

DESARROLLO DE MÁQUINAS EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*)

Francisco Muñoz-Gómez¹; Gilberto López-Canteñs¹; Servando Mario Lugo-Arredondo¹; Agustín López-Herrera².

¹ Profesores-Investigadores del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola (DIMA); ² Profesor Investigador del Departamento de Fitotecnia; Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco Estado de México, México. ¹Correo electrónico: franciscomg53@yahoo.com.mx

Resumen

En México se han realizado investigaciones y trabajos de campo para adaptar el cultivo de quinua en los lugares que son favorables para su producción. Uno de los problemas que se presentan con este cultivo es la falta de máquinas apropiadas a las condiciones agronómicas y económicas de los pequeños productores cooperantes, para que los procesos de beneficio del grano de quinua se puedan mecanizar y sean redituables económicamente. Debido a lo anterior, la investigación tiene como objetivo evaluar un conjunto de máquinas para el postproceso del cultivo de la quinua, que incluye trillar, limpiar y seleccionar los granos, así como, para quitar la saponina. Se determinaron las propiedades físicas del grano y se realizó el diseño conceptual y de detalle que sirvió de base para la construcción y utilizaron de las máquinas en cultivos experimentales y con productores cooperantes, obteniéndose resultados satisfactorios en su calidad de trabajo, rendimientos y costos de fabricación.

Palabras Clave: Adaptación, postcosecha, diseño, mecanización.

Abstract

In Mexico, research and field work has been carried out to adapt the cultivation of quinoa in places that are favorable for its production. One of the problems that arise with this crop is the lack of machines appropriate to the agronomic and economic conditions of the small cooperating producers, so that the quinoa grain processing processes can be mechanized and be economically profitable. Due to the above, the research aims to evaluate a set of machines for the post-processing of quinoa cultivation, which includes threshing, cleaning and selecting grains, as well as to remove saponin. The physical properties of the grain were determined and the conceptual and detailed design was carried out that served as the basis for the construction and use of the machines in experimental crops and with cooperating producers, obtaining satisfactory results in their quality of work, yields and manufacturing costs.

Keywords: Adaptation, postharvest, design, mechanization.

1. Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es una planta con excelentes propiedades alimenticias que ha tenido un importante papel en la economía de los pueblos andinos durante los últimos tres milenios [1]. El grano es la parte más comúnmente utilizada de la planta, pero ocasionalmente se aprovechan también las hojas. Las mejores cosechas de quinua se logran en el rango de los 2500-3800 (m.s.n.m) con una precipitación pluvial de 250 a 500 mm anuales y temperaturas entre 5 y 14°C [2], [3].

La cosecha tradicional de la quinua es manual, en Perú y Bolivia es común el arranque de plantas, las raíces

quedan con un poco de tierra que al momento de la trilla se mezcla con el grano afectando su calidad [4]. En Ecuador y Colombia, la siega se hace con hoz, las gavillas se transportan a heras, en donde son trilladas a golpes de garrote o con pisoteo de animales. Esta actividad en general es un trabajo muy pesado y las personas que la realizan se ven afectadas por las condiciones al momento de trillar.

La mecanización y beneficio de la quinua requiere de varios tipos de máquinas para cosecharla en campo, mediante el corte de la planta, posteriormente las operaciones de trilla, limpieza y selección de los granos y la desaponificación, para que los granos puedan ser

aprovechados en la venta en el mercado, o su consumo, porque el grano contiene en la superficie, según su variedad, una sustancia amargosa y jabonosa llamada saponina. [5] que se elimina mediante una operación llamada desaponificación. Las operaciones se llevan a cabo con tres tipos diferentes de prototipos de máquinas: 1.- Trilladora; 2.- Limpiadora seleccionadora de granos; 3.- Desaponificadora.

