo et al., 1990; citado en Nieto et al, 2019).

Otro método húmedo consiste en aplicar agua ligeramente alcalina ya que puede mejorar los rendimientos de extracción (Zhu et al., 2002, pp. 865-867); un método combinado entre una escarificación en seco y lavado con agua (Bacigalupo et al., 1990; citado en Bergesse, 2019), donde un escarificado por diez minutos con papel abrasivo y posterior lavado sistemático del grano evidenció eliminar un 75 % de saponinas (Corzo, 2011; citado en Villacis, 2018). Debido a varios estudios que indican la importancia de las saponinas en diferentes campos como farmacéutica, cosmética, agroquímica, acuicultura, se ha impulsado una búsqueda de nuevas técnicas de extracción y purificación enfocadas directamente a la extracción de saponinas con la finalidad de mejorar los rendimientos de extracción, tanto por técnicas convencionales como tecnologías alternativas, así como también la preparación de técnicas que permiten cuantificar las saponinas (Cheok et al., 2014, pp. 16-40). Usualmente técnicas como escarificación, extracción por maceración, entre otras, contribuyen a reducir el porcentaje de saponinas, sin embargo, dichas técnicas presentan defectos primordialmente en el tiempo empleado para la extracción, por lo que mediante cálculos y operaciones de ingeniería se busca optimizar el proceso de obtención de saponina a un nivel macro industrial.

Con los años la búsqueda por aprovechar la quinua y sus derivados en su totalidad va en incremento, con ello nuevas investigaciones y estudios aparecen, la siguiente tabla relata trabajos recientes que contribuyeron a la realización de la presente investigación.

Tabla 1-1: Antecedentes relacionados con la investigación

Autor	Título	Descripción	Año	Tipo	Página
Zhu, et al	Triterpene Saponins from Debittered Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) Seeds	Explica sobre el aislamiento de doce saponinas triterpénicas de las semillas desamargadas de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>), y sus estructuras se caracterizaron sobre la base de hidrólisis y datos espectrales	2002	Journal of Agricultural and Food Chemistry	865-867
Rojas, et al	La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial	Recopilación actualizada y detallada sobre las bondades nutritivas, la versatilidad agronómica y la expansión del cultivo a otros continentes, mostrando que la quinua es un cultivo con alto potencial para contribuir a la seguridad alimentaria de diversas regiones del planeta	2011	Informe técnico de la Oficina Regional Para América Latina y El Caribe, <i>FAO</i>	1-66
Cheok, et al	Extraction and quantification of saponins: A review	Esta revisión se centra en la extracción de saponinas con énfasis en las técnicas de tecnología convencional y verde	2014	Food Research International	16-40
Hernández	La quinua, una opción para la nutrición del paciente con diabetes mellitus	Estudio que aisló doce saponinas triterpénicas de las semillas desamargadas de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>), y sus estructuras se caracterizaron sobre la base de hidrólisis y datos espectrales	2015	Revista cubana de endocrinología	304-312
Ahumada, et al	Saponinas de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> willd.): un subproducto con alto potencial biológico	Es una investigación de la actividad biológica y la química de la saponina de quinua	2016	Artículo en Revista: Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas	440
Arisaca	Capacidad antioxidante de tres procesos agroindustriales de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> willd) ecotipo ayara y variedad Inia 420 negra Collana y disponibilidad de litio.	Determinación de la capacidad antioxidante, disponibilidad de litio y sus características fisicoquímicas en los procesos agroindustriales de perlado, molienda y extruido en la quinua ecotipo Ayara (EA) y variedad INIA 420 Negra Collana (NC), ambos de color negro	2016	Tesis Maestría	1-15
Pajuelo, et al	Identificación de atributos de la saponina de	Identifica nichos de mercado y evaluar el uso potencial y	2016	Programa de Apoyo a la Política Peruana	5-36

	Quinoa para el mercado europeo de ingredientes naturales	comercialización en de la saponina, como medida a favor de la conservación del ambiente y el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad.		de Promoción de las exportaciones de Productos ecológicos	
Gil, et al	Proceso integrado para la extracción secuencial de saponinas, xilano y celulosa de tallos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> willd.)	Verifica la presencia de saponinas en los tallos y presenta un enfoque de biorrefinería con tallos de quinua como materia prima, utilizando un esquema de procesamiento integrado para separar saponinas, xilano y celulosa.	2018	Industrial Crops and Products	54-65
Villacís	Estudio para la extracción y purificación de saponinas a partir del mojuelo de quinua como una posible alternativa a la disponibilidad de tensoactivos de origen natural.	Determina los efectos individuales de cada factor experimental y la combinación más óptima que proporcione los mejores rendimientos de extracción de saponina.	2018	Tesis	12-30
Asher, et al	The potential of quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) cultivation in Israel as a dual-purpose crop for grain production and livestock feed	Estudio enfocado al cultivo y reproducción de la quinua.	2019	Revista Ciencia y Horticultura	1-6
Bergesse	Aprovechamiento integral del grano de quinua	Difunde las investigaciones y desarrollos realizados en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina por el “Grupo quinua”	2019	Libro: Aspectos Tecnológicos, Físicoquímicos, Nutricionales y Sensoriales	1-50
Nieto, et al	Postcosecha, transformación y agroindustria	Relata sobre el enfoque integral del proceso productivo de un cultivo analizando el sistema de producción desde la siembra hasta la utilización de los productos, pasando por todas las etapas agronómicas	2019	Libro	1-23
Bonfiglio, et al	Estudio de la percepción del amargor de extractos de saponina de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> willd.)	Estudia los umbrales y el comportamiento de la percepción del amargor en el tiempo para las saponinas de quinua.	2020	Journal of Cereal Science	1-28

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

1.3 Marco Conceptual

1.3.1 Quinoa (*Chenopodium quinoa*)

1.3.1.1 Taxonomía

Tabla 2-1: Taxonomía de la quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Reino	<i>Vegetal</i>
División	<i>Fanerógama</i>
Clase	<i>Dicotiledóneas</i>
Orden	<i>Centrospermales</i>
Familia	<i>Chenopodiaceae</i>
Genero	<i>Chenopodium</i>
Sección	<i>Chenopodia</i>
Subsección	<i>Cellulata</i>
Especie	<i>Chenopodium quinoa</i>
Nombre científico	<i>Chenopodium quinoa</i>

Fuente: Bergesse et al. 2015, p. 13

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

1.3.1.2 Generalidades

Es un cultivo de la región de los andes nativo de Sudamérica, siendo Perú, Bolivia y Ecuador países con mayor variabilidad genética (Lescano, 1989; citado por Arisaca, 2016) convirtiéndolos en sus principales productores. Según varios autores concuerdan que entre sus características importantes se encuentran su gran resistencia a diferentes medios abióticos y la facilidad de desarrollarse en condiciones adversas como la salinidad, sequías, suelos y climas variables, desde 2 000 a 3 900 m.s.n.m. (Blanco, 2003; citado en Bergesse et al. 2015, p.16). Asimismo, es reconocido como un alimento funcional por su alto valor nutricional ya que posee proteínas y aminoácidos esenciales (Arisaca, 2016, p. 8).

Esta herbácea dicotiledónea dispone de un periodo de crecimiento y reproducción de 150 a 240 días y alcanza una altura de 0,8 a 3 metros. Su semilla puede oscilar entre 1,5 y 2,5 mm de diámetro (Arisaca, 2016, p. 9). Cuenta con una raíz fusiforme, ramificada y fibrosa además de poseer flores y un tallo que dependiendo su tipo puede ser ramificado o no (Arisaca, 2016, p. 8).

El fruto de la quinoa es seco, monocarpelado (Canahua et al, 2013; citado por Arisaca, 2016) envuelto por una capa llamada perigonio, con coloración variable y de fácil desprendimiento a la madurez, (Tapia et al.,

1997; citado por Arisaca, 2016) y dos capas internas: epispermo exterior y polispermo interior que difícilmente se separan del grano o fruto (Tapia et al., 2007, pp. 24-30).

El epispermo consta de cuatro capas, la primera es externa, rugosa, quebradiza, que al frotarla con el agua se libera fácilmente, aquí se encuentra la saponina (Tapia, 1990; citado por Arisaca, 2016). Una segunda capa delgada y lisa, de apariencia translúcida; la tercera capa es de coloración amarillenta, delgada y opaca y la última capa es translúcida, conformada por un solo estrato de células (Villacorta et al, 1976; citado por Arisaca, 2016).

Por la importancia mundial que representa este cultivo en seguridad alimentaria y mejoramiento de los hábitos nutricionales de la población en general de esta manera su producción venía en ascenso desde 2008; en 2012 la producción de quinua aumento en un 42% respecto al 2008, siendo los principales productores Perú y Bolivia. Perú cuenta con mejores rendimientos que Bolivia, cuya área cosechada es casi el doble que la peruana. Es importante señalar que el desarrollo productivo de la quinua tiene mayor impacto en la región Sudamericana generalmente en el sector andino (Dueñas, 2014, p. 86).

1.3.1.3 Usos

Su alta aplicabilidad ha hecho de la quinua una potencialidad en el sector industrial y alimentario, por las propiedades del grano en su contenido de minerales, ácido fólico, proteínas y grasas saludables. También es considerado el cultivo milenario más costoso debido a su alta demanda del producto.

Actualmente se están generando subproductos elaborados a partir de la quinua entre los que se encuentran cereales, harinas utilizadas particularmente en la industria de la panificación y usos en ensaladas (Dueñas, 2014, p.87).



Figura 1-1: Aplicaciones de la quinua en el sector industrial

Fuente: Dueñas, 2014, p. 87.



Figura 2-1: Aplicaciones de la quinua en el sector industrial

Fuente: Dueñas, 2014, p. 88.

1.3.1.4 Composición química

La quinua presenta un alto grado de proteínas, también posee todos los aminoácidos y ácidos grasos esenciales para el ser humano, además de vitaminas B, C y E, y de minerales tales como: hierro, fósforo, potasio y calcio, todo esto ha generado un importante impacto internacional (FAO, 2011; citado en Rojas et al., 2011).

Tabla 3-1: Composición química de la quinua

Componentes	Valor en 100 g	Unidades
Proteínas	13,60	g
Grasa	5,80	g
Carbohidratos	66,60	g
Energía	343,0	Kcal
Fibra	1,90	g
Ceniza	2,50	g
Calcio	56,00	mg
Hierro	7,50	mg
Fósforo	242,00	mg
Acidez	0,00	%
Saponina	0,02	%

Fuente: Reyes et al., 2009; citado en Pérez, 2017.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

1.3.1.5 Anti-nutrientes presentes en la quinua

La quinua es una planta con alto valor nutricional, no obstante, posee en su estructura una serie de elementos tóxicos como los inhibidores de la tripsina y las saponinas. Reduciendo el valor biológico de las proteínas, un claro ejemplo de esto es el inhibidor de la tripsina, que inhibe la actividad segregada por la glándula exocrina del páncreas (Arisaca., 2016).

1.3.2 Saponinas

Estos compuestos con fórmula general $C_nH_{2n-8}O_{10}$. Estructuralmente, son compuestos derivados de la β -amirina que estructuralmente poseen uno o varios azúcares, y que al agitarse en agua provocan

abundante espuma, gracias a esta propiedad desde la antigüedad han sido usadas como jabón. (Romo A., 2006; citado en Huamán et al., 2018). En la quinua se localiza en el pericarpio o cascara, con un valor de contenido entre el 0,1 y el 5% (Bergesse et al. 2015, p.48) brindando sabor amargo a la quinua (Torres et al., 1980; citado en Arisaca, 2016).

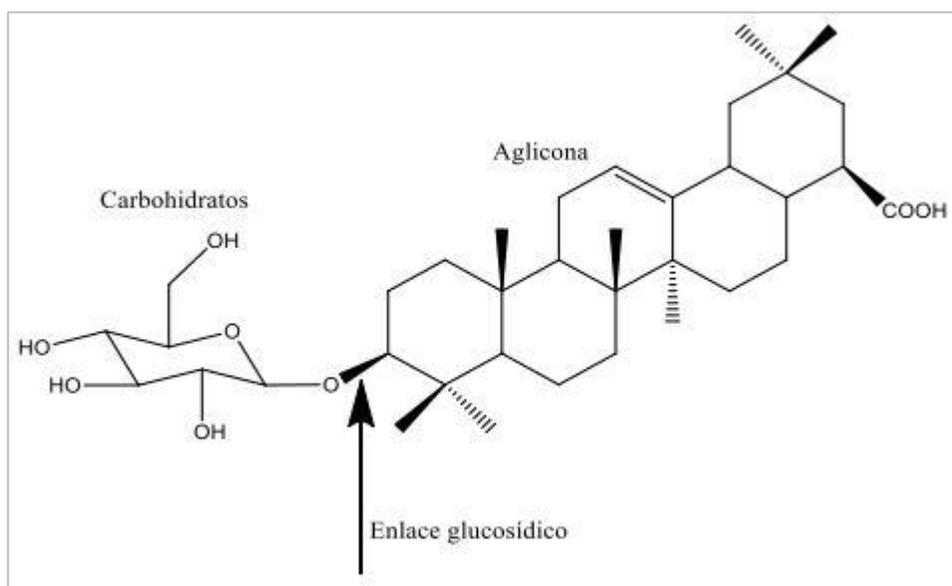


Figura 3-1: Estructura general de una saponina

Fuente: Ahumada et al., 2016; citado en Villacis, 2018.

El término saponina se deriva de la palabra griega “sapo”, que significa “jabón”, lo que refleja su disposición para formar espumas estables parecidas al jabón en soluciones acuosas. El rol biológico de las saponinas no es comprendido completamente, pero generalmente son consideradas como parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros, especialmente debido a su sabor amargo (TROISI, et al., 2014 pp. 317-327).

Varios autores reportan la presencia de al menos 30 saponinas triterpénicas distribuidas en todas las partes de la planta, tales como hojas, flores, frutos, semillas y la cáscara de las semillas (Ahumada, 2016, p. 443). Las saponinas son metabolitos secundarios que pertenecen a una amplia familia de compuestos constituidos por un anillo terpenoide o esteroidal, sustituidos por oligosacáridos unidos por enlaces glucosídicos confiriéndole un carácter anfipático (Heng et al., 2006, pp. 326-334).

Según la concentración saponinas se divide a la quinua en:

Tabla 4-1: Clasificación de la quinua según su concentración de saponinas

Clase	Concentración
Dulce	< al 0,11 % de saponinas libres en base a peso fresco
Amarga	> 0,11 %.

