



Yura: Relaciones internacionales

Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio

Revista electrónica ISSN: 1390-938x

Nº 11: Julio - septiembre 2017

Desarrollo de equipamiento agrícola de bajo costo para realizar el proceso completo de trilla, tamizado y limpieza de granos andinos pp. 599 - 614

Tapia Zurita, Melton Edmundo; Tapia Zurita, Edison Gustavo

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Sangolquí, Ecuador

Av. El progreso S/N.

metapia@espe.edu.ec

Desarrollo de equipamiento agrícola de bajo costo para realizar el proceso completo de trilla, tamizado y limpieza de granos andinos

Desarrollo de equipamiento agrícola de bajo costo para realizar el proceso completo de trilla, tamizado y limpieza de granos andinos

*Tapia Zurita, Melton Edmundo
Universidad de Fuerzas Armadas - ESPE
metapia@espe.edu.ec*

*Tapia Zurita, Edison Gustavo
Universidad de Fuerzas Armadas - ESPE
gustavozur@hotmail.com*

599

Resumen

Se ha diseñado y construido un equipo trillador de granos andinos, en base a las necesidades de los pequeños y medianos productores, tomado en consideración como factor fundamental del desarrollo, además de los requerimientos específicos de los agricultores, su situación socioeconómica. El equipo de bajo costo, fácil reproducción y altamente efectivo, se obtuvo utilizando el proceso genérico de desarrollo de productos como metodología de trabajo y pretende ser una alternativa de solución al problema de cosecha de una variedad de productos andinos y aportar así a la mejora del nivel de vida de los agricultores. Los principales aportes de este trabajo son: la identificación de las necesidades de los agricultores andinos en cuanto a requerimientos de maquinaria agrícola y la propuesta de una solución sencilla, económica y eficiente para satisfacerlos. Lo obtenido cumplió con las expectativas de los potenciales usuarios y de los desarrolladores en cuanto a satisfacción de requerimientos y cumplimiento de especificaciones.

Palabras clave

Equipo, trillador, granos andinos, productores, necesidades de desarrollo

Abstract

An andean grain threshing equipment, based on the needs of small and medium producers, has been designed and built, taking into account as a fundamental factor of the development, besides the specific requirements of the farmers, their socioeconomic situation. The low cost, easy to reproduce and highly effective equipment was obtained using the generic process of product development as a working methodology and aims to be an alternative solution to the problem of harvesting a variety of Andean products and thus contribute to the improvement of Level of life of farmers. The main contributions of this work are: the identification of the needs of Andean farmers in terms of agricultural machinery requirements and the proposal of a simple, economic and efficient solution to satisfy them. The obtained met the expectations of potential users and developers in terms of satisfaction of requirements and compliance of specifications.

Keywords

Equipment, thresher, Andean grains, producers, development needs

Desarrollo de equipamiento agrícola de bajo costo para realizar el proceso completo de trilla, tamizado y limpieza de granos andinos

La Región Andina cuenta una gran variedad de productos que para su cosecha requieren de procesos de trilla; entre ellos se encuentran: leguminosas (como el chocho y el fréjol), granos (como el maíz y la quinua) y cultivos andinizados (como trigo, cebada, avena, arveja, haba y lenteja), entre otros (Tapia & Fries, 2007). En Ecuador y en Latinoamérica existen una gran cantidad de pequeños y medianos productores agrupados en unidades familiares que aportan con estos cultivos. Según estimaciones, América Latina y el Caribe cuentan con aproximadamente 17 millones de unidades productivas agropecuarias (UPAs) con un total de alrededor de 60 millones de personas trabajando en ellas (CEPAL, FAO, IICA, 2013). En el Ecuador existen 712.037 personas que podrían catalogarse como pequeños y medianos productores (Sinagap, 2016). La superficie sembrada en el Ecuador de productos que requieren del proceso de trilla para su producción, como cebada, trigo, quinua y fréjol, en el año 2016, fue de 49.765 hectáreas (INEC, Superficie, producción y ventas de cultivos transitorios, 2016); esto, sin incluir otros productos que requieren del mismo proceso. El territorio mencionado es importante como para estudiar las técnicas de producción y generar soluciones relacionadas a la necesidad de equipamiento agrícola.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) mencionó en un informe del año 2014 que se debe desarrollar equipamiento agrícola adaptado a las necesidades de los pequeños productores para poder lograr la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza en los países de América Latina y el Caribe (CEPAL, FAO, IICA, 2014), lo cual corrobora lo expuesto anteriormente.