La quinua (*Chenopodium quinoa Wild*) contiene saponinas, las que se caracterizan por ser amargas, emulsificantes y espumantes, por lo tanto, los granos después de trillados deben pasar por un proceso de limpieza y desamargado para su consumo en la elaboración de alimentos. 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. Por lo que, estos granos tienen que pasar por un proceso de limpieza y desamargado, es decir de eliminación de compuestos químicos en los que predominan las saponinas. [3]

Armada [6] señala que, en las formas silvestres y las variedades amargas, el contenido máximo aproximado de saponina es de un 2.8 % (aunque el rango es variable de acuerdo a la especie y al ecotipo), que, comparado con las exigencias actuales del mercado, que fijan como valor límite 0.05 %, es extremadamente alto. Las saponinas se caracterizan por su sabor amargo, sus propiedades emulsificantes, por la formación de espuma en soluciones acuosas y por ser solubles en alcohol y solventes orgánicos. Existen diferentes métodos que se utilizan para eliminar las saponinas entre los que destacan: lavado y agitación, fricción y rozamientos, termo mecánicos, químicos y combinados. Todos los métodos mencionados se basan en la fricción del grano.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar un conjunto de máquinas para el postproceso del cultivo de la quinua, que incluye trillar, limpiar y seleccionar los granos, así como, para quitar la saponina. Se determinaron las propiedades físicas del grano y se realizó el diseño conceptual y de detalle que sirvió de base para la construcción y utilizaron de las máquinas en cultivos experimentales y con productores cooperantes, obteniéndose resultados satisfactorios en su calidad de trabajo, rendimientos y costos de fabricación. Se describen en el orden mencionado las máquinas, también se muestran sus respectivas evaluaciones realizadas en laboratorio y campo. Los resultados, conclusiones y recomendaciones se presentan al final.

2. Método(s), metodología

Las máquinas fueron probadas en vacío y con carga en el Taller de Diseño del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola y los daños a los granos se determinaron en el Laboratorio de Semillas del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, respectivamente.

El material de estudio fue la variedad de quinua, BT, producida en los campos experimentales de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en Texcoco, Edo. de México. [4]

2.1 Determinación de las propiedades físicas del grano

Las propiedades físicas del grano de quinua que se midieron, fueron: dimensiones y contenido de humedad del material de prueba. Durante el funcionamiento de la máquina se cuantificó el porcentaje de grano dañado.

La quinua utilizada en este trabajo fue la variedad denominada “ONTIFOR”, que tiene un ciclo de 6 meses, es de semilla color blanco y altura de planta promedio de 1.60 m. [7]

2.1.1. Dimensiones de los granos

Conocer el tamaño de las semillas es muy importante, ya que permite seleccionar un régimen cinemático para un mejor funcionamiento del sistema de trilla, porque se evitan daños mecánicos a las semillas.

Para determinar las dimensiones del grano se seleccionaron aleatoriamente 50 granos de quinua, midiéndose el largo (L), ancho (A) y espesor (E) con un vernier digital marca INSIZE, con un rango de medición de 0-150 mm y precisión de 0.01 mm. Además, utilizando la ecuación propuesta por [8], se determinó el diámetro medio aritmético a partir de la ecuación 1.

$$Da = \frac{L + A + E}{3} \quad (1)$$

dónde: Da – Diámetro medio aritmético, mm.

A partir de los tamaños obtenidos se clasificó la semilla en tres rangos basados en las dimensiones promedio, mostrados en la Tabla 1

Tabla 1. Dimensiones promedio de 50 semillas de quinua

Largo	1.9 mm
Ancho	1.8 mm
Alto	1.5 mm

2.1.2. Contenido de humedad de los granos

El grano para ser almacenado, debe tener una humedad adecuada. Al igual que los cereales se pueden almacenar en un rango de humedad de 10 a 12 % mientras que los procesos de trilla y desaponificado se realizan a una humedad del 12 al 15 %. [3], [7]

Se tomaron 30 muestras de grano con una masa de 5 g en recipientes metálicos previamente pesados e identificados. El pesado se realizó con una balanza de precisión de 0.001 g. Posteriormente, se colocaron las muestras en la estufa a una temperatura de 130 ° C durante tres horas. Después de este tiempo se pesaron nuevamente las muestras y se calculó el contenido de humedad mediante la ecuación (2).

$$H_s = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100 \quad (2)$$

dónde: H_s - Contenido de humedad, %; W_1 - Masa de la muestra antes del secado, g; W_2 - Masa de la muestra después del secado, g.