Fuente: Bergesse et al. 2015, p. 49.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

1.3.3 Mojuelo de quinua

Es el residuo o subproducto de la desaponificación de la quinua, es un polvo de baja densidad cuya coloración depende de la variedad a la que pertenezca la quinua, es irritante para las vías respiratorias. Químicamente el mojuelo está compuesto por saponinas triterpénicas, intervienen en el metabolismo y deterioran la absorción de nutrientes (Balseca, 2019, p. 8).

1.3.4 Operaciones unitarias básicas para la obtención de saponinas del mojuelo de la quinua

1.3.4.1 Maceración

La operación de maceración implica un remojo previo de la planta o material de extracción, el mismo puede encontrarse en forma de polvo o grandes pedazos. Se coloca dentro de un envase con agua y/o disolventes (acetona, etanol, etc.) y se deja reposar por un tiempo determinado. Este método de extracción ayuda al ablandamiento y ruptura de la pared celular de la planta para liberar los fitoquímicos solubles. Luego se presiona o se filtra el fluido del proceso (Nn, 2015, pp. 3-6).

1.3.4.2 Refrigeración

La refrigeración se puede conceptuar como un proceso que extrae calor. (Alarcón, 1998, p. 1). En alimentos se refiere a mantener los alimentos entre 0 y 8 °C con la finalidad de desacelerar la proliferación microbiana (INTARCON, 2020).

1.3.4.3 Sedimentación

Este proceso separa las partículas de una corriente de fluido con el fin de eliminar contaminantes del fluido o recobrar las partículas. En otros casos, las partículas se suspenden intencionadamente en fluidos con el fin de obtener separaciones en fracciones de diferentes tamaños o densidades. Después el fluido puede recuperarse a partir de las partículas fraccionadas (McCabe et al., 2007, p.1029).

1.3.4.4 Filtración

La filtración es un proceso físico de separación para eliminar partículas sólidas, microorganismos o pequeñas gotas de un líquido o un gas depositándolos en un medio de filtrado también llamado tabique, que es esencialmente permeable solo a la fase fluida de la mezcla que se separa. Las partículas se depositan en la superficie exterior del medio filtrante y / o dentro de su profundidad. La permeación de la fase fluida a través del medio filtrante está conectada a un gradiente de presión. El líquido separado de los sólidos se denomina filtrado, efluente, permeado; como en otros procesos de separación, la separación de fases nunca es completa: el líquido se adhiere a los sólidos separados (torta con humedad residual) y el filtrado a menudo contiene algunos sólidos (contenido de sólidos en el filtrado o turbidez). El propósito de la filtración puede ser la clarificación del líquido o la recuperación de sólidos o ambos; en la clarificación, el líquido es típicamente un producto valioso y los sólidos son de menor cantidad y, a menudo, se desechan sin tratamiento adicional; sin embargo, si los sólidos deben recuperarse, muy a menudo deben lavarse, eliminarse el agua y secarse (Ripperger et al., 2009, p. 17).

Los procesos de filtración se pueden clasificar de acuerdo con diferentes criterios:

1) Ubicación de la retención de partículas: las partículas se pueden separar en la superficie exterior del medio filtrante (filtración superficial, filtración de torta) o dentro del medio filtrante (filtración profunda, filtración en lecho profundo) (Ripperger et al., 2009, p. 18).

2) Generación de la diferencia de presión: filtración de presión, filtración al vacío, filtración por gravedad, filtración centrífuga (Ripperger et al., 2009, p. 18).

3) Modo de funcionamiento discontinuo, continuo, cuasi-continuo: filtración dinámica y filtración estática (normal). En caso de filtración dinámica, durante el proceso de filtración se activan los mecanismos que ayudan a reducir la formación de una torta de filtración. El proceso de filtración dinámica más común es la filtración de flujo cruzado.

4) Aplicación: filtración de agua, filtración de cerveza, etc (Ripperger et al., 2009, p. 18).

La filtración se efectúa mediante la aplicación de una diferencia de presión que puede ser producida por un fluido presurizado, por vacío, por gravedad o por fuerza centrífuga (Ripperger et al., 2009, p. 18).

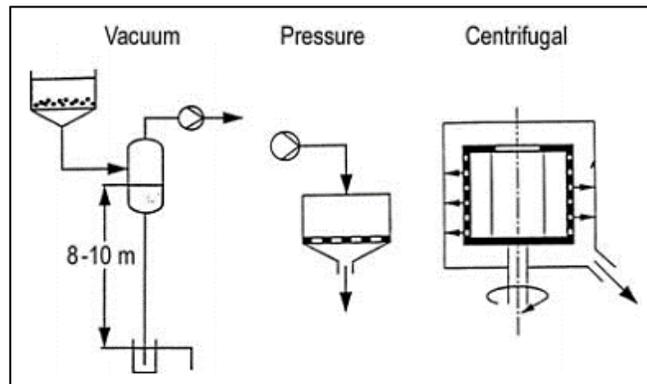


Figura 4-1: Fuerzas impulsadoras en la filtración

Fuente: Ripperger et al., 2009, p.19.

1.3.4.5 Evaporación

Esta operación tiene como finalidad la eliminación del vapor que se produce por ebullición en una solución líquida, es decir, obtener una disolución con mayor concentración. Generalmente, la evaporación elimina agua de una solución acuosa. Una pauta sobre los procesos de evaporación son la concentración de soluciones acuosas como azúcar, NaCl, Na(OH), glicerina, entre otras. En ocasiones la parte concentrada es el producto deseado y el agua evaporada se desecha, sin embargo, existen otros casos donde el agua posee minerales y se realiza el proceso de evaporación para conseguir agua libre la misma que puede ser utilizada en la alimentación de calderas para un sinnúmero de propósitos (Geankoplis, 2003, p. 545).

Los factores que influyen en el proceso de evaporación son:

- **Concentración en el líquido:** Mediante se produce la evaporación, la solución se concentra y su viscosidad puede elevarse notablemente, causando una marcada disminución del coeficiente de transferencia de calor. Se requiere entonces una circulación o turbulencia adecuada para evitar que el coeficiente se reduzca demasiado (Geankoplis, 2003, p. 546).
- **Solubilidad:** Según se incremente la temperatura de la solución y aumente la concentración del soluto, puede excederse el límite de solubilidad del material en solución y se formaran cristales. Esto limita la concentración máxima que puede obtenerse por evaporación de la solución (Geankoplis, 2003, p. 546).

- **Sensibilidad térmica de los materiales:** Muchos productos, en especial los alimentos y otros materiales biológicos, son sensibles a la temperatura y se degradan cuando ésta sube o el calentamiento es muy prolongado. Entre ellos están los materiales farmacéuticos; productos alimenticios como leche, jugo de naranja y extractos vegetales; y materiales químicos orgánicos delicados. La cantidad de degradación está en función de la temperatura y del tiempo (Geankoplis, 2003, p. 546).
- **Formación de espumas:** En varios casos, los materiales constituidos por soluciones cáusticas, soluciones de alimentos como leche desnatada y algunas soluciones de ácidos grasos, forman espuma durante la ebullición. Esta espuma es arrastrada por el vapor que sale del evaporador y puede generar pérdidas de material (Geankoplis, 2003, p. 546).
- **Presión y temperatura:** El punto de ebullición de la solución está relacionado con la presión del sistema. Cuanto más elevada sea la presión de operación del evaporador, mayor será la temperatura de ebullición. Además, la temperatura de ebullición también se eleva a medida que aumenta la concentración del material disuelto por la acción de la evaporación (Geankoplis, 2003, p. 546).
- **Formación de incrustaciones y materiales de construcción:** Genera reducción del coeficiente de transferencia de calor, lo que obliga a limpiar el evaporador. La selección de los materiales de construcción del evaporador tiene importancia en la prevención de la corrosión (Geankoplis, 2003, p. 546).

1.3.4.6 Secado

El proceso de secado consiste en la separación de líquidos volátiles de materiales sólidos al evaporar el líquido y eliminar el vapor. El líquido que se va a eliminar suele ser agua, pero también puede ser un disolvente como alcohol o acetona, o una mezcla de dichos disolventes. El material sólido que se va a secar puede ser un producto natural como la madera, un producto semiacabado como gránulos de polímero o un producto acabado como un catalizador monolítico. La evaporación de líquidos requiere el suministro de calor. Por consiguiente, el secado puede considerarse un proceso de separación térmica (Tsotsas, et al., 2010, p. 4).

El producto que se va a secar se conoce como sólido húmedo o simplemente como sólido. La sustancia que transporta el calor necesario se llama agente desecante. Esta sustancia puede ser aire, un gas inerte

o vapor sobrecalentado. El calor también podría ser suministrado por radiación, por superficies calientes o por microondas. El contenido de humedad del sólido se indica con X y se mide en kilogramos de líquido por kilogramo de sólido seco. Para el contenido de humedad de un agente desecante gaseoso se utiliza el símbolo Y (en kilogramos de vapor por kilogramo de gas seco). La humedad de saturación se indica con Y^* . El flujo de masa del vapor que sale de la superficie del sólido por unidad de tiempo se denomina velocidad de secado y se denota con el símbolo \dot{m} (en $Kg/m s$). La velocidad de secado generalmente se determina midiendo el cambio de contenido de humedad con el tiempo dX/dt . Resulta que:

$$\dot{m} = -\frac{M_s dX}{A dt}$$

M_s es la masa del sólido seco, y A es la porción de su superficie en contacto con el agente de secado. La velocidad de secado \dot{m} depende de las condiciones de secado y del contenido de humedad X . Las condiciones de secado se especifican por factores como la presión del aire, la temperatura y la humedad, la temperatura del radiador, la temperatura de una superficie de calentamiento o la fuerza de las microondas. La relación de la velocidad de secado \dot{m} y el contenido de humedad X en condiciones de secado constantes, esto es $\dot{m}(X)$ se denomina curva de secado (Tsotsas, et al., 2010, p. 6).

Equipo de secado:

- Secador por bandejas: Posee una cámara rectangular metálica que contiene dos carretones para soportar los bastidores. Cada bastidor lleva numerosas bandejas poco profundas, tal vez de forma cuadrada, que se cargan con el material a secar. Entre las bandejas se hace circular aire con una velocidad de 7 a 15 ft/s por medio del ventilador y el motor, pasando sobre los calentadores. Las placas deflectoras distribuyen el aire uniformemente sobre el conjunto de bandejas. Parte de aire húmedo se expulsa de forma continua a través del conducto de descarga, mientras que entra la reposición de aire fresco. Los bastidores van montados sobre las ruedas, de forma que al final del ciclo de secado se pueden retirar de la cámara y descargar el contenido de las bandejas. Si la capacidad de producción es pequeña este tipo de secadores resultan convenientes, ya que se pueden secar cualquier producto. El secado por circulación de aire sobre capas estacionarias de sólidos es lento y, por consiguiente, los ciclos de secado son largos: de 4 a 48 horas por carga. Por lo general se utiliza el secado con circulación transversal, pero esto es poco frecuente ya que no es necesario ni económico en secaderos discontinuos, debido a que el acortamiento del ciclo de secado no reduce la mano de obra necesaria para cada carga. Sin embargo, el ahorro de energía puede ser significativo (McCabe et al, 2007, pp. 847-848).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Tipo y Diseño de Investigación

La investigación realizada es de tipo experimental y técnica, se basa en bibliografía de diferentes autores y en el proyecto de vinculación “Diseño e implementación del proyecto de producción, transformación, comercialización y promoción de consumo de la quinua y sus derivados” que nos permite conocer la importancia y necesidad de la obtención de saponina a partir del mojuelo de quinua, extrayéndola de las aguas de lavado; y posteriormente mediante el análisis de las operaciones unitarias necesarias establecer un proceso industrial óptimo.

2.1.1 *Método Deductivo*

Consiste en la totalidad de reglas, procesos y premisas particulares a partir de las cuales se llega a una conclusión general. El principal problema en la evaluación del proceso industrial es la determinación y elección de cada una de las operaciones unitarias que optimicen el proceso y den el resultado final esperado. Esto hace necesaria una revisión bibliográfica referente a operaciones de extracción, filtración y secado fundamentales en el proceso de obtención de saponina, lo cual permitirá al investigador generar juicios de valor a partir de la experimentación y los resultados obtenidos durante la investigación.

2.1.2 *Método Inductivo*

Se establece este método ya que se analizarán diferentes alternativas para cada una de las operaciones unitarias requeridas en el proceso de obtención, determinando así, las más eficientes para la evaluación de un proceso óptimo y rentable.

2.1.3 *Método Experimental*

Al ser una investigación de tipo experimental se procederá a la evaluación del proceso de obtención más rentable en cuanto a factores costo y tiempo.

A partir de la recepción de materia prima (mojuelo) y preparación de muestras se procederá a la evaluación de operaciones unitarias como: maceración, filtración, refrigeración, evaporación y secado para posteriormente cuantificar el porcentaje de saponina obtenida mediante técnicas de espectrofotometría UV-VIS.

Todos los ensayos se los realizará a nivel de laboratorio con el objetivo de optimizar el proceso global de obtención de saponina y dar una solución eficiente al problema planteado.

2.2 Enfoque de la Investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, pues se obtendrán valores acordes a la cantidad de saponina cristalizada obtenida a partir de una determinada cantidad de materia prima; además, se cuantificará también el porcentaje de pureza de estas.