En la región Andina no existe oferta de maquinaria agrícola adecuada a las necesidades específicas de los productores y lo que se hace es adaptar la existente a variedades de la región (Tapia, Tapia, & Arla, 2017). En el mercado existe una gran variedad de equipos para el proceso de trilla, estando sus tamaños, forma, procesos y capacidades,

desarrollados con fundamento en necesidades de los productores de donde proviene el equipamiento, las mismas que difieren de las del agricultor andino.

El proceso de trilla consiste en separar los granos de la espiga o vaina, dependiendo del producto a trabajar; este proceso, de forma manual, se realiza generalmente de dos maneras: utilizando animales que pisen el producto hasta separar los granos; o, golpeando el material. Una vez separado el grano se procede a limpiarlo utilizando un proceso de aventado. Las impurezas que hayan pasado con los granos, finalmente se clasifican de forma manual.

La figura 1 muestra el proceso de trilla tradicional en la que se observa esta actividad y posterior limpieza.



Figura 1. Trilla y limpieza de granos (Comunidad Bramadero Grande y Bramadero Chico, provincia de Bolívar)

Fuente: El autor (2015)

Este proceso tradicional ocasiona múltiples inconvenientes debido al tiempo que requiere y la dependencia de las condiciones climáticas para su desarrollo.

Para realizar el proceso de manera tecnificada, el mecanismo comúnmente utilizado en la maquinaria agrícola existente es el sistema de cilindro y cóncavo (Llangari, Edison; Benalcázar, Eduardo, 2012); este sistema consiste en un conjunto de cilindro con barras periféricas que golpean el producto y un elemento cóncavo de mayor diámetro que el cilindro, perforado para el paso de granos a manera de tamiz. El sistema mencionado es de

Desarrollo de equipamiento agrícola de bajo costo para realizar el proceso completo de trilla, tamizado y limpieza de granos andinos

manufactura compleja debido a que los cilindros deben estar perfectamente alineados y balanceados y presenta inconvenientes en cuanto a capacidad de proceso y salida del material de descarte (subproducto de la trilla). La figura 2 muestra un equipo de trilla del mencionado tipo.



Figura 2. Equipo de trilla tipo cilindro y cóncavo

Fuente: El autor (2012)

Los equipos comerciales tienen especificaciones técnicas con sobredimensionamientos respecto de las necesidades de los pequeños y medianos productores andinos y además entregan el producto pre-procesado, requiriendo procesos posteriores de limpieza del grano.

Debido a que la agricultura en el presente siglo está pasando por importantes transformaciones, ello debido a que el acceso a las tecnologías permite desarrollar nuevos paradigmas de productividad, es imperativo para el área agropecuaria acceder a recursos tecnológicos para producir alimentos seguros de manera sustentable (Ramírez, Ruilova, & Garzón, 2015).

El trabajo realizado plantea demostrar la viabilidad del desarrollo de equipos con especificaciones técnicas adecuadas a las necesidades de los productores andinos que mejoren las prestaciones respecto a maquinaria existente y con ello se disminuyan costos de fabricación y requerimientos de potencia, además que entreguen el producto completamente limpio sin que sea necesario realizar un proceso final de limpieza.

Materiales y Métodos

El trabajo empezó con el estudio de las necesidades de los productores, para ello se realizaron entrevistas a los agricultores, complementadas por observaciones de campo con la finalidad de conocer sus necesidades de acuerdo a su percepción e identificar aquellas latentes, todo ello relacionado a los procesos de trilla de granos.