2.1.3. Porcentaje de grano dañado

Para la calibración se realizaron pruebas a 1100, 1200 y 1600 rpm del motor de combustión interna que acciona a cada una de las máquinas, obteniéndose el porcentaje de grano dañado durante el proceso de trilla, limpieza y desaponificado. El porcentaje de grano dañado se obtuvo a partir de la ecuación (3).

$$G.D = \frac{M_{gd}}{M_{ge} + M_{gd}} * 100 \quad (3)$$

donde: $G.D$ - Grano dañado, %; M_{gd} - Masa del grano dañado, g; M_{ge} - Masa del grano entero, g.

2.2. Pruebas sin carga de los prototipos (vacío)

Antes de realizar las pruebas se realizaron los siguientes pasos:

- Verificar que todos los elementos de sujeción, tales como tornillos, opresores, etc, estén apretados correctamente.
- Verificar que las chumaceras estén sujetadas al chasis y debidamente engrasadas.
- Checar que las poleas de los mecanismos en movimiento estén alineadas.
- Comprobar que la tensión de la banda de transmisión sea la adecuada.
- Asegurarse de que no existan ruidos ni objetos extraños que pudieran dañar las partes en movimiento y/o provocar accidentes.

Posteriormente, se pone en funcionamiento las máquinas sin material de trabajo, durante periodos de tiempo determinados, observándose y ajustándose todos los componentes para que funcionen adecuadamente. Al término de las pruebas se

obtuvieron resultados satisfactorios por lo que se procedió a realizar las pruebas con material de trabajo.

2.3. Pruebas con material de trabajo (con carga)

Durante esta etapa se evaluó el desempeño de la máquina, interactuando sobre los granos de quinua. Se comprueba si las máquinas cumplen con el objetivo de trillado, limpieza-selección y desaponificado, sin provocarle demasiado daño mecánico a los granos y en su caso, se reparan las averías que puedan surgir y se mejoran los procesos de construcción, hasta que las pruebas resulten satisfactorias y entonces pasar a la etapa de la evaluación.

2.4. Evaluación de los prototipos

A continuación, se describe la metodología utilizada para la evaluación de cada máquina utilizada en el proceso de trillado, limpieza y desaponificación de los granos de quinua.

2.4.1. Máquina trilladora

La máquina trilladora de granos de quinua está conformada por los siguientes sistemas: 1.- Chasis o estructura; 2.- Sistema de trillado por medio de fricción con un rotor, cuatro aletas ajustables, cóncavo, tolva de alimentación; 3.- Sistema de cribado formado por 2 cribas para pre-limpieza de granos, tolvas para salida de granos limpios y esquilmos de paja; 4.- Motor de combustión interna de 5.5 H.P. (Figura 1). Cuyas características son: dimensiones físicas: peso: 175 kg, ancho: 172 cm, altura: 1.76 m y largo: 184 cm.



Figura 1. Máquina Trilladora

Con el propósito de evaluar la productividad y la calidad de trabajo de la máquina se llevaron a cabo un conjunto de actividades previas que consistieron en moler las plantas completas de quinua con un molino de martillos de 10 pulgadas. La finalidad de esto es desmenuzar los tallos y panojas para evitar atascamientos en la máquina y aumentar su rendimiento [9]

La máquina tiene cuatro diferentes descargas que se muestran en la Figura 2 para salida de esquilmos o desechos, (descargas 4, 5 y 7) y una salida de grano limpio (descarga 6).