2.3 Identificación de Variables

2.3.1 Variables Dependientes

- Cantidad de saponina obtenida (% pureza)

2.3.2 Variables Independientes

- Concentración de etanol (5%, 15%, 25%)
- Tiempo de operacionalización de cada operación unitaria

2.4 Operacionalización de Variables

2.4.1 Operacionalización de Variables

En la tabla a continuación se observa la operacionalización de variables del trabajo de investigación

Tabla 1-2: Operacionalización de Variables para la obtención de saponina a partir del mojuelo de quinua

Tipo de Variable	Variable	Concepto	Indicador	Instrumento
Dependientes	- % De saponina obtenida	Producto final a obtener	Porcentaje de pureza	Espectrofotómetro UV-VIS
Independientes	- Concentración de etanol	Reactivo que, a diferentes concentraciones difiere en los resultados en la operación de macerado	Grado alcohólico	Alcoholímetro
	- Tiempos de operacionalización	Unidad de medida para determinar la duración de una operación o proceso	Segundos	Cronómetro

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

2.4.2 Matriz de consistencia

Tabla 2-2: Matriz de Consistencia de Aspectos Generales y Específicos

Aspectos Generales			
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Técnica de recolección de datos
¿Cómo se realizará la evaluación del proceso de obtención de saponina a partir del mojuelo de quinua para optimizar cada una de sus operaciones unitarias?	Evaluar el proceso industrial para la obtención de saponina a partir del mojuelo de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>).	Con la “EVALUACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE SAPONINA A PARTIR DEL MOJUELO DE QUINUA (<i>Chenopodium quinoa</i>)” se logrará optimizar el proceso global de obtención y mejorar sus valores cuantificables.	Análisis técnicos en laboratorios certificados

Aspectos Específicos			
Problemas Específicos	Objetivos	Hipótesis	Técnica de recolección de datos
¿De qué manera la realización de un estado del arte sobre las operaciones necesarias para la obtención de saponina facilitarán el desarrollo de la investigación?	Realizar un estado del arte de los procesos de obtención de saponina del mojuelo de la quinua	Con la realización del estado del arte se facilitará el desarrollo efectivo de las operaciones o procesos a utilizar para la obtención de saponina	Revisión bibliográfica
¿Se podría optimizar el proceso de obtención de saponina con la combinación de diferentes operaciones unitarias?	Determinar el proceso de extracción de saponina más efectivo a partir del mojuelo de la quinua como materia prima	Mediante la evaluación de los procesos de extracción se optimizará la obtención de saponina a partir del mojuelo de la quinua	Pruebas de evaluación de las diferentes operaciones unitarias de extracción, filtración y secado para la evaluación del proceso de obtención de saponina
¿De qué manera se relaciona el proceso de filtración con la retención y eliminación de proteínas y almidones del mojuelo de la quinua?	Establecer el mecanismo de filtración más óptimo para la separación de saponina de otros componentes no deseados, como proteínas y almidones	Con la experimentación de operaciones unitarias de filtración se retendrá mayor cantidad de almidones y proteínas como componentes no deseados	Lectura directa del tiempo de filtración y cantidad de material residual retenido en un determinado medio filtrante
¿Qué proceso de secado resultará más eficiente para la eliminación de humedad en la obtención de saponina?	Decidir el proceso de secado más eficiente para la obtención final de saponina	Mediante la experimentación de operaciones unitaria de secado a desarrollarse se logrará optimizar el proceso de obtención de saponina	Lectura directa de temperatura, tiempo y diferencia de pesos inicial y final
¿La validación del proceso industrial más óptimo dependerá de los valores medidos mediante espectrofotometría UV-VIS del producto final obtenido?	Validar el proceso industrial más óptimo mediante la evaluación de la calidad de saponina extraída a través de técnicas cromatográficas como HPLC o espectrofotometría UV-VIS	Mediante técnicas cromatográficas como HPLC o espectrofotometría UV-VIS se validará el proceso industrial más óptimo en base al porcentaje y calidad de saponina extraída	Cuantificación mediante técnicas de Espectrofotometría UV-VIS

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

2.5 Diseño de la Investigación

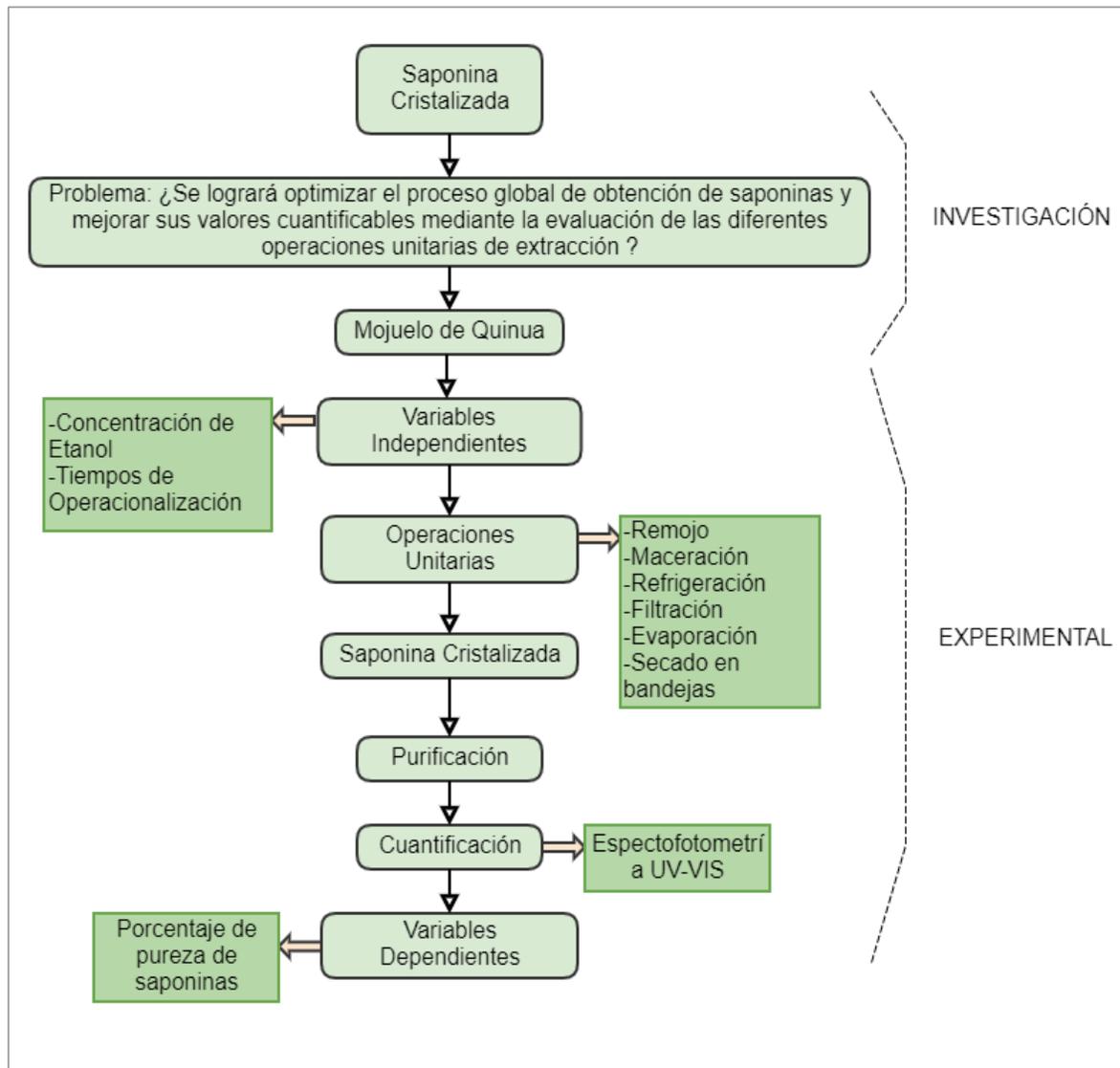


Figura 1-2: Representación esquemática del Diseño de la Investigación

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

2.5.1 *Diseño del tratamiento experimental*

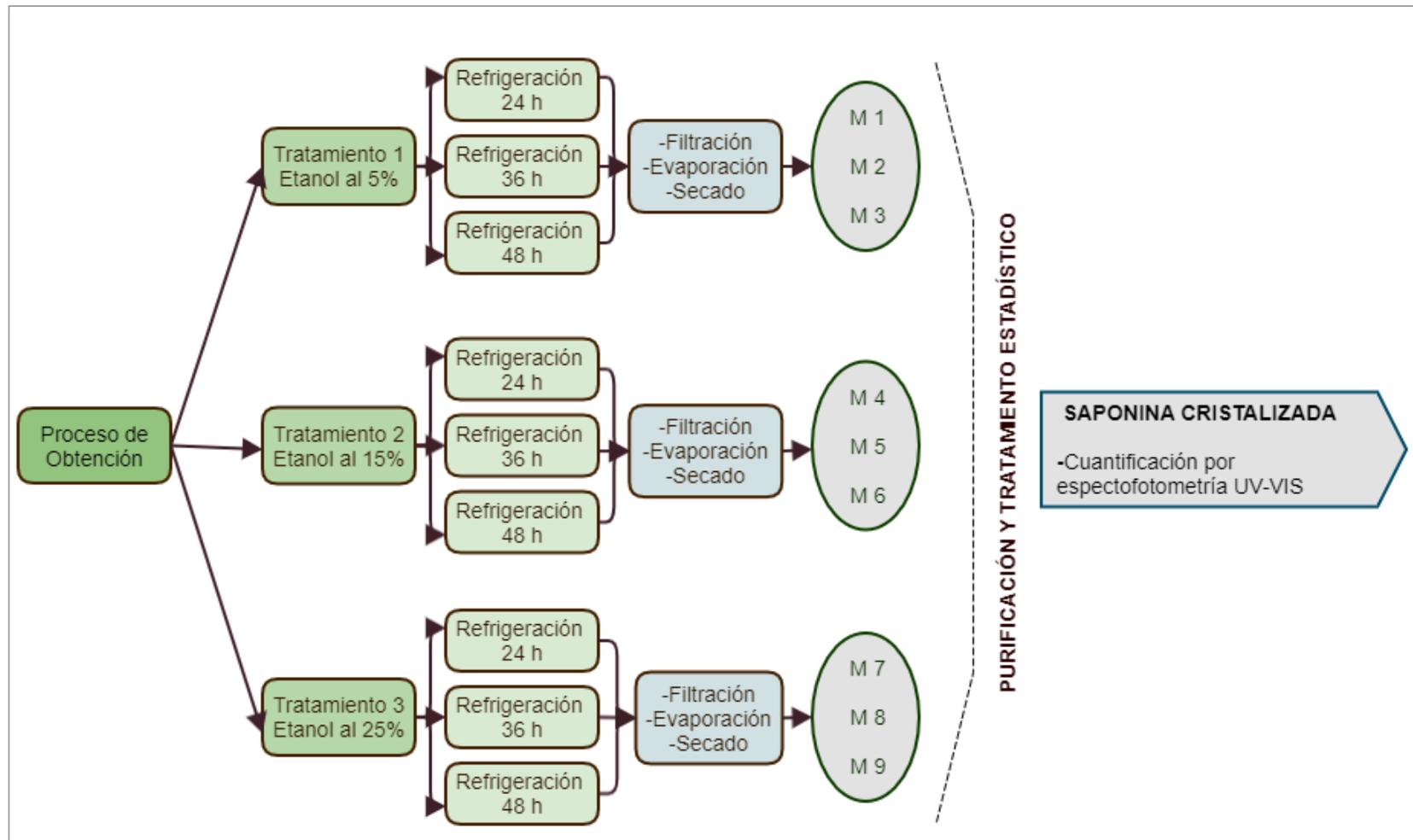


Figura 2-2: Diseño Experimental de la Investigación

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

2.6 Unidad de Análisis

Para la presente investigación la unidad de análisis será el mojuelo de quinua, al cual se lo someterá a una serie de operaciones unitarias para obtener saponina y poderla cuantificarla.

2.7 Población de estudio

Mojuelo de quinua que constituye alrededor del 4,5% del total de grano producido en la empresa Maquita Cushunchic, productora de quinua de la provincia de Chimborazo.

Además, se verán beneficiadas las poblaciones cercanas a la empresa productora, ya que, al obtener saponina, está ya no sería desechada en las aguas de lavado logrando así reducir el impacto ambiental que estas generan al ser consideradas contaminantes.

2.8 Tamaño de la muestra

Del total de la población se utilizará un tamaño experimental de 500 g de mojuelo para cada uno de los ensayos y repeticiones. Posteriormente mediante cálculos de ingeniería se determinará las cantidades exactas para realizar las operaciones del proceso a un nivel macro con valores reales de la cantidad de mojuelo producido anualmente en la empresa Maquita Cushunchic, con el objetivo de realizar la obtención de saponina a nivel industrial.

2.9 Selección de muestra

Las muestras de mojuelo a utilizar serán tomadas de la empresa productora Maquita Cushunchic en la provincia de Chimborazo; ya que, por estudios previos, se conoce que el porcentaje de saponina obtenido de su mojuelo de quinua es el más alto.

Por lo que se realizará una visita a mencionada empresa, para verificar las características in-situ de la muestra.

2.10 Localización del Trabajo de Integración Curricular

El Trabajo de Integración Curricular en mención, está orientado a la obtención de saponina a partir del mojuelo de quinua provisto por la empresa Maquita Cushunchic de la provincia de Chimborazo, para posteriormente realizar todas las operaciones unitarias necesarias de obtención y procesos de cuantificación en los laboratorios de Procesos Industriales e Investigación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo respectivamente.



Figura 3-2: Localización de la empresa “Maquita Cushunchic”

Fuente: Google Earth, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.



Figura 4-2: Ubicación de los laboratorios de Procesos Industriales e Investigación

Fuente: Google Earth, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

2.11 Técnicas de Recolección de Datos

A continuación, se describe el proceso para la obtención de saponinas a partir del mojuelo de quinua, partiendo desde la etapa de remojo hasta la cristalización por secado en bandejas.

La metodología utilizada en el proceso fue en base a consideraciones e investigaciones previas a nivel de laboratorio.

2.11.1 Procedimiento para la obtención de saponinas a nivel de laboratorio

Ensayo 1

Se pesó con la ayuda de una balanza 500 g de mojuelo de quinua y se colocó en una bolsa de lino, a continuación, se procedió a colocar la bolsa de lino juntamente con el mojuelo dentro de un recipiente que contenía 2800 ml de agua destilada y 700 ml de etanol con una concentración al 5% para la operación de remojo durante 15 min. Luego, dentro del mismo recipiente y con las mismas cantidades de agua y etanol se realizó la operación de maceración durante 45 min; ambas operaciones se realizaron a temperatura ambiente.

Posteriormente, con la ayuda de un embudo se trasvasó el líquido de lavado de la etapa de maceración a un envase plástico, se cerró y se colocó dentro de un cuarto frío para la etapa de refrigeración, la cual fue realizada bajo condiciones de tiempo y temperatura controladas; 24, 36 y 48 horas y 10 °C respectivamente en la realización de 3 repeticiones. Transcurrido los tiempos indicados, se procedió a filtrar el líquido con la ayuda de papel filtro, reteniendo así, los sedimentos formados durante la etapa de refrigeración.

A continuación, con la ayuda de un evaporador se realizó la operación unitaria de evaporación de la muestra hasta obtener un líquido siruposo; el cuál, se procedió a colocar en una bandeja de vidrio para luego ingresarla a un secador de corriente de aire continua a una temperatura de 55 °C para la etapa de secado, operación que ayudó a eliminar la humedad total de la muestra. Finalmente se obtuvo saponina en forma cristalizada, la cual se envasó y guardó para su posterior cuantificación.

Los datos y valores obtenidos en cada una de las 3 repeticiones de las operaciones unitarias realizadas bajo la misma metodología y condiciones de operación se pueden observar en la tabla 3-2 que se muestra a continuación.

