

Research Article

Quantification of Saponins in Quinoa Mojuelo (*Chenopodium quinoa* Willd.) for Use at Industrial Scale

Cuantificación de Saponinas en el Mojuelo de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para su Obtención a Escala Industrial

Rodolfo Sebastián López Guanipatín^{1*}, Mabel Mariela Parada Rivera², Susana del Pilar Abdo López³, Lourdes Cumandá Carrera Beltrán²

VIII INTERNATIONAL
CONGRESS OF SCIENCE
TECHNOLOGY
ENTREPRENEURSHIP AND
INNOVATION (SECTEI 2021)

Corresponding Author:
Rodolfo Sebastián López
Guanipatín; email:
rodolfo.lopez@espoch.edu.ec

Published: 29 June 2022

Production and Hosting by
Knowledge E

© Rodolfo Sebastián López
Guanipatín et al. This article
is distributed under the terms
of the [Creative Commons
Attribution License](#), which
permits unrestricted use and
redistribution provided that
the original author and
source are credited.

¹Investigador independiente, Ambato, Ecuador

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba, Ecuador

³Investigador independiente, Riobamba, Ecuador

ORCID

Rodolfo Sebastián López Guanipatín: <https://orcid.org/0000-0003-0894-8747>

Abstract

This study is a quantitative analysis of the obtained percentages of saponin from the quinoa peel (*Chenopodium quinoa* Willd.) at different concentrations of ethanol and water. The process was also evaluated to be promoted at an industrial level. The main method used to chemically treat the quinoa peel for the production of crystallized saponin were soaking, maceration, cooling, sedimentation, filtration, evaporation, and drying. Nine tests were conducted with ethanol at 5%, 15%, and 25% for the extraction and maceration of saponin. The refrigeration time oscillated at 24, 36, and 48 hr while the sedimentation process took place. In the latter stage of this process, the starches and other insoluble compounds precipitated. The evaporation and drying stages were the key points for obtaining the crystallized saponin. Quantitative analysis by UV-visible spectrometry was performed to obtain the reference values of purified saponin. The results showed that the finest process to obtain saponin from ethanol was at a concentration of 15% and a cooling time of 24 hr, where the production of saponin was about 25.01%. Based on the results obtained, the process was scaled up at an industrial level under the most viable operating parameters showing that treating around 300 quintals of quinoa peel could annually produce 70 quintals of crystallized saponin.

Keywords: Unit operations, Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), Mojuelo, Ethanol, Quantification, Industrial scaling.

Resumen

Se realizó un estudio cuantitativo de los porcentajes de saponina obtenida a partir del mojuelo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) variando la concentración de etanol - agua en el proceso extractivo para su posterior obtención a escala industrial. 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. En el diseño experimental de la investigación para el análisis de las muestras, se aplicaron nueve ensayos, siendo variables la concentración de etanol: 5%, 15% y 25% en la operación de extracción por macerado y el tiempo de refrigeración, 24, 36 y 48 horas en el proceso de sedimentación de almidones y otros compuestos insolubles. Las etapas de evaporación y secado fueron determinantes para la obtención de la saponina cristalizada. Se obtuvo saponina

 OPEN ACCESS



purificada como patrón de referencia para análisis cuantitativos por espectrometría uv-visible, determinándose que el proceso extractivo de saponina 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%). 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 producidos anualmente en empresas productoras de quinua, para una obtención de 70 quintales de saponina cristalizada.

Palabras Clave: Operaciones unitarias, Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), Mojuelo, Etanol, Cuantificación, Escalamiento industrial.