Respecto al tamaño de la muestra, Griffin & Hauser en su artículo “The voice of the customer” (Griffin & Hauser, 1993) indican que al menos el 90% de las necesidades para el desarrollo de productos se obtienen con un total de 30 encuestas y recomiendan para este objetivo, realizar entre 10 y 50 de ellas. Con esta información, se entrevistaron a 50 productores, los mismos que indicaron requerir lo expuesto en la tabla 1 en cuanto a equipamientos.

Tabla 1. Requerimientos para el desarrollo del equipamiento

No.	REQUERIMIENTOS	IMPORTANCIA
1	Fácil de operar	4
2	Transportable	3
3	Eficiente y eficaz	4
4	Bajo costo	5
5	De fácil mantenimiento	4
6	Que tenga servicio técnico	3
7	Segura al operar	4
8	Amigable con el ambiente	2

Desarrollo de equipamiento agrícola de bajo costo para realizar el proceso completo de trilla, tamizado y limpieza de granos andinos

Con esta información y después de haber realizado una búsqueda y estudio detallado de la maquinaria existente, los precios de venta en el mercado y sus procesos de trabajo, se procedió a determinar las especificaciones iniciales de desarrollo (especificaciones objetivo), mostradas en la tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones de desarrollo del equipo (Especificaciones objetivo)

No.	ESPECIFICACIÓN OBJETIVO	VALOR	UNIDAD
1	Sistema de encendido/apagado tipo on – off	-	-
2	Peso máximo	50	Kg
3	Capacidad	200	Kg/h
4	Dimensiones	Largo 0,6 x ancho 0,6 x alto 1,0	m
5	Eficiencia	95	%
6	Aceptabilidad de grano dañado	Máximo 0,1	%
7	Precio	Entre 500 y 1000	USD

Adicionalmente, se requería como necesidad que sea de fácil mantenimiento, que no genere emisiones contaminantes ni ruidos excesivos y que trabaje con energía eléctrica de 110 V o con combustión.

Con esta información se generaron opciones de solución y se seleccionó para el desarrollo un sistema de trilla de cilindro y base recta, como una opción de innovación al comúnmente utilizado de cilindro y cóncavo.

La figura 3 muestra el primer prototipo desarrollado con fundamento en las especificaciones objetivo y su sistema de trilla.



Figura 3. Prototipo y sistema de trilla

Una vez fabricado el prototipo, se realizaron las pruebas de campo con la finalidad de verificar el cumplimiento de las necesidades de los potenciales usuarios y el cumplimiento de las especificaciones objetivo, planteadas inicialmente; esta etapa sirvió además para obtener retroalimentación de los usuarios, todo ello para redefinir las especificaciones.

En las pruebas de campo se detectaron una serie de inconvenientes y requerimientos adicionales a tomar en cuenta; entre los puntos a destacar en la etapa de pruebas de este primer prototipo están:

- La capacidad del sistema de trilla fue superior a la capacidad de tamizado.
- La tolva de alimentación requería un rediseño para que el producto pueda ser atrapado por las muelas de trilla, pues el material no ingresaba con facilidad al proceso.
- El producto final contenía además del grano, el subproducto de la trilla.
- El retiro de material de los tamices requería parar el proceso, lo que convertía al trabajo en un proceso discontinuo.

La figura 4 muestra los trabajos realizados relacionados a pruebas técnicas y retroalimentación por parte de los usuarios con el prototipo inicial.

Desarrollo de equipamiento agrícola de bajo costo para realizar el proceso completo de trilla, tamizado y limpieza de granos andinos



Figura 4. Pruebas del prototipo

Con la información obtenida en el proceso de pruebas, se rediseñó el equipo en los subsistemas de alimentación, trilla y clasificación y se obtuvo finalmente el diseño que se muestra en la figura 5.