Tabla 3-2: Ensayo 1 (Etanol 5%) para la obtención de saponina a partir de mojuelo de quinua

Estándares de Medición	Tiempo de Operación (min)	Volumen Inicial (ml)	Volumen Final (ml)	Variación de Volumen (ml)
Operaciones Unitarias				
Remojo	15	3500	3500	0
Maceración	45	3500	2900	600
Refrigeración	1440	2900	2900	0
	2160			
	2880			
Filtración	158	2900	2475	425
	154		2425	475
	150		2400	500
Evaporación	115	2475	164	2311
	118	2425	112	2313
	108	2400	110	2290
Secado en Bandejas	358	164	82	82
	320	112	54	58
	319	110	52	58

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

Ensayo 2

Se realizó 3 repeticiones bajo la misma metodología de operación que en el **ensayo 1**, variando la siguiente condición de operación:

- Concentración de etanol 15%

Los datos y valores obtenidos se pueden observar en la tabla 4-2 que se muestra a continuación.

Tabla 4-2: Ensayo 2 (Etanol 15%) para la obtención de saponina a partir de mojuelo de quinua

Estándares de Medición	Tiempo de Operación (min)	Volumen Inicial (ml)	Volumen Final (ml)	Variación de Volumen (ml)
Operaciones Unitarias				
Remojo	15	3500	3500	0
Maceración	45	3500	2900	600
Refrigeración	1440	2900	2900	0
	2160			
	2880			
Filtración	163	2900	2600	300
	158		2525	375
	156		2510	390
Evaporación	125	2600	186	2414
	127	2525	134	2391
	124	2510	130	2380
Secado en Bandejas	340	186	112	74
	300	134	80	54
	302	130	76	54

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

Ensayo 3

Se realizó 3 repeticiones bajo la misma metodología de operación que en el **ensayo 1**, variando la siguiente condición de operación:

- Concentración de etanol 25%

Los datos y valores obtenidos se pueden observar en la tabla 5-2 que se muestra a continuación.

Tabla 5-2: Ensayo 3 (Etanol 25%) para la obtención de saponina a partir de mojuelo de quinua

Estándares de Medición	Tiempo de Operación (min)	Volumen Inicial (ml)	Volumen Final (ml)	Variación de Volumen (ml)
Operaciones Unitarias				
Remojo	15	3500	3500	0
Maceración	45	3500	2900	600
Refrigeración	1440	2900	2900	0
	2160			
	2880			
Filtración	160	2900	2500	400
	155		2440	460
	152		2405	495
Evaporación	122	2500	168	2332
	120	2440	115	2325
	106	2405	124	2281
Secado en Bandejas	355	168	88	80
	316	115	58	57
	299	124	70	54

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

2.11.2 Procedimiento para la cuantificación de saponinas por espectrofotometría UV-VIS

2.11.2.1 Etapa de Purificación

Basado en la investigación de Vicente Gianna (Gianna, 2013, p. 94), una vez obtenida la saponina en forma cristalizada se procedió a su purificación bajo el principio de una extracción con solvente líquido-líquido, la cual se emplea para separar una mezcla en solución por diferencia de solubilidades entre sus componentes cuando son líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles; como es el caso entre agua y n-butanol.

Con la extracción líquido-líquido, se extrae una sustancia (soluto) a partir de una solución poniéndola en contacto con otro líquido, inmiscible o parcialmente miscible, con el solvente de la solución, que tiene mayor afinidad por el soluto, pasando una parte del soluto de la solución al líquido extractante, de esta forma el soluto se reparte entre ambas fases estableciendo un equilibrio (Gianna, 2013, p. 94).

De acuerdo con Vicent Gianna (Gianna, 2013, p. 94–99), se procedió a pesar 15,000 g de saponina cristalizada y se colocó en un vaso de precipitación conjuntamente con 400 ml de agua destilada y se agitó hasta total dilución con una varilla de agitación. Luego, se agregó 100 ml de n-butanol de calidad reactivo analítico y se colocó el vaso de precipitación en un shaker para la extracción bajo condiciones de tiempo y temperatura establecidas, 1 hora y 25 °C respectivamente.

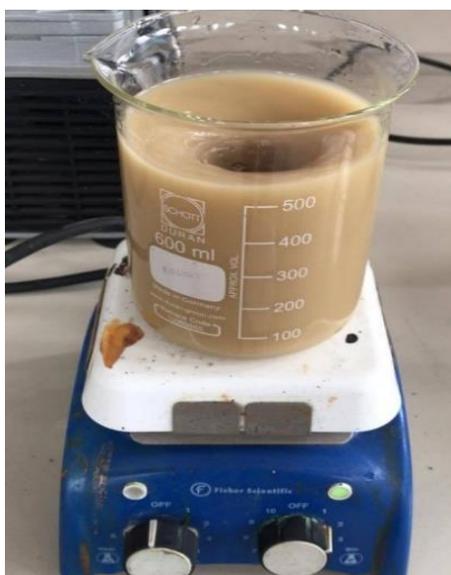


Figura 5-2: “Shaker” para extracción

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

A continuación, se colocó la solución en un frasco con tapa y se lo dejó en refrigeración por un lapso de 3 días; observándose así, la formación de dos fases, la capa superior es la solución acuosa del concentrado de saponinas.



Figura 6-2: Extracto butanólico (capa superior)

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

Se separó el extracto butanólico con la ayuda de una “*spinal needle*”, y se procedió a concentrar a sequedad en un rotavapor escala de laboratorio. El producto obtenido tenía un color blanquecino un poco amarillento, que basado en la investigación de Vicente Gianna (Gianna, 2013, p. 100) la concentración de saponinas es aproximadamente de 90%.

La saponina purificada fue utilizada como patrón de referencia para la cuantificación por espectrofotometría UV-VIS de las muestras de saponina cristalizada obtenida.



Figura 7-2: Rotavapor escala de laboratorio

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

2.11.2.2 Construcción de Curva de Calibración

En la presente investigación, la cuantificación se realizó por derivatización de las saponinas y medición de su absorbancia en la parte visible del espectro a una longitud de onda de 528 nm (Gianna, 2013, p. 61).

Dicha cuantificación se realizó mediante la reacción de Liebermann-Burchard:

Para dar coloración a la solución de saponina total extraída se utiliza el reactivo de color que es una mezcla de anhídrido acético y ácido sulfúrico en una proporción de 1:5. La proporción de la muestra con el reactivo de color 1:3,5. La muestra fue leída a una longitud de onda de 528 nm. La presente técnica no tiene interferencia con colores que pueda presentar la quinua y tiene la virtud de determinar el total de las saponinas presentes en el producto (Monje y Raffaillac, 2006).

Se preparó el reactivo de Liebermann-Burchard (60 ml) midiendo el volumen necesario de ácido sulfúrico (50 ml), calidad analítica y se lo colocó en un frasco Erlenmeyer sumergido en un baño de agua fría, luego de algunos minutos se agregó lentamente el volumen de anhídrido acético (10 ml), calidad analítica con agitación continua. El orden de mezclado de los reactivos debe ser el indicado, ya que realizándolo de manera inversa se pueden formar compuestos de color amarillento intenso.

Se pesó 0,200 g de puro de saponina y se diluyó en etanol absoluto, aforando la solución en un balón aforado de 10 ml. De la muestra patrón preparada a una concentración de 20 mg/ml se tomó 4 alícuotas de 0,600; 0,800; 1,00 y 2,00 ml y se aforaron en balones de 10 ml con etanol absoluto. A continuación, se tomó 1,00 ml de cada balón y se colocó en diferentes tubos de ensayo, luego se colocó el reactivo de Liebermann-Burchard (previamente preparado) en cada uno en una proporción 1:3,5 (Gianna, 2013, p. 63). Finalmente se procedió a leer las absorbancias antes de los 50 minutos, obteniéndose los siguientes datos:

Tabla 6-2: Datos para la construcción de la curva de calibración

Concentración de saponinas (mg/ml)	Absorbancias	Pendiente	Intercepto
1,2	0,131	0,210689655	-0,130017241
1,6	0,207		
2	0,280		
4	0,716		

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

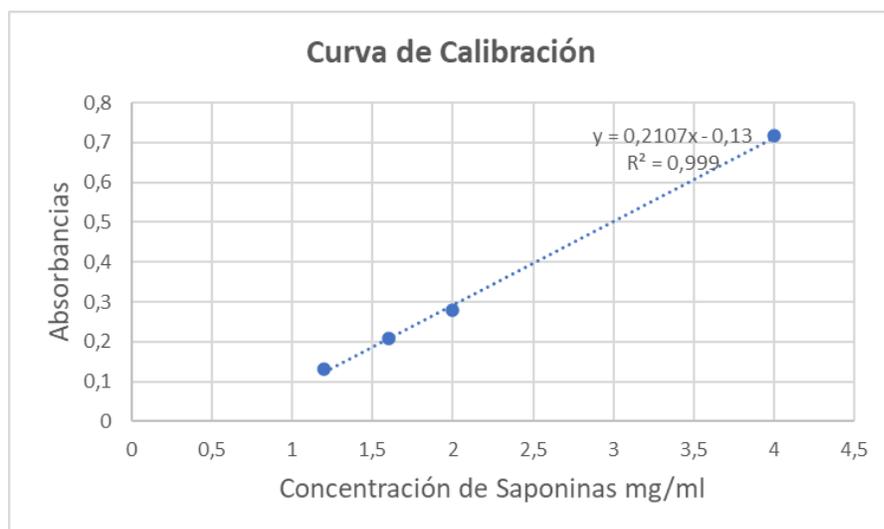


Gráfico 1-2: Curva de Calibración para cuantificación de saponinas

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

Realizada la curva de calibración, se procedió a cuantificar las 9 muestras de saponina cristalizada obtenida. Se pesó 0,100 g, se trituró y diluyó con etanol absoluto aforando hasta 10 ml cada una de las muestras. A continuación, se tomó 1,00 ml de cada muestra y se colocó en diferentes tubos de ensayo, luego se colocó el reactivo de Liebermann-Burchard en cada uno en una proporción 1:3,5 (Gianna, 2013, p. 64). Finalmente se procedió a leer las absorbancias antes de los 50 minutos; y aplicando la siguiente ecuación se obtuvo los siguientes resultados de pureza:

$$X = \frac{Y - b}{m}$$

$$M15: 24 = \frac{(0,397 + 0,13)}{0,2107}$$

$$M15: 24 = 2,5011 * \frac{10}{0,10 * 1000} * 100$$

$$M15: 24 = 25,014 \%$$

Donde:

X = Concentración de saponinas

Y = Absorbancias

b = Intercepto

m = Pendiente

Tabla 7-2: Cuantificación de porcentaje de pureza de saponinas por espectrofotometría UV-VIS

Codificación de Muestras	Absorbancias	Concentración de Saponinas mg/ml	% Pureza
M15-48	0,242	1,766	17,657
M25-48	0,219	1,657	16,565
M5-48	0,094	1,063	10,633
M15-36	0,249	1,799	17,989
M25-36	0,114	1,158	11,582
M5-36	0,099	1,087	10,870
M15-24	0,397	2,501	25,014
M25-24	0,248	1,794	17,942
M5-24	0,213	1,628	16,281

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

2.11.3 Escalamiento Industrial para la obtención de saponinas

2.11.3.1 Etapa de Remojo

Tabla 8-2: Datos de partida para la Operación de Remojo

	Simbología	Valor	Unidades	Referencia
Masa de mojuelo	Mm	32,00	Kg	Maquita Cushunchic
Densidad de la quinua = densidad del mojuelo	dM	1480,00	Kg/m ³	(Castañeda, 2018, p. 62)
Volumen de mojuelo	Vm	0,0216	m ³	-

Fuente: Maquita Cushunchic, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

Se propone realizar la operación de remojo en un tanque tipo cilindro perfecto de material “Acero SUS 304” al considerar el mojuelo de quinua como un alimento; para lo cual se realizó los siguientes cálculos de escalamiento:

$$VAr = Vm + Vm * C$$

$$VAr = 0,0216 + (0,0216 * 0,10)$$

$$VAr = 0,0238 \text{ m}^3$$

Donde:

VAr = Volumen de agua de remojo

Vm = Volumen de mojuelo

C = Constante para remojo = 0,10 (Castañeda, 2018, p.30)

$$VT = (VAr + Vm) + (VAr + Vm) * fs$$

$$VT = (0,0238 + 0,0216) + ((0,0238 + 0,0216) * 0,15)$$

$$VT = 0,0522 \text{ m}^3$$

$$VT = 52,2 \text{ litros}$$

Donde:

VT = Volumen total de capacidad del tanque

fs = Factor de seguridad de diseño = 0,15 (Perry, 1993, p.100)

Balances de materia para la Operación de Remojo

$$MAe = dA * VAr$$

$$MAe = 998 * 0,0238$$

$$MAe = 23,75 \text{ Kg}$$

Donde:

MAe = Masa de agua de entrada

dA = Densidad del agua = 998 Kg/ m³ (Cengel y Boles, 2012, p.908)

$$MA_s = MAe - (MAe * IP)$$

$$MA_s = (23,75 - (23,75 * 0,05))$$

$$MA_s = 22,56 \text{ Kg}$$

Donde:

MA_s = Masa de agua de salida

IP = Índice de permeabilidad del mojuelo = 0,05 (Castañeda, 2018)

$$MM_s = MMe + (MAe * IP)$$

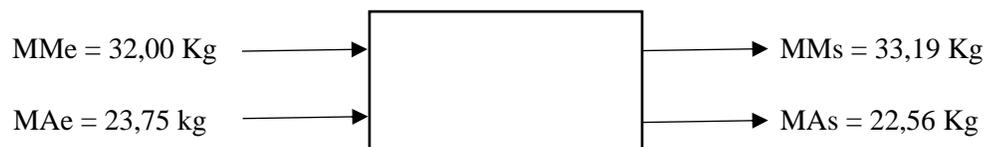
$$MM_s = (32,00 + (23,75 * 0,05))$$

$$MM_s = 33,19 \text{ Kg}$$

Donde:

MMs = Masa de mojuelo de salida

MMe = Masa de mojuelo de entrada



2.11.3.2 Etapa de Macerado

Tabla 9-2: Datos de partida para la operación de macerado

Reactivo	Valor	Unidad	Referencia
Agua	2,8	lt	Laboratorio
Etanol	0,7	lt	Laboratorio
Mojuelo	0,5	Kg	Laboratorio
Densidad etanol	783	Kg/m ³	(Cengel y Boles ,2012, p.912)