1. Introducción

En los últimos años el consumo de quinua ha incrementado debido a su gran valor nutritivo y su alto contenido de proteínas 12-21 % [1], fibra 8,8-14,1 % [2], ácidos grasos 2,9-5 % [3] y almidones, además de la ausencia de gluten y presencia de aminoácidos esenciales [4]; considerándola como un producto estrella por sus propiedades nutricionales y su alto potencial biológico [5]. Los principales productores de quinua son aquellos países que conforman la Cordillera de los Andes: Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Chile [6]. La producción y cultivo de quinua ha tomado gran importancia en la zona centro del Ecuador, particularmente en la provincia de Chimborazo debido al crecimiento de la demanda tanto local como mundial [7] y a su fácil adaptabilidad a condiciones extremas de clima y suelo permitiendo alcanzar zonas improductivas [8], así como su alta resistencia a heladas, sequías y salinidad [9]. 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 [10], con relevancia considerable en Europa, América del Norte y África en los últimos años [11]. Para el procesamiento y comercialización de la quinua se procede a eliminar las saponinas mediante lavado con agua fría, proceso altamente contaminante; o mediante una escarificación en seco, generando mojuelo que representa el 4,5 % del total del grano de quinua, lo que significa pérdidas para los productores [12]. Las saponinas son el principal factor anti nutricional de la quinua, y en base a su contenido se ha clasificado a la quinua en dos variedades, dulce y amarga [13], las variedades dulces poseen menos de 0,11% mientras que las amargas valores superiores [14]. La mayor cantidad de saponinas se encuentra en el epispermo del grano, por lo que son abundantes en los residuos (mojuelo) [15]. Las condiciones de suelo y las climáticas son determinantes en la cantidad de saponinas presentes en semillas, tallos hojas y flores de la quinua [15]. Se ha determinado que las saponinas presentan evidentes beneficios en el campo de la salud; además, se



le confiere propiedades surfactantes de origen natural que han sido empleados en productos de limpieza personal [16]. Además, se ha reconocido su capacidad para control de plagas y enfermedades de origen fúngico mediante su utilización en la elaboración de productos fitosanitarios [17].

Por lo que el presente estudio tiene como finalidad evaluar las metodologías y parámetros de obtención de saponinas de manera óptima, económica y sustentable; contribuyendo a una posterior utilización en campos industriales como el farmacológico, agrícola y de cosméticos; y reduciendo el impacto ambiental que genera este producto de desecho.

2. Materiales y Métodos

Basado en el trabajo de tesis de Rodolfo López [18], los materiales y métodos forman parte del contenido investigativo; como materia prima se utilizó mojuelo de quinua proveniente de empresas productoras de quinua perteneciente a la provincia de Chimborazo.

Se realizó un total de 9 ensayos a nivel de laboratorio, con tres repeticiones variando la concentración de etanol en la etapa de macerado (5%, 15%, 25%), y el tiempo de refrigeración para la formación de sedimentos (24h, 36h, 48h). Además, a cada ensayo se le realizó operaciones de filtración, evaporación y secado en bandejas. El factor más importante para considerar en la realización de cada uno de los ensayos es la verificación de la variación de volumen en cada una de las operaciones unitarias aplicadas [18].

La experimentación inició con el pesaje mediante la utilización de una balanza analítica de 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 [18].

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 [18].

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 [18].

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 siguiente tabla.

Las condiciones de operación y tiempos de operacionalización; sin considerar la variación en la concentración de etanol y el tiempo de refrigeración, fueron las mismas para los 9 ensayos [18].

Table 1

Ensayos con etanol a una concentración del 5% [18].

Operaciones Unitarias	Estándares de medición			
	Tiempo de operación (minutos)	Volumen Inicial (mL)	Volumen Final (mL)	Variación de Volumen (mL)
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

Se realizó 3 repeticiones bajo la misma metodología de operación que en el ensayo 1, variando la siguiente condición de concentración de etanol al 15%.

Los datos y valores obtenidos se pueden observar en la siguiente tabla.

**Table 2**

Ensayos con etanol a una concentración del 15% [18].

Operaciones Unitarias	Estándares de medición			
	Tiempo de operación (minutos)	Volumen Inicial (mL)	Volumen Final (mL)	Variación de Volumen (mL)
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

Se realizó 3 repeticiones bajo la misma metodología de operación que en el ensayo 1, variando la siguiente condición de concentración de etanol al 25%.

