

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“MAXIMIZACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE SAPONINA EN
ESCARIFICADO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) POR
ABRASIÓN APLICANDO SUPERFICIE DE RESPUESTA”**

Presentado por:

JUAN JOSÉ MANUEL CAMPOS NAPÁN

**TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“MAXIMIZACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE SAPONINA EN
ESCARIFICADO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) POR
ABRASIÓN APLICANDO SUPERFICIE DE RESPUESTA”**

Presentado por:

JUAN JOSÉ MANUEL CAMPOS NAPÁN

**TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Carlos Elías Peñafiel

PRESIDENTE

Mg.Sc. Laura Linares García

MIEMBRO

Dra. Bettit Salvá Ruiz

MIEMBRO

Dr. Milber Ureña Peralta

ASESOR

Lima – Perú

2018

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre, Marcela, por ser aquella mujer el pilar fundamental de mis principios y valores, por demostrarme su amor, cariño, paciencia y comprensión en cada momento de mi vida.

A mi padre, Jaime, a pesar de no encontrarse en este mundo desde hace 7 años, y aunque nos faltaron muchas cosas por compartir, me enseñó a sonreír ante la adversidad y no desfallecer en el intento de superarla; yo sé que este momento hubiera sido tan especial para él.

A mis hermanos mayores, Jaime y Carlos, por ser los ejemplos de esfuerzo y dedicación en cada proyecto de vida personal como profesional.

Y, por último, pero no menos importante, dedicado a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar a este momento tan importante de mi vida profesional.

“Lo único que necesita el mal para triunfar es que gente buena no haga nada.”

“Renunciar a la idea de ganar antes de empezar, equivale a perder sin pelear.”

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades al largo de toda mi vida.

Al Dr. Ureña, por su buena voluntad y predisposición para ser asesor del presente trabajo. Además de su valiosa guía.

Al Ing. Victor Mathews, por compartir su conocimiento sobre el «grano dorado» y por ser mi amigo.

Al Ing. Carlos Gonzales y su equipo de GING Maquinas Perú S.A.C. por permitirme utilizar y trabajar con sus equipos.

A mis amigos del colegio, Yuri, Sair, Jorge y Diego quienes supieron entender mi ausencia a las reuniones de fin de semana.

A mis amigos de la universidad, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimiento, alegrías y tristezas durante la etapa universitaria.

A ella, por acompañarme a la distancia durante la realización de este trabajo y compartir conmigo alegrías y fracasos en estos últimos años.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	QUINUA	3
2.1.1	ASPECTOS GENERALES.....	3
2.1.2	TAXONOMÍA Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	6
2.1.3	CLASIFICACIÓN AGROECOLÓGICA	7
2.1.4	EL GRANO DE QUINUA Y SU COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	8
2.1.5	QUINUA VARIEDAD SALCEDO INIA	13
2.1.6	PROCESAMIENTO Y FORMAS DE CONSUMO.....	15
2.2	SAPONINA.....	17
2.2.1	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA SAPONINA	19
2.2.2	TOXICIDAD.....	21
2.3	DESAPONISADO	21
2.3.1	MÉTODO EN HÚMEDO	22
2.3.2	MÉTODO EN SECO	23
2.4	METODOLOGÍA DE SUPERFICIE RESPUESTA	23
2.4.1	ETAPAS DE LA OPTIMIZACIÓN	24
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN	27
3.2	MATERIA PRIMA	27
3.3	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	27
3.3.1	MATERIALES.....	27
3.3.2	EQUIPOS Y <i>SOFTWARE</i>	28
3.3.3	REACTIVOS.....	28
3.4	MÉTODOS DE ANÁLISIS	28
3.4.1	HUMEDAD	28
3.4.2	PROTEÍNA	28
3.4.3	GRASA	29
3.4.4	CENIZA	29
3.4.5	FIBRA CRUDA	29

3.4.6	CARBOHIDRATOS	29
3.4.7	GRANULOMETRÍA	29
3.4.8	SAPONINA.....	29
3.5	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	30
3.5.1	ESCARIFICADO DE QUINUA.....	30
3.5.2	DETERMINACIÓN DE LA SAPONINA.....	32
3.6	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	34
3.6.1	ESCARIFICADO	34
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	37
4.2	<i>SCREENING</i>	39
4.3	OPTIMIZACIÓN	41
4.4	CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL.....	47
V.	CONCLUSIONES	52
VI.	RECOMENDACIONES	53
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
VIII.	ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1:	Composición de semillas andinas y cereales.....	3
Cuadro 2:	Composición nutricional de distintas variedades de quinua	11
Cuadro 3:	Características de tres variedades mejoradas de quinua.....	14
Cuadro 4:	Contenido de saponinas de varias plantas alimenticias	19
Cuadro 5:	Usos de las saponinas en la industria	20
Cuadro 6:	Factores y sus niveles considerados en el arreglo factorial 3^k aplicado en la etapa de <i>screening</i> para el rendimiento de extracción de saponina ..	34
Cuadro 7:	Factores y sus niveles considerados en el arreglo factorial 3² aplicado en la etapa de optimización para el rendimiento de extracción de saponina	35
Cuadro 8:	Análisis proximal de la quinua blanca trillada variedad Salcedo INIA en base húmeda	37
Cuadro 9:	Resultado de análisis de granulometría de la quinua blanca trillada variedad Salcedo INIA	37
Cuadro 10:	Arreglo del diseño factorial 3² en la etapa de <i>screening</i>	40
Cuadro 11:	Diseño 3², respuesta experimental de optimización	42
Cuadro 12:	Análisis de Varianza del modelo cuadrático para el porcentaje de extracción de saponina en la etapa de optimización	43
Cuadro 13:	Condiciones que maximizan el proceso de escarificado	45
Cuadro 14:	Valor predicho y valores experimentales de las variables respuestas bajo las condiciones que maximizan los procesos de escarificado	45
Cuadro 15:	Análisis proximal de la quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA en base húmeda con los parámetros que maximizan la operación estudiada	47
Cuadro 16:	Resultado de análisis de granulometría de la quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Sección longitudinal media del grano de quinua.....	9
Figura 2:	Productos a base de quinua comercializados dentro y fuera de Perú	16
Figura 3:	Estructuras de agliconas de saponinas elucidadas en quinua	17
Figura 4:	Superficie de respuesta cuadrática	25
Figura 5:	Curvas de nivel de respuesta cuadrática	25
Figura 6:	Flujo de operaciones para obtener quinua escarificada	30
Figura 7:	Método afrosimétrico para la determinación de saponina en quinua	33
Figura 8:	Diagrama de Pareto estandarizado del diseño factorial 32 (etapa <i>screening</i>).....	40
Figura 9:	Gráfica de contorno de la superficie de respuesta estimada para el porcentaje de extracción de saponina.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA QUINUA BLANCA TRILLADA.....	61
ANEXO 2:	COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA QUINUA BLANCA ESCARIFICADA	62
ANEXO 3:	DIAGRAMA DEL PORCENTAJE DE TAMAÑO DE PARTÍCULA RETENIDA Y CERNIDA RESPECTO A LA LUZ DE MALLA (MM) EN LA QUINUA BLANCA TRILLADA.....	63
ANEXO 4:	DIAGRAMA DEL PORCENTAJE DE TAMAÑO DE PARTÍCULA RETENIDA Y CERNIDA RESPECTO A LA LUZ DE MALLA (MM) EN LA QUINUA BLANCA ESCARIFICADA.....	64
ANEXO 5:	SUPERFICIE DE RESPUESTA ESTIMADA PARA EL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE SAPONINA.....	65
ANEXO 6:	COMPARACIÓN DE LOS ANÁLISIS PROXIMALES ANTES Y DESPUÉS DEL ESCARIFICADO	66
ANEXO 7:	RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN CON LOS VALORES ÓPTIMOS EN LA PRUEBA DE VALIDACIÓN Y SU ERROR RELATIVO.....	66
ANEXO 8:	FICHA TÉCNICA DE ESCARIFICADOR DE PALETAS	67

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo maximizar la reducción de saponina en quinua blanca, variedad Salcedo-INIA, en un escarificador de paletas aplicando el método de superficie de respuesta. Para el estudio de rendimiento de extracción de saponina se aplicó un arreglo factorial 3^k , donde se determinó que, las variables estudiadas: revoluciones por minuto (rpm) y carga (kg/h), afectan significativamente el rendimiento de extracción de saponina en el escarificado. Por lo que se procedió a determinar la relación que asegure el máximo contenido de estos, aplicando para su identificación un Análisis de Varianza (ANVA) y haciendo estudio de las gráficas de superficie respuesta y de contorno. Los parámetros óptimos fueron: 700 rpm y 800 kg/h obteniendo un rendimiento de extracción máximo predicho de 99,20 por ciento y un rendimiento de extracción experimental de 99,61 por ciento en la prueba de validación. Los valores de su contenido fisicoquímico y granulometría no se ven afectados, lo que demuestran el logro de un proceso que no deteriora la integridad del grano y composición fisicoquímica, y el aumento del porcentaje de su diámetro promedio (1,40 mm) como resultado de la eliminación del pericarpio en el escarificado.

Palabras clave: Quinoa Blanca, Salcedo INIA, Saponina, Escarificado, Superficie Respuesta.

ABSTRACT

This research had the following aim: to maximize the reduction of saponin in white quinoa, variety Salcedo-INIA, in a paddle scarifier by applying the response surface method. For the saponin extraction performance study, a 3^k factorial arrangement was applied, from which it was determined that the variables studied: revolutions per minute (rpm) and mass flow (kg/h) significantly affect saponin extraction performance in scarification. So we proceeded to determine the relationship that ensures the maximum content of these, applying for its identification an Analysis of Variance (ANVA) and doing study of the response surface and contour graphs. The optimal parameters were: 700 rpm and 800 kg/h, obtaining a predicted maximum extraction performance of 99,20 percent and an experimental extraction performance of 99,61 percent in the validation test. The values of their physicochemical content and granulometry are not affected, which demonstrates the achievement of a process that does not deteriorate the integrity of the grain and physicochemical composition, and the increase in the percentage of its average diameter (1,40 mm) as result of the elimination of the pericarp in the scarification.

Keywords: White Quinoa, Salcedo INIA, Saponin, Scarified, Surface Response.

I. INTRODUCCIÓN

La quinua es una planta autóctona de Sudamérica, constituye un recurso vegetal base de la alimentación del poblador de los andes y fue un recurso alimenticio importante de las culturas precolombinas hace más de 5 000 años como lo demuestran las evidencias arqueológicas. Su gran adaptabilidad se demuestra tanto en latitud (desde Piura hasta Tacna en la costa y desde Cajamarca hasta Puno en la sierra) como en altitud desde 0 metros nivel del mar hasta los 4 000 metros sobre el nivel del mar (CORLIB/JUNAC 1988).

Su importancia del grano de quinua radica en su alto contenido de lisina, el cual es un aminoácido limitante entre los cereales (Repo-Carrasco 1992; Stikić *et al.* 2012.), aminoácido esencial para el crecimiento y desarrollo humano. Los antinutrientes presentes son las saponinas, ácido fítico y alcaloides tóxicos, los cuales afectan las propiedades nutricionales disminuyendo la digestibilidad del almidón, absorción de proteínas y micronutrientes (Repo-Carrasco *et al.* 2003; Martínez-Villaluenga *et al.* 2006), la presencia de fitatos disminuye la biodisponibilidad de los minerales como hierro, magnesio y zinc (Ruales y Nair 1993).

En la actualidad, la situación política, económica, social y ambiental del Perú ha puesto en discusión temas de relevancia a nivel de gobiernos, instituciones y organizaciones: la seguridad alimentaria, el cambio climático, la pobreza, la conservación de recursos naturales y la protección del medio ambiente (FAO 2013).

Bajo esa coyuntura, el cultivo de quinua ha alcanzado una demanda competitiva mundial; sin embargo, la oferta es menor, porque en Perú se cultiva en pequeñas áreas, la producción es estacionaria, los rendimientos son variables de acuerdo a la zona geográfica y de acuerdo a la variedad que cultivan, y a esto se le suma la falta de coordinación y falta de intercambio de información en los productores, haciendo notar que hace falta más la presencia de profesionales y apoyo técnico en el proceso productivo (FAO 2013).

Anualmente una mediana empresa en Perú dedicada al procesamiento de desaponificado en húmedo emplea 0,5 m³ de agua para lavar y enjuagar cada 250 kg de quinua trillada, lo cual daría un total de 50 m³ de agua por cada 25 ton de quinua. Es decir, estaría usando al año 4 800 m³ de agua para todos sus pedidos, a esto sumando que en esa agua hay entre 96 a 100 ton de saponina al año ingresando al río o desagüe. Datos de empresas bolivianas indican que sus residuos generados (saponina, quinua liviana y otros materiales orgánicos) alcanzan el ocho por ciento de mermas en mediante lavado en húmedo ya que además tienen que secarla inmediatamente para evitar proliferación de microorganismos, fermentación o germinación (Lozano *et al.* 2012).

Por lo tanto, la realización de este trabajo buscó obtener la maximización de la reducción de saponina en la operación de escarificado como una manera más eficiente de retirar saponina sin alterar o dañar al grano de quinua, y además contribuir a la disminución del impacto ambiental al no consumir agua y como efecto principal, no contaminarla tal como suele pasar con el método tradicional en húmedo.

Por todo ello, el objetivo general del presente trabajo de investigación fue:

- Maximizar la reducción de saponina en quinua blanca, variedad Salcedo-INIA, en un escarificador de paletas aplicando el método de superficie de respuesta.

Y los objetivos específicos fueron:

- Caracterizar fisicoquímica y físicamente la quinua blanca, variedad Salcedo-INIA.
- Optimizar el escarificado de la quinua blanca, variedad Salcedo-INIA considerando los valores de las variables: Número de revoluciones por minuto (rpm) y carga (kg/h) según el diseño experimental a aplicar.
- Validar los valores de las variables con los que maximizan la reducción de saponina.
- Caracterizar fisicoquímica y físicamente la quinua escarificada aplicando los valores encontrados en la maximización.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 QUINUA

2.1.1 ASPECTOS GENERALES

Considerado como «grano andino» es usado en las poblaciones andinas desde tiempos precolombinos y fue dado a sus bondades nutricionales y adaptabilidad llevado casi a todo el continente sudamericano. Y es que, en aquellos tiempos, y en la actualidad misma, el consumo de proteínas de origen animal no ha sido tradicional ni común en las poblaciones andinas. Su verdadero valor radica la calidad de la proteína es decir en la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales para la alimentación humana que le dan un alto valor biológico (CORLIB/JUNAC 1988).

Debido a su alta calidad nutricional, el cultivo de granos andinos ha aumentado no sólo en las regiones andinas de Ecuador y Bolivia, sino también en otras partes del mundo como Australia, Nueva Zelanda y Finlandia (Stikić *et al.* 2012) que buscan obtener una quinua de alto valor nutritivo de estas partes del mundo (cuadro 1).

Cuadro 1: Composición de semillas andinas y cereales

CONTENIDOS (G/100 G MATERIA SECA)						
MATERIAL (REFERENCIA)	VARIEDAD	PROTEÍNA	GRASA	CENIZA	FIBRA DIETÉTICA	CARBO_ HIDRATOS
Trigo (Kent, 1983)						
	Manitoba	16,0	2,9	1,8	2,60	74,1
	English wheat	10,5	2,6	1,8	2,50	78,6
Arroz (Kent, 1983)		9,1	2,2	7,2	10,20	71,2
Maíz (Kent, 1983)		11,1	4,9	1,7	2,1	80,2
Avena (Kent, 1983)		11,6	5,2	2,9	10,4	69,8
Cebada (Kent, 1983)		11,8	1,8	3,1	5,3	78,1

«continuación»

Kiwicha^a (Repo-Carrasco *et al.*, 2009b)

Centenario	14,55	10,08	2,39	7,43	65,55
Oscar Blanco	14,70	10,15	2,61	7,27	65,27

Kiwicha^a (Alvarez *et al.*, 2010)

Quinoa^b (Wright *et al.*, 2002)

Quinoa^b (Repo-Carrasco *et al.*, 2010b)

Witulla	12,28	5,32	2,57	2,62	69,5
Ccoito	14,72	5,33	2,83	1,81	68,1

Quinoa^b (Alvarez *et al.*, 2010)

Kañiwa^c (Repo-Carrasco *et al.*, 2009a)

Cupi	14,41	5,68	5,03	11,24	63,64
Ramis	14,88	6,96	4,33	8,18	65,6

Kañiwa^c (Rosell *et al.*, 2009)

Lupino

L. angustifolius

(Mohamed *et al.*, 1995)

L. angustifolius

(Lqari *et al.* 2002)

L. angustifolius

(Sujak *et al.* 2006)

a: *Amaranthus caudatus*, b: *Chenopodium quinoa*, c: *Chenopodium pallidicaule*, d: Proteína total x 6,25; n.d.: No detectado.

FUENTE: Tomado de Lakshminarasimhan 2014

La quinua, kañiwa y el amaranto no están agrupados bajo la misma familia que los cereales (gramíneas), sin embargo, debido a que se utilizan estas semillas para aplicaciones similares a los cereales se les denominan *pseudocereales* (Repo-Carrasco *et al.* 2003).

a. Historia

La quinua es un grano alimenticio que se cultiva ampliamente en la región andina, desde Colombia hasta el norte de la Argentina para las condiciones de montañas de altura, aunque un ecotipo que se cultiva en Chile, que crece a nivel del mar. Domesticada por las culturas

prehispánicas, se la utiliza en la alimentación desde por lo menos unos 3 000 años en los andes (Tapia 1997).