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

Se propone realizar la operación de macerado bajo las mismas consideraciones de la operación de remojo; para lo cual se realizó los siguientes cálculos de escalamiento:

$$Vm = \frac{MM}{dM} \qquad VAm = \left(\frac{MM * 2,8}{0,5} \right) / 1000 \qquad Ve = \left(\frac{MM * 0,7}{0,5} \right) / 1000$$
$$Vm = \frac{33,19}{1480} \qquad VAm = \left(\frac{33,19 * 2,8}{0,5} \right) / 1000 \qquad Ve = \left(\frac{33,19 * 0,7}{0,5} \right) / 1000$$
$$Vm = 0,0224 \text{ m}^3 \qquad VAm = 0,1858 \text{ m}^3 \qquad Ve = 0,0465 \text{ m}^3$$

$$VT = ((Vm + VAm + Ve) * fs) + (Vm + VAm + Ve)$$

$$VT = ((0,0224 + 0,1858 + 0,0465) * 0,15) + (0,0224 + 0,1858 + 0,0465))$$

$$VT = 0,2929 \text{ m}^3$$

$$VT = 292,9 \text{ litros}$$

Donde:

VT = Volumen total de capacidad del tanque

Vm = Volumen de mojuelo

VAm = Volumen de agua de macerado

Ve = Volumen de etanol

Balances de materia para la Operación de Macerado

$$MAe = VAm * dA$$

$$MAe = 0,1858 * 998$$

$$MAe = 185,43 \text{ Kg}$$

$$MEe = Ve * dE$$

$$MEe = 0,0465 * 783$$

$$MEe = 36,41 \text{ Kg}$$

Donde:

MAe = Masa de agua de entrada

MEe = Masa de etanol de entrada

dA = Densidad del Agua

dE = Densidad del etanol

En base a la experimentación en laboratorio, se determinó que la masa de solución luego de la operación de macerado es de 72,5% del total de materia prima y reactivos que intervienen en el proceso.

$$MSs = (MM + MAe + MEe) * 0,725$$

$$MSs = (33,19 + 185,43 + 36,41) * 0,725$$

$$MSs = 184,90 \text{ Kg}$$



2.11.3.3 Etapa de Refrigeración

Tabla 10-2: Datos de partida para la Operación de Refrigeración

	Simbología	Valor	Unidades	Referencia
Cp del agua	CpA	4,18	KJ/KgK	(Cengel & Boles, 2012, p.908)
Cp del etanol	CpE	2,46	KJ/KgK	(Cengel & Boles, 2012, p.908)
Cp del mojuelo	CpM	5,39E-09	KJ/KgK	(Castañeda, 2018, p. 54)

Fuente: Cengel & Boles, 2012.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

Se propone realizar la operación de refrigeración en un cuarto frío, por lo que cual, se determinó la potencia necesaria para enfriar la masa de solución proveniente de la operación anterior a las condiciones establecidas a nivel de laboratorio.

$$QT = \Sigma Cp * MS * \Delta T$$

$$QT = (4,18 + 2,46 + 5,39E - 09) * (184,90) * (10 - 18)$$

$$QT = - 9821,89 \text{ KJ}$$

Donde:

QT = Calor total necesario para enfriamiento

MS = Masa de solución

Ti = Temperatura inicial = 18 °C

Tf = Temperatura final = 10 °C

$$P = \frac{QT}{t}$$

$$P = \frac{-9821,89 \text{ KJ}}{86400 \text{ s}}$$

$$P = 0,1137 \text{ KW}$$

Donde:

P = Potencia requerida para enfriamiento

t = Tiempo de operación de enfriamiento

2.11.3.4 *Etapas de Filtración*

Se propone realizar la operación de filtración desde un tanque cilindro perfecto volteable manualmente hacia un evaporador con la utilización de papel filtro. En base a la experimentación en laboratorio se determinó que en el proceso previo de refrigeración se formaron sedimentos que corresponden aproximadamente a un 10,34% del total de la masa de solución; además, parte de ese porcentaje se encuentra aún como partículas en suspensión que fueron retenidas con la ayuda del papel filtro. Estos sedimentos corresponden a impurezas (almidones y proteínas) en el proceso de obtención de saponinas.

Balances de materia para la Operación de Filtración

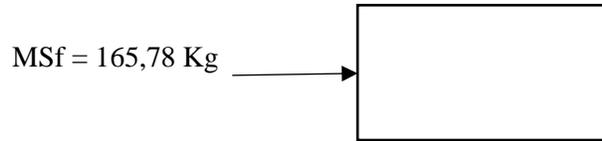
$$MS_f = MS - (MS * 0,1034)$$

$$MS_f = 184,90 - (184,90 * 0,1034)$$

$$MS_f = 165,78 \text{ Kg}$$

Donde:

MSf = Masa de solución que se ha filtrado



Bajo estas consideraciones se procedió a realizar los siguientes cálculos de escalamiento

$$VSf = MSf/dProm$$

$$VSf = 165,78/1087$$

$$VSf = 0,1525 \text{ m}^3$$

$$VSed = MSed/dProm$$

$$VSed = 19,12/1087$$

$$VSed = 0,0176$$

Donde:

VSf = Volumen de solución filtrada

Vsed = Volumen de sedimentos

Msed = Masa de sedimentos

dProm: Promedio entre las densidades de agua, etanol y mojuelo

$$VTce = VSf + (VSf * fs)$$

$$VTce = 0,1525 + (0,1525 * 0,15)$$

$$VTce = 0,1754 \text{ m}^3$$

$$VTce = 175,4 \text{ litros}$$

Donde:

VTce = Volumen total de capacidad del evaporador donde se filtrará la solución

El caudal de filtración calculado es un valor aproximado debido a las múltiples variaciones de materia en cada una de las operaciones en los diferentes tratamientos diarios de la materia prima.

$$Qf = V/t$$

$$Qf = \frac{MSf}{\frac{dProm}{t}}$$

$$Qf = \frac{165,78 \text{ Kg}}{\frac{1087 \text{ Kg/m}^3}{2,44 \text{ h}}}$$

$$Qf = 0,0625 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

Qf = Caudal de filtración

t: tiempo de filtración

2.11.3.5 *Etapas de Evaporación*

Se propone realizar el proceso de evaporación en un evaporador de efecto simple, construido en acero SUS 304. A continuación, se estableció las siguientes consideraciones.

$$Qt = \Sigma Cp * MSe * \Delta T$$

$$Qt = (4,18 + 2,46 + 5,39E - 09) * (165,78) * (98 - 15)$$

$$Qt = 91364,67 \text{ KJ}$$

Donde:

Qt = Calor necesario para alcanzar la temperatura de evaporación

MSe = Masa de solución de entrada al evaporador

Ti = Temperatura inicial = 15 °C

Tf = Temperatura final = 98 °C

$$P = \frac{QT}{t}$$

$$P = \frac{91364,67 \text{ KJ}}{7500 \text{ s}}$$

$$P = 12,18 \text{ KW}$$

Se propone calentar el sistema mediante un mecanismo de transferencia de calor por conducción mediante la utilización de resistencias eléctricas de cerámica tipo abrazadera que proveen una potencia de 5,08 KW (Perry, 1993, p.300).

$$NR = P/5,08$$

$$NR = \frac{12,18}{5,08}$$

$$NR = 2,40 \approx 3$$

Donde:

NR = Número de resistencias requeridas

Balances de materia para la Operación de Evaporación

En base a la experimentación a nivel de laboratorio se determinó que el porcentaje de solución evaporada es de 92,85 % lo que corresponde a etanol y agua.

$$MConc = MSe - (MSe * 0,9258)$$

$$MConc = 165,78 - (165,78 * 0,9258)$$

$$MConc = 12,30 \text{ Kg}$$

Donde:

MConc = Masa de concentrado

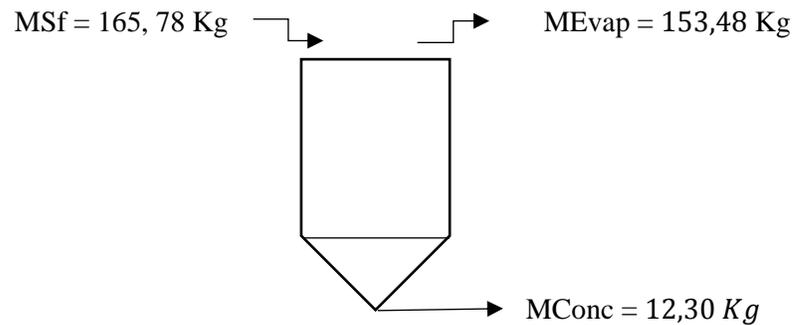
$$MEvap = MSe - MConc$$

$$MEvap = 165,78 - 12,30$$

$$MEvap = 153,48 \text{ Kg}$$

Donde:

MEvap = Masa de evaporado



Balances de energía para la Operación de Evaporación

Se tomó de referencia el agua debido a que es el componente con mayor proporción dentro del sistema de evaporación (80%). En base a esta consideración se realizó el balance de energía del componente agua, partiendo de los siguientes datos:

Masa de agua filtrada: $Maf = 132,62 \text{ Kg}$

Masa de agua evaporada: $Mae = 122,78 \text{ Kg}$

$$QT = (Maf * h1) + (Mae * h2)$$

$$QT = (132,62 * 62,982) + (122,78 * 2667,6)$$

$$QT = 335880,60 \text{ KJ}$$

Donde:

QT = Calor total requerido para el proceso de evaporación

h1: Entalpía del agua, líquido saturado a 15 °C = 62,982 KJ/Kg (Cengel y Boles, 2012, p.915)

h2: Entalpía del agua, vapor saturado a 98 °C = 2667,6 KJ/Kg (Cengel y Boles, 2012, p.915)

$$\Delta Q = (Maf * h1) - (Mae * h2)$$

$$\Delta Q = (132,62 * 62,982) - (122,78 * 2667,6)$$

$$\Delta Q = -319175,26 \text{ KJ}$$

Donde:

ΔQ = Calor total desprendido en el proceso de evaporación

2.11.3.6 Etapa de Secado en bandejas

Se propone realizar la operación de secado en un secador de bandejas tipo armario con corriente de aire. En base a la experimentación a nivel de laboratorio se determinó las siguientes consideraciones.

Tabla 11-2: Datos de partida para la Operación de Secado en Bandejas

	Laboratorio	Escalamiento Industrial	Unidades
Largo Bandeja	0,27	1,10	m
Ancho Bandeja	0,19	0,77	m
Área	0,0513	0,85	m ²

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

$$ATr = \frac{MConc * Al}{MI}$$

$$ATr = \frac{12,30 * 0,0513}{0,186}$$

$$ATr = 3,39 \text{ m}^2$$

Donde:

ATr = Área total requerida para el proceso de secado

Al = Área requerida a nivel de laboratorio

MI = Masa secada a nivel de laboratorio

El área total requerida se repartió para realizar el secado en 4 bandejas.

$$ATr = \frac{3,39}{4}$$

$$ATr = 0,85 \text{ m}^2$$

A continuación, para escalar el tamaño de las bandejas a utilizarse, se asumió el valor de uno de sus lados.

$$a = \frac{ATr}{l}$$

$$a = \frac{0,85}{1,10}$$

$$a = 0,77 \text{ m}$$

Adicionalmente se determinó:

$$Qs = MConc * Cp(A + M) * \Delta T$$

$$Qs = (12,30) * (4,18 + 5,39E - 09) * (55 - 15)$$

$$Qs = 2056,56 \text{ KJ}$$

Donde:

Q_s = Calor de secado

T_i = Temperatura inicial = 15 °C

T_f = Temperatura final = 55 °C

$$P = \frac{Q_s}{t}$$

$$P = \frac{2056,56}{20400}$$

$$P = 0,1008 \text{ KW}$$

Donde:

P = Potencia requerida en el proceso de secado

Balance de materia para la Operación de Secado en Bandejas

El porcentaje de agua eliminado en el secador de bandejas fue de 39,79%

$$SC = M_{Conc} - (M_{Conc} * 0,3979)$$

$$SC = 12,30 - (12,30 * 0,3979)$$

$$SC = 7,41 \text{ Kg}$$

Donde:

SC = Saponina cristalizada obtenida

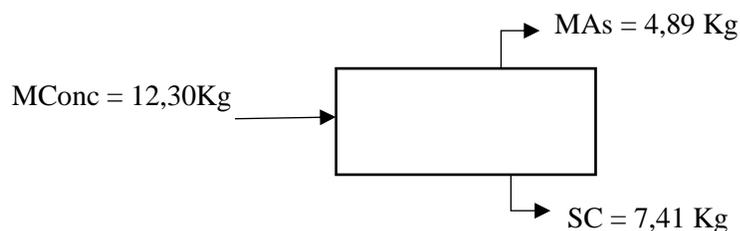
$$MAs = M_{Conc} - SC$$

$$MAs = 12,30 - 7,41$$

$$MAs = 4,89 \text{ Kg}$$

Donde:

MAs = Masa de agua secada



2.11.3.7 Proforma de equipos para la obtención de saponina cristalizada

Tabla 12-2: Proforma de equipos para la obtención de saponina

Cantidad	Descripción	Valor (\$)
1	Secador de bandejas, 4 bandejas de 1,10 x 0,77 m construidas en marco de varilla de 8 mm y malla de hilo de 0,65 mm en acero SUS 304, resistencias eléctricas 220V, ventilador centrífugo 110V, y tablero de control electrónico	2500,00
1	Evaporador volteable manualmente de 190 lt construido en acero SUS 304, con quemador a gas de 3 coronas o generador de calor por 3 resistencias eléctricas de abrazadera de 5,08 KW, sistema de control de temperatura y tablero de control electrónicos, válvula de seguridad de 20 psi	2950,00
1	Tanque cilindro perfecto de 300 lt de capacidad construido en acero SUS 304, espesor de plancha de 2 mm, válvula sanitaria de 1,5 in, refuerzo de varilla de 10 mm	550,00
1	Tanque cilindro perfecto de 200 lt de capacidad construido en acero SUS 304, espesor de plancha de 2 mm, válvula sanitaria de 1,5 in, refuerzo de varilla de 10 mm	480,00
1	Tanque cilindro perfecto de 55 lt de capacidad construido en acero SUS 304, espesor de plancha de 2 mm, válvula sanitaria de 1,5 in, refuerzo de varilla de 10 mm	380,00
SUBTOTAL		8360,00
TOTAL		9363,20