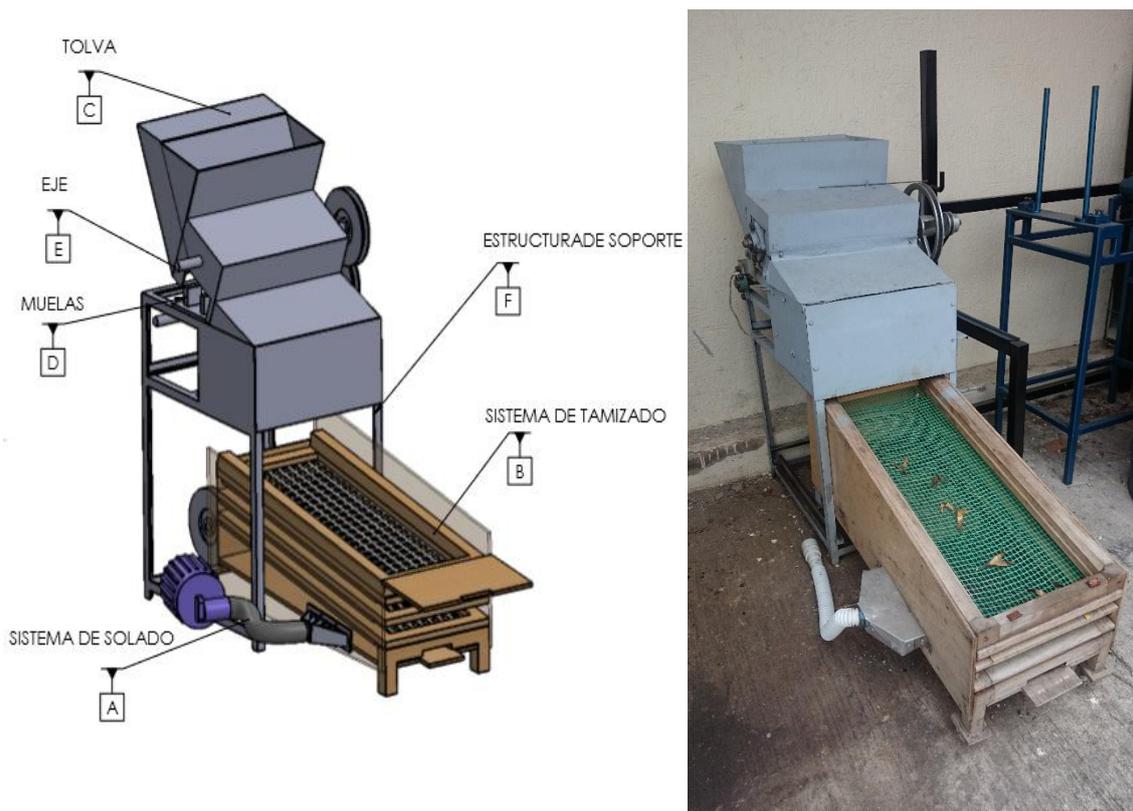


Figura 5. Diseño y prototipo final

El diseño final cambia la forma del subsistema de clasificación haciéndolo de mayor longitud; esto sirve para que el subproducto proveniente del trabajo de trilla pueda ser retirado sin necesidad de parar el proceso, por ello presenta una longitud superior a la del cuerpo de

trilla, acompañado de una leve inclinación (10 grados aproximadamente) que hace que el material se ubique en el extremo del tamiz para poder retirarlo; se diseñó además este subsistema de clasificación con una arquitectura modular tipo bus que permite el intercambio de mallas para adecuarse a distintos productos. Se adiciona un sistema independiente de soplado a la salida del grano que utiliza un ventilador centrífugo de 120 W de potencia. La tolva cambia su diseño y se le proporciona una mayor inclinación con un ángulo de 80 grados, de modo que el material baja por gravedad y es atrapado por las muelas de trilla.

Las especificaciones finales, después de las pruebas y retroalimentación de los usuarios se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones finales

No.	ESPECIFICACIÓN OBJETIVO	VALOR	UNIDAD
1	Sistema de encendido/apagado tipo on – off	-	-
2	Peso máximo	45	Kg
3	Capacidad	300	Kg/h
4	Dimensiones	Largo 1,4 x ancho 0,7 x alto 1,20	m
5	Eficiencia promedio varios productos	90	%
6	Daño en el producto	0,1	%
7	Precio de fabricación	800	USD
8	Potencia del motor de trilla	746	W
9	Voltaje	110	V
10	Frecuencia	60	Hz

Para determinar los parámetros de trabajo, se utilizaron las matrices ortogonales de Taguchi en un arreglo L4 a dos niveles. (Gutierrez & de la Vara, 2010).