Ha habido varios hallazgos arqueológicos de quinua, por ejemplo, algunas ramas fructíferas terminales y granos sueltos, encontrados en diferentes regiones del Perú y en la zona costera de Arica, Chile. Asimismo, las semillas de quinua encontradas en las antiguas tumbas indígenas en Tarapacá y en Calama (Chile) y en la región Colchaqui-Diaguita. En el norte del Perú el cultivo de la quinua fue común, pero en asociación con maíz. Más al sur, ésta alcanzó importancia tanto en el «Callejón de Huaylas» como en el valle del Mantaro, donde fue ampliamente cultivada por la tribu de los Huancas (Tapia *et al.* 1979). Una evidencia del uso de la quinua se encuentra en la cerámica de la cultura Tiahuanaco, que representa a la planta de quinua, con varias panojas distribuidas a lo largo del tallo, lo que mostraría a una de las razas más primitivas (Yacovleff y Herrera 1943).

Pero es indudable que durante el Imperio Incaico fue difundida en Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y en el noroeste de Argentina, dada su importancia económica y a adaptabilidad en zonas costeras y zonas frías de los andes, además de que sus semillas que son muy ricas en proteínas fueron utilizadas también sus hojas en ensaladas (FAO 2011).

Sin embargo, su cultivo no progresó porque la cultura española que penetró las tierras americanas impuso principalmente el trigo y la cebada en el grupo de los cereales. Ya en la época de la colonia, fue muy poca la importancia que se le dio a este cultivo por efecto de los cambios sociales y la actitud de la gente respecto a los cultivos foráneos, que generaba un prestigio social que condujo a menospreciar los cultivos andinos y las pocas referencias que se tienen de esta época son mayormente de investigadores europeos (Tapia *et al.* 1979). De la Vega (1973), menciona en sus crónicas que se usaba para hacer bebidas, se usaba en guisados porque eran sabrosas y sanas, y que estando en España recibió semillas de quinua de sus familiares del virreinato del Perú, pero llegaron muertas y a pesar que las sembró en distintas estaciones, no crecieron.

b. Importancia

Como se sabe, los beneficios de la quinua quedaron ocultos al mundo por la conquista española en los andes. Para que fuera reconocida y revalorada en cuanto a su importancia alimenticia tuvieron que pasar más de 500 años. La FAO (2011) alude a la sobrevivencia de

este cultivo andino gracias a las comunidades campesinas que habitan la zona andina, quienes, en base a sus tradiciones y conocimientos ancestrales sobre el manejo y utilización de esta especie, han logrado evitar su pérdida. Ahora es Europa uno de los continentes más interesados en investigar las propiedades de tal grano (García 2011).

Hay que hacer mención que la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio) en los EEUU eligió a la quinua como alimento nutritivo por excelencia para los viajes espaciales. Por su parte, la FAO, organismo perteneciente a las Naciones Unidas, ha divulgado incansablemente que la quinua es lo más cercano que existe como alimento ideal para el ser humano. Es considerada por muchos investigadores como el «súper grano del futuro» (Huapaya 2014).

2.1.2 TAXONOMÍA Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Según Gómez y Eguiluz (2012), la posición taxonómica de la quinua es:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Sub clase: Caryophyllidae
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Amaranthaceae
- Género: Chenopodium
- Sección: Chenopodia
- Subsección: Cellulata
- Especie: *Chenopodium quinoa* Willdenow

La quinua es una planta herbácea anual, dicotiledónea de amplia dispersión geográfica, con características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas donde se cultiva (Apaza *et al.* 2013). Presenta una gran adaptación a diferentes condiciones ambientales y se cultiva desde el nivel del mar hasta 4 000 msnm; resistente a factores climáticos adversos como sequía, heladas, salinidad de suelos entre otros que afectan al cultivo.

Su periodo vegetativo varía desde 90 hasta 240 días, crece con precipitaciones desde 200 a 280 ml anuales, se adapta a suelos ácidos de pH 4,5; hasta alcalinos con pH de 9,0. Asimismo prospera en suelos arenosos hasta los arcillosos, la coloración de la planta es también variable con los genotipos y etapas fenológicas, desde el verde hasta el rojo, pasando por el púrpura oscuro, amarillo, anaranjado granate y demás gamas que se puedan diferenciar (Apaza *et al.* 2013).

2.1.3 CLASIFICACIÓN AGROECOLÓGICA

Según FAO (2011), la región andina es reconocida como uno de los ocho centros de origen y de diversidad de los cultivos. Es el lugar donde existe la mayor diversidad genética de quinua tanto silvestre como cultivada que todavía se pueden encontrar en condiciones naturales y en campos de cultivo de los agricultores andinos. Entre los cultivos andinos, la quinua recibió la mayor dedicación y apoyo principalmente en Ecuador, Perú y Bolivia. Las evaluaciones de la variabilidad genética disponible permitieron agrupar a las quinuas en cinco grupos mayores según sus características de adaptación y morfológicas.

A continuación, se describen los cinco grupos de quinua de acuerdo a Gómez y Eguiluz (2012):

a. Quinuas del valle

Propias de los valles andinos. Se cultivan mayormente en la parte central y norte del Perú. Son plantas de dos a cuatro metros de altura, la mayoría ramificadas y con ciclo vegetativo de siete meses. Se encuentran fuentes de resistencia/tolerancia al *mildiu*. Generalmente se consideran como quinuas semidulces o de contenido bajo de saponina.

Variedades: Blanca Junín, Salcedo INIA, Rosada de Junín, Amarilla de Maranganí, Dulce de Quitopampa y Dulce de Lazo.

b. Quinuas del altiplano

Del área circundante al Lago Titicaca. Se cultivan alrededor de los 4 000 m.s.n.m. Las plantas son de 1,0 a 1,8 m de altura, no ramificadas mayormente y con ciclo vegetativo de cuatro a siete meses. Su tolerancia/resistencia al *mildiu* es variables. Generalmente son quinuas amargas o de contenido alto de saponina.

Variedades: «Chewecca», «Kancolla» y «Blanca de Juli».

c. Quinuas de los salares

Proceden de la zona de los «Salares Bolivianos», a una altitud de 4 000 m.s.n.m. Las plantas crecen en un pH cercano a 8 y la mayoría tiene granos grandes con alto contenido de saponina, bordes filosos y alto contenido proteico. En las otras características son semejantes a las quinuas del altiplano.

Variedades: «Real» y un progenitor de «Sajama».

d. Quinuas del nivel del mar

Del sur de Chile, de 2,0 m de altura, no ramificadas mayormente y florecen en días largos. Su semilla es pequeña, amarilla, transparente y con alto contenido de saponina.

Variedades: Quechuco de Cautín y Picharán de Maule.

e. Quinuas subtropicales

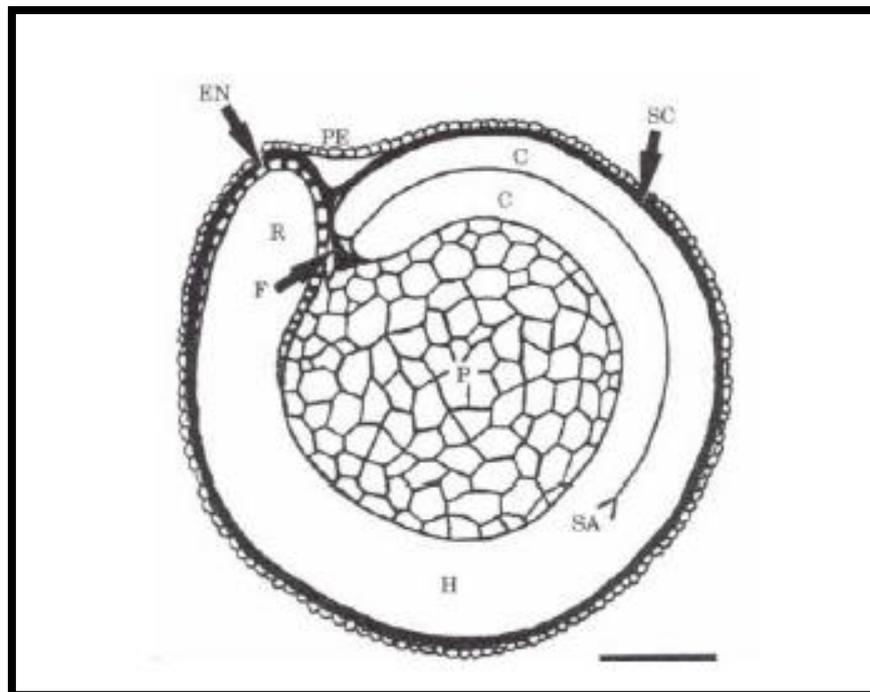
Existe un tipo subtropical en las Yungas, de color verde intenso que se torna naranja en la madurez y produce semillas muy pequeñas de color naranja.

En Perú, quinuas por obtenidas por mejoramiento genético son las siguientes variedades: Amarilla Maranganí, Kancolla, Blanca de Juli, Cheweca, Witulla, Salcedo-INIA, Iplla-INIA, Quillahuaman-INIA, Camacani I, Camacani II, Huariponcho, Chullpi, Roja de Coporaque, Ayacuchana-INIA, Huancayo, Hualhuas, Mantaro, Huacataz, Huacariz, Rosada de Yanamango, Namora, Tahuaco, Yocará, Wilacayuni, Pacus, Rosada de Junín, Blanca de Junín, Acostambo y Blanca Ayacuchana (FAO 2011).

2.1.4 EL GRANO DE QUINUA Y SU COMPOSICIÓN QUÍMICA

El grano de quinua, de color blanco, gris o rosado, por su tamaño - menor que el de los cereales - se clasifica en «extra grande» (mayor a 2,0 mm), «grande» (1,7-2,0 mm), «mediano» (1,4-1,7 mm) y «pequeño» (menor de 1,4 mm) (INDECOPI 2014). Según Quisocala, citado por Tapia *et al.* (2014), el fruto de la quinua es un aquenio cubierto por el perigonio que encierra una sola semilla, el que se desprende con facilidad al frotarlo cuando

está seco. El perigonio o envoltura final puede ser verde, púrpura o rojo; este tiene forma estrellada por la quilla que presenta cinco sépalos, estos se separan del grano durante la cosecha. El pericarpio (PE) del fruto está pegado a la semilla, presenta alvéolos y se conforma de colores muy variados, en esta capa se encuentra la saponina que origina el sabor amargo. El episperma (SC), es una membrana delgada de variados colores. El embrión está formado por los cotiledones (C) y la radícula (R), constituyendo la mayor parte de la semilla que envuelve el perisperma como un anillo. El perisperma (P) es almidonoso y de color blanco. Las secciones descritas del grano pueden observarse en la figura 1.



PE: Pericarpio, SC: Cubierta de la semilla o tegumento o episperma, EN: Endosperma, C: Cotiledones, H: Hipocófito, SA: Ápice del meristemo, R: Radícula, P: Perisperma, F: Funículo.

Figura 1: Sección longitudinal media del grano de quinua.

FUENTE: Tomado de Mujica *et al.* 2001

Su pericarpio almacena un esteroide (saponina) que fluctúa entre el 0,06 por ciento y 5,1 por ciento, que le da sabor amargo y presenta cierta toxicidad ya que en ciertas cantidades desnaturaliza las proteínas (García 2011).

Pero la diferencia de las variedades de quinua no solo radica en la cantidad de saponina que contenga su grano, sino el componente nutricional que ésta contenga. El primer factor es la

humedad que contenga el grano, ya que se sabe que el grano de quinua es higroscópico, por la presencia de cristales de oxalato de sodio lo que le permite absorber humedad del medio y retenerlo, lo que genera un problema para el grano ya que ésta facilita crecimiento de hongos y por lo tanto no sirve para el consumo humano. Como se puede observar en el cuadro 2 el porcentaje más bajo de humedad es del 7 por ciento correspondiente a quinua pito boliviana, y el más alto es del 13,1 por ciento correspondiente a la quinua ecuatoriana (Reyes *et al.* 2006).

En su mayoría de variedades, entre el 16 y el 20 por ciento del peso de una semilla de quinua lo constituyen proteínas de alto valor biológico, entre ellas todos los aminoácidos, incluidos los esenciales, es decir, los que el organismo es incapaz de fabricar y por tanto requiere ingerirlos con la alimentación. Los valores del contenido de aminoácidos en la proteína de los granos de quinua cubren los requerimientos de aminoácidos recomendados para niños en edad preescolar, escolar y adultos (FAO 2011).

En un estudio de 555 accesiones de la colección boliviana de quinua, se encontró que el contenido de grasa fluctuó entre 2,05 a 10,88 por ciento con un promedio de 6,39 por ciento. El rango superior de estos resultados es mayor al rango de 1,8 a 9,3 por ciento reportado por Morón, citado por Jacobsen y Sherwood (2002), quienes indican que el contenido de grasa de la quinua tiene un alto valor debido a su alto porcentaje de ácidos grasos insaturados. Estos valores del germoplasma de quinua son esperables en la obtención de aceites vegetales finos para el uso culinario y cosmético (Rojas *et al.* 2010).

Con respecto a la fibra supone el seis por ciento del peso total del grano, por ello la ingesta de quinua favorece el tránsito intestinal, regule los niveles de colesterol, estimule el desarrollo de flora bacteriana beneficiosa y ayude a prevenir el cáncer de colon.

Posee un alto porcentaje de Fibra Dietética Total (FDT), lo cual la convierte en un alimento ideal para lograr eliminar toxinas y residuos que puedan dañar el organismo. Por lo tanto, actúa como un depurador del cuerpo. Produce sensación de saciedad. El cereal en general, y la quinua en particular, tienen la propiedad de absorber agua y permanecer más tiempo en el estómago por lo que de esta forma se logra plenitud con poco volumen de cereal (FAO 2011).

Cuadro 2: Composición nutricional de distintas variedades de quinua

VARIETADES DE QUINUA	PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)	PORCENTAJE DE PROTEÍNA (%)	PORCENTAJE DE GRASA (%)	PORCENTAJE DE FIBRA (%)	PORCENTAJE DE CARBOHIDRATOS (%)
Quinoa Blanca (Junín)	11,80	12,20	6,20	5,70	67,20
Quinoa Blanca (Puno)	10,10	11,50	8,20	5,10	66,70
Quinoa Wild Cruda (Perú)	11,50	13,60	5,80	1,90	66,30
Quinoa dulce blanca (Junín)	11,10	11,10	7,70	6,00	67,40
Quinoa W. dulce blanca (Puno)	11,20	11,60	5,30	6,80	68,90
Quinoa W. dulce rosada (Junín)	11,00	12,30	7,20	7,00	67,10
Quinoa rosada (Puno)	10,20	12,50	6,40	3,10	67,50
Quinoa dulce Quitopamba(2)	9,10	17,00	5,50	-	66,00
Quinoa amarga Nariño (1)(2)	9,40	16,90	5,50	-	66,00
Otras Quinuas (2)	10,20	13,70	6,30	-	63,80
Quinoa Pasankalla (Bolivia) (3)	9,70	10,60	6,30	-	70,40
Quinoa común amarilla (Chile) (3)	9,80	13,00	7,40	-	66,80
Quinoa (Ecuador) (4)	13,10	14,20	4,10	3,90	66,20

«continuación»

Quinoa dulce (Bolivia) (3)	11,80	10,50	0,20	-	75,60
Quinoa Real (Bolivia) (3)	9,70	11,80	5,70	-	69,70
Quinoa Coitu (Bolivia) (3)	10,20	13,50	5,40	-	68,10
Quinoa Pito (Bolivia) (3)	7,00	12,30	6,30	-	71,80
Quinoa Qaslala (Bolivia) (3)	9,20	10,40	5,30	-	72,30
Quinoa (Colombia) (3)	13,00	16,40	2,00	-	65,60

(1): FAO (1970) p.40-41; (2): López (1973); (3): Viñas *et al.* En: Tapia *et al.* (1979); (4): White *et al.* En Tapia *et al.* (1979).

FUENTE: Tomado de Reyes *et al.* 2006

El grano de quinua se considera libre de gluten porque su proteína está conformada principalmente por albúminas y globulinas solubles en agua o soluciones salinas débiles, lo que dificulta su uso en la panificación, pero puede ser útil para alérgicos al gluten: enfermedades *Sprue* y *Zólikali* (García 2011).

2.1.5 QUINUA VARIEDAD SALCEDO INIA

Liberada en la región de Puno en 1995, fue una variedad mejorada genéticamente del cruce de las variedades Real Boliviana con Sajama (cuadro 3). Su proceso de selección del material segregante se realizó por el método masa genealógico en la EEA Illpa Puno, en 1983. Su adaptación es al altiplano en la zona agroecológica circunlacustre y suni del altiplano entre los 3 800 y 3 950 m.s.n.m., con clima semi seco frío. Precipitación pluvial de 400 a 560 mm, con temperaturas de 6 °C a 17 °C, en suelos de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 7,8. También se ha adaptado a valles interandinos y costa de 640 a 1314 m.s.n.m., temperatura máxima de 24 °C a 25 °C en suelos de textura arenosa (Apaza *et al.* 2013).

Se cultiva en las regiones de Puno, Cusco y Ayacucho. Tiene crecimiento en el altiplano como en valles interandinos e incluso en la costa. Es de grano dulce y suave (Pérez *et al.* 2016).

Sus principales usos son tradicionalmente en sopas, ensaladas, guisos, postres y bebidas. Para la agroindustria se ha trabajado perlada, laminada, harinas y fideos.