Fuente: ICSI ACERO, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

2.11.4 Balance de Materia General

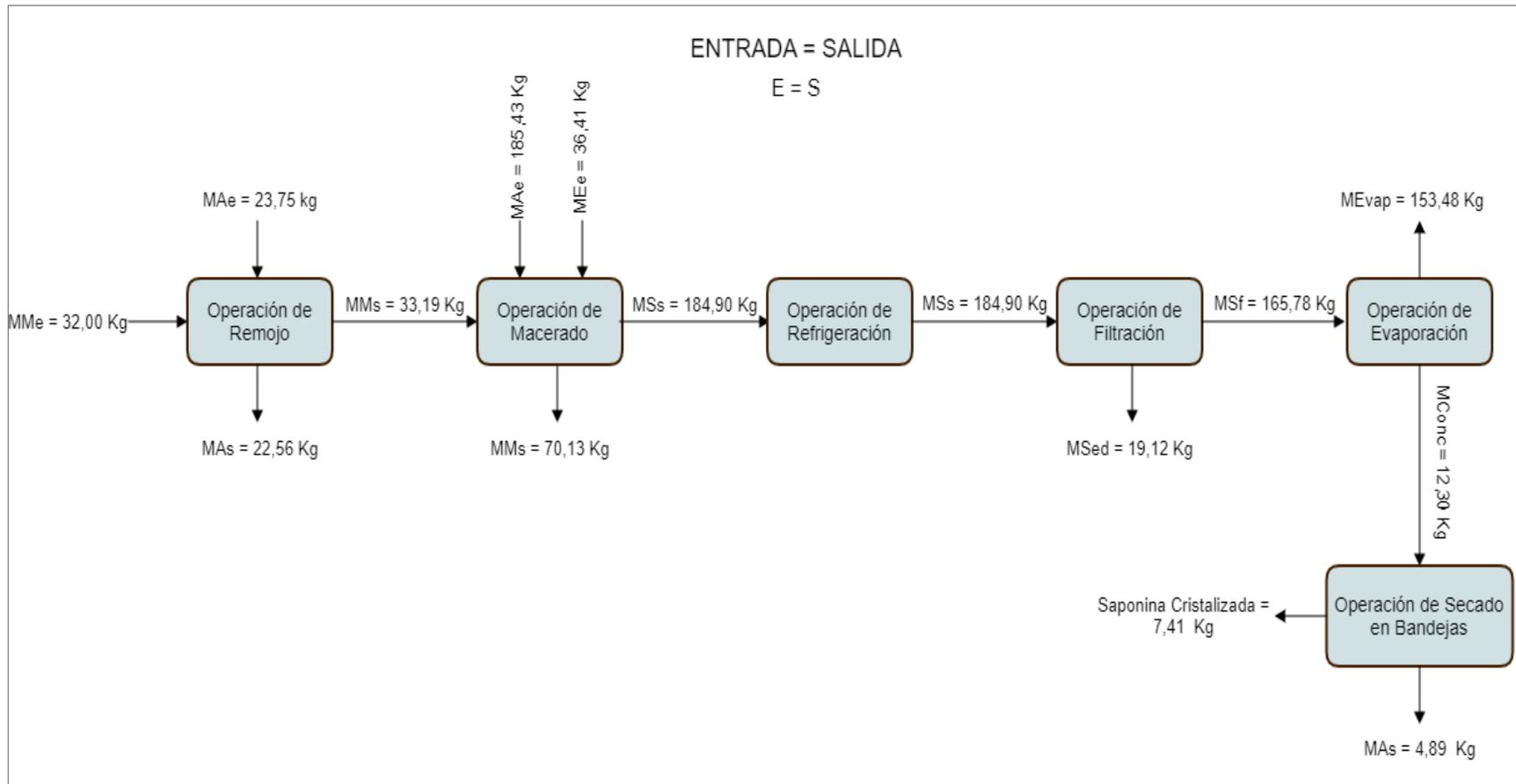


Figura 8-2: Balance de Materia General del Proceso de Obtención de Saponinas

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

2.12 Tratamiento y Diseño Experimental

Para el ordenamiento del diseño experimental se utiliza el arreglo ortogonal de Taguchi, el modelo estadístico es un diseño 3^2 ; es decir, se considera dos factores que corresponden a las diferentes concentraciones de etanol en la etapa de macerado y el tiempo de operación en la etapa de refrigeración, los cuales afectan al porcentaje de saponina obtenida como variable dependiente.

Para las pruebas de porcentaje de saponina se realiza un análisis de varianza ANOVA, que establece las diferencias significativas entre las medias, relacionadas con las diferentes concentraciones de etanol en cada tratamiento. Se realiza un total de nueve observaciones en función de tres niveles para el análisis.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Resultados obtenidos para la obtención de saponina a nivel de laboratorio

Las etapas preliminares en el proceso de obtención de saponinas fueron la operación de remojo y macerado, etapa en la cual el parámetro más importante a considerar es la concentración de etanol, ya que, mediante su variación, se procede a verificar y medir el volumen de sedimentos formados en la siguiente operación, la etapa de refrigeración.

3.1.1 Resultados de la operación de refrigeración

En la tabla a continuación, se muestran los resultados de volumen de sedimentos formados en la etapa de refrigeración en cada uno de los 9 ensayos realizados; los valores indican que mientras mayor es el tiempo de refrigeración mayor es el volumen de sedimentos formados.

Tabla 1-3: Resultados de volumen de sedimentos formados en la etapa de refrigeración

		Concentración de Etanol (%)		
		5	15	25
	Tiempo de Refrigeración (h)			
Volumen de Sedimentos formados (ml)	24	425	300	400
	36	475	375	460
	48	500	390	495

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

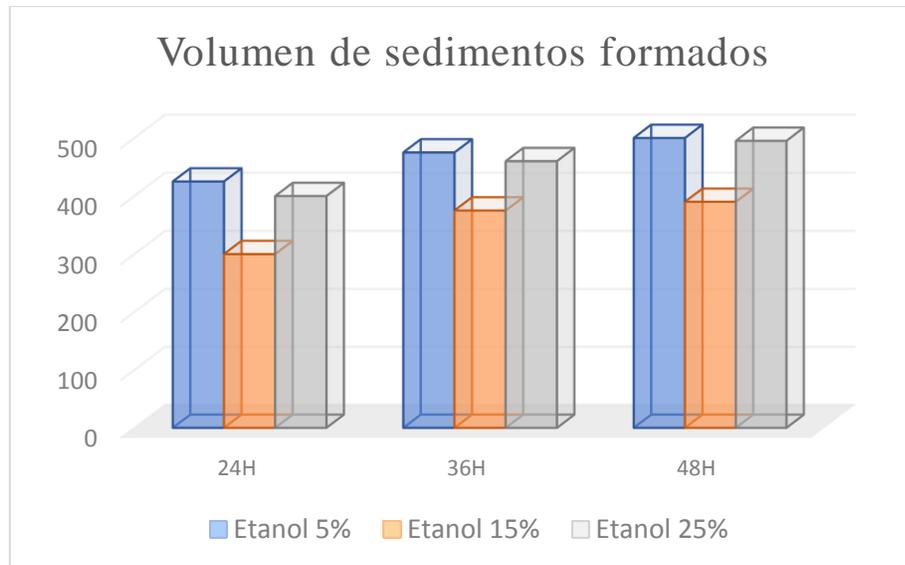


Gráfico 1-3: Volumen de sedimentos formados en la etapa de refrigeración

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

A continuación, la etapa de filtración fue realizada con el propósito de separar los sedimentos formados durante el proceso de refrigeración; los cuales fueron separados por trasvasado entre dos recipientes, proceso que fue realizado con la utilización de papel filtro.

3.1.2 Resultados de la operación de evaporación

En la tabla a continuación, se muestran los resultados de volumen de solución evaporado y concentrado en el proceso de evaporación.

Tabla 2-3: Resultados de volumen evaporado y concentrado en la operación de evaporación

Tiempo de refrigeración (h)	Concentración de etanol (%)	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)	Variación de volumen (ml)
24	5	2475	164	2311
	15	2600	186	2414
	25	2500	168	2332
36	5	2425	112	2313
	15	2525	134	2391
	25	2440	115	2325
48	5	2400	110	2290
	15	2510	130	2380
	25	2405	124	2281

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

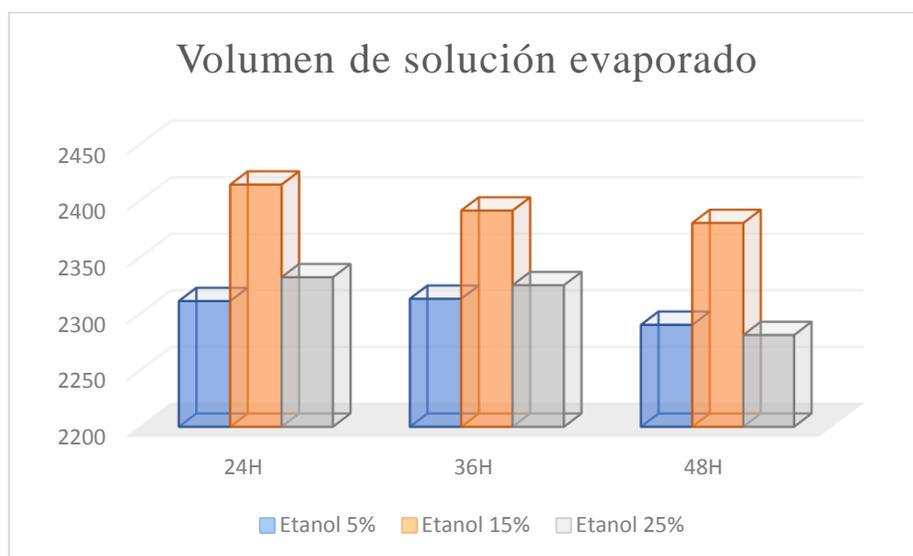


Gráfico 2-3: Volumen de solución evaporado en la etapa de evaporación

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

3.1.3 Resultados de la operación de secado en bandejas

A continuación, se muestran los resultados de la variación de peso en función al peso inicial y final de las muestras tratadas en un secador de bandejas. Se puede observar que en esta operación unitaria se mantiene el mismo patrón en cuanto al peso final en gramos de producto final obtenido en base a los ensayos realizados con etanol al 15% y los ensayos tratados al 5% y 25% de concentración de etanol.

Tabla 3-3: Resultados de variaciones de peso en la operación de secado en bandejas

Tiempo de refrigeración (h)	Concentración de etanol (%)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Variación de peso (g)
24	5	164	82	82
	15	186	112	74
	25	168	88	80
36	5	112	54	58
	15	134	80	54
	25	115	58	57
48	5	110	52	58
	15	130	76	54
	25	124	70	54

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

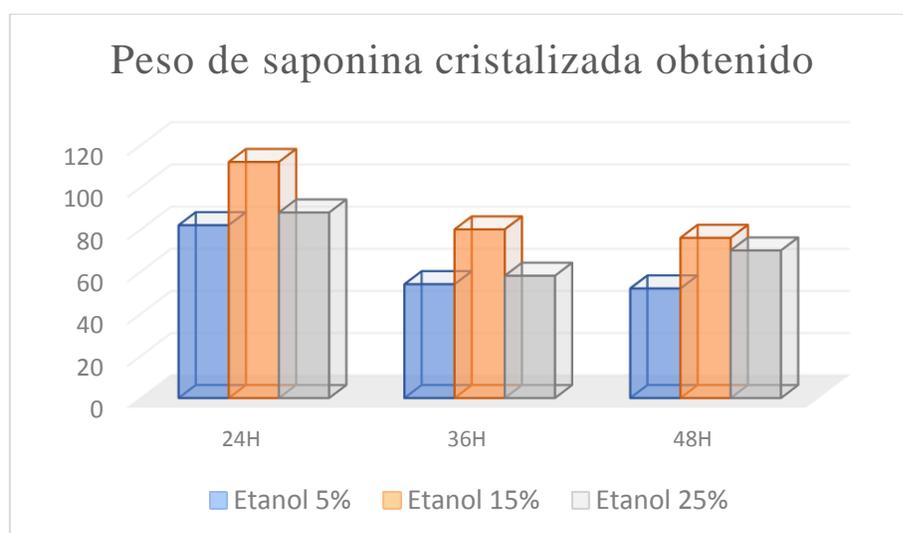


Gráfico 3-3: Peso final de saponina cristalizada obtenido

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

3.1.4 Estudio estadístico para la determinación de los parámetros de obtención más óptimos

Tabla 4-3: Análisis de la desviación estándar en función al porcentaje de saponina obtenido

Concentración de etanol %	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación (%)
5	3	12,5933	3,195	25,3706
15	3	20,22	4,15154	20,5319
25	3	15,3633	3,3473	21,7876
Total	9	16,0589	4,56511	28,4273

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

La presente tabla muestra diferencias estadísticas de porcentaje de saponina para cada uno de los 3 niveles de concentración de etanol. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles.

Tabla 5-3: Análisis del porcentaje de saponina obtenido por concentración de etanol

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	89,4262	2	44,7131	3,47	0,0997
Intra grupos	77,2955	6	12,8826		
Total	166,722	8			

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

La presente tabla ANOVA descompone la varianza de porcentaje de saponina en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 3,47081 es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05; no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de porcentaje de saponina entre un nivel de concentración de etanol y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 6-3: Medias para porcentaje de saponina por concentración de etanol, 95% de confianza

Nivel	Casos	Media	Error Estandarizado (S agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
5	3	12,5933	2,07224	9,00787	16,1788
15	3	20,22	2,07224	16,6345	23,8055
25	3	15,3633	2,07224	11,7779	18,9488
Total	9	16,0589			

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

La presente tabla muestra la media de porcentaje de saponina para cada nivel de concentración de etanol. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95,0% de las veces.

Tabla 7-3: Prueba de múltiples rangos para porcentaje de saponinas por concentración de etanol

Contraste	Significancia	Diferencia	+/- Límites
5 - 15	*	-7,62667	7,17093
5 - 25		-2,77	7,17093
15 - 25		4,85667	7,17093

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se ha colocado un asterisco junto a un par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 8-3: Análisis de varianza para porcentaje de saponinas

	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0230122	0,977336

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

El estadístico mostrado en esta tabla evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de porcentaje de saponinas dentro de cada uno de los 3 niveles de concentración de etanol es la misma. De particular interés es el valor-P, cuyo valor es mayor o igual que 0,05; es decir, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95,0% de confianza.

Además, en la siguiente tabla se muestra una comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras. No existen P-valores por debajo de 0,05; lo que indican una diferencia estadísticamente significativa entre las dos sigmas al 5% de nivel de significancia.

Tabla 9-3: Comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras

Comparación	Sigma 1	Sigma 2	F-Ratio	P-Valor
5 - 15	3,195	4,15154	0,592275	0,7439
5 - 25	3,195	3,3473	0,911071	0,9535
15 - 25	4,15154	3,3473	1,53826	0,7879

Fuente: ESPOCH, 2021.