Los datos y valores obtenidos se pueden observar en la siguiente tabla.

2.1. Análisis de aceptabilidad

Se realizó la cuantificación de cada una de las muestras mediante la derivatización de saponinas y medición de absorbancias por espectrofotometría uv-visible [19]; para lo cual fue necesario la construcción de una curva de calibración con una muestra de saponina previamente purificada bajo el principio de extracción con solvente líquido-líquido, en el cuál por diferencia de solubilidades los componentes se separan de una mezcla en solución cuando estos son líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles; como es el caso entre agua y n-butanol. Mediante la extracción líquido-líquido, se extrae una sustancia (solute) 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, estableciendo un equilibrio cuando el soluto se reparte entre ambas fases [19].

**Table 3**

Ensayos con etanol a una concentración del 25% [18].

Operaciones Unitarias	Estándares de medición			
	Tiempo de operación (minutos)	Volumen Inicial (mL)	Volumen Final (mL)	Variación de Volumen (mL)
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

Para la purificación se pesó 15,000 g de saponina cristalizada y se colocó en un vaso de precipitación con 400 ml de agua destilada y se agitó hasta total dilución. Posteriormente, se agregó 100 ml de n-butanol de calidad reactivo analítico y se colocó el vaso de precipitación sobre un shaker para la extracción bajo condiciones de temperatura y tiempo establecidas y controladas por termómetro y cronómetro, 25 °C y 1 hora respectivamente [19].

A continuación, se colocó la solución en un frasco de vidrio, se cerró y dejó en refrigeración por un lapso de 72 horas; observándose así, la formación de dos fases, siendo la capa superior la solución acuosa del concentrado de saponinas. Finalmente, se separó el extracto butanólico utilizando una ajuga espinal, y se procedió a concentrar a sequedad en un rotavapor. El producto obtenido tenía un color blanquecino un poco amarillento, que por bibliografía se conoce que la concentración de saponinas es aproximadamente de un 90% [19]. La saponina purificada que se obtuvo fue utilizada como patrón de referencia para la cuantificación por espectrofotometría UV-VIS de las nueve muestras de saponina cristalizada obtenidas previamente.

La cuantificación mediante la construcción y utilización de una curva de calibración se estableció por derivatización de las saponinas y medición de su absorbancia en la parte visible del espectro a una longitud de onda de 528 nm [18]. Dicha cuantificación se realizó mediante la reacción de Libermann-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” [19].

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 [19]. Finalmente se procedió a leer las absorbancias antes de los 50 minutos, obteniéndose los siguientes datos:

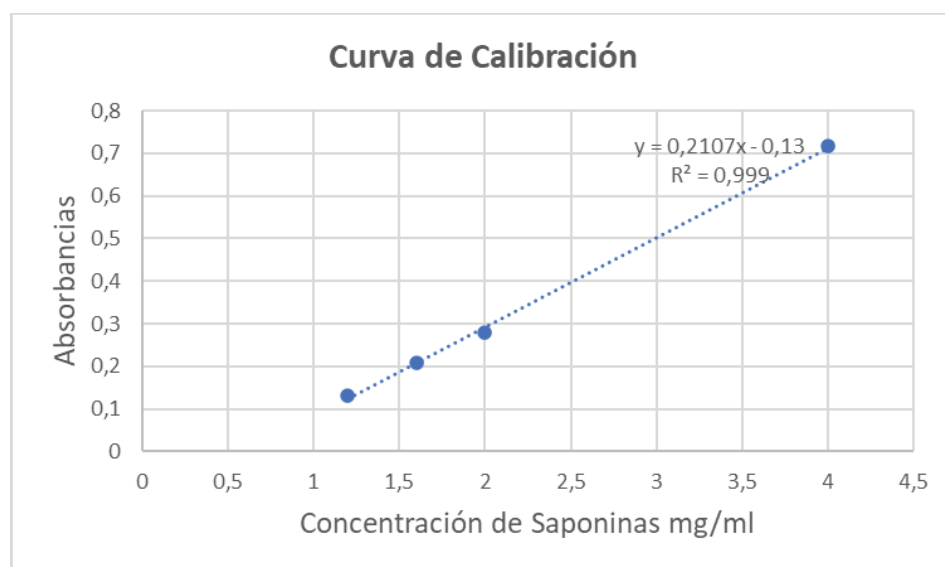
Table 4

Datos para la construcción de la curva de calibración [18].