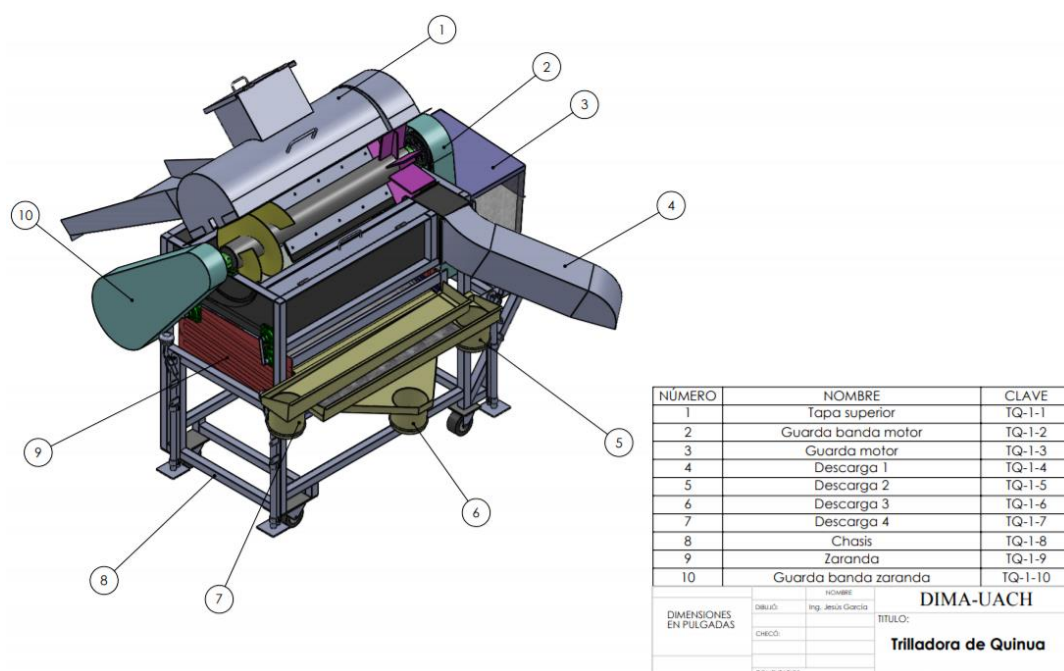


Figura 2. Partes de la máquina trilladora

Para realizar la evaluación de la maquina trilladora se hicieron 10 pruebas, cada una de 5.5 kg de material sin trillar, a 850, 925 y 975 rpm del órgano de trilla, estos valores se seleccionaron de acuerdo con el motor y características de la transmisión que tiene la máquina. Se midió el tiempo de trillado y se pesó la cantidad de grano limpio separado. Posterior a esto se realizó el análisis estadístico de los datos.

2.4.2. Máquina limpiadora de granos

La máquina limpiadora (Figura 3) consta de los sistemas: 1.- Estructura o chasis; 2.- Conjunto de 2 cribas accionadas por un mecanismo excéntrico; 3; Tolva de alimentación de granos por limpiar y compuerta de control; 4.- Ventilador de aspas planas y sistema de control de aire para limpieza final del grano; 5.- Motor de combustión interna de 13.5 HP a 3600 rpm con una reducción de 1:6; 6.- Sistema de limpieza de aire. Cuyas características son las siguientes: dimensiones físicas: peso: 175 kg, ancho: 250 cm, altura: 262 cm, largo: 210 cm



Figura 3. Máquina limpiadora de semillas de quinua

Para la evaluación de la máquina se tomaron tres variantes en las revoluciones del motor: baja (200 rpm), media (400 rpm) y alta (600 rpm). considerando el sistema de reducción de 6:1. En cada una de las variantes de las revoluciones del motor se realizan cuatro diferentes aperturas de flujo de aire: 25%, 50%, 75% y 100%, para cada uno de estas variaciones se realizaron cuatro muestreos. De este experimento se midió el peso de las salidas de desecho y la salida de granos limpio, obteniendo los resultados estadísticos.

2.4.3. Máquina desaponificadora

La desaponificadora de granos de quinua (Figura 4) es una máquina estacionaria fabricada con acero inoxidable tipo 304 que tiene la función de separar la saponina de los granos, mediante el método de tallado o fricción seca, para ello la máquina tiene un cóncavo con una criba de 0.5 mm y un eje rotatorio con cuatro aletas ajustables y un ventilador impulsado por el mismo rotor. Aparte, tiene otro ventilador acoplado a la misma transmisión que se utiliza para succionar y descargar la saponina en polvo, producida por la fricción entre los granos y las aletas del rotor con la criba del cóncavo. [10] El material obtenido es descargado a la salida del ventilador en un tubo acoplado a un ciclón, entregando en una salida la saponina y en otra el grano limpio. La máquina cuenta con cuatro sistemas: 1.- Alimentación; 2.- Unidad de potencia (motor) y transmisión mecánica; 3.- Escarificado; 4.- Soplado y limpieza. El motor (Figura 3) que utiliza la máquina es de combustión interna, con potencia de 13.1 HP. Cuyas características son:

Dimensiones físicas: peso: 245 kg ancho: 221 cm, altura: 294 cm, largo: 357 cm.