Cuadro 3: Características de tres variedades mejoradas de quinua

VARIEDAD	ORIGEN	GRANO				RENDIMIENTO (KG/HA)	FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS	
		PERIODO VEGETATIVO (DÍAS)	TAMAÑO	COLOR	SAPONINA		TOLERANTE	SUSCEPTIBLE
Salcedo INIA	Real boliviana x Sajama	160	Grande Pequeño	Blanco	Dulce	1 200 a 2 500	Helada, Mildiu	-
Blanca Juli	Chucuito - Juli	150 a 160	Pequeño	Blanco	Semi dulce	1 200 a 2 500	Frio	Mildiu, granizo
Kancolla	Cabanillas - Puno	170 a 210	Mediano	Blanco	Amarga	1 100 a 2 500	Frio, granizo y mildiu	-

FUENTE: Tomado de Marca *et al.* 2011

2.1.6 PROCESAMIENTO Y FORMAS DE CONSUMO

Para elaborar productos de calidad, la agroindustria requiere de materia prima de calidad, es decir, producto estandarizado (tamaño, color, sabor, inocuo, libre de impurezas de origen orgánico e inorgánico). Para alcanzar y cumplir estos parámetros, la materia prima debe pasar necesariamente por la etapa de procesado o beneficiado del grano. Este consiste y comprende varias etapas: la limpieza, desaponizado, selección y clasificación, envasado y almacenado; las cuales pueden efectuarse en forma manual y mecanizado. El procesamiento manual es apropiado para pequeñas cantidades y la mecanizada para procesar grandes volúmenes (Marca *et al.* 2011).

a. Limpieza

Consiste en eliminar las impurezas orgánicas (tallos, hojas, pajas, cáscaras) e inorgánicas (arena, tierra, piedrecillas). Esta operación funciona como un acondicionamiento antes del desaponizado para mejorar su eficacia (MINAGRI 2002).

b. Desaponizado

Consiste en retirar ya sea vía húmeda o vía seca el pericarpio del grano de quinua, porque su sabor amargo, debido a la presencia de saponina, impide su consumo directo (MINAGRI 2002).

c. Selección y clasificación

De acuerdo al MINAGRI (2002), consiste en seleccionar y clasificar el grano de acuerdo al tamaño, peso y color. Se usa:

- La máquina de aire y zaranda selecciona y clasifica el grano por tamaño, mediante las zarandas de diferentes orificios complementado por la corriente de viento generado por los ventiladores de la máquina. Adicionalmente puede acoplarse una mesa despedradora luego de esta para mayor eficacia del proceso.
- La mesa gravimétrica selecciona y clasifica el grano por peso, separando con mucha facilidad granos de menor peso y tamaño. Sus principios de funcionamiento se basan en la nivelación de la pendiente vertical y horizontal, compresión de aire y vibración.

- El selector óptico selecciona los granos por color, tales como negro, rojo y amarillo, cuyo funcionamiento es a base de una compresora de aire, con el sensor óptico podemos tener un grano de exportación de color uniforme.

d. Envasado

Una vez limpio el grano de la saponina e impurezas de origen orgánico e inorgánico, se realiza el envasado del grano perlado donde el peso y tipo de envase está en función de las exigencias del mercado en el que se comercializa el grano de quinua (MINAGRI 2002).

e. Almacenado

Son ambientes adecuados con buena ventilación, tiene una humedad, temperatura adecuada, no hay presencia de ningún tipo de plagas y está libre de roedores, donde los productos terminados son colocados sobre parihuelas (Marca *et al.* 2011).

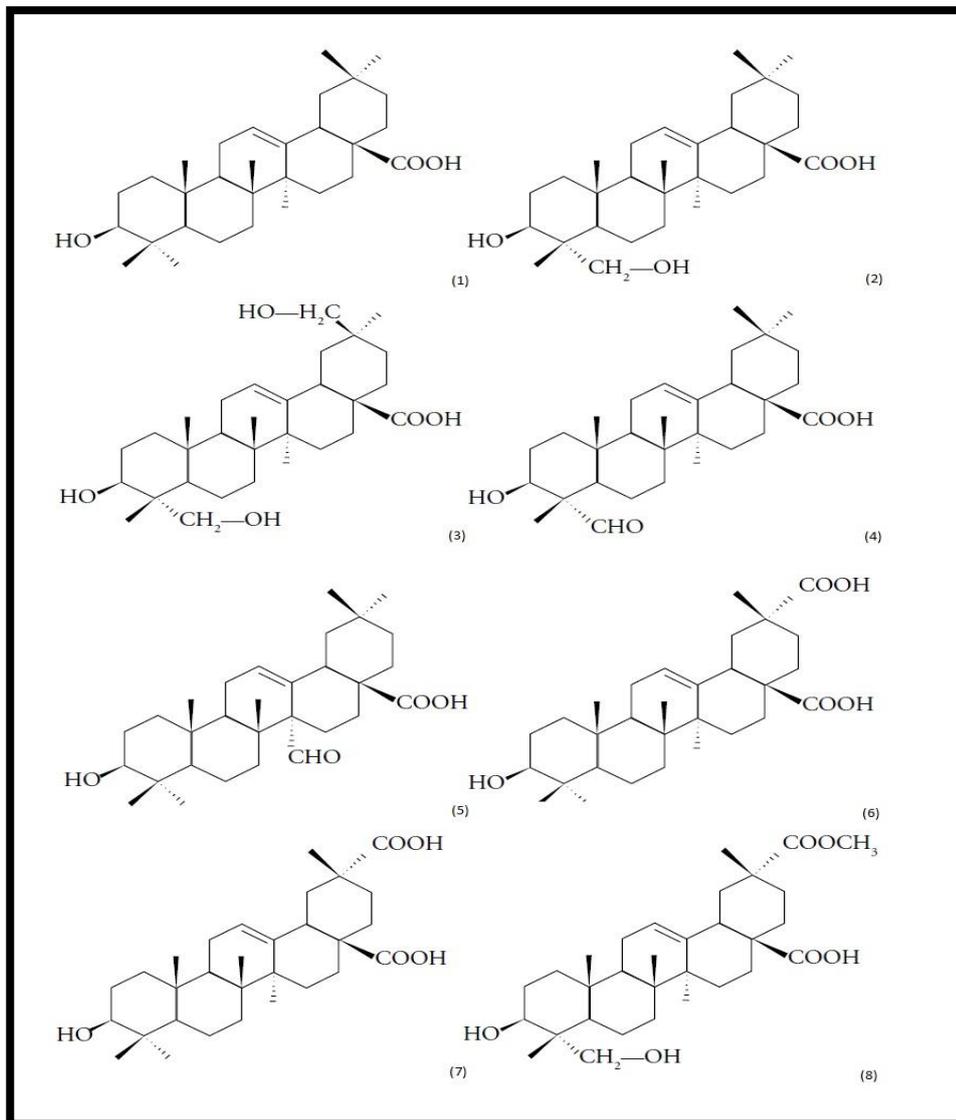
La quinua posee distintas características y propiedades físicas, químicas, ópticas, biológicas; consecuentemente ofrece enorme potencialidad de uso en la agroindustria (figura 2). El conocimiento de las características y propiedades de cada una de las variedades y ecotipos es fundamental para la elaboración de nuevos productos de alta calidad nutritiva. Actualmente, a mayor o menor escala se elaboran diferentes productos desde el jugo de quinua con manzana, *quispiño*, *p'eske*, mazamorras, hasta productos con procesos de transformación como la harina, expandidos, hojuelas, extruidos, almidones, colorantes, proteína concentrada, granos germinados, malteado, néctares, fideos, golosinas, toffes, mermeladas, entre otros (FAO 2011).



Figura 2: Productos a base de quinua comercializados dentro y fuera de Perú.

2.2 SAPONINA

Las saponinas son metabolitos secundarios que constituyen una gran familia de compuestos estructuralmente constituidos por una sapogenina (también llamada aglicona), y por un azúcar (monosacáridos u oligosacáridos) a través de enlaces glucosídicos que les confieren un carácter anfifílico (Heng *et al.* 2006) y se puede apreciar sus diferentes formas agliconas en la figura 3. Mientras que los enlaces glucosídicos se forman con la arabinosa, la glucosa, la galactosa, la xilosa, el ácido glucurónico y la ramnosa (Ahumada *et al.* 2016).



(1): Ácido oleanólico, (2): Hederagenina, (3): Ácido 3β,23,30-trihidroxi olean-12-eno-28-oico, (4): Gipsogenina, (5): Ácido 3β-hidroxi-27-oxoolean-12-eno-28-oico, (6): Ácido espergulagénico, (7): Ácido serjanico, (8): Ácido fitolacagénico.

Figura 3: Estructuras de agliconas de saponinas elucidadas en quinua.

FUENTE: Tomado de Ahumada *et al.* 2006

La saponina tiene tres propiedades distintivas que son: sabor amargo, potentes surfactantes y producen hemólisis sobre los eritrocitos en animales de sangre fría (Birk y Peri 1980). En la naturaleza, Fontúrbel (2003) indica que son sustancias orgánicas de origen mixto, ya que provienen tanto de glucósidos triterpenoides (de reacción ligeramente ácida), como esteroidales derivados de perhidro 1,2 ciclopentano fenantreno.

Ahumada *et al.* (2016) indican que la quinua al ser una planta dicotiledónea, posee saponinas triterpénicas y reporta la presencia de al menos 30 saponinas triterpénicas distribuidas en todas las partes de la planta de quinua, tales como hojas, flores, frutos, semillas y la cáscara de las semillas. Las pequeñas semillas de quinua están recubiertas de una delgada membrana o pericarpio que contiene hasta un cuatro por ciento de saponina, sustancia sumamente amarga y que produce abundante espuma al agitar la semilla en agua (Junge y Cerda 1978). Fontúrbel (2003) afirma que, en las formas silvestres y las variedades amargas de quinua, el contenido máximo (aproximado) de saponina es de un 2,8 por ciento (aunque el rango es variable de acuerdo a la especie y al ecotipo), valor extremadamente alto comparado con las exigencias actuales del mercado, que fijan como valor límite 0,05 por ciento.

Ahumada *et al.* (2016) afirman que además del fuerte sabor amargo, se ha descubierto que las saponinas son ligeramente tóxicas para los animales y el ser humano, y por ello deben ser eliminadas antes del consumo del grano. Por otro lado, es importante tener en cuenta que existen diferentes variedades de quinua a las cuales se asocian distintos niveles de saponinas. Siendo su procedencia principalmente de la región de los Andes, se han iniciado ensayos en otras regiones (Dinamarca y China).

Dado el contenido de saponinas reportado, la mayoría se clasifican como amargas (saponinas mayores a 0,11 por ciento).

En el cuadro 4 se muestra el contenido aproximado de saponinas en plantas de consumo humano.

Cuadro 4: Contenido de saponinas de varias plantas alimenticias

PLANTA ALIMENTICIA	(G/100 G M.S.)
Maní	1,6
Sorgo	0,007
Mijo	0,02
Alfalfa	0,14 – 1,17
Brotes de alfalfa	8,7
Raíces de alfalfa	0,88
Semilla de té	13
Semilla de tomate	1,0
Castaña de Indias	3 - 6
Guar	2,5
Avena	0,13
Hojas de betarraga azucarera	5,8
Semillas de ajonjolí	0,3
Espárrago	1,5
Ajo	0,3
Lupino	1,1 – 1,7
Trébol negro medicinal	3,5
Frijoles rojos	0,02
Lentejas	0,37 – 0,46
Arvejas	0,18
Garbanzo	0,23

*: Porcentaje de g en 100 g muestra fresca.

FUENTE: Tomado de Price *et al.* 1987

2.2.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA SAPONINA

Con respecto a su estabilidad térmica, las saponinas resisten temperaturas superiores a 150 °C e inferiores a 400 °C, temperatura a la cual se inicia el proceso de carbonización de la molécula, posibilitando la implementación de procesos de extracción convencionales que usualmente son favorecidos por el uso de calor (Ahumada *et al.* 2016).

Las saponinas ofrecen también una alta actividad superficial debido a la combinación estructural de un grupo polar (azúcar) y uno no polar (esteroide o triterpeno), es decir que están constituidas por un elemento soluble en lípidos y un elemento soluble en agua, y forma una espuma cuando son agitados en agua (Baccou *et al.* 1977), propiedad que permite su uso como un detergente natural, agente estabilizante y emulsificador en productos de limpieza y cosméticos. En el cuadro 5, se muestra los campos de utilización industrial de las saponinas, así como el nivel de pureza requerido, y que países se han desarrollado.

Cuadro 5: Usos de las saponinas en la industria

CAMPOS DE USO	EFEECTO
Alimentación animal	Reduce olores. Mejora conversión de alimentos. Reduce el nivel de colesterol. Antiprotozoo.
Alimentación de peces	Inmunoprotección en salmones.
Vacunas humanas	Adyuvante en vacunas para hepatitis B, melanoma, cáncer, sida.
Emulsificante	Emulsificante en diversos alimentos.
Colesterol	Remoción del colesterol en grasas y alimentos.
Reducción de colesterol en humanos	Reduce el colesterol.
Minería	Reduce la neblina en la minería del zinc.
Tratamiento de efluentes	Uso comercial

«continuación»

Protección contra insectos	Insecticida natural para cultivos
Análisis de sangre	Ingrediente para el conteo de glóbulos blancos.
Cosméticos	Cosmetología en general; disolución de ác. esenciales

FUENTE: Tomado de Sparg *et al.* 2004

2.2.2 TOXICIDAD

El principal efecto de la saponina es producir la hemólisis de los eritrocitos y afectar el nivel de colesterol en el hígado y la sangre, con lo que puede producirse un detrimento en el crecimiento, a través de la acción sobre la absorción de nutrientes (Meyhuay 2013).

Fontúrbel (2003) menciona que la saponina es altamente tóxica para el humano cuando se administra por vía endovenosa, ocasionan dolor estomacal, náuseas, ligera diarrea y problemas en la digestión, puesto que la fase jabonosa producida al mezclarse con el agua y al ser agitada por los movimientos peristálticos de las vísceras, hace que se rompan las fuerzas de tensión superficial de las fases líquidas que intervienen en el proceso de digestión.

En términos generales se puede afirmar que los granos de quinua, tal como salen de la trilladora, no deben ser utilizados directamente en la elaboración de alimentos por las impurezas asociadas (pajas, piedras, tierra, etc.) y por tener generalmente un sabor amargo notorio. De allí que estos granos tienen que pasar por un proceso de limpieza y desamargado (o desaponizado), es decir de eliminación de compuestos químicos en los que predominan las saponinas (Bacigalupo y Tapia 2000).

2.3 DESAPONISADO

El problema que presenta la quinua para el consumo directo o para la agroindustria es el contenido de saponina, que se encuentra en el pericarpio o cáscara del grano, las concentraciones varían según las variedades. Para su eliminación se desarrollado varios

métodos, las más importante son la desaponización vía seca, vía húmeda y combinación de ambas (Marca et al. 2011).

2.3.1 MÉTODO EN HÚMEDO

Según Marca *et al.* (2011) el desaponizado se puede realizar de forma manual y mecanizada. El método manual es muy adecuado para pequeños volúmenes, no requiere de equipos sofisticados, se puede realizar en pequeños recipientes y consiste en remojar en agua y frotar el grano por un tiempo determinado, luego se procede al secado. El método mecanizado consiste en los siguientes pasos secuenciales:

a. Lavado

Es un tanque de acero inoxidable provisto de agitación y rompe olas. Tiene la función de crear un remolino y hacer visible la saponina. Además, selecciona las piedrecillas provenientes de campo.

b. Enjuagado

Cumple la función de separar la espuma de la quinua en el momento del proceso de lavado, para este propósito el equipo tiene regaderas a manera de ducha dispuestas horizontalmente por donde circula la quinua lavada, frota la quinua y separa el agua amarga de la quinua lavada.

c. Centrifugado

Permite eliminar el contenido de agua en la quinua lavada, a través de un cilindro donde en el interior tiene envases rectangulares con orificios de 1 mm de diámetro a manera de canastillo, que gira en forma circular en el interior del cilindro a altas velocidades.

d. Secado

Proceso mediante el cual se elimina el contenido de humedad restante en el grano, hasta llegar a menos de 12 por ciento. La misma que se puede efectuar de manera natural (sobre mantas oscuras y exposición a la radiación solar) y a través de máquinas mediante transferencia de calor por convección.

2.3.2 MÉTODO EN SECO

También se conoce como escarificado y consiste en someter el grano a un proceso de fricción para eliminar las capas periféricas del mismo (que son las que contienen las saponinas), en forma de polvo (Torres y Minaya 1980).

Se caracteriza por utilizar principios mecánicos, puede ser manual y mecanizado. El proceso manual consiste en frotar el grano ya sea con mano o utilizando un batán, para ello la quinua debe ser previamente pre tostado, es muy adecuado para pequeñas cantidades y practicado por los productores. Para desaponisar en grandes volúmenes, se requiere necesariamente de máquinas y equipos (Marca *et al.* 2011).

a. Escarificador

La finalidad que tiene el escarificador es pelar el pericarpio del grano (cáscara) que cubre la quinua sin malograr el producto, además de efectuar la separación de ambos en diferentes productos de salida. Puede ser un tambor giratorio con paletas que giran a alta revolución por donde pasa la quinua y choca contra una malla perforada que separa la saponina en polvo. Otro modelo es un rodillo de acero inoxidable y a determinada distancia de este hay una malla perforada que realiza la separación de saponina en polvo (Marca *et al.* 2011).

Según INDECOPI (2014) el término *escarificado* se refiere a la operación física (proceso de fricción) mediante el cual se separa el pericarpio (cáscara) de la superficie del grano con la finalidad de eliminar la saponina porque esta última no es apta para el consumo humano.

2.4 METODOLOGÍA DE SUPERFICIE RESPUESTA

La metodología de superficies de respuesta, o MSR, es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y el análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar esta respuesta (Montgomery 2002). Permite que el investigador inspecciones, de manera visual, la respuesta para cierta zona de los niveles de los factores de interés y evaluar su sensibilidad a los factores de tratamiento (Kuehl 2001).

2.4.1 ETAPAS DE LA OPTIMIZACIÓN

Según Ayala y Pardo (1995), la optimización de un proceso por medio de diseños experimentales requiere del uso de una metodología o estrategia adecuada, a fin de encontrar los valores óptimos del proceso bajo estudio. Estas etapas fundamentales son: *screening* o eliminación de variables poco significativas, escalamiento y optimización final.

a. Etapa I: *Screening* o eliminación de variables poco significativas

La primera etapa de optimización tiene como objetivo reducir el número de variables iniciales. Esto es conveniente pues reduce la cantidad de pruebas experimentales en las etapas posteriores de optimización, siendo ventajoso para la economía de una investigación (Ayala y Pardo 1995).