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		

Una vez construida la curva de calibración, se procedió a cuantificar las 9 muestras de saponina cristalizada obtenida. Se pesó 0,100 g, se trituro 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 tubos de ensayo diferentes, luego se colocó el reactivo de Liebermann-Burchard en cada uno en una proporción 1:3,5 [19].

Una vez determinada la cantidad de saponina cristalizada obtenida en función de su peso final y los valores cuantificables de porcentaje de pureza de cada una de las muestras, se procedió a realizar el escalamiento industrial del proceso global de obtención. Las operaciones unitarias aplicadas se detallan de manera puntual a escala de laboratorio; y a escala industrial bajo parámetros de diseño y construcción

**Figure 1**

Curva de calibración para cuantificación de saponinas [18]

Table 5

Cuantificación de porcentaje de pureza de saponinas por espectrofotometría UV-VIS [18].

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 %

considerando tipo de material para la propuesta de equipos, factores de seguridad, y costo de cada una de ellas.

El escalamiento se realizó en función del mayor porcentaje de pureza de saponinas obtenidas, el mismo que coincidió con la mayor cantidad de saponina cristalizada obtenida en cuanto a los pesos finales. Las condiciones idóneas de obtención son 15% de concentración de etanol y 24 horas de refrigeración para la formación de sedimentos [18]



2.2. Remojo

Haciendo uso de 32,00 Kg de mojuelo se llevó a cabo la operación de remojo con agua durante 15 minutos, con un 10% más de la cantidad de materia prima en términos de volumen [20], la operación se realizó en un tanque de acero SUS 304 colocando previamente el mojuelo en una bolsa de lino. Es importante considerar la permeabilidad del mojuelo (0,05%) [21] para el balance de masa, y el factor de seguridad (0,15%) de construcción de equipos [22] para el dimensionamiento del tanque de remojo. Se obtuvo una masa de 33,19 Kg a tratarse en la siguiente etapa [18].

2.3. Maceración

Se llevó a cabo la etapa de maceración para los 33,19 Kg de mojuelo con 184 litros de agua y 46 litros de etanol como solvente; es decir una proporción 4:1. La operación se llevó a cabo por 45 minutos a un tanque de acero SUS 304 [18].

Por experimentación 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, por lo que se obtuvo 184,90 Kg de masa de solución en el balance de materia [18].

2.4. Refrigeración

Posteriormente, se trasvasó la masa de solución de la etapa de maceración a un tanque de acero SUS 304 y se colocó dentro de un cuarto frío para la etapa de refrigeración, la cual fue realizada bajo condiciones de tiempo y temperatura controladas. En esta etapa se determinó una potencia de 0,1137 KW para enfriar dicha masa de solución hasta 10 °C en un tiempo de 24 horas [18].

2.5. Filtración

Se realizó la operación de filtración desde un tanque cilindro perfecto volteable manualmente 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. Con el balance de



materia se determinó una pérdida de masa de solución en función al porcentaje de sedimentos, obteniéndose 165,78 Kg de solución para tratarse en la siguiente etapa [18].

2.6. Evaporación

Se realizó la operación unitaria de evaporación con los 165,78 kg de solución hasta obtener un líquido de aspecto siruposo. En base a la experimentación a nivel de laboratorio se determinó que el porcentaje de solución evaporado es de 92,85 % lo que corresponde a etanol y agua; por lo que los balances de materia determinaron 153,48 Kg de masa evaporada y 12,30 Kg de masa concentrada [18].