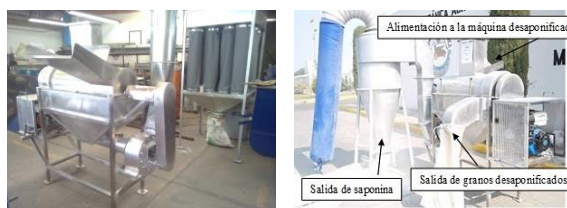
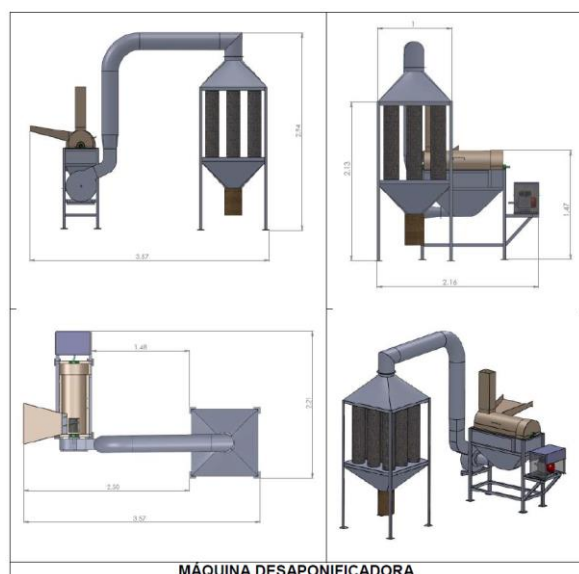


Figura 4. Máquina desaponificadora

Los principales indicadores de calidad de trabajo de la máquina que se determinaron son: grano entero, grano con daño mecánico, saponina y porcentaje de grano desaponificado, para ello, se tomaron muestras de 14 kg. Para determinar los porcentajes de los tres primeros indicadores mencionados, se pesó la muestra antes de depositarla en la tolva, y después de procesada.

Para determinar el rendimiento de la máquina, una vez calibrada, se procedió a ponerla en funcionamiento durante 15 minutos y determinar la cantidad de granos desaponificados por unidad de tiempo. Además, se determinó el tiempo de vaciado de la tolva de alimentación.

Para la determinación del porcentaje de saponina en la quinua se utilizó el método de la espuma (conocido como método afrosimétrico) por su facilidad de manejo y buena correlación. Las saponinas disueltas en agua y agitadas forman una espuma estable. La altura de esta espuma correlaciona con el contenido de saponinas en granos.[11]. Este método se aplica a la quinua con contenido de saponinas comprendido entre 0.005% (0.2 cm) hasta 0.37 % (3.0 cm).

Para la calibración de la máquina se realizaron mediciones del peso grano dañado y del contenido de saponina del grano procesado para tres velocidades de rotación

El procedimiento consiste en (INEN 1672, 2013) [12]

- Colocar 0.50 ± 0.02 g de granos de quinua en un tubo de ensayo.
- Añadir 5.0 cm^3 de agua destilada y tapar el tubo. Poner en marcha el cronómetro y sacudir fuertemente el tubo durante 30 segundos.
- Dejar el tubo en reposo durante 30 minutos, luego sacudirlo otra vez durante 30 segundos.
- Dejar el tubo en reposo durante 30 minutos, luego sacudir otra vez durante 30 segundos. Dar al tubo una última sacudida fuerte.
- Dejar el tubo en reposo durante 5 minutos, luego medir la altura de espuma con aproximación al 0.1 cm.
- El contenido de saponinas de la quinua en grano, expresado en porcentaje.

3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de las tres máquinas aplicando la metodología explicada.