De acuerdo a Ayala y Pardo (1995), generalmente al inicio de una investigación no se tiene un buen conocimiento del proceso, esto puede generar que la lista de variables controlables, que podrían influir en las respuestas de un proceso sean muchas, por lo que es necesario identificar aquellas variables que son relevantes, eliminando aquellas variables que resulten poco significativas.

Para el estudio de esta etapa se utiliza, generalmente, diseños experimentales de primer orden, como son: diseño factorial, diseño factorial fraccionado y diseños Plackett y Burman (Ayala y Pardo 1995).

b. Etapa II: Escalamiento

Cuando la región óptima se encuentra lejos de los experimentos iniciales (Etapa I: *Screening*), se inicia una segunda etapa de optimización denominada de Escalamiento, la que consiste en escalar sucesivamente hacia la región óptima hasta llegar a ubicarla. Para lograr acercarse, entre otros, los diseños experimentales directos, como el de búsqueda simple (*Simple Search*) y el de búsqueda múltiple; e indirectos, como el método de pendientes ascendentes o descendentes (Ayala y Pardo 1995).

c. Etapa III: Optimización final

Según Ayala y Pardo (1995) en la región experimental que encierra el óptimo, los efectos de segundo orden son mayores en valor absoluto a los efectos de primer orden, lo que indica

que esta región puede ser descrita apropiadamente mediante modelos matemáticos de segundo orden de la forma:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum b_j x_j + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{jj} x_j^2 \quad u \neq j \quad \text{Ecuación (1)}$$

La ecuación de respuesta cuadrática se representa como una superficie en tres dimensiones (figura 4). En la figura 5, la ecuación (1) se expresa como curvas de nivel o también llamado gráfica de contornos. Cada contorno corresponde a una altura particular de la superficie de respuesta.

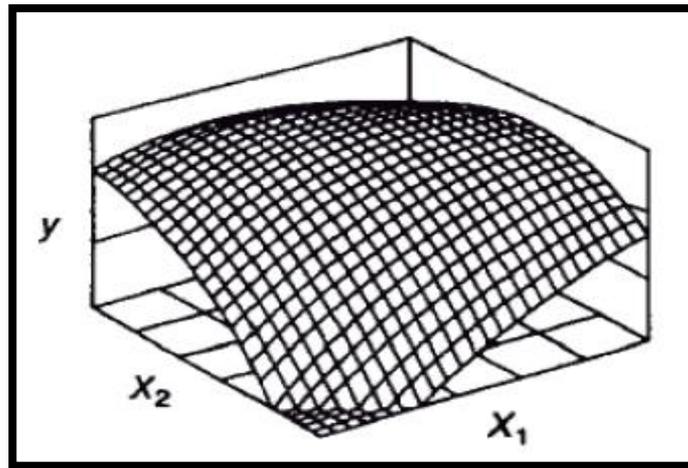


Figura 4: Superficie de respuesta cuadrática.

FUENTE: Tomado de Kuehl 2001

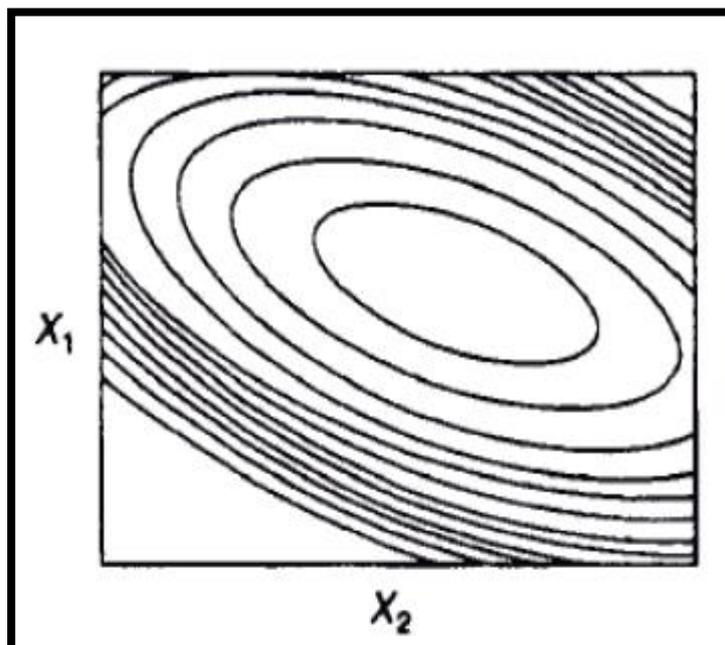


Figura 5: Curvas de nivel de respuesta cuadrática.

FUENTE: Tomado de Kuehl 2001

Una vez definido el modelo matemático que represente satisfactoriamente la región óptima, se procede a optimizar dicho modelo, lo que supone hallar los valores óptimos de las variables X_j que maximicen o minimicen el modelo matemático estimado (ecuación 1). Los diseños experimentales de segundo orden más apropiados incluyen los diseños rotables y los compuestos.

Los diseños para ajustar modelos de segundo orden son:

- **Factorial 3^k**

Los diseños 3^k consisten de todas las combinaciones de los niveles de las k variables control, las cuales tienen tres niveles cada una. Si los niveles están igualmente espaciados entonces las podemos asociar a -1, 0, 1. El número de corridas del experimento es 3^k , el cual puede llegar a ser muy grande. Al igual que en el diseño 2^k , cuando k es grande se puede considerar solo una fracción de los puntos del diseño (López 2015).

- **Diseño compuesto central**

El Diseño Compuesto Central o DCC consiste, según Montgomery (2002) y Kuehl (2001), en un diseño factorial 2^k , al cual se le añade puntos axiales ($2k$) en los ejes de coordenadas, a una distancia $\pm \alpha$ del punto central del diseño. El punto central es replicado cierto número de veces.

En el DCC, cada factor tiene cinco niveles, lo cual permite una buena predicción del modelo de segundo orden. Asimismo, el reducido número de puntos experimentales (correspondientes a la suma de los puntos factoriales, puntos axiales y repeticiones en el punto central: $N = 2^k + 2k + n_c$) lo convierte en un diseño económico en cuanto al uso de recursos (Kuehl 2001).

- **Diseños Box-Behnken**

Los diseños son rotatorios, o casi rotatorios, con menor número de unidades experimentales en comparación con los diseños 3^k . Se forman con la combinación de diseños 2^k y diseños de bloques incompletos. Estos diseños son esféricos más que cuboidales puesto que los puntos del diseño se encuentran en las orillas de un cubo en lugar de en las esquinas como los del diseño de cubo con cara centrada. El diseño de Box-Behnken solo debe usarse si no se tiene interés en predecir las respuestas en las esquinas de la región cuboidal (Kuehl 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en las siguientes instalaciones:

- Laboratorio de Fisicoquímica de Alimentos del Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias.
- Taller de procesos de quinua de la empresa GING MAQUINAS PERU S.A.C.

3.2 MATERIA PRIMA

Los granos de quinua blanca variedad Salcedo-INIA serán proporcionados por la empresa GING MAQUINAS PERU S.A.C., proveniente del distrito de San Juan Bautista, provincia Huamanga, en el departamento de Ayacucho.

3.3 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1 MATERIALES

Los materiales utilizados se describen a continuación:

- Vasos precipitados de 500, 150 y 50 ml
- Probetas graduadas de 10 y 150 ml
- Pipetas graduadas de 10 ml
- Tubos de ensayo con tapones de rosca; Long. 160 mm y Φ : 16 mm
- Gradillas
- Buretas de 100 ml
- Campanas de desecación
- Regla milimétrica sensible al 0,05 cm
- Papel tisú
- Navaja de corte
- Papel filtro

3.3.2 EQUIPOS Y SOFTWARE

Los equipos y software utilizados se describen a continuación:

- Balanza eléctrica rango de medición (sensibilidad).
- Balanza analítica rango de medición (sensibilidad).
- Tamizadora con mallas ASTM N° 12, 14, 16 y 18
- Estufa
- Equipo de filtración al vacío
- Agitador magnético
- Escarificadora de paletas de 1 800 rpm
- Hardware Intel I3. Lenovo®
- Impresora EPSON® 365.
- Statgraphics® Centurion XV.15.2.06.

3.3.3 REACTIVOS

Los reactivos utilizados se describen a continuación:

- Solución buffer de pH 7,0 Hanna Buffer solution HI 7007
- Solución buffer de pH 4 Hanna Buffer solution HI 7007
- Hidróxido de sodio 0,1 N
- Fenolftaleína concentrada
- Etanol
- Agua destilada

3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS

A continuación, se detallan los métodos de análisis realizados en el trabajo.

3.4.1 HUMEDAD

Se utilizó el método 945.15 de la AOAC (2007).

3.4.2 PROTEÍNA

Se utilizó el método 992.23 de la AOAC (2007).

3.4.3 GRASA

Se utilizó el método 945.38 de la AOAC (2007).

3.4.4 CENIZAS

Se utilizó el método 923.03 de la AOAC (2007).

3.4.5 FIBRA CRUDA

Se utilizó el método 945.38 de la AOAC (2007).

3.4.6 CARBOHIDRATOS

La proporción de carbohidratos se determinó restando al 100 por ciento el porcentaje de los demás componentes (humedad, proteína, grasa, cenizas y fibra) anteriormente mencionados.

3.4.7 GRANULOMETRÍA

Se trabajó con 250 g de granos recomendado por INDECOPI (2014). Se usó los tamices N°12, 14, 16 y 18 para ver el tamaño de partícula retenida en cada tamiz.

3.4.8 SAPONINA

Se utilizó el método de la espuma (afrosimétrico) estipulado por INDECOPI (2014). Los resultados se expresaron en porcentaje, aplicando la ecuación (2).

$$\text{Porcentaje saponina (\%)} = \frac{(0,646 \times h) - 0,104}{m \times 10} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

h = altura de espuma, en cm

m = masa de la muestra, en g

3.5 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1 ESCARIFICADO DE QUINUA

Para la reducción de saponina, se utilizó quinua blanca variedad Salcedo INIA que fue previamente separada de impurezas (orgánicas e inorgánicas) y piedras mediante el siguiente procedimiento: extracción de impurezas livianas, zarandeo y despedrado.

En la figura 6 se presenta la secuencia de operaciones llevada a cabo para la obtención de quinua escarificada, posteriormente se describe dichas operaciones.

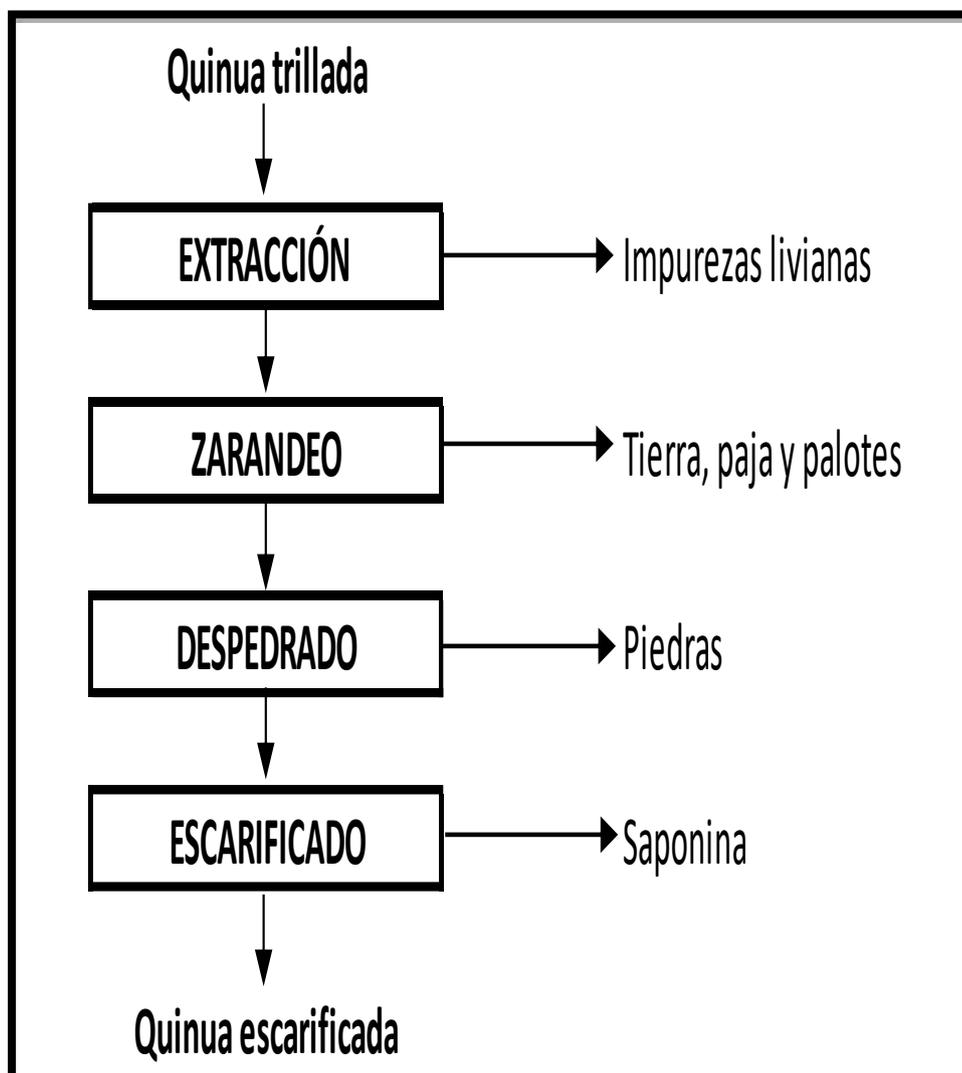


Figura 6: Flujo de operaciones para obtener quinua escarificada.

a. Extracción

Mediante el uso de un extractor de aire, la quinua trillada cae en un conjunto de placas inclinadas para separarse lo más que puede y dejar en el aire las impurezas más livianas como cascarillas, palillos y polvo. Estas son succionadas por el extractor con la fuerza suficiente para no retirar quinua y solo extraiga las impurezas ya mencionadas.

b. Zarandeo

La quinua trillada cae en una mesa zaranda inclinada con mallas con abertura de 3,50 mm, 3,00 mm y 1,00 mm; las dos primeras retienen pajas, palotes y cualquier otra impureza que pueda ser separar con esa abertura de malla.

c. Despedrado

La quinua trillada cae en una mesa despedradora inclinada que combinada con un movimiento alternativo y flujo de aire transmitido por un ventilador debajo de este, separa las piedras.

d. Escarificado

La escarificadora posee internamente un eje con paletas dispuestas de manera circunferencial que giran a alta velocidad. Lo circunda a una luz de 2,50 mm una malla perforada de 0,70 mm, todo ello encapsulado y en su parte inferior posee un extractor de polvo que saca la saponina. La quinua trillada ya acondicionada para un eficiente escarificado, son recepcionados en una tolva antes de pasar a la máquina escarificadora, luego dependiendo de la carga o flujo másico (kg/h) requerido por el diseño experimental, se abrió una determinada distancia de la compuerta. Las revoluciones por minuto (rpm) fueron reguladas por el cambio de polea de acuerdo a lo establecido por el diseño experimental (500, 600 y 700 rpm). Al ingresar el producto, las paletas hacen frotar la quinua con ella misma y contra la malla que circunda. El producto de este proceso es la quinua escarificada que sale por un extremo de la escarificadora y la saponina que sale a través de la malla y es extraída por el extractor por la parte inferior.

3.5.2 DETERMINACIÓN DE LA SAPONINA

Para la determinación de saponina se usó el método afrosimétrico (INDECOPI 2014), se extrajo muestra en la tolva antes de ingresar a la escarificadora, y luego de escarificarse también se tomó otra muestra, haciendo lo mismo para cada tratamiento y repetición. La descripción de los pasos se muestra a continuación.

a. Clasificación

Clasificar los granos de quinua de cualquier impureza (orgánica e inorgánica).

b. Pesado

Pesar y colocar $0,50 \pm 0,02$ g de granos de quinua en un tubo de ensayo.

c. Agitación N° 1

Previamente añadir $5,0 \text{ cm}^3$ de agua destilada y tapar el tubo. Poner en marcha el cronómetro y agitar fuertemente el tubo durante 30 segundos.

d. Reposo N° 1

Dejar el tubo en reposo durante 30 minutos en posición vertical.

e. Agitación N° 2

Agitar otra vez durante 30 segundos.

f. Reposo N° 2

Dejar el tubo en reposo durante 30 minutos en posición vertical.

g. Agitación N° 3

Agitar otra vez durante 30 segundos.

h. Reposo N° 3

Dejar el tubo en reposo durante 5 minutos en posición vertical.

i. Medición

Medir la altura de espuma con aproximación al 0,01 cm.

En la figura 7 se muestra la secuencia de pasos para de este método afrosimétrico.