2.7. Secado en bandejas

Se utilizó un secador de bandejas con 4 bandejas de 1,10 x 0,77 m para tratar 12,30 Kg de masa concentrada distribuida en un área total de 3,39 m^2 . El secador de bandejas trabaja a una temperatura programada de 55 °C [18].

El porcentaje de agua eliminado en el secador de bandejas por experimentación es de 39,79%, por lo que los balances de materia muestran valores de 4,89 Kg como agua secada y 7,41 Kg de saponina cristalizada [18].

2.8. Análisis experimental y estadístico

Basado en el trabajo de tesis de Rodolfo López [18], el análisis experimental y estadístico forman parte de los resultados del trabajo de investigación. El ordenamiento del diseño experimental utiliza un 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 realizó un análisis de varianza ANOVA, que estableció las diferencias significativas entre las medias, relacionadas con las diferentes concentraciones de etanol en cada tratamiento. Se realizó un total de nueve observaciones en función de tres niveles para el análisis [18].

En la tabla a continuación se puede observar las diferencias estadísticas de porcentaje de saponina para cada uno de los 3 niveles de concentración de etanol. La



intención del análisis de varianza de un factor es comparar las medias de los diferentes niveles [18].

Table 6

Análisis de la desviación estándar en función al porcentaje de saponina obtenido [18].

Concentración de Etanol %	Recuento	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente 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

La tabla ANOVA a continuación 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 [18].

Table 7

Análisis del porcentaje de saponina obtenido por concentración de etanol [18].

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			

La siguiente 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 [18].

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

**Table 8**

Medias para porcentaje de saponina por concentración de etanol, 95% de confianza [18].

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			

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 [18].

Table 9

Prueba de múltiples rangos para porcentaje de saponinas por concentración de etanol [18].

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

El estadístico mostrado en la siguiente 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 [18].

Table 10

Análisis de varianza para porcentaje de saponinas [18].

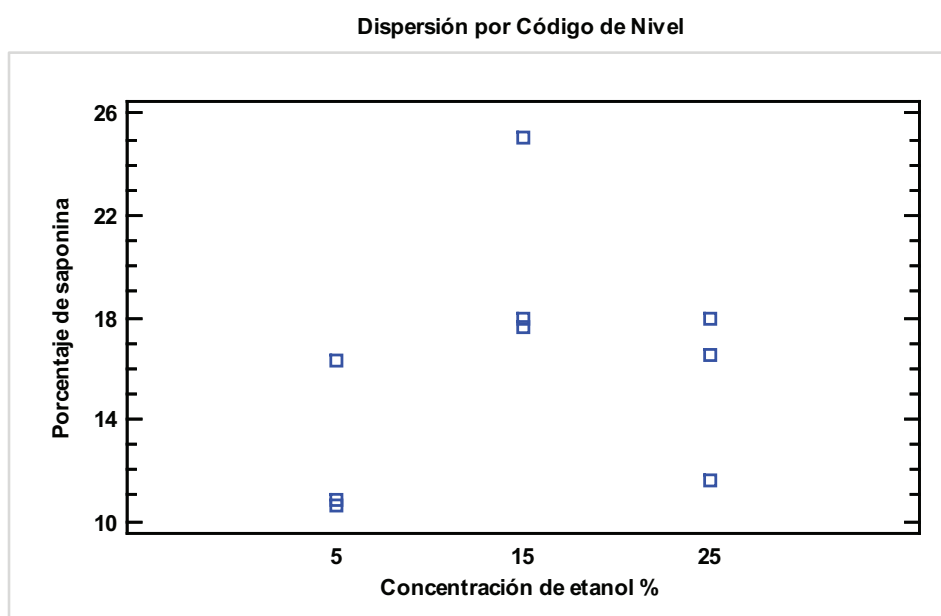
	Prueba	Valor-P
Levene's	0,0230122	0,977336

Además, en la tabla siguiente 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 [18].