Las pruebas y calibración del equipo se realizaron con varios tipos de muelas y rotores. La figura 6 muestra las muelas y rotores fabricados.



Figura 6. Muelas y rotores para pruebas.

Los rotores fabricados fueron de 2 tipos:

El primero, de tubo cuadrado de 50 mm de lado, sobre el cual se colocaron 7 hileras de muelas de trilla, fabricadas con tubo de 20 mm de lado y separados de manera alternada a una distancia de 80 mm. La longitud total del rotor en la parte de proceso es de 400 mm.

El segundo, de tubo cilíndrico de 45 mm. de diámetro sobre el cual se colocó varilla cuadrada de 10 mm de lado, colocados de igual manera en hileras de forma alternada, con 6 muelas en la periferia de cada hilera.

Las muelas que se fabricaron fueron de tres tipos: de tubo cuadrado de 20 mm de lado; de varilla cuadrada de 10 mm. y de platina de (50 x 10) mm. (Figura 6).

Cada producto tiene sus parámetros específicos de trabajo y se determinaron con fundamento en pruebas en las que se utilizó las referidas matrices; como ejemplo para la determinación de parámetros de trabajo, se muestra los resultados de lo realizado para la trilla de lupinus (chocho). La tabla 4 muestra los factores y niveles para los que se desarrollaron las pruebas.

Tabla 4. Matriz L4 a 2 niveles

Factor	Descripción	Nivel 1	Nivel 2
A	Muelas	Tubo cuadrado 20 mm	Varilla cuadrada de 10 mm
B	Rotor	Eje de tubo cuadrado de 20 mm	Eje de varilla de 10 mm
C	Velocidad	364 RPM	433 RPM

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos y la tabla anova. El valor de Y_i corresponde al porcentaje de grano no trillado.

Tabla 5. Resultados y tabla Anova

N.	A	B	C	Y_i
1	1	1	1	20,0
2	1	2	2	13,3
3	2	1	2	15,0
4	2	2	1	6,7
T₁	33,3	35,0	26,7	
T₂	21,7	20,0	28,3	
SS	33,6	56,3	0,6	
GL	1	1	1	
V	33,6	56,3	0,6	
F	56,0	93,8	-	
S_g	SI	SI	-	
P₁	16,7	17,5	-	
P₂	10,9	10,0	-	
N_i	2	2	El más conveniente	
E_f	-3,3	-4,2		

$$y = \frac{\sum y_i}{n} = 13,8$$

El efecto de las variables A y B es:

$$Ef_A = P_2 - y = 10,9 - 13,8 = -2,9$$

$$Ef_B = P_2 - y = 10,0 - 13,8 = -3,8$$

El error estimado considerando únicamente el efecto de las variables A y B es:

$$Y_{estimado} = y + \sum Ef = 13,8 - 2,9 - 3,8$$

$$Y_{estimado} = 7,1$$

Con lo desarrollado, se obtiene la mejor combinación de parámetros para una óptima operación de acuerdo al tipo de producto; en este caso, la mejor alternativa fue la utilización de varilla de 20 mm para el rotor y las muelas.

Desarrollo de equipamiento agrícola de bajo costo para realizar el proceso completo de trilla, tamizado y limpieza de granos andinos

Resultados

Se demostró la eficacia del sistema de trilla mediante la utilización de un conjunto de rotor y muelas con base plana. El diseño final del prototipo es de fácil manufactura y reproducción, lo cual hace que el desarrollo sea de bajo costo.

Los cambios de diseño, del prototipo desarrollado inicialmente al prototipo final, no incidieron en el costo objetivo del prototipo; las medidas sí debieron cambiar respecto de las propuestas inicialmente.

En la tabla 6 se resumen los resultados obtenidos y las ventajas respecto a otros sistemas similares existentes en el mercado o desarrollados por otros investigadores.