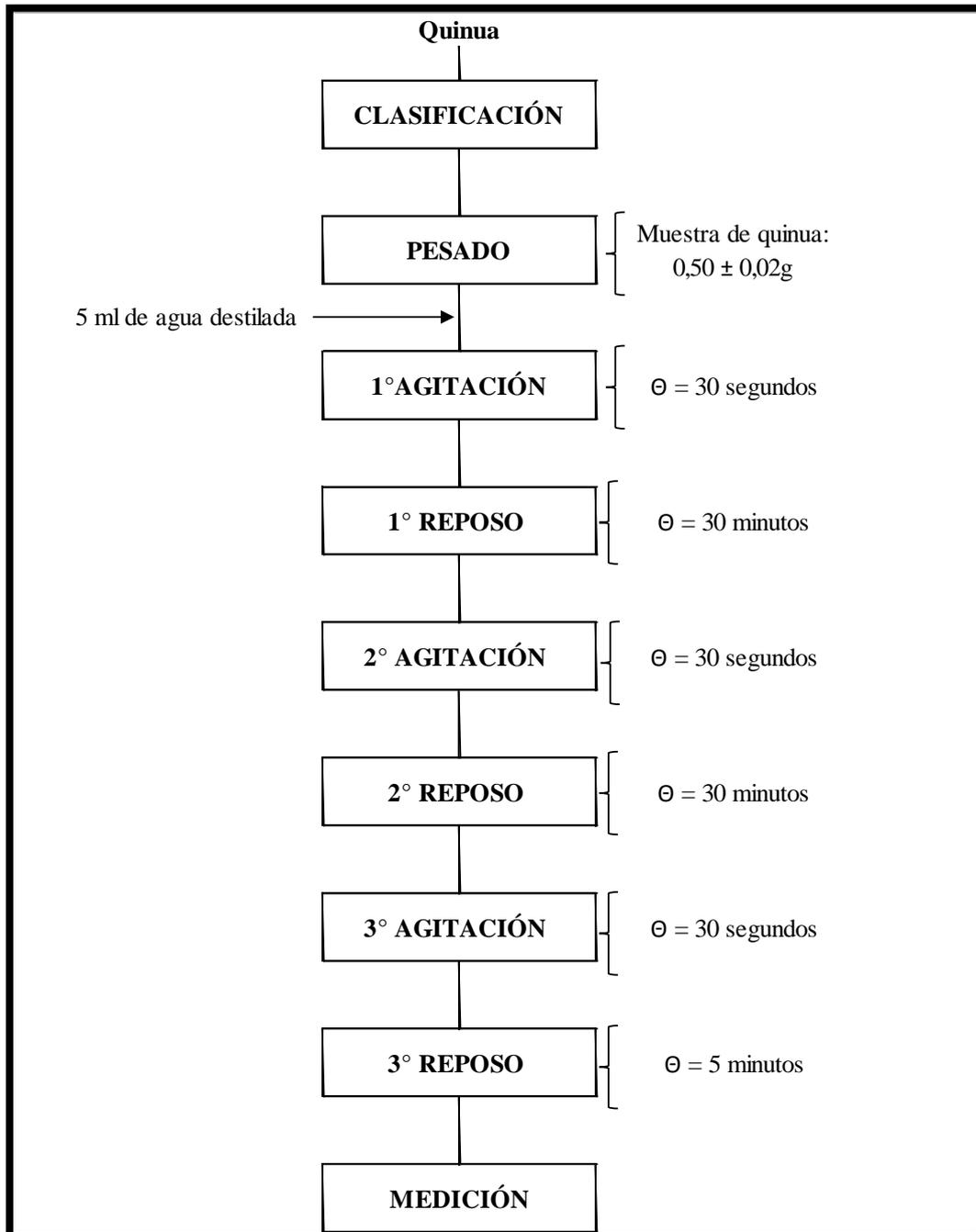


Figura 7: Método afrosimétrico para la determinación de saponina en quinua.

Finalmente se hizo el análisis proximal correspondiente de la quinua trillada y de la quinua escarificada con los valores óptimos.

3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.6.1 ESCARIFICADO

Se siguió la metodología de superficie respuesta, la que contempló dos etapas. En la primera, se realizó el *screening* para asegurar que los factores elegidos tienen efecto significativo en el rendimiento de extracción de saponina a partir de la quinua blanca variedad salcedo INIA y en la segunda etapa se optimizaron las condiciones de extracción con la mayor eliminación de saponina.

a. Screening

Sobre la base de los resultados reportados en diseño y construcción de escarificadores; Amada *et al.* (2013) así como Torres y Minaya (1980), identificaron que la carga (kg/ h) y revoluciones por minuto (rpm) gobiernan el proceso de escarificado, por lo cual fueron estos los factores evaluados. Se determinó el efecto significativo de estos factores ($p < 0,05$) sobre la variable respuesta: rendimiento de extracción de saponina, bajo un diseño 3^2 .

Los niveles planteados de los factores se encuentran en el cuadro 6. El efecto de estos sobre cada variable respuesta fueron determinados con el análisis de varianza (ANVA) ($p < 0,05$) y representados en la gráfica de Pareto estandarizado. Para el análisis estadístico se usó el *software* Statgraphics® Centurion XV.15.2.06 (Stat Point Inc., Warrenton, VA, USA).

Cuadro 6: Factores y sus niveles considerados en el arreglo factorial 3^k aplicado en la etapa de *screening* para el rendimiento de extracción de saponina

FACTORES EXPERIMENTALES	
REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM)	CARGA (KG/H)
X1 (x1)	X2 (x2)
500 (-1)	600 (-1)
700 (1)	1000 (1)

Xi: Variedad no codificada, xi: Variedad codificada.

b. Optimización

Los resultados de la etapa anterior identificaron que ambos factores son significativos, y para optimizar el nivel de los factores se aplicó el diseño factorial 3^2 para el análisis de superficie de respuesta de segundo orden que, de acuerdo a Montgomery (2002), se hará referencia a tres niveles de los factores como «bajo» (-1), «intermedio» (0) y «alto» (1).

Los niveles planteados de los factores se muestran en el cuadro 7. El modelo y coeficiente de regresión fueron considerados significativos cuando $p < 0,05$.

Cuadro 7: Factores y sus niveles considerados en el arreglo factorial 3^2 aplicado en la etapa de optimización para el rendimiento de extracción de saponina

FACTORES EXPERIMENTALES	
REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM)	CARGA (KG/H)
X1 (x1)	X2 (x2)
500 (-1)	600 (-1)
600 (0)	800 (0)
700 (1)	1000 (1)

Xi: Variedad no codificada, xi: Variedad codificada.

El modelo de segundo orden para las variables respuestas planteadas fue:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j X_j + \sum_{u \neq j} b_{uj} X_u X_j + \sum_{j=1}^k b_{jj} X_j^2 \quad ; \quad u \neq j \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

\hat{Y} : Rendimiento de extracción de saponina

b_0 : Término independiente

b_j : Efecto lineal

b_{uj} : Efecto de las interacciones

b_{jj} : Efecto cuadrático

X_u y X_j : Variables independientes o factores

k : Número de variables independientes o factores

Posteriormente, se realizó el ANVA (nivel de significación $\alpha = 0,05$). La bondad de ajuste de la ecuación de regresión de las observaciones experimentales fue verificada por el coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado).

Para el análisis estadístico se empleó el *software* Statgraphics® Centurion XV.15.2.06 (Stat Point Inc., Warrenton, VA, USA).

Con la finalidad de brindar una visión panorámica de la variación del porcentaje de la extracción de saponina se graficó la superficie de respuesta (tridimensional) y la curva de contorno correspondiente a la ecuación (3), que representa el efecto de dos factores sobre la respuesta.

c. Validación

Para la validación de las condiciones óptimas de los niveles de las variables independientes obtenidas mediante la metodología de superficie de respuesta, se realizaron diez repeticiones experimentales con dichos valores seleccionados y se compararon con los valores predichos por el modelo.

d. Caracterización del producto final

Se evaluó el contenido de humedad, proteína, grasa, carbohidratos, fibra cruda, ceniza, y su granulometría.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Los granos de quinua pasaron por las máquinas de extracción, zarandeo y despedrado antes de ingresar a la escarificadora, en los cuadros 8 y 9 se presentan las características de la quinua trillada destinada al estudio de optimización.

Cuadro 8: Análisis proximal de la quinua blanca trillada variedad Salcedo INIA en base húmeda

COMPONENTE (%)	CONTENIDO*
Humedad	12,17 ± 0,03
Proteína	16,14 ± 0,35
Grasa	4,38 ± 0,14
Fibra cruda	2,30 ± 0,10
Ceniza	2,42 ± 0,04
Carbohidratos	62,59
Saponina	0,23 ± 0,02

*: Promedio de tres repeticiones ± DS.

Cuadro 9: Resultado de análisis de granulometría de la quinua blanca trillada variedad Salcedo INIA

Nº DE MALLA (ASTM)	LUZ DE MALLA (MM)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)
12	1,70	26,61	26,61
14	1,40	55,42	82,03
16	1,18	16,23	98,26
18	1,00	0,74	99,00
	< 1,00	1,00	100

Gómez y Eguiluz (2012) hacen referencia que el valor nutritivo de la quinua es único debido a que tiene un excelente equilibrio de carbohidratos, grasas y proteínas para la alimentación humana.

Los resultados obtenidos de la quinua trillada contienen de humedad 12,17 por ciento siendo cercano a lo reportado por Reyes *et al.* (2009) y Stikić *et al.* (2012) con valores 11,50 y 10,87 por ciento, respectivamente. También es cercano con Blanco *et al.* (2001) quienes reportan humedades para quinua blancas de Junín, Ancash, Cuzco y Apurímac valores de 12,34, 12,54, 12,07 y 14,44 por ciento, respectivamente. Y está dentro del rango de 9,4 a 13,4 por ciento mencionado por Meyhuay (2013).

La quinua trillada arrojó un valor de proteína de 16,14 por ciento, el cual está dentro del rango referido por Gómez y Eguiluz (2012) de contenido de proteínas varía entre 14 y 22 por ciento; y el reportado por Repo (1988) el cual indica 7,47 a 22,08 por ciento. Este supera al valor reportado por Ramírez (2015) en quinua blanca variedad Hualhuas: 12,94 por ciento; el 14,4 por ciento reportado por Marca *et al.* (2011) para quinuas blancas de la región Puno; y al 13,60 por ciento de Reyes *et al.* (2009).

El contenido de grasa fue 4,38 por ciento, estando dentro del rango de 1,8 a 9,3 por ciento de Bo y Morón, citados por Jacobsen y Sherwood (2002); y cercano al rango de 2,05 a 10,88 por ciento reportado por Rojas *et al.* (2016). Siendo inferior al reportado por Ramírez (2015) de 7,83 por ciento en grasa en quinua blanca variedad Hualhuas.

El contenido de fibra cruda fue 2,30 por ciento, el cual está dentro del rango propuesto por Meyhuay (2013) de 2,1 a 4,9 por ciento. Está cercano a lo reportado por Reyes *et al.* (2009) de 1,90 por ciento. Y por debajo de lo reportado por Ramírez (2015), con valores de 4,58 por ciento en fibra en quinua blanca variedad Hualhuas, y del rango 3,46 a 9,68 por ciento de Rojas *et al.* (2016).

El contenido de ceniza fue 2,42 por ciento, siendo cercano a lo reportado por Reyes *et al.* (2009) de 2,5 por ciento, Ramírez (2015) reportó 3,05 por ciento en quinua blanca variedad Hualhuas, Repo-Carrasco *et al.* (2003) tuvo 2,9 por ciento y está dentro del rango de 2,12 a 5,21 por ciento de Rojas *et al.* (2016).

El contenido de carbohidratos fue 62,59 por ciento, el cual es cercano con los valores reportados por Blanco *et al.* (2001) de 64,28; 68,21; 65,54; 67,95 y 63,27 en quinua blanca de Junín, Puno, Ancash, Cuzco y Apurímac, respectivamente. Reyes *et al.* (2009) reporta un valor de 66,6 por ciento.

El contenido de saponina fue 0,23 por ciento, valor cercano el reportado por Apaza *et al.* (2013) de 0,2 por ciento para variedad Salcedo INIA en quinua trillada; y Quiroga *et al.* (2014) reportan un valor de quinua blanca de 0,21 por ciento. Según, Koziol, citado por Gómez y Eguiluz (2012), las quinuas con nada o poca espuma (0 – 0,7 cm de altura de espuma) pueden llamarse «dulces» (0,0 – 0,07 por ciento) y las quinuas con mucha espuma (más de 6,6 cm de altura de espuma o 0,832 por ciento) pueden llamarse «muy amargas», lo cual categoriza a la quinua en estudio en «semidulce».

La amplia diferencia de valores demuestra que la composición química de la quinua esta muchas veces relacionado a las diferencias de cultivo, variedad, zona geográfica, altitud, condiciones de suelo, fertilización e irrigación, y otras causas como factores climáticos, material genético y estado de madurez.

El resultado del análisis de granulometría es mostrado en el cuadro 9. El tamaño de la partícula es un factor importante que determina cual es el tamaño de grano del lote a procesar y si no habrá futuras mermas siendo 1,40 mm el tamaño de partícula con mayor porcentaje (55,42 por ciento) como evidencia su composición granulométrica (anexo 1). Además, se resalta que posteriormente debe disminuir este diámetro al eliminar el pericarpio que lo cubre.

4.2 SCREENING

Los tratamientos experimentales dados por el diseño fueron 9 y los valores usados se muestran en el cuadro 10.

Su representación en el diagrama de Pareto estandarizado (figura 8) indican que tanto las revoluciones por minuto (rpm) y carga (kg/h) tienen efecto significativo ($p < 0,05$) en el porcentaje de extracción de saponina.

Cuadro 10: Arreglo del diseño factorial 3² en la etapa de *screening*

CORRIDA	REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM)	CARGA (KG/H)
	X1 (x1)	X2 (x2)
1	500 (-1)	600 (-1)
2	500 (-1)	800 (0)
3	500 (-1)	1000 (1)
4	600 (0)	600 (-1)
5	600 (0)	800 (0)
6	600 (0)	1000 (1)
7	700 (1)	600 (-1)
8	700 (1)	800 (0)
9	700 (1)	1000 (1)

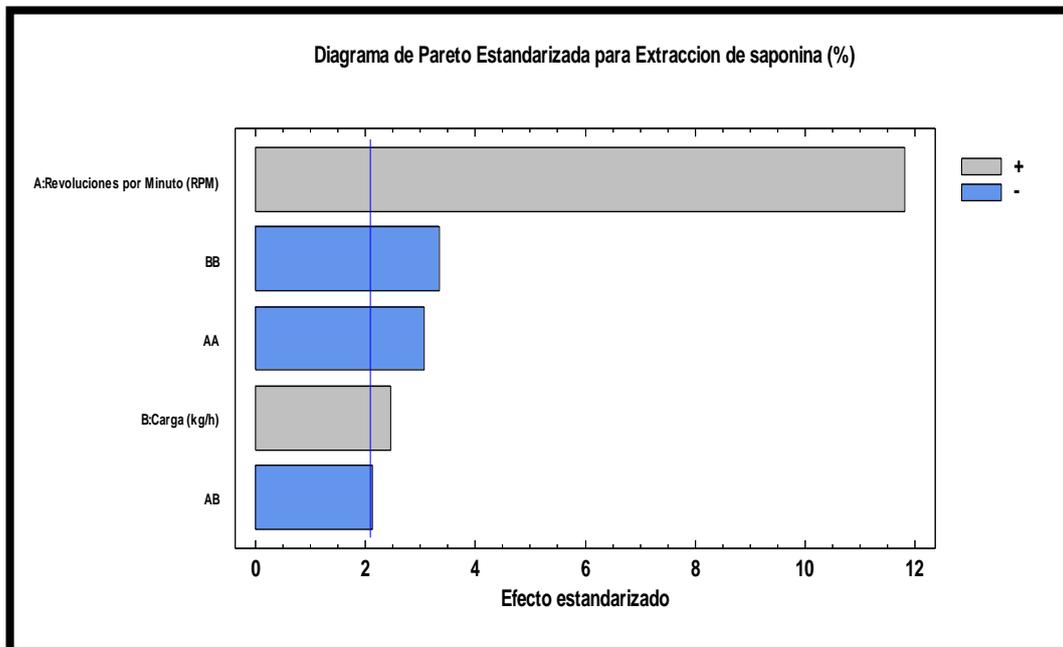


Figura 8: Diagrama de Pareto estandarizado del diseño factorial 3² (etapa *screening*).

Amada *et al.* (2013) en su diseño del prototipo de escarificador tienen en cuenta la carga de alimentación, las revoluciones por minuto de giro y su tiempo de retención o residencia dentro de la escarificadora. Pero esta última variable la pudo eliminar al aumentar el largo de su prototipo hasta 90 cm de largo.

Candia y Olaguivel (2016) determinaron en su diseño de escarificador que las primeras variables a controlar son las rpm que girará las paletas internas ya que la velocidad del motor de trabajo debe ser disminuida para asegurar una buena fricción entre los granos y no se pulverice a alta velocidad. También coincide con lo descrito por Torres y Minaya (1980), quienes indican que las revoluciones y el flujo de alimentación influyen directamente en el rendimiento de extracción y por consecuencia afectan directamente su eficiencia.

Cabe señalar que la escarificadora en estudio tiene 150 cm de largo (anexo 8), por lo cual coincide que la variable tiempo de residencia no exista y no se tome en cuenta porque la quinua demora entre cinco a ocho segundos en pasar de un extremo a otro.

4.3 OPTIMIZACIÓN

Se aplicó, para el caso de escarificado, el método de optimización de Superficie Respuesta con diseño 3^2 a las variables carga y revoluciones por minuto de desaponizado. Se obtuvo nueve tratamientos, a los cuales se le realizaron tres repeticiones, resultando 27 unidades experimentales. Las pruebas se realizaron en forma aleatoria.

Se consideraron los dos factores significativos obtenidos en la etapa de *screening*. Para el proceso de desaponizado se trabajó con resultados dados como porcentaje de saponina:

$$\text{Extracción de saponina} = \frac{(\text{Saponina Inicial} - \text{Saponina Final})}{\text{Saponina Inicial}} * 100\% \quad \text{Ecuación (4)}$$

Se consideraron tres valores mencionados en el cuadro 10 y se realizó la combinación de tratamientos y sus repeticiones como indica el cuadro 11, los cuales fueron ingresado al *software* Statgraphics® Centurion XV.15.2.06., junto con los resultados de cada uno de ellos según la ecuación (4).