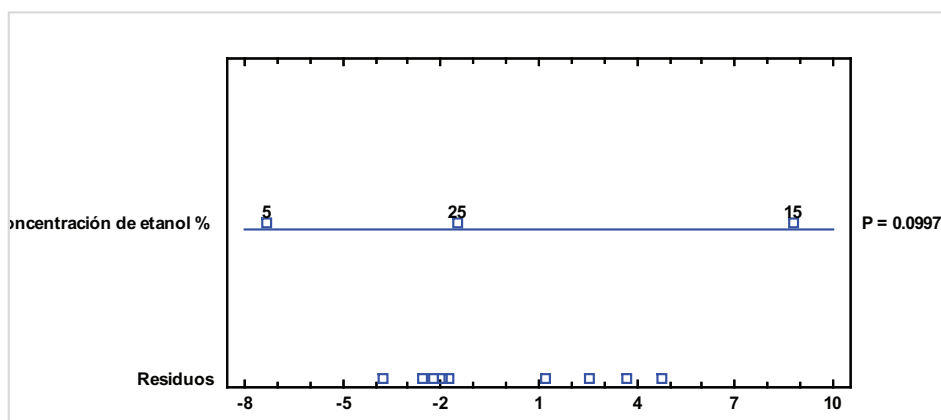
Table 11

Comparación de las desviaciones típicas para cada par de muestras [18].

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

**Figure 2**

Dispersión por código de nivel [18].

**Figure 3**

Porcentajes de saponina (ANOVA) [18].

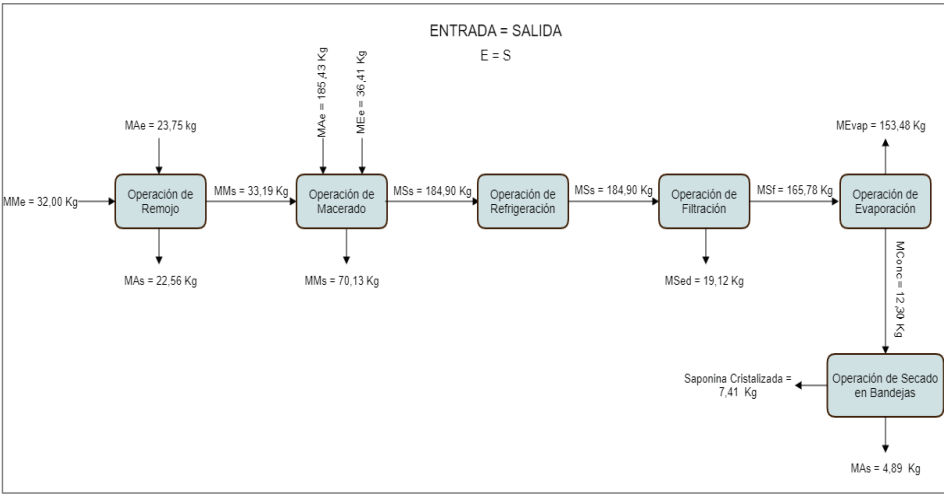


Figure 4
Diagrama del proceso de obtención de saponina cristalizada [18].

3. Resultados y Discusión

Basado en el trabajo de tesis de Rodolfo López [18], los resultados forman parte del contenido investigativo; los datos que se muestran a continuación corresponden a un 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.

Table 12
Resultados del proceso a escala industrial [18].

	Estándares de medición		
Operaciones Unitarias	Tiempo de Operación	Masa de entrada (Kg)	Masa de salida (Kg)
Remojo	15 minutos	32	33,19
Maceración	45 minutos	33,19	184,90
Refrigeración	24 horas	184,90	184,90
Filtración	-	184,90	165,78
Evaporación	-	165,78	12,30
Secado en Bandejas	-	12,30	7,41

En la etapa de macerado, se determinó los valores de agua y etanol a utilizarse como componentes principales, cantidades determinadas en relación con las utilizadas a nivel de laboratorio; en este caso, 186,80 y 46,50 litros respectivamente. en la etapa en mención existe una variación considerable de volumen, que corresponde al volumen absorbido por el mojuelo de quinua debido a su índice de permeabilidad [18].