3.1. Máquina trilladora

Los resultados de las pruebas de la máquina trilladora se presentan en la Tabla 2

Tabla 2. Resultados obtenidos de la salida principal de la máquina trilladora

Velocidad en rpm del órgano trillador	850	925	975
Promedio de las 10 muestras (g)	2139.5	2127	1754.5
Desviación Estándar (g)	171.44	144.92	138.42
Coefficiente de variación (%)	8	7	8
Tiempo promedio de trillado (min)	5:21	4:25	3:50

En las pruebas a 850 rpm se obtuvo un 40% de semilla pre limpiada con un tiempo promedio de 5:21 min, en la prueba a 925 rpm se obtuvo un 39% de semilla pre limpiada con un tiempo promedio de 4:25 min y en la prueba a 975 rpm se obtuvo un 32% con un tiempo promedio de 3:50 min.

Según los resultados, se encontró que, de todas las repeticiones a 925 rpm, el valor mínimo y máximo son 1970 y 2230 (gramos) de la salida 6, que es donde sale el material de interés, en donde la media calculada de todos los datos de la prueba fue de 2.127 con una desviación estándar de ± 144.92 .

En esta prueba se indica el porcentaje de semilla que se pierde en cada una de las salidas, este material se podría recuperar, pero implicaría más tiempo y trabajo. De una muestra tomada cinco veces de 20 gramos de la salida de grano, se pesaron 12.34 gramos de semilla

limpia, entonces del promedio de 2127 gramos de material se obtiene 1312 gramos de semilla limpia.

3.2. Máquina limpiadora

Los resultados de las pruebas de la máquina trilladora se presentan en la Tabla 3, Tabla 4. y Tabla 5

Tabla 3. Resultados obtenidos de la máquina limpiadora cuando el motor trabaja a 200 rpm

Motor (rpm)	Apertura de aire (%)	Descargas	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio	Desviación estándar
200	25	Se descartaron las pruebas al no tener resultados en estas configuraciones de la máquina						
	50							
	75							
	100							

Tabla 4. Resultados obtenidos de la máquina limpiadora cuando el motor trabaja a 400 rpm

Motor (rpm)	Regulador de aire (%)	Descargas (g)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio	Desviación estándar
400	25		1245	1530	1570	1502	1461.75	127.45
		Semilla	597	930	1182	1052	940.25	217.29
		2	410	526	305	337	394.5	84.92
		3	40	14	24	24	25.5	9.31
		4	100	60	59	65	71	16.90
		Salida	1147	1530	1570	1478	1431.25	167.32
			1535	1472	1280	1283	1392.5	113.21
		Semilla	778	768	643	661	712.5	60.93
400	50	2	478	320	385	378	390.25	56.59
		3	61	53	53	48	53.75	4.65
		4	105	224	123	134	146.5	45.92
		Salida	1422	1365	1204	1221	1303	92.91
			1540	1559	1480	1510	1522.2	30.00
		Semilla	835	849	806	812	825.5	17.36
		2	435	450	374	402	415.25	29.47
		3	76	73	69	78	74	3.39
	75	4	144	140	208	182	168.5	28.08
		Salida	1490	1512	1457	1474	1483.2	20.29
			1750	1510	1478	1550	1572	105.88
		Semilla	1010	910	708	895	880.75	109.09
	100	2	427	315	295	325	340.5	51.09
		3	104	87	123	103	104.25	12.75
		4	190	194	140	212	184	26.72
		Salida	1731	1506	1266	1535	1509.5	165.08

Tabla 5. Resultados obtenidos de la máquina limpiadora cuando el motor trabaja a 600 rpm

Motor (rpm)	Regulador de aire (%)	Descargas (g)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio	Desviación estándar
600	25		1453	1536	1597	1464	1512.5	58.27
		Semilla	908	986	1012	892	949.5	50.66
		2	215	268	253	226	240.5	21.05
		3	65	73	79	68	71.25	5.30
		4	262	205	256	264	246.75	24.28
		Salida	1450	1532	1600	1450	1508	62.78
	50	Se descartaron las pruebas al encontrar que la integridad de la máquina se estaba comprometiendo.						
	75							
	100							

3.3. Máquina desaponificadora

Los resultados obtenidos de la operación de la máquina desaponificadora se presentan en la Tabla 6

Tabla 6. Resultados de la máquina desaponificadora trabajando a diferentes velocidades del motor

Vel rpm	ge kg	gd kg	S. extraída kg	Pérdida kg	h cm	S. en grano (%)
1100	6.01	4.01	2.42	1.56	0.74	0.08
1200	7.11	4.74	1.78	0.37	0.69	0.07
1600	1.31	5.25	5.04	2.40	0.21	0.01

Nota: Vel. – velocidad de rotación, ge – grano entero, gd – grano dañado, h – altura de espuma, S. – saponina.