Cuadro 11: Diseño 3², respuesta experimental de optimización

CORRIDA	REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM)	CARGA (KG/H)	EXTRACCIÓN DE SAPONINA (%)
	X1 (x1)	X2 (x2)	Y1
1	600 (0)	800 (0)	92,00
2	500 (-1)	600 (-1)	73,11
3	500 (-1)	1000 (1)	77,89
4	700 (1)	1000 (1)	94,34
5	600 (0)	1000 (1)	90,95
6	500 (-1)	800 (0)	77,78
7	600 (0)	600 (-1)	82,55
8	700 (1)	600 (-1)	94,34
9	700 (1)	800 (0)	100,00
10	600 (0)	800 (0)	95,44
11	500 (-1)	600 (-1)	70,59
12	500 (-1)	1000 (1)	87,65
13	700 (1)	1000 (1)	92,44
14	600 (0)	1000 (1)	88,68
15	500 (-1)	800 (0)	82,55
16	600 (0)	600 (-1)	89,33
17	700 (1)	600 (-1)	92,44
18	700 (1)	800 (0)	100,00
19	600 (0)	800 (0)	92,44
20	500 (-1)	600 (-1)	66,93
21	500 (-1)	1000 (1)	73,11
22	700 (1)	1000 (1)	97,49
23	600 (0)	1000 (1)	91,51
24	500 (-1)	800 (0)	80,44
25	600 (0)	600 (-1)	93,48
26	700 (1)	600 (-1)	95,08
27	700 (1)	800 (0)	98,10

En el cuadro 12 se presenta el ANVA para el modelo cuadrático de la ecuación (5). Los bajos p-valor para las interacciones y los términos cuadráticos sugieren que hay curvatura en la superficie de respuesta, tal como se verá más adelante de manera gráfica.

Con los niveles de los factores y los valores experimentales (\bar{Y}) para cada punto experimental que se presentan en el cuadro 11. Se realizó el análisis de regresión múltiple realizado con los valores obtenidos generando la siguiente ecuación polinomial de segundo grado:

$$\hat{Y} = -256,488 + 0,705333X_1 + 0,264283X_2 - 0,000436X^2 - 0,000106708X_1X_2 - 0,000118875X^2 \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde \bar{Y} , representa el porcentaje de extracción de saponina; X_1 , las revoluciones por minuto (rpm) estimada; X_2 , la carga (kg/h) estimada.

Cuadro 12: Análisis de Varianza del modelo cuadrático para el porcentaje de extracción de saponina en la etapa de optimización

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A:rpm	1685,48	1	1685,48	139,55	0,0000
B:Carga	72,8424	1	72,8424	6,03	0,0239
AA	114,058	1	114,058	9,44	0,0063
AB	54,656	1	54,656	4,53	0,0467
BB	135,66	1	135,66	11,23	0,0034
bloques	14,9564	2	7,47818	0,62	0,5489
Error total	229,475	19	12,0776		
Total (corr.)	2307,13	26			

R-cuadrada: 90,0537 por ciento; R-cuadrada (ajustada por g.l.): 87,6855 por ciento.

Aunque la falta de ajuste fue significativa, no invalida el modelo para propósito predictivo, porque el R^2 fue 90,05 por ciento, es decir que, aproximadamente el 90,05 por ciento de variabilidad total de los resultados, para la variable respuesta porcentaje de extracción de saponina, es explicado por el modelo seleccionado (es decir existe una adecuada correlación

entre los valores obtenidos y estimados de la respuesta); siendo significativo para representar la relación existente entre la respuesta porcentaje de extracción de saponina y las variables estudiadas: revoluciones por minuto y carga.

En la figura 9 se muestra la gráfica de contorno de la superficie de respuesta estimada para el porcentaje de reducción de saponina donde ambas variables tienen efecto significativo provocando un aumento en la respuesta conforme el nivel crece alcanzando valores óptimos cuando está a carga entre 680 y 920 kg/hr con revoluciones por minuto entre 650 a 700 rpm.

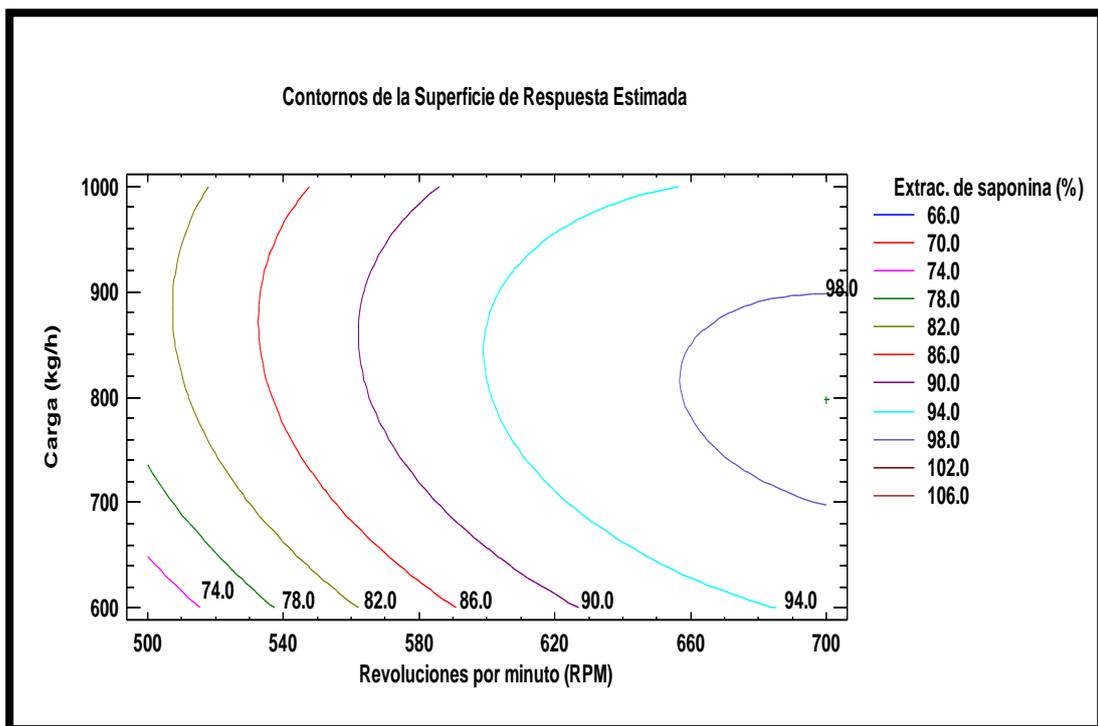


Figura 9: Gráfica de contorno de la superficie de respuesta estimada para el porcentaje de extracción de saponina.

Esta tendencia fue reportada Torres y Minaya (1980) quienes realizaron estudios con 540 rpm para variedad de granos grandes ($dp > 1,7$ mm) y 800 rpm para variedades de granos pequeños ($dp < 1,4$ mm), con una carga de 800 a 925 kg/h indicando que para granos grandes debe ser más lento las rpm para arrancar mayor cantidad de saponina sin romper los granos en la menor cantidad de pasadas por el equipo y sucede lo inverso para granos pequeños. Pero indican que, para 1000 rpm, los granos pequeños tienden a partirse y pulverizarse generando mermas de hasta 20 por ciento. Lo cual indicaría que para granos de tamaño mediano tienen su eficiencia de extracción entre 540 y 800 rpm, lo cual es coincidente con

la quinua en estudio que tiene un tamaño de grano mediano ($1,4 \text{ mm} < dp < 1,7 \text{ mm}$) al tener un dp igual a 55,42 por ciento del total.

Luego de la etapa de optimización empleando la MSR, se determinaron los parámetros que maximizan los procesos escarificado, para lo cual se prefirió tomar en cuenta la respuesta optimizada correspondiente al porcentaje de extracción de saponina para la optimización final, en donde las revoluciones por minuto (rpm) y la carga (kg/h) resultaron tener un efecto significativo en el proceso. El punto óptimo se marca como un punto en la figura 9.

Las condiciones, que maximizan el proceso, recomendado por el modelo de segundo orden son las siguientes: el valor 700 rpm y 797,499 kg/h de carga. Debido a las dificultades de regular exactamente la carga (debería ser regulada micrométricamente la entrada), se prefirió adoptar el valor de 800 kg/hr. Finalmente, en el cuadro 13 se muestran las condiciones que maximizan el proceso de escarificado.

Cuadro 13: Condiciones que maximizan el proceso de escarificado

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONDICIONES ÓPTIMAS
Revoluciones por minuto (rpm)	700
Carga (kg/h)	800

La comparación de los valores predicho y experimental (porcentaje de extracción de saponina) se presenta en el cuadro 14.

Cuadro 14: Valor predicho y valores experimentales de las variables respuestas bajo las condiciones que maximizan los procesos de escarificado

VARIABLE RESPUESTA	VALOR PREDICHO	VALOR EXPERIMENTAL*
Porcentaje de extracción de saponina (%)	99,20	99,61 ± 0,83

*: Promedio de 10 repeticiones ± DS.

El rendimiento de extracción supera a lo indicado por la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC 1984), donde indica que mediante el método seco de extracción solo se separa hasta el 80 por ciento de la saponina.

Candia y Olaguivel (2016) reportan una extracción de 48,48 por ciento para quinua blanca variedad serranita con las variables 765 rpm y 90 kg/h. Nieto y Vimos (1992) reportan una extracción de saponina 87,41 por ciento a 500 rpm con una carga de 34 kg/h adaptando una máquina peladora de sorgo que utiliza piedras de *carborundum* en vez de un tambor con paletas; y Amada *et al.* (2013) indican que a 1500 rpm y 25 kg /h se obtiene una extracción del 69,21 por ciento para quinua blanca variedad real.

Valdivieso (1992) reporta una eficiencia de 97,31 por ciento en la quinua blanca variedad *Imbaya*, pero con 1,5 por ciento de grano roto. La variedad mencionada tiene un diámetro promedio entre 1,8 a 2,0 milímetros (Nieto *et al.* 1986). Ambas características coinciden con Torres y Minaya (1980) sobre las altas revoluciones para granos de tamaño grande tienden a dañarse y generar pérdidas.

También, Valdivieso (1992) reporta 88,63 por ciento en la quinua blanca variedad *Tunkahuán* con las variables 1669 rpm y con una carga de 350 kg/h. Torres y Minaya (1980) reportan una extracción de saponina de 69,23 por ciento para la quinua blanca variedad Blanca Juli; 70,59 por ciento para quinua blanca variedad *Kankolla* y 89,74 por ciento para quinua blanca variedad *Witulla*, todas a 512 rpm y 890,5 kg/h.

Según Candia y Olaguivel (2016) las máquinas escarificadoras con paletas llegan por lo general a una eficiencia de remoción de saponina de 95 por ciento, y los contenidos remanentes pueden ser de 0,04 a 0,25 por ciento, pero depende de la variedad utilizada como materia prima. Estos valores son similares al de Quiroga *et al.* (2014) quienes afirman que la eficacia de remoción de saponinas en un escarificador es de 90 - 95 por ciento. La magnitud del diámetro externo, la longitud del cilindro y la velocidad de rotación del rotor que puede ser entre 1 200 y 1 600 rpm, junto con otros parámetros de diseño, determinan la capacidad de procesamiento del escarificador.

De acuerdo a Quiroga *et al.* (2014), cuando la fricción se da entre granos la remoción es mucho más efectiva y homogénea debido a que las fuerzas de fricción son iguales y menores

a las que se tienen cuando los granos son frotados sobre una superficie abrasiva; por tanto, se puede ejercer un mayor control del proceso de escarificación y lograr porcentajes mayores y más uniformes de remoción del episperma y pericarpio, y por ende de las saponinas. Lo cual coincide al tener etapas previas de acondicionamiento de la quinua para separar sus impurezas (tierra, piedras, palillos, etc.).

El rendimiento de extracción hallado experimentalmente de 99,68 por ciento (cuadro 14), demuestra que la extracción de saponina para la quinua blanca variedad Salcedo INIA supera los reportes de investigaciones anteriores debido a que ninguno de ellos ha buscado los valores óptimos para lograr la extracción de saponina.

El error relativo promedio de los experimentos de validación fue 0,88 por ciento (anexo 7). Según UIOWA (2017), un porcentaje muy cercano a cero significa que está muy cerca de su valor objetivo, lo cual es bueno. Sin embargo, es necesario comprender la causa del error, como si se debe a la imprecisión del equipo, a propias estimaciones o a un error en el experimento.

4.4 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

En los cuadros 15 y 16 se detalla la caracterización de quinua escarificada obtenido con los parámetros que maximizan la operación de escarificado.

Cuadro 15: Análisis proximal de la quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA en base húmeda con los parámetros que maximizan la operación estudiada

COMPONENTE (%)	CONTENIDO
Humedad	11,52 ± 0,02
Proteína	18,57 ± 0,08
Grasa	4,71 ± 0,22
Fibra	2,26 ± 0,12
Ceniza	1,99 ± 0,01
Carbohidratos	60,95
Saponina	0,00 ± 0,00

*: Promedio de tres repeticiones ± DS

Cuadro 16: Resultado de análisis de granulometría de la quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA

N° DE MALLA	LUZ DE MALLA (MM)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)
12	1,70	17,91	17,91
14	1,40	67,58	85,49
16	1,18	12,16	97,65
18	1,00	1,52	99,17
	< 1,00	0,83	100,00

INDECOPI (2014) estipula que los requisitos químicos proximales mínimos de los granos de quinua procesada respecto a la calidad son humedad (menor a 12,5 por ciento), proteínas (mayor a 10 por ciento), cenizas (menor a 3,5 por ciento), grasa (mayor a 4 por ciento), fibra cruda (mayor a 2 por ciento) y saponina (Ausencia). Los resultados obtenidos que se observan en el cuadro 15, cumplen satisfactoriamente todos los requisitos fisicoquímicos anteriormente mencionados para quinua procesada.

La quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA arrojó un valor 11,52 por ciento, evidenciado disminución de su contenido inicial de quinua trillada. Esto debido a la remoción física de su episperma que, según Reyes *et al.* (2006), contiene el oxalato de sodio que es altamente higroscópico, al igual que las sales minerales de magnesio citadas por Bacigalupo y Tapia (2000).

Por otro lado, el contenido de proteína en la quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA tuvo un valor de 18,57 por ciento. Esta dentro de lo indicado por la FAO (2011) en el rango 16 y el 20 por ciento, y cercano a lo mencionado por Apaza *et al.* (2013) de 16,23 por ciento para la variedad Salcedo INIA. Con respecto a su condición inicial en quinua trillada hubo un incremento (anexo 6).

Del mismo modo, para el contenido de grasa hubo un incremento de la quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA, su valor fue de 4,71 por ciento. Cercano a lo reportado por Apaza *et al.* (2013) de 5,20 por ciento y por el IICA (2015) de 5,80 por ciento.

Con respecto a la fibra, tuvo un valor de 2,26 por ciento en la quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA; valor cercano al de Apaza *et al.* (2013) de 1,84 por ciento para la variedad Salcedo INIA, pero difiere bastante de lo referido del IICA (2015) con 3,55 por ciento.

Para el contenido de ceniza de la quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA se obtuvo 1,99 por ciento, valores similares a lo reportado por Apaza *et al.* (2013) y el IICA (2015) de 2,00 y 2,93 por ciento para la variedad Salcedo INIA, respectivamente.

El contenido de carbohidratos en la quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA fue 60,95 por ciento, siendo un valor inferior a lo reportado por Apaza *et al.* (2013) y el IICA (2015) de 66,87 y 64,76 por ciento para la variedad Salcedo INIA. Sin embargo, Junge, citado por Meyhuay (2013), indica que dependiendo de las variedades el valor de carbohidratos varía entre 53,5 y 74,3 por ciento. Otra explicación refiere al menor o mayor grado de almacenamiento de los mismos en forma de compuestos de reserva como el almidón, quedando lo restante para la síntesis de proteínas, grasas y otros compuestos de la planta (Torrez *et al.* 2002).

Con respecto a la saponina de la quinua blanca escarificada variedad Salcedo INIA, fue cero por ciento debido a que se usaron los valores que maximizan el proceso y siendo aceptable para consumo humano como lo referido por FAO (2011), donde el nivel máximo aceptable de saponina en la quinua para consumo humano oscila entre 0,06 y 0,12 por ciento. Para INDECOPI (2014) debe ser ausencia según el método afrosimétrico, lo cual cumple la presente investigación.

Quiroga *et al.* (2014) indican que, al remover la capa externa, rica en saponinas, fibra, flavonoides, pero bajo en proteínas, permite al grano consumible ganar aproximadamente un seis por ciento de peso relativo de proteínas y también cierto porcentaje en lípidos; esto lo diferencia de la proteína de los cereales como el arroz que se ubica en el exterior del grano y el proceso de decortinado elimina la mayor parte de esta zona; mientras que en las Amarantáceas y Chenopodiáceas (como la quinua), las proteínas están en el embrión mismo, que casi no es removido durante el pelado. Lo cual demuestra que la quinua en estudio en consecuencia, de la pérdida de masa del episperma y pericarpio, ganó 15,06 y 7,5 por ciento

de peso relativo a proteínas y grasa, respectivamente; y perdió 17,77 y 1,74 por ciento de cenizas y fibra, respectivamente (anexo 6).

Otras de las características que mantiene la calidad nutritiva del grano, es que la saponina ubicada en la capa exterior del grano facilita su remoción (Quiroga *et al.* 2014). En la presente investigación, el escarificado toma ventaja de las propiedades abrasivas propias del pericarpio y episperma que le confiere la estructura de tejido vegetal y a pesar de la forma semiaplanada del grano, la fragilidad del embrión y exposición al ambiente, su calidad no se ve deteriorada por que actúa las fuerzas de fricción entre granos para la remoción de la capa exterior.

Se puede apreciar en comparación al cuadro 9, que se ha disminuido los granos de tamaño mayor a 1,70 mm y aumentado el porcentaje de granos con diámetro de 1,40 mm como se ve en su composición granulométrica (anexo 2). Esto se debe a que el escarificado ha disminuido su diámetro y removido el pericarpio que circunda el grano de quinua. Según la categorización de INDECOPI (2014) este sería un grano de tamaño mediano porque más del 85 por ciento de los granos retenidos acumulados están en la malla N° 14 ASTM.