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

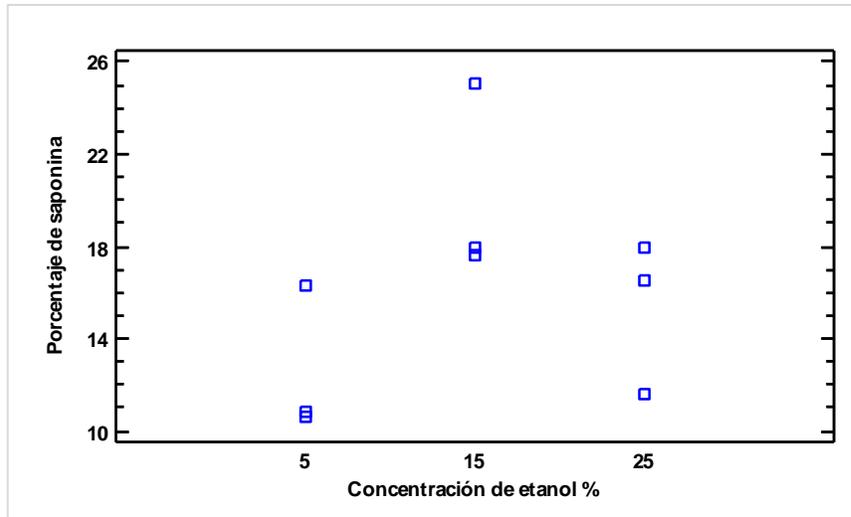


Gráfico 4-3: Dispersión por código de nivel

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

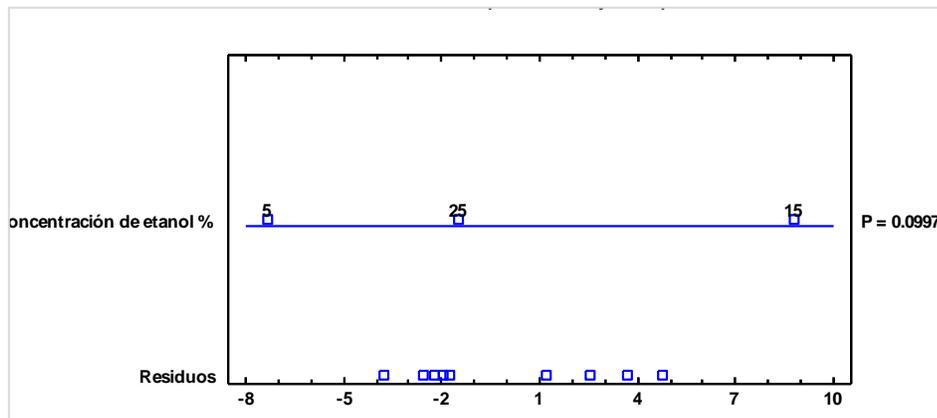


Gráfico 5-3: Porcentajes de saponina (ANOVA)

Realizado por: López Guanipatín, Sebastián, 2021.

Una vez analizados todos los datos de cada una de las operaciones unitarias realizadas en el proceso de obtención de saponina cristalizada, se determina que las condiciones más óptimas de obtención en cuanto a tiempo de refrigeración y concentración de etanol son 24 horas y 15% respectivamente. Condiciones en función a mayor cantidad de producto final a obtenerse; y luego, una vez realizada una cuantificación por espectrofotometría UV-VIS de cada una de las 9 muestras se corroboró que son las condiciones ideales en la evaluación del proceso industrial para obtención de saponinas a partir del mojuelo de quinua.

3.2 Resultados obtenidos en el escalamiento industrial del proceso

Una vez determinadas las condiciones y parámetros ideales de obtención, tratamiento de la materia prima con 15% de concentración de etanol en la etapa de macerado y 24 horas de tiempo de operación en la etapa de refrigeración, se realiza la propuesta de escalamiento del proceso global a nivel industrial.

El escalamiento parte con un enfoque hacia el tratamiento de 300 quintales de mojuelo de quinua por año; es decir, un valor aproximado de 32,00 Kg de mojuelo a tratarse por día, dato obtenido de la empresa “Maquita Cushunchic”. Para la etapa preliminar de remojo se utiliza un volumen de agua 10% mayor al volumen de materia prima a tratar. Y para la etapa de macerado, se determina los valores de agua y etanol a utilizarse como componentes principales, cantidades determinadas en relación con las utilizadas a nivel de laboratorio dependiendo de la cantidad de materia prima a tratar; en este caso, 186,80 y 46,50 litros respectivamente.

A continuación, para la operación de refrigeración se determina como parámetro principal una potencia de 0,1137 KW necesaria para enfriar una masa de solución de 165, 78 Kg hasta una temperatura de 10 °C en un tiempo de 24 horas. El costo de operación en función a la potencia requerida es de 0,29 centavos de dólar por tratamiento.

La operación de filtración se realiza con un caudal aproximado de 62,5 litros por hora con la utilización de papel filtro que ayude a la retención de partículas que se encuentran en suspensión en la solución. El volumen de sedimentos formados se separa del volumen de solución en este trasvasado manual entre recipientes.

El parámetro principal por considerar en la operación de evaporación es la potencia de 12,18 KW requerida para alcanzar el calor total necesario para evaporar 165, 78 Kg de masa de solución hasta 12,30 Kg obteniéndose un líquido de aspecto siruposo, en un tiempo aproximado de 2 horas; esta potencia será entregada a través de un quemador a gas de 3 coronas o mediante la utilización de tres resistencias eléctricas. El costo de operación en función a la potencia requerida es de 3,20 centavos de dólar por tratamiento.

Para la operación de secado en bandejas se distribuye el área total de secado requerida de 3,39 m² en 4 bandejas de 1,10 x 0,77 metros, las mismas que ingresan a un secador de corriente de aire continuo previamente programado a una temperatura de 55 °C, lográndose eliminar la humedad de la muestra en su totalidad; obteniéndose así, 7,41 Kg de saponina cristalizada. La potencia requerida en

el proceso es de 0,1008 KW considerando un tiempo de secado de 5,7 horas. El costo de operación en función a la potencia requerida es de 0,06 centavos de dólar por tratamiento.

3.3 Análisis de Hipótesis

3.3.1 Hipótesis 1

Con la realización de un estado del arte se facilitará el desarrollo efectivo de las operaciones o procesos a utilizar para la obtención de saponinas.

Se acepta esta hipótesis, pues la realización de un estado del arte facilita el correcto desarrollo de los procesos necesarios y parámetros de operación para la obtención de saponinas. Lo cual se puede verificar con la ayuda de la tabla 1-1.

3.3.2 Hipótesis 2

Mediante la evaluación de los procesos de extracción se optimizará la obtención de saponina a partir del mojuelo de la quinua.

La evaluación de cada uno de los procesos de extracción mediante variaciones en las condiciones de operación provee diferentes resultados, por lo que se acepta la hipótesis, ya que, gracias a dichas variaciones se obtiene mejores valores cuantificables de saponinas. Valores que se pueden verificar en las tablas siguientes 3-2, 4-2, y 5-2

3.3.3 Hipótesis 3

Ho: Con la experimentación de operaciones unitarias de filtración no se retendrá mayor cantidad de almidones y proteínas como componentes no deseados.

Hi: Con la experimentación de operaciones unitarias de filtración se retendrá mayor cantidad de almidones y proteínas como componentes no deseados.

Se acepta *Ho*, ya que mediante experimentación la mayor cantidad de componentes no deseados como almidones y proteínas se separan por sedimentación en un cuarto frío, proceso que resulta más óptimo y conveniente.

3.3.4 Hipótesis 4

Mediante la experimentación de operaciones unitarias de secado a desarrollarse se logrará optimizar el proceso de obtención de saponina.

Se acepta esta hipótesis, ya que mediante la combinación de procesos como concentrado por evaporación y secado en bandejas se elimina la humedad de la muestra en su totalidad, obteniéndose así, saponina cristalizada. Resultados que se pueden analizar en las tablas: 2-3 y 3-3

3.3.5 Hipótesis 5

Mediante técnicas cromatográficas como HPLC o espectrofotometría UV-VIS se validará el proceso industrial más óptimo en base al porcentaje o calidad de saponina extraída.

Se acepta esta hipótesis, ya que, la técnica de cuantificación por espectrofotometría UV-VIS permite construir una curva de calibración, la cual se utiliza de referencia para la medición de las absorbancias de cada muestra, y así poder determinar la cantidad de saponina obtenida en términos de porcentaje en base a un patrón de referencia establecido con una muestra de saponina purificada, estableciendo de esta manera, el proceso más óptimo. Los resultados se muestran en la tabla 7-2.

3.4 Discusión de Resultados

En la presente investigación se evaluó un proceso industrial para la obtención de saponinas a partir del mojuelo de quinua (*Chenopodium quinoa*); los parámetros relevantes a considerar en el proceso fueron la variación en la concentración de etanol y el tiempo de operacionalización en la etapa de refrigeración. Posteriormente se realizó la cuantificación de las muestras de saponina cristalizada, para ello se procedió a medir sus absorbancias mediante espectrofotometría UV-VIS; determinando así, el mejor proceso de obtención.

Durante la etapa de remojo no existen variaciones de volumen, los 9 ensayos realizados de manera experimental mantienen el mismo volumen durante el tiempo de operacionalización. Por otro lado, en la etapa de macerado existe una variación considerable de volumen, que corresponde al volumen absorbido por el mojuelo de quinua debido a su índice de permeabilidad. La variación de volumen es similar en los 9 ensayos realizados.

En la etapa de refrigeración, podemos observar que los 3 ensayos realizados con etanol a una concentración del 15%, independientemente del tiempo de refrigeración, generan significativamente menor volumen de sedimentos; y los ensayos realizados con 5% y 25% de concentración de etanol generan mayor volumen de sedimentos, pero no difieren mayormente entre ellos. Por lo que, con el objetivo de disminuir pérdidas por sedimentos, de los 3 ensayos tratados con etanol al 15%, se determinó más factible el ensayo realizado por 24 horas.

El volumen de sedimentos separados del total de la solución se logró casi en su totalidad mediante trasvasado entre dos recipientes; por lo que, la etapa de filtración con la utilización de papel filtro fue realizada únicamente para lograr la retención de partículas en suspensión presentes en la solución. Dicha filtración, no representa una pérdida significativa de volumen de solución a tratarse en etapas posteriores.

En base a los resultados obtenidos en la etapa de evaporación, se observa que los valores de volumen final de los 3 ensayos tratados con etanol al 15% de concentración mantienen un valor numérico significativamente superior a los tratados con 5% y 25% de concentración, y a su vez, de forma general, los valores de volumen final son más altos de los 3 ensayos provenientes de una refrigeración de 24 horas; y más bajos de aquellos refrigerados por 36 y 48 horas. Por lo que, en función a estos valores, se determinó que el volumen evaporado (etanol y agua) es ligeramente mayor en las muestras tratadas con etanol al 5% y 25%; es decir, a pesar de tener un volumen inicial más bajo poseen mayor porcentaje de etanol y agua que las muestras tratadas con una concentración de etanol al 15%.

En la etapa de secado en bandejas, se puede observar que se mantiene el mismo patrón en cuanto al peso final en gramos de producto final obtenido en base a los 3 ensayos realizados con etanol al 15% y los ensayos tratados con 5% y 25% de concentración de etanol.

La cuantificación de las 9 muestras de saponina obtenidas determina que el mojuelo tratado con etanol a una concentración del 15% y refrigerado por 24 horas son los parámetros ideales para una obtención rentable en cuanto a la cantidad de producto final obtenido y porcentaje de pureza de saponinas.

CONCLUSIONES

- Se evaluó el proceso industrial para la obtención de saponinas a partir del mojuelo de quinua (*Chenopodium quinoa*) determinándose como condiciones y parámetros ideales de operación la extracción con etanol a una concentración del 15% y la formación de sedimentos con un tiempo de refrigeración de 24 horas.
- Se realizó un estado del arte sobre los procesos de obtención de saponina a partir del mojuelo de quinua, ampliando los conocimientos sobre las diferentes metodologías de extracción con etanol como solvente y la influencia del tiempo de operacionalización en la etapa de refrigeración, combinándolas entre sí y alcanzando valores cuantificables óptimos.
- Se determinó el proceso global de extracción de saponinas más efectivo partiendo del mojuelo de quinua como materia prima, esto basado en la selección de una concentración de etanol del 15% como condición ideal de extracción y un tiempo de operación de 24 horas en la etapa de refrigeración para la formación de sedimentos.
- Se estableció una separación óptima entre saponina y componentes no deseados, como almidones y proteínas bajo el principio de sedimentación en la operación de refrigeración; los sedimentos formados fueron separados por trasvasado entre recipientes, y la operación de filtración con la utilización de papel filtro retuvo sedimentos que aún se encontraban en suspensión en la solución.
- Se decidió el proceso de secado más eficiente para la obtención final de saponina cristalizada mediante la combinación de operaciones unitarias como concentración por evaporación y secado en bandejas, alcanzándose la eliminación total de la humedad de las muestras para la obtención del producto deseado.
- Se validó el proceso industrial global más óptimo mediante la cuantificación y evaluación de las muestras de saponina extraídas, mediante espectrofotometría UV-VIS, alcanzándose una obtención de 70 quintales de saponina cristalizada a partir de 300 quintales de mojuelo de quinua como materia prima; con un contenido de 25,01% de pureza de saponinas en la muestra tratada con etanol a una concentración del 15% y refrigeración por 24 horas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo investigaciones con variaciones de la concentración de etanol con valores entre 15% y 25%, concentraciones con las cuales se obtuvo mejores rendimientos en cuanto a producto final obtenido y porcentajes de saponina por muestra.
- Se recomienda llevar a cabo nuevos ensayos en la etapa de extracción con etanol, con un aumento en el tiempo de operación en la etapa de maceración; o a su vez, realizar una doble maceración para mejorar los valores cuantificables de saponina obtenida.
- De igual manera, se recomienda realizar ensayos disminuyendo el tiempo de operación en el proceso de refrigeración por debajo de 24 horas, para poder comparar los resultados obtenidos en función de la formación de sedimentos.
- Se recomienda realizar una investigación comparativa con mojuelo como materia prima proveniente de diferentes sectores de la provincia de Chimborazo, ya que, por investigaciones previas se conoce que las características del mojuelo de quinua varían según su zona de cultivo.
- Un tema de investigación relevante sería el estudio de metodologías de separación total de almidones, proteínas y compuestos fenólicos que disminuyen los valores cuantificables finales de saponina en el proceso de obtención.

GLOSARIO

Ictiotóxica: Acción de afectación de ciertas plantas a los animales de respiración branquial debido a sustancias consideradas venenosas (Pajuelo et al., 2016, pp. 17-36).