También se realizaron pruebas con diferentes aberturas de la tolva de alimentación, obteniéndose los resultados que se muestran en el Tabla 7. Como se puede observar, para la abertura en la tolva de 4 mm se obtiene el menor porcentaje de grano dañado para la variedad BT, y a partir de 7 mm de abertura el material se atasca entre el cilindro escarificador y cóncavo, y no se logra el proceso de desaponificado.

Tabla 7. Resultados de la máquina desaponificadora trabajando a diferentes aberturas de la tolva

at (mm)	ge (kg)	gd (kg)	S. extraída (kg)	Pérdida (kg)	h (cm)	S. en grano (%)
7	0	0	0	0	0	0
5	6.06	4.04	3.7	0.2	0.42	0.03
4	9.68	1.08	3.09	0.15	0.48	0.04
2	6.17	4.11	3.26	0.46	0.91	0.10

Nota: at – abertura de la tolva, ge – grano entero, gd – grano dañado, h – altura de espuma, S. – saponina.

Para determinar el rendimiento real de la máquina diseñada, se depositó en la tolva 56.5 kg de granos de quinua y se obtuvieron los parámetros que se muestran en los Tabla 8 y Tabla 9, siendo el rendimiento de 107.25 kg/h, con un porcentaje de grano entero del 85.9 % y de contenido de saponina de 0.07 % (0.67 cm de altura de la espuma) inferior al recomendado por la INEN 1673 [13], que es de 1.0 cm o menor, de altura de la espuma para quinua dulce.

Tabla 8. Parámetros de tiempo de trabajo y de consumo de combustible de la máquina desaponificadora

Tiempo efectivo de trabajo	31.44 min
Tiempo de llenado de la tolva	27.60 min
Tiempo de descarga de la tolva	28.25 min
Consumo de combustible	190 ml

Tabla 9. Evaluación de la máquina desaponificadora de quinua.

ge (kg)	gd (kg)	S. extraída (kg)	Pérdida (kg)	h (cm)	S. en grano (%)
48.56	2.78	4.86	0.30	0.67	0.07

Nota: ge – grano entero, gd – grano dañado, h – altura de espuma, S. – saponina. Fuente: elaboración propia

Los prototipos de máquinas tuvieron un costo aproximado como se indica: 1.- Máquina trilladora

US\$ 4500; 2.- Máquina limpiadora US\$ 4600; 3.- Máquina desaponificadora US\$ 5200. . Los pequeños productores de quinua pueden acceder a las máquinas mediante programas de apoyo del gobierno y con recursos propios.

4. Conclusiones

La máquina estacionaria trilladora de quinua tiene un buen desempeño a 925 rpm, correspondiendo a una velocidad tangencial de 17.2 m/s en el órgano trillador, con lo que obtiene una capacidad de trabajo de 77.6 kg/h, esto trabajando solo con los dos soportes posteriores apoyados, esto para aumentar el ángulo de pendiente de las cribas (calzando las dos ruedas frontales para evitar el desplazamiento de la maquina). La calidad de grano obtenido es bueno ya que se observaron mínimos daños mecánicos en la semilla.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio, la calidad de limpieza de la semilla es buena porque se aprovecha 1312 gramos de semilla limpia los cuales corresponden a una relación de 0.24 de la masa total de entrada (5500 gramos).

Por lo que el uso de la maquina será rentable para pequeños productores de quinua, utilizando material con características similares a las que se usaron en la evaluación, ya que puede cambiar los resultados de acuerdo al material con el que se trabaje.