A continuación, para la operación de refrigeración se determinó 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. En esta etapa, se observó que los 3 ensayos realizados con etanol a una concentración del 15%, independientemente del tiempo de refrigeración, generan significativamente menor volumen de sedimentos, pero no difieren mayormente entre ellos [18].

En la operación de filtración el papel filtro utilizado ayudó a la retención de partículas que se encontraban en suspensión en la solución luego de su sedimentación. El volumen de sedimentos formados se separó del volumen de solución mediante un trasvasado manual entre recipientes, proceso en el cuál se eliminan los sedimentos en su totalidad [18].

En la operación de evaporación se requiere una potencia de 12,18 KW 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. En base a los resultados obtenidos en esta etapa, se observó 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% [18].

Para la operación de secado en bandejas se distribuyó el área total de secado requerida de 3,39 m^2 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 este 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 [18].

Se determinó la variación de porcentaje de saponina extraída en función a las diferentes concentraciones de etanol utilizadas, proceso validado mediante la cuantificación



de las muestras extraídas por espectrofotometría UV-VIS con un contenido de 25,01% de pureza de saponinas [18].

Se alcanzó una obtención de 70 quintales de saponina cristalizada a partir de 300 quintales de mojuelo de quinua como materia prima a nivel industrial bajo las condiciones y parámetros ideales de operación; etanol a una concentración del 15% y la formación de sedimentos con un tiempo de refrigeración de 24 horas. Estableciéndose, además, una separación óptima entre saponina y componentes no deseados, como almidones y proteínas [18]. El tratamiento adecuado de aproximadamente 300 quintales de mojuelo de quinua por año ayudará significativamente a la reducción del impacto ambiental que este genera al ser desechado, y con la obtención de 70 quintales de saponina cristalizada se contrarresta las pérdidas económicas causadas por el porcentaje de la materia prima que representa el mojuelo de su totalidad.

4. Conclusiones

Con la evaluación del proceso industrial para la obtención de saponinas a partir del mojuelo de quinua (*Chenopodium quinoa* willd) se determinó las condiciones y parámetros ideales de operación, esto mediante la variación en los tiempos de operación en la refrigeración y concentración de etanol en el macerado. Además, el proceso global de extracción de saponinas más efectivo partiendo del mojuelo de quinua como materia prima fue evaluado y establecido gracias a la correcta aplicación de los principios de extracción y condiciones de operación.

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 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, optimizando el proceso de separación de componentes no deseados.

Se decidió el proceso de secado más eficiente para la obtención final de saponinas cristalizadas mediante la combinación de operaciones unitarias como 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.

5. Agradecimientos

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, y permitirme adquirir conocimientos con bases sólidas tanto teóricas como prácticas en el campo investigativo para contribuir a la sociedad con ideas nuevas como la realización de este artículo científico; y 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.

6. Conflicto de Intereses

La realización de este artículo científico tiene un enfoque relevante a contribuir directamente con todas las comunidades de la provincia de Chimborazo y comunidades de provincias productoras de quinua, ya que, con la implementación de un proceso bien estructurado de obtención de saponina se reducirán sus pérdidas, se contribuirá con el medio ambiente reduciendo el impacto ambiental que generan las saponinas como producto de desecho y se implementará una obtención de saponinas sostenible mediante la utilización de las mismas como base para la elaboración de productos y subproductos en diferentes campos como el agrícola o el de cosméticos.

References

- [1] Comai S, Bertazzo A, Bailoni L, et al. The content of proteic and nonproteic (free and protein-bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. Food Chemistry. 2007;100(4):1350-1355. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.072>
- [2] Navruz-Varli S, Sanlier N. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd. Journal of Cereal Science. 2016;69:371-376. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>
- [3] Garcia-Parra M, García-Moleno J, Carvajal-Rodríguez D. Evaluación del efecto de la fertilización química y orgánica en la composición bromatológica de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)” en Boyacá – Colombia. Revista de