Vian y Ocón (1979) mencionan que algunas partículas gruesas pueden pasar la malla y que algunos finos pueden no hacerlo. Lo primero se debe, casi siempre, a irregularidades de la superficie tamizadora, bien porque el tejido esté mal construido, o porque se sitúen entre las mallas algunas partículas de forma irregular y de tamaño muy próximo al de la luz de la malla, y que por la presión y rozamiento de las que se mueven por encima de ellas originen corrimientos de los hilos que dilatan las mallas y, por tanto, aumentan la luz. En cuanto al segundo punto, las causas de esto son varias. Si el producto está húmedo, se aglomeran los finos y se comportan como gruesos, por lo que no pasan el tamiz; el frotamiento electriza a las partículas pulverulentas y provoca también su adherencia; la gran energía superficial de los polvos muy finos es origen también de una mayor adherencia, por la que quedan unidos a los granos gruesos (o grandes) formando parte, indebidamente, del rechazo o retenido.

Brown (1955), señala también que son factores que causan inexactitudes, en primer lugar, la sobrecarga de los tamices que suele originar el acuñado de las partículas en los orificios; también las fuerzas electrostáticas que hacen adherirse, entre sí, a las partículas pequeñas, o estas con las grandes. Además, pequeñas cantidades de humedad pueden también causar

adherencias. En la presente investigación explicaría el aumento de retención en los tamices N°14 y 18, que al ver disminuido su tamaño por remoción del episperma y pericarpio, las partículas adheridas a los granos impiden el eficaz cernido.

V. CONCLUSIONES

- Aplicando la metodología de superficie de respuesta se maximizó en un escarificador la reducción de saponina en quinua blanca, variedad Salcedo-INIA, optimizándose las variables estudiadas: carga (kg/h) y revoluciones por minuto (rpm), siendo los parámetros que aseguran la máxima extracción de saponina: una carga de 800 kg/h y 700 rpm, para un rendimiento de 99,61 por ciento.
- Para la quinua blanca trillada variedad Salcedo INIA, se encontró 12,17 por ciento en humedad; 16,14 por ciento en proteína; 4,38 por ciento en grasa; 2,30 por ciento en fibra; 2,42 por ciento en ceniza; 62,59 por ciento en carbohidratos; 0,23 por ciento de saponina, y su diámetro promedio de partícula fue 1,4 mm con 55,32 por ciento de retención en la malla N°14 ASTM. Valores que se encuentran dentro de los rangos reportados para la variedad.
- Para la quinua escarificada, obtenida del proceso de optimización, se encontró 11,52 por ciento de humedad; 18,57 por ciento de proteína; 4,71 por ciento de grasa; 2,26 por ciento de fibra; 1,99 por ciento en ceniza; 60,95 por ciento en carbohidratos; cero por ciento de saponina, y su diámetro promedio de partícula fue de 1,4 mm con 67,58 por ciento de retención en la malla N°14 ASTM. Valores que demuestran el logro de un proceso que no deteriora la integridad del grano y composición fisicoquímica, y el incremento de su diámetro promedio como resultado de la eliminación del pericarpio y episperma en el escarificado.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios con otras variedades de quinua (blanca, roja y negra) para determinar su eficacia.
- Se recomienda para variedades de quinua de hasta 0,25 por ciento de saponina usar este método ecoeficiente.
- Analizar si la humedad produce algún efecto significativo en este método.
- Crear alternativas y/o procesos industriales de uso de la saponina en polvo y/o transformación de esta.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada, A; Ortega, A; Chito, D; Benitez, R. 2016. Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas* 45(3):438-469.
- Amada, M; Chavarría, J; Trejo, A. 2013. Diseño y construcción de un prototipo escarificador de quinua. *Revista Argentina de Ingeniería* 1:53-58.
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists, Estados Unidos). 2007. *Official Methods of Analysis*. 18 ed. Maryland, Estados Unidos. v. 2.
- Apaza, V; Cáceres, G; Estrada, R; Pinedo, R. 2013. *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. 1 ed. Lima, Perú, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Ayala, J; Pardo, R. 1995. *Optimización por diseños experimentales con aplicación en ingeniería*. Lima, Perú, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 261 p.
- Baccou, J; Lambert, F; Sauvaire, Y. 1977. Spectrophotometric: method for the determination of total steroidal sapogenin. *Analyst* 102(1215):458-65.
- Bacigalupo, A; Tapia, M. 2000. *Agroindustria de la quinua* (en línea, sitio web). Consultado 8 ene. 2018. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro10/cap05.htm>.
- Birk, Y; Peri, I. 1980. Saponins. *In Toxic constituents of plant foodstuffs*. 2 ed. Nueva York, Estados Unidos, Academic Express. p. 162-182.

- Blanco, T; Alvarado-Ortiz, C, Muñoz, A; Muñoz, C. 2001. Evaluación de la composición nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) procedente de los departamentos de Junín, Puno, Apurímac, Cusco y Ancash (en línea, sitio web). Consultado 15 ene. 2018. Disponible en http://www.revistasacademicas.usmp.edu.pe/_uploads/articulos/4f677-art2_vol2_n1-2.pdf.
- Candia, L; Olaguivel, A. 2016. Diseño y evaluación de una escarificadora para la extracción de saponina de la quinua - Región Puno. Tesis Ing. Puno, Perú, Universidad Nacional del Altiplano.
- CORLIB (Corporación de Desarrollo Departamental de La Libertad, Perú)/JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena, Perú). 1988. Cultivos autoctonos: revalorización y uso. 1 ed. Perú, Programa Andino de Desarrollo Tecnológico para el Medio Rural.
- De la Vega, G. 1973. Comentarios reales de los Incas. Lima, Perú, Universo. v. 3.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2011. La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial (en línea, sitio web). Consultado 15 ene. 2018. Disponible en http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinoa_es.pdf.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2013. Año internacional de la quinua: orígenes e historia (en línea, sitio web). Consultado 18 dic. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/origin-and-history/es/>.
- Fontúrbel, F. 2003. Problemática de la producción y comercialización de *Chenopodium Quinoa* W. (Chenopodiaceae), debido a la presencia de las saponinas (en línea). Chile, Universidad de Chile. Consultado 10 ene. 2018. Disponible en <http://cabierta.uchile.cl/revista/21/articulos/pdf/paper6.pdf>.
- García, D. 2011. Desarrollo de un producto de panadería con harina de quinua. Tesis Mg.Sc. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia.

- Gómez, L; Eguiluz, A. 2012. Catálogo del banco de germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). 2 ed. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Heng, L; Vincken, JP; Hoppe, K; Van Koningsveld, GA; Decroos, K; Gruppen, H; Van Boekel, M; Voragen, A. 2006. Stability of pea DDMP saponin and the mechanism of its decomposition. *Food Chemistry* 99(2):326-334.
- Huapaya, C. 2014. Elaboración de una bebida probiótica a partir de la fermentación láctica del almidón hidrolizado de harina de quinua (*Chenopodium quinoa*). Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2015. El mercado y la producción de quinua en el Perú. Lima, Perú, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, Perú). 2014. Quinoa: Requisitos. NTP 205.062. 2 ed. Lima, Perú, El Peruano. 28 dic.
- Jacobsen, SE; Sherwood, S. 2002. Cultivo de granos andinos en Ecuador: Informe sobre los rubros de quinua, chocho y amaranto. Quito, Ecuador, Abya Yala.
- JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena, Perú). 1984. Tecnología andina para la industria alimentaria: serie perfiles industriales. Lima, Perú, Departamento de Comunicaciones e Información de la Junta del Acuerdo de Cartagena.
- Junge, I; Cerda, P. 1978. Estado actual de las investigaciones sobre quinua para la alimentación humana. *Alimentos* 3(1):19-25.
- Kuehl, RO. 2001. Diseño de experimentos: principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones. 2 ed. México, International Thomson. 663 p.
- Lakshminarasimhan, S. 2014. Effect of extrusion cooking on the nutritional properties of amaranth, quinua, kañiwa and lupine. Tesis Mg.Sc. Finlandia, Universidad de Helsinki.

- López, A. 2015. Optimización estadística del tiempo de vida de anaquel del litchi y el nopal. Tesis Mg.Sc. Ciudad de México, México, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Lozano, M; Ticona, E; Carrasco, C; Flores, Y; Almanza, G. 2012. Cuantificación de saponinas en residuos de quinua real (*Chenopodium quinoa* Willd.). La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés.
- Marca, S; Chaucha, W; Quispe, J; Mamani, V. 2011. Comportamiento actual de los agentes de la cadena productiva de quinua en la región Puno. 1 ed. Puno, Perú, s.e.
- Martínez-Villaluenga, C; Frías, J; Vidal-Valverde, C. 2006. Functional lupin seeds (*Lupinus albus* L. and *Lupinus luteus* L.) after extraction of α -galactosides. Food Chemistry 98(2):291-299.
- Meyhuay, M. 2013. Quinua: operaciones poscosecha. Roma, Italia, FAO.
- Montgomery, D. 2002. Diseño y análisis de experimentos. 2 ed. Ciudad de México, México, Limusa. 686 p.
- Mujica, A; Jacobsen, S; Izquierdo, J; Marathe, J. 2001. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro (en línea, sitio web). Consultado 5 feb. 2018. Disponible en http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/docrep/RLC1083s/rlc1083s.001.htm.
- Nieto, C; Peralta, E; Castillo, R. 1986. INIAP-Imbaya e INIAP-Cochasqui, primeras variedades de quinua para la quinua ecuatoriana. Boletín N°187. Quito, Ecuador, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Nieto, C; Vimos, C. 1992. La quinua, cosecha y poscosecha: algunas experiencias en Ecuador. Boletín N°224. Quito, Ecuador, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Pérez, F; Barraza, S, Ikehara, H; Mortensen, A. Hupa, quinua: semilla sagrada, sustento ancestral. Perú, UNESCO. 80 p.

- Price, K; Johnson, I; Fenwick, G. 1987. The chemistry and biological significance of saponins in foods and feedingstuffs. *CRC Critical Reviews in food Science and Nutrition* 26(1):27-135.
- Quiroga, C; Escalera, R; Aroni, G; Bonifacio, A; González, J; Vilca, M; Saravia, R; Ruiz, A. 2014. Procesos tradicionales e innovaciones tecnológicas en la cosecha, beneficiado e industrialización de la quinua. *In* Bazile, D; Bertero, D; Nieto, C (eds.). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. Roma, Italia, FAO. p. 258-296.
- Ramírez, E. 2015. Elaboración de sopa deshidratada a partir de germinado y hojas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y arveja (*Pisum sativum*). Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Repo-Carrasco, R. 1992. Andean crops and infant nourishment. Reporte B 25, Institute of Development Studies. Helsinki, Finlandia, Universidad de Helsinki.
- Repo-Carrasco, R; Espinoza, C; Jacobsen, S. 2003. Nutritional value and use of the andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International* 19(1-2):179-89.
- Reyes, E; Ávila, D; Guevara, J. 2006. Componente nutricional de diferentes variedades de quinua de la región andina. *AVANCES Investigación en Ingeniería* 5:86-97.
- Reyes, M; Gómez-Sánchez, I; Espinoza, C; Bravo, F; Ganoza, L. 2009. Tablas peruanas de composición de Alimentos (en línea). Lima, Perú, Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Consultado 10 feb. 2018. Disponible en <http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Tabla%20de%20Alimentos.pdf>.
- Rojas, W; Soto, JL; Pinto, M; Jager, M; Padulosi, L. 2010. Granos andinos: avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañihua y amaranto en Bolivia. Roma, Italia, Bioversity International.

- Rojas, W; Vargas, M; Pinto, M. 2016. La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 3(2):114-124.
- Ruales, J; Nair, BM. 1993. Saponins, phytic acid, tannins and protease inhibitors in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Food Chemistry* 48(2):137-143.
- Sparg, S; Ligth, M; Van Staden, J. 2004. Biological activities and distribution of plant Saponins. *Journal of Ethnopharmacology* 94:219-243.
- Stikić, R; Glamoclija, D; Demin, M; Vucelic-Radovic, B; Jovanovic, Z; Milojkovic-Opsenica, D; Jacobsen, S; Milovanovic, M. 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. *Journal of Cereal Science* 55(2):132-8.
- Tapia, M. 1997. Cultivos andinos y sub-explotados y su aporte en la alimentación. Santiago de Chile, Chile, FAO.
- Tapia, M; Canahua, A; Ignacio, S. 2014. Razas de quinua del Perú. 1 ed. Lima, Perú, ANPE Perú - CONCYTEC.
- Tapia, M; Gandarillas, H; Alandia, S; Cardozo, A; Mujica, A. 1979. Quinua y kañiwa, cultivos andinos. Bogotá, Colombia, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. 228 p.
- Torres, H; Minaya, I. 1980. Escarificadora de quinua: diseño y construcción (en línea). Lima, Perú, IICA. Consultado 05 feb. 2018. Disponible en https://books.google.com.pe/books?id=kKbd95hcD_EC&pg=PA5&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false.
- Torrez, M; Guzmán, A; Carvajal, R. 2002. Valoración nutricional de 10 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del altiplano boliviano. *BIOFARBO* 10:55-60.

UIOWA (University of Iowa, Estados Unidos). 2017. A lab manual developed by the University of Iowa Department of Physics and Astronomy (en línea, sitio web). Consultado 15 feb. 2018. Disponible en <http://astro.physics.uiowa.edu/ITU/glossary/percent-error-formula/>.

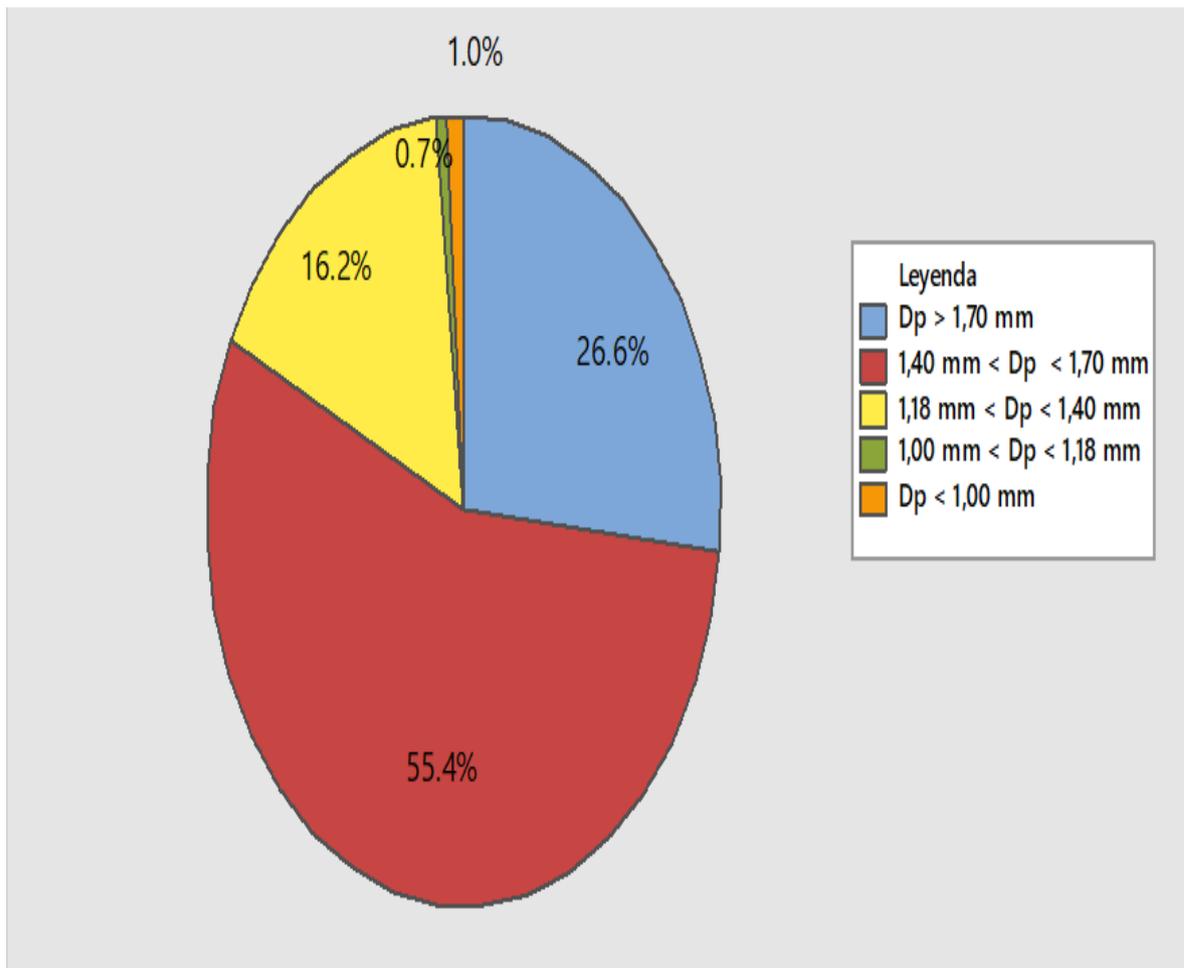
Valdivieso, J. 1992. Diseño y construcción de una escarificadora de quinua por vía seca en un flujo continuo. Tesis Ing. Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional.

Vian, A; Ocón, J. 1979. Elementos de ingeniería química: operaciones básicas. 5 ed. Madrid, España, Aguilar.