Para la máquina limpiadora, la prueba que dio mejores resultados en limpieza y cantidad de semillas fue la de intensidad media de RPM del motor y con una apertura de la compuerta del ventilador al 100%, obteniendo una semilla limpia y al tener un alto flujo de aire en el paso de la semilla se despoja de todo residuo que lleva con ella además de semillas de baja calidad o banas las cuales tienen un menor peso, en el depósito de semillas se aprecian algunos residuos tales como varitas de paja los cuales se consideran como aceptables.

Las pruebas con una intensidad alta en las revoluciones del motor generaban fuertes corrientes de aire llevando consigo semillas. Con las altas revoluciones del motor se generaban movimientos bruscos los cuales impulsabas grandes cantidades de material de las muestras depositadas dando como resultado una baja eficiencia en el proceso de filtrado de residuos, además, al estar sobre saturado el paso del aire no se generaba la separación de desechos y semillas dando como resultado un depósito de semilla con demasiados desechos.

Se establecieron los parámetros óptimos de trabajo de la máquina desaponificadora de grano de quinua como son: revoluciones del eje principal, abertura de la tolva de alimentación y holguras entre el cilindro escarificador y cóncavo, obteniéndose durante la evaluación, como promedio, un rendimiento de 107.25

kg/h, con un daño mecánico al grano de 4.92 % y contenido de saponina en el grano procesado de 0.07 %.

5. Referencias

- [1] A. Chevalier, L'exporation des plantes sur la cote péruvienne en contexte formatif., Faculté de Sciences de L'Université de Gêneve. , 2002.
- [2] P. Maughan, A. Bonifacio, E. Jellen, M. Stevens, C. Coleman, M. Ricks, S. Mason, D. Jarvis, B. Gardunia y D. Fairbanks, «A genetic linkage map of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on AFLP, RAPD, and SSR markers.,» *Theoretical and Applied Genetics*, vol. 109, pp. 1188-1195., 2004.
- [3] A. Mujica y S. Jacobsen, La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres, 2006.
- [4] A. López y H. Navarrete, Tesis: Estudios de la diversidad genética en colectas de quinua, (*Chenopodium quinua*), y Amaranto (*Amarantus spp*), empleando secuencias repetidas, Chapingo, Estado de México. : Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, 2017.
- [5] A. Mujica, R. Ortíz, A. Bonifacio, R. Saravia, G. Corredor, A. Romero y S. Jacobsen, Agroindustria de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en los países andinos". Proyecto Quinoa: Cultivo multipropósito para los países andinos Perú-Bolivia-Colombia, Puno, Perú.: PNUD-CONCYTEC-UNA-PROINPA-U. Colombia., 2006.
- [6] M. Armada, J. Chavarría y A. Trejo, «Diseño y construcción de un prototipo escarificador de quinua,» *Revista Argentina de Ingeniería*, vol. vol. 1, pp. pp. 51-56, 2012.
- [7] D. Bazile y et al., Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013, FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia), 2014.
- [8] A. Mujica, S. Jacobsen, J. Izquierdo y J. Marathee, Quinoa. Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro, FAO. Santiago, Chile: [en línea]. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdr_om/contenido/libro03/home03.htm., 2001.
- [9] F. Muñoz, E. Estrada y S. Ortiz, Tesis: Evaluación De Una Maquina Trilladora Estacionaria De Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Chapingo, Estado de México : Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, 2018.

- [10] F. Muñoz, J. García, M. Sánchez, J. Hernández y A. Toledo, Máquina desaponificadora de semilla de quinua. Manual de operación, mantenimiento y seguridad., Chapingo, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo, 2016.
- [11] M. Koziol, «Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.),» *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 5, n° 35, pp. 35-68, 1992.
- [12] INEN 1672, Quinua. Determinación del contenido de saponinas por medio del método espumoso (método de rutina), Quito, Ecuador: Primera revisión. , 2013.
- [13] INEN 1673, Quinua. Requisitos”. Norma Técnica Ecuatoriana. Primera revisión., Quito, Ecuador, 2013.
- [14] A. López y H. Navarrete, Tesis: Estudios de la diversidad genética en colectas de quinua, (*Chenopodium quinoa*), y Amaranto (*Amarantus* spp), empleando secuencias repetidas, Chapingo, Estado de México. : Departamento de Fitotecnica, Universidad Autónoma Chapingo, 2017.