- Investigación Agraria y Ambiental. 2018;9(2):1-10.
- [4] Nowak V, Du J, Charrondiére U. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Food Chemistry. 2016;193:47-54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>
- [5] Ayala F, Javier F. Desarrollo de estrategias de posicionamiento. Caso: Producto Quinoa. Revista Perspectivas. 2013;(32):39-56
- [6] Ahumada A, Ortega A, Chito D, Benitez R. Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* willd): Un subproducto con alto potencial biológico. Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas. 2016;45(3):438-469.
- [7] Grozo-Benavente J. Revista información agraria. San Francisco Consulting; en Lima – Perú. 2020. Available from: https://issuu.com/sanfranciscoconsulting/docs/revista_julio_93215fc4fcd73a
- [8] Carrasco F. Efecto del cambio climático en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli periodo 1997-2014. Comunicación. 2016;7(2):38-47.
- [9] Terán W, Vilcacundo R, Carpio C. Compuestos bioactivos derivados de amaranto y quinua. Actualización en Nutrición. 2015;16(1):18-22.
- [10] Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2017, año clave para Ecuador en exportación de quinua. En Quito – Ecuador. Gobierno de la República del Ecuador. 2017. Available from: <https://www.agricultura.gob.ec/2017-ano-clave-para-ecuador-en-exportacion-de-quinua/>
- [11] Vilcacundo R, Hernández-Ledesma B. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd). Current Opinion in Food Science. 2017;14:1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
- [12] Pajuelo R. Posibilidades de la saponina de quinua en la industria cosmética [en línea]. En Lima – Perú. EuroEcoTrade. 2016. Available from: <http://www.euroecotrader.pe/galeria/57bbdb99e24e2.pdf>
- [13] Vega-Gálvez A, Miranda M, Vergara J, Uribe E, Puente L, Martínez E. Nutrition facts and funtional potencial of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: A review. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2010;90(15):2541-2547. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>
- [14] Gómez-Caravaca A, Lafelice G, Verardo V, Marconi E, Fiorenza-Caboni M. Influence of pearling process on phenolic and saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Food Chemistry. 2014;157:174-178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.023>



- [15] Apaza R, Smeltekop H, Flores Y, Almanza G, Salcedo L. Efecto de saponinas de *Chenopodium quinoa* willd contra el fitopatógeno *Cercospora beticola*. Sacc. Revista de Protección Vegetal. 2016;31(1):63-69.
- [16] Mayorga G, Belén V. Evaluación de métodos para la extracción de saponina presente en el moyuelo de quinua amarga (*Chenopodium quinoa*). (Pregrado) Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2019. Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/270184026.pdf>
- [17] Guzmán B, Tenorio R, Cruz D, Espinal C. Saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. and *Chenopodium pallidicaule* aellen as biocontrollers of phytopathogen fungi and hemolysis agents. Revista Boliviana de Química. 2015;32(1):8-14.
- [18] Guanipatín L, Sebastián R. Evaluación de un proceso industrial para la obtención de saponina a partir del moyuelo de quinua (*Chenopodium quinoa*) (Trabajo de titulación). (Pregrado). Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2021.
- [19] Gianna V. Extracción, cuantificación y purificación de saponinas de semillas de (*Chenopodium quinoa* willd) provenientes del noroeste argentino [en línea] (Trabajo de titulación). Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba; 2013. Available from: <https://docplayer.es/21207531-Universidad-nacional-de-cordoba-facultad-de-ciencias-exactas-fisicas-y-naturales-doctorado-en-ciencias-de-la-ingenieria.html>
- [20] Monje C, Raffaillac J. Determinación de saponinas totales en quinua (*Chenopodium quinoa* willd) por método espectrofotométrico. Paper presented at: Memoria IV Congreso Nacional de la Asociación Boliviana de Protección Vegetal; 2006 Apr 5-7; Oruro, Bolivia.
- [21] Orosco C, Alexandra V. 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). Riobamba; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2018.
- [22] Perry R. Manual del ingeniero químico [en línea]. Sexta ed. México: MacGraw-Hill; 1993.