Maceración: Operación que implica un remojo previo de la planta o material de extracción, el mismo puede encontrarse en forma de polvo o grandes pedazos. Se coloca dentro de un envase con agua y/o disolventes y se deja reposar por un tiempo determinado. Este método de extracción ayuda al ablandamiento y ruptura de la pared celular de la planta para liberar los fitoquímicos solubles. Luego se presiona o se filtra el fluido del proceso (Nn, 2015, pp. 3-6).

Mojuelo: Residuo o subproducto de la desaponificación de la quinua, es un polvo de baja densidad cuya coloración depende de la variedad a la que pertenezca la quinua, es irritante para las vías respiratorias (Balseca, 2019, p. 8).

Quinua: Es un cultivo de la región de los andes nativo de Sudamérica (Lescano, 1989; citado por Arisaca, 2016). Es reconocido como un alimento funcional por su alto valor nutricional ya que posee proteínas y aminoácidos esenciales (Arisaca, 2016, p. 8).

Saponina: Se deriva de la palabra griega “sapo”, que significa “jabón”, lo que refleja su disposición para formar espumas estables parecidas al jabón en soluciones acuosas. Son compuestos que estructuralmente poseen uno o varios azúcares (Romo A., 2006; citado en Huamán et al., 2018). El rol biológico de las saponinas no es comprendido completamente, pero generalmente son consideradas como parte del sistema de defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros, especialmente debido a su sabor amargo (Troisi, et al., 2014, pp. 317-237).

BIBLIOGRAFÍA

AHUMADA, Andrés; et al. "Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* willd): un subproducto con alto potencial biológico". *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm* [en línea], 2016, (Colombia) 45(3), pp. 438-469. [Consulta: 14 agosto 2020]. ISSN 0034-7418. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>

ALARCÓN, José. *Tratado práctico de refrigeración automática* [en línea]. Doceava ed. Barcelona-España: Marcombo, 1998. [Consulta: 23 diciembre 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Qy0Rlxo1blsC&oi=fnd&pg=PR15&dq=refrigeración+proceso&ots=1i_6D3wAqH&sig=V5d005SQ0zCPLBg9ALDwp7PJvGg&redir_esc=y#v=onepage&q=refrigeración proceso&f=false

ALVARADO BONILLA, Helen Lissette. Estudio biofarmacéutico de triterpenos pentacíclicos antiinflamatorios vehiculizados en sistemas nanoestructurados para aplicación tópica [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad de Barcelona, Facultad de Farmacia. Barcelona. 2015. pp. 1-141. [Consulta: 8 agosto 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2445/66675>

APAZA, Rinel; et al. "Efecto de saponinas de *Chenopodium quinoa* willd contra el fitopatógeno *Cercospora beticola* Sacc". *Rev. Protección Veg.* [en línea], 2016, (Bolivia) 31(1), pp. 63-69. [Consulta: 12 agosto 2020]. ISSN: 2224-4697. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v31n1/rpv09116.pdf>.

ARISACA PARILLO, Adaliht Jhony. Capacidad antioxidante de tres procesos agroindustriales de la quinua (*Chenopodium quinoa* willd) ecotipo ayara y variedad Inia 420 negra Collana y disponibilidad de litio [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional del Altiplano. Perú. 2016. pp. 2-23. [Consulta: 9 agosto 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6592/EPG950-00950-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ASHER, Aviv; et al. "The potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivation in Israel as a dual-purpose crop for grain production and livestock feed". *Scientia Horticulturae* [en línea], 2020, (Israel) 272. [Consulta: 10 agosto 2020]. ISSN: 0304-4238. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109534>

BALSECA PICO, Narciza Gabriela. Obtención y evaluación de saponinas hidrolizadas provenientes del mojuelo de quinua amarga (*Chenopodium quinoa*) a partir de una hidrólisis ácida [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2019. pp. 8-23. [Consulta: 13 agosto 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13254/1/156T0005.pdf>

BERGESSE, Antonella; et al. *Aprovechamiento integral del grano de quinoa, aspectos Tecnológicos, Fisicoquímicos, Nutricionales y Sensoriales* [en línea]. Córdoba-Argentina, 2015. [Consulta: 13 agosto 2020]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1846/Aprovechamiento%20integral%20del%20grano%20de%20quinoa.pdf?sequence=7&isAllowed=>

CASTAÑEDA OROSCO, Victoria Alexandra. Diseño de un proceso industrial para la obtención de un plaguicida orgánico a partir de la saponina de quinua (*Chenopodium quinoa*) en Coprobich [en línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 30-64. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8985>

CENGEL, Yunus A., & BOLES, Michael A. *Termodinámica* [en línea]. Séptima ed. México: McGraw-Hill, 2012. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/35316885/Termodin%C3%A1mica_Cengel_Boles_S%C3%A9ptima_Edici%C3%B3n

CHEOK, Choon; et al. "Extraction and quantification of saponins: A review". *Food Research International* [en línea], 2014, (Malasia) 59, pp. 16-40. [Consulta: 22 agosto 2020]. ISSN: 0963-9969. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.057>

DUEÑAS, Diana. "Vigilancia competitiva de la quinua: potencialidad para el departamento de Boyacá". *Suma de Negocios* [en línea], 2014, (Colombia) 5(12), pp. 85-95. [Consulta: 8 agosto 2020]. ISSN: 2215-910X. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s2215-910x\(14\)70030-8](https://doi.org/10.1016/s2215-910x(14)70030-8)

GEANKOPLIS, Christie. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias* [en línea]. Tercera ed. México: CECSA, 2003. [Consulta: 20 septiembre 2020]. Disponible en: <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

GIANNA, Vicente. Extracción, cuantificación y purificación de saponinas de semillas de (*Chenopodium quinoa* willd) provenientes del noroeste argentino [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Córdoba-Argentina. 2013. pp. 61-100. [Consulta: 12 octubre 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/21207531-Universidad-nacional-de-cordoba-facultad-de-ciencias-exactas-fisicas-y-naturales-doctorado-en-ciencias-de-la-ingenieria.html>

GUILCAPI MAYORGA, Verónica Belén. Evaluación de métodos para la extracción de saponina presente en el mojuelo de quinua amarga (*Chenopodium quinoa*) [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2019. pp. 17- 18. [Consulta: 23 septiembre 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/270184026.pdf>

HENG, L., et al. "Stability of pea DDMP saponin and the mechanism of its decomposition". *Food Chemistry* [en línea], 2006, (Países Bajos) 99(2), pp. 326-334. [Consulta: 16 de agosto 2020]. ISSN: 0308-8146. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.045>

HERNÁNDEZ, José. “La quinua, una opción para la nutrición del paciente con diabetes mellitus”. *Rev Cubana Endocrinol* [en línea], 2015, (Cuba) 26(3). [Consulta: 25 agosto 2020]. ISSN 1561-2953. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-29532015000300010

HUAMÁN, Heidy., & SHUAN, Sheyla. Obtención de Saponina de la Corteza de Quinua (*Chenopodium quinoa*) mediante Extracción Hidroalcohólica [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Callao. Perú. 2018. pp. 1-109. [Consulta: 23 septiembre 2020]. Disponible en: http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/3603/Huaman Viera y Shuan Huanca_titulo quimica_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

INTARCON. *¿Cuál es la importancia de refrigerar los alimentos?* [blog]. [Consulta: 23 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.intarcon.com/refrigeracion-en-los-alimentos/#:~:text=Refrigeración%3A>

McCABE, Warren; et al. *Operaciones unitarias en ingeniería química* [en línea]. Cuarta ed. Madrid-España: McGraw-Hill, 2007. [Consulta: 20 septiembre 2020]. Disponible en: <https://ingenieriapetroquimicaunefazulia.files.wordpress.com/2011/05/operaciones-unitarias-a.pdf>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. *2017, año clave para Ecuador en exportación de quinua* [en línea], (2017). [Consulta: 28 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/2017-ano-clave-para-ecuador-en-exportacion-de-quinua/>

MONJE, C., & Raffaillac, Jean. Determinación de saponinas totales en quinua (*Chenopodium quinoa* willd) por método espectrofotométrico. Memoria IV Congreso Nacional de la Asociación Boliviana de Protección Vegetal. 5 al 7 de abril de 2006. C.E.A.C. – Dpto. Fitotecnia-FCAPV-UTO. ABPV. Oruro, Bolivia.

NIETO, Carlos., & VALDIVIA, Roberto. POSTCOSECHA, TRANSFORMACIÓN Y AGROINDUSTRIA [en línea], 2019. [Consulta: 28 septiembre 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro03/cap9.htm

NN, Azwanida. "A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation". *Medicinal & Aromatic Plants* [en línea], 2015, (Malasia) 4(3), pp. 1-4. [Consulta: 23 agosto 2020]. ISSN: 2167-0412. DOI 10.4172/2167-0412.1000196

PAJUELO, Rosario., & EUROECOTRADE. *Posibilidades de la saponina de quinua en la industria cosmética* [en línea]. Lima-Perú, 2016. [Consulta: 28 septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.euroecotrade.pe/galeria/57bbdb99e24e2.pdf>

PÉREZ, Katherine; et al. "Bocadito con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* willd), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.)". *Scientia Agropecuaria* [en línea], 2017, (Perú) 8(4), pp. 377-388. [Consulta: 12 agosto 2020]. ISSN: 2077-9917. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3576/357653912009.pdf>

PERRY, Robert. *Manual del ingeniero químico* [en línea]. Sexta ed. México: MacGraw-Hill, 1993. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/25306420/Perry_Manual_del_ingeniero_qu%C3%83_mico_Tomo_II_6_a_ed

RIPPERGER, Siegfried; et al. "Filtración". *1. Fundamentos. Enciclopedia de química industrial de Ullmann* [en línea], 2009, (Estados Unidos de América), pp. 17-19. [Consulta: 20 agosto 2020]. DOI: 10.1002/14356007.b02_10.pub2

ROJAS, W; et al. “La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial”. *Oficina Regional Para América Latina y El Caribe FAO* [en línea], 2011. pp. 1-66. [Consulta: 17 agosto 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/aq287s/aq287s.pdf>

SAN FRANCISCO CONSULTING. “Surcos”. *Revista Información agraria* [en línea], 2020, (Perú). pp. 11-12. [Consulta: 14 agosto 2020]. Disponible en: https://issuu.com/sanfranciscoconsulting/docs/revista_julio_93215fc4fcd73a

TAPIA, Mario., & FRIES, Ana. *Guía de campo de los cultivos andinos* [en línea]. Lima-Perú, 2007. [Consulta: 17 agosto 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/34873981/GU%C3%8DA_DE_CAMPO_DE_LOS_CULTIVOS_ANDI_NOS_pdf

TROISI, Jacopo; et al. “Saponinas”. *ResearchGate* [en línea], 2014, (Italia). pp. 317-327. [Consulta: 8 agosto 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266969103_Saponinas

TSOTSAS, E; et al. “Secado de materiales sólidos”. *Enciclopedia de química industrial de Ullmann* [en línea], 2010, (Estados Unidos de América), pp. 4-6. [Consulta: 17 agosto 2020] DOI: 10.1002/14356007.b02_04.pub2

VILLACIS SEGOVIA, Carlos Eduardo. Estudio para la extracción y purificación de saponinas a partir del mojuelo de quinoa como una posible alternativa a la disponibilidad de tensoactivos de origen natural [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica del Ejército. Ecuador. 2018. pp. 12-30. [Consulta: 23 agosto 2020]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/15426/T-ESPEL-IPE-0018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ZHU, Nanqun; et al. "Triterpene Saponins from Debittered Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Seeds". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [en línea], 2002, (Estados Unidos de América) 50(4), pp. 865–867. [Consulta: 20 agosto 2020]. ISSN: 1520-5118. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jf011002l>

ANEXOS

ANEXO A: Etapas preliminares para el proceso de obtención de saponinas



A



B

NOTAS

A: Pesaje de mojuelo

B: Etapa de remojo

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- | | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Por calificar | <input type="checkbox"/> Para información |
| <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar | <input type="checkbox"/> Por archivar |
| <input type="checkbox"/> Por eliminar | <input type="checkbox"/> Certificado |

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Realizado por: Sebastián López

EVALUACIÓN DE UN PROCESO
INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN
DE SAPONINA A PARTIR DEL
MOJUELO DE QUINUA (*Chenopodium
quinoa*)

ANEXO B: Operación de macerado con diferentes concentraciones de etanol



A



B



C

<p style="text-align: center;">NOTAS</p> <p>A: Macerado con etanol al 5%</p> <p>B: Macerado con etanol al 15%</p> <p>C: Macerado con etanol al 25%</p>	<p style="text-align: center;">CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por archivar</p> <p><input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado</p>	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p style="text-align: center;">Realizado por: Sebastián López</p>	<p style="text-align: center;">EVALUACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE SAPONINA A PARTIR DEL MOJUELO DE QUINUA (<i>Chenopodium quinoa</i>)</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ANEXO C: Operación de filtración y tratamiento de sedimentos



A



B



C

NOTAS

- A: Etapa de refrigeración
- B: Formación de sedimentos
- C: Separación de sedimentos

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- Por calificar
- Para información
- Por aprobar
- Por archivar
- Por eliminar
- Certificado

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Realizado por: Sebastián López

EVALUACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE SAPONINA A PARTIR DEL MOJUELO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*)

ANEXO D: Operaciones finales para el proceso de obtención de saponinas



A



B



C

<p>NOTAS</p> <p>A: Filtración</p> <p>B: Evaporación</p> <p>C: Secado en bandejas</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para información</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por archivar</p> <p><input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado</p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>Realizado por: Sebastián López</p>	<p>EVALUACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE SAPONINA A PARTIR DEL MOJUELO DE QUINUA (<i>Chenopodium quinoa</i>)</p>
--------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ANEXO E: Construcción de la curva de calibración para cuantificación de saponinas



A



B



C

NOTAS

A: Pulverización de saponina purificada

B: Pesaje de puro de saponina para dilución

C: Muestras para lectura de absorbancias en espectrofotómetro uv-vis

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- Por calificar Para información
- Por aprobar Por archivar
- Por eliminar Certificado

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Realizado por: Sebastián López

EVALUACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE SAPONINA A PARTIR DEL MOJUELO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*)



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 28 / 02 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: RODOLFO SEBASTIÁN LÓPEZ GUANIPATÍN
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: INGENIERÍA QUÍMICA
Título a optar: INGENIERO QUÍMICO
f. Analista de Biblioteca responsable:



0633-DBRAI-UPT-2021