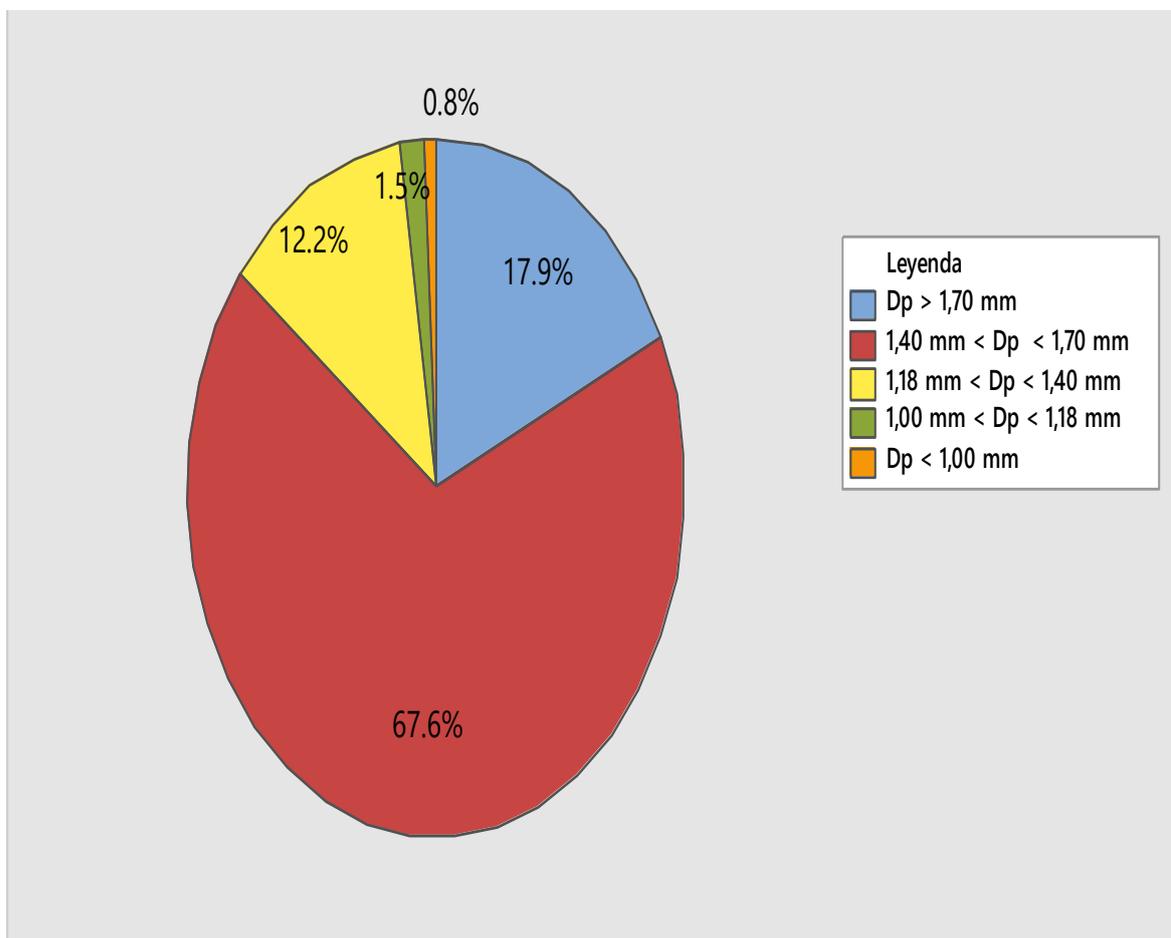
Yacovleff, E; Herrera, F. 1943. El mundo vegetal de los antiguos peruanos (en línea, sitio web). Consultado 15 feb. 2018. Disponible en <http://www.youblisher.com/p/139673-El-Mundo-Vegetal-de-los-Antiguos-Peruanos>.

VIII. ANEXOS

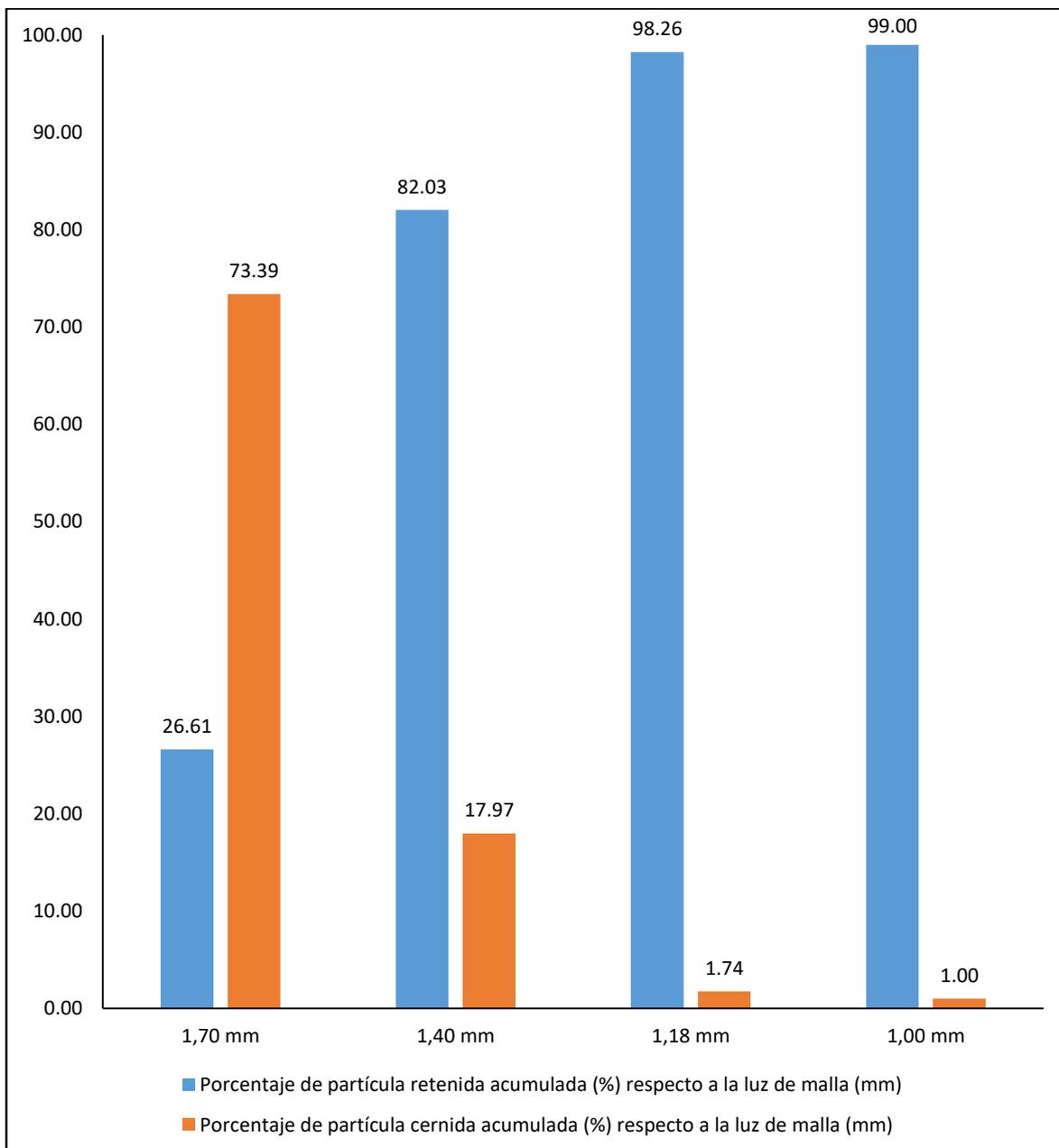
ANEXO 1: COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA QUINUA BLANCA TRILLADA



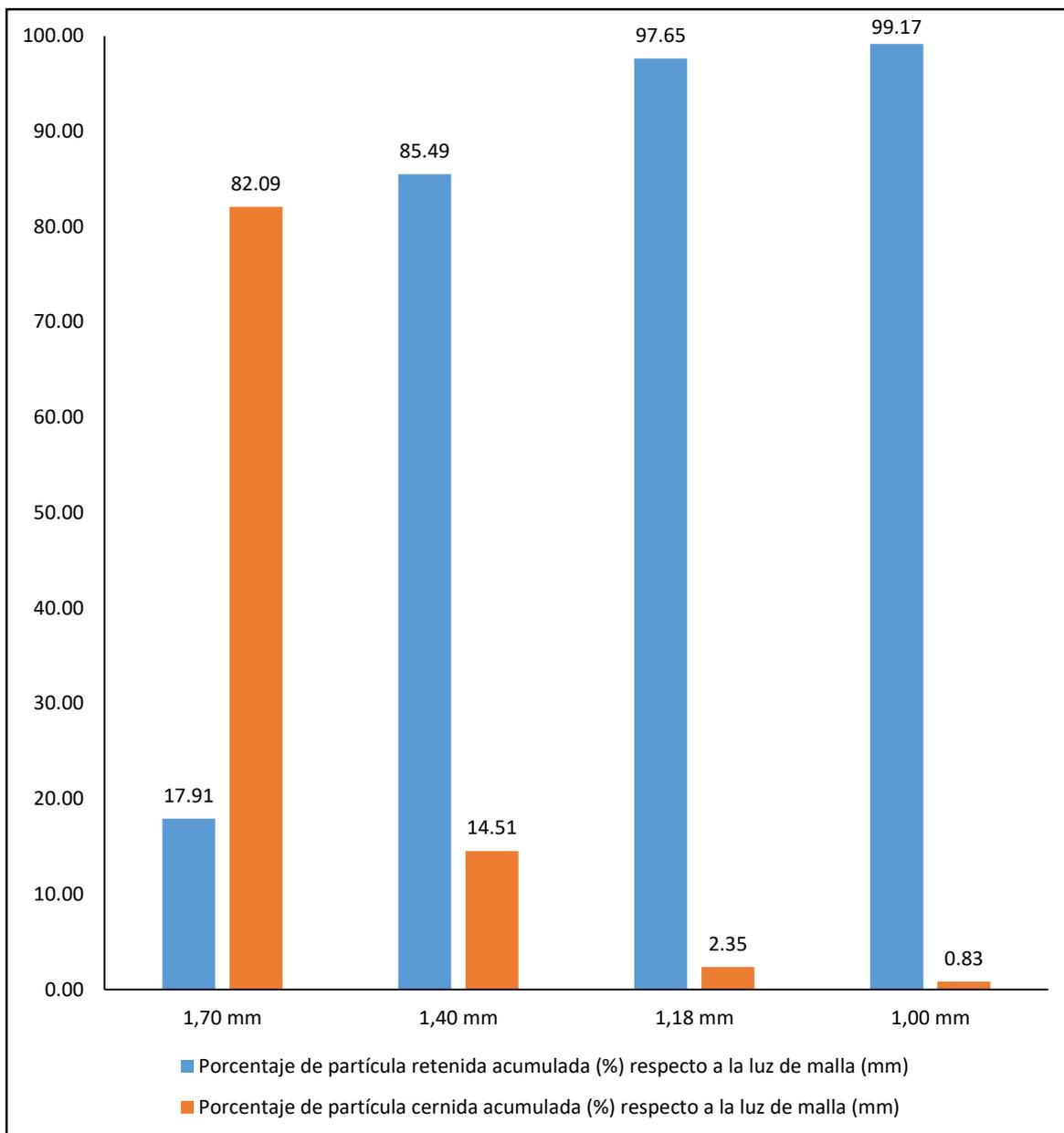
ANEXO 2: COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA QUINUA BLANCA ESCARIFICADA



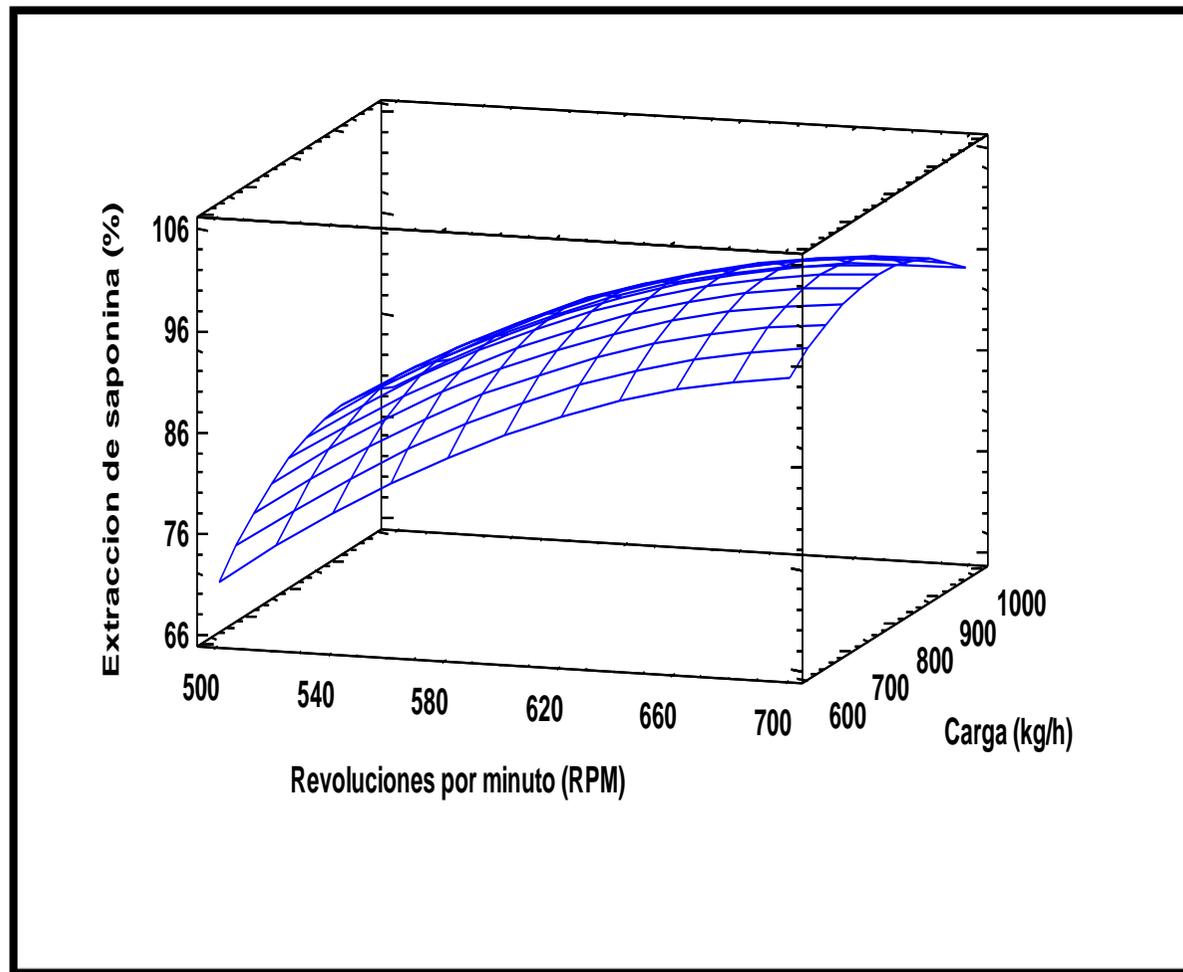
ANEXO 3: DIAGRAMA DEL PORCENTAJE DE TAMAÑO DE PARTÍCULA RETENIDA Y CERNIDA RESPECTO A LA LUZ DE MALLA (MM) EN LA QUINUA BLANCA TRILLADA



ANEXO 4: DIAGRAMA DEL PORCENTAJE DE TAMAÑO DE PARTÍCULA RETENIDA Y CERNIDA RESPECTO A LA LUZ DE MALLA (MM) EN LA QUINUA BLANCA ESCARIFICADA



ANEXO 5: SUPERFICIE DE RESPUESTA ESTIMADA PARA EL PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE SAPONINA



ANEXO 6: COMPARACIÓN DE LOS ANÁLISIS PROXIMALES ANTES Y DESPUÉS DEL ESCARIFICADO

COMPONENTE (%)	CONTENIDO EN QUINUA TRILLADA (ANTES DE ESCARIFICADO)	CONTENIDO EN QUINUA ESCARIFICADA	DIFERENCIA (%)	DESCRIPCIÓN
Humedad	12,17	11,52	-5,34	Disminuyó
Proteína	16,14	18,57	15,06	Aumentó
Grasa	4,38	4,71	7,53	Aumentó
Fibra	2,30	2,26	-1,74	Disminuyó
Ceniza	2,42	1,99	-17,77	Disminuyó
Carbohidratos	62,59	60,95	-2,62	Disminuyó
Saponina	0,238	0,000	-100,00	Disminuyó

ANEXO 7: RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN CON LOS VALORES ÓPTIMOS EN LA PRUEBA DE VALIDACIÓN Y SU ERROR RELATIVO

N° REPETICIÓN	SAPONINA INICIAL (%)	SAPONINA FINAL (%)	EXTRACCIÓN DE SAPONINA (%)	ERROR RELATIVO (%)	ERROR RELATIVO PROMEDIO (%)
1	0,21	0,00	100,00	0,81	0,88
2	0,21	0,00	100,00	0,81	
3	0,24	0,01	97,90	1,31	
4	0,24	0,00	100,00	0,81	
5	0,25	0,00	100,00	0,81	
6	0,23	0,00	100,00	0,81	
7	0,28	0,01	98,19	1,02	
8	0,21	0,00	100,00	0,81	
9	0,24	0,00	100,00	0,81	
10	0,20	0,00	100,00	0,81	

ANEXO 8: FICHA TÉCNICA DE ESCARIFICADOR DE PALETAS

FT - 05 : FICHA TÉCNICA DE ESCARIFICADOR DE PALETAS	
I. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	
Máquina diseñada para el escarificado de quinua y succión de saponina en polvo simultáneamente. Construida su interior en acero inoxidable	
II. DATOS TÉCNICOS	
Marca	GING MP
Modelo	ESC-2017
Potencia de motor	4.0 HP
Marca de motor	SIEMENS
RPM del eje	1800 RPM
Productividad	750 kg/h
Voltaje (vatios)	380 - 440
Suministro	Trifásico
Peso	300 kg
Requerimiento electrico	Interruptor Termomagnético de 30 amperios
III. COSTOS DEL FUNCIONAMIENTO	
Repuestos que utiliza la máquina	Tornillo, paletas / malla, carcaza, etc.
Mano de obra necesaria	No requiere personal constante para ser operado.
IV. RECOMENDACIONES	
Regulaciones	a. Distancia paletas / malla. b. Cantidad de material alimentado. c. Características de la materia prima (saponina, piedras e impurezas).
Mantenimiento	a. Verificar espesor de malla. b. Revisión de mecanismo de transmisión (faja y polea). c. Verificar por sustancias extrañas que pueden atorar el tornillo (piedras grandes, pedazos de metal, etc.)
	