Tabla 6. Resultados obtenidos

FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN	VENTAJA DEL DISEÑO
Sistema de trilla	Tipo rotor – dientes con base plana	-Fácil manufactura y montaje
Sistema de alimentación	Tolva inclinada para alimentación al proceso	-Alimentación continua de producto al rotor. -Fácil manufactura -Modular
Sistema de tamizado	Tipo modular de bus que permite la utilización con distintos productos	-Por su disposición física permite retirar el material de desecho sin necesidad de parar el proceso
Sistema de soplado	Consta de un sistema de entrada de aire por la parte lateral del tamiz, al final del proceso	-Limpia el grano a la salida del proceso y evita la utilización de un proceso extra de trabajo
Sistema de potencia	Motor de 746 W, 110 V, 60 Hz	Respecto a equipos comerciales, debido al menor costo del motor y

		costo de energía en el proceso, se reduce el precio final de fabricación del equipo. Comercialmente los motores de menor potencia son de 1492 W
Estructura	El subsistema de trilla tiene medidas inferiores a los encontrados en el mercado	Menor costo de fabricación con la misma eficiencia.

En cuanto a la eficiencia en el proceso, presenta valores similares a los equipos comerciales.

Discusión

El sistema desarrollado, en su arquitectura, es distinto a los fabricados tradicionalmente y que se encuentran en el mercado. La propuesta hace que cada componente o subsistema sea un módulo independiente, lo cual permite rediseñar por separado los trozos que activan las distintas funciones en caso de requerir cambios y/o actualizaciones. Los desarrollos han sido socializados y probados con los distintos actores relacionados al proyecto, como se muestra en la figura 7; sin embargo, al ser un prototipo, los diseños finales se adecuarán a detalles que sin cambiar la arquitectura del producto, podrían generar variaciones en materiales, mecanismos, dimensiones y posiblemente disminuirán los requerimientos de potencias para el trabajo.

Es necesario desarrollar un modelo de pre-producción que deberá someterse a un estricto proceso de ensayos que determinen los tiempos de vida útil de los mecanismos y partes antes de que el equipo pueda salir al mercado.

Las interfaces usuario – maquina deben ser muy simples, ello debido a que un alto porcentaje de productores en el Ecuador cuenta únicamente con formación básica. De acuerdo

Desarrollo de equipamiento agrícola de bajo costo para realizar el proceso completo de trilla, tamizado y limpieza de granos andinos

al INEC, más del 50% de la población rural no ha estudiado a nivel de bachillerato pues apenas el 45% de mujeres y 44% de hombres han asistido a este nivel de formación (INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2017).

La fabricación, excepto los motores para trilla y soplado, puede ser desarrollada localmente y con un costo menor al de sistemas similares, lo que hace relevante el trabajo realizado.

Lista de referencias

- CEPAL, FAO, IICA. (2013). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las américas; una mirada hacia América Latina y el Caribe 2013*. San José.
- CEPAL, FAO, IICA. (2014). *Perspectivas de la agricultura y el desarrollo rural en las américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2014*. San José.
- Griffin, A., & Hauser, J. (1993). The voice of the customer. *Marketing Science*, 1 - 25.
- Gutierrez, H., & de la Vara, R. (2010). *Análisis y diseño de experimentos* (segunda ed.). México: McGraw-Hill.
- INEC. (2016). *Superficie, producción y ventas de cultivos transitorios*. Quito.
- INEC. (05 de julio de 2017). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>
- Llangari, Edison; Benalcázar, Eduardo. (11 de junio de 2012). Diseño y construcción de una trilladora y limpiadora de quinua. Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- Ojeda, J., Jiménez, P., Quintana, A., Crespo, G., & Viteri, M. (2015). Protocolo de investigación. (U. d. ESPE, Ed.) *Yura: Relaciones internacionales*, 5(1), 1 - 20.
- Ramírez, I., Ruilova, B., & Garzón, J. (2015). *Innovación Tecnológica en el sector Agropecuario*. Machala: UTMACH.
- Sinagap. (2016). *Tabla 1. Número de UPAs y personas productoras por tamaños de UPA, según principales características*. Quito: Sinagap.
- Tapia, M., & Fries, A. (2007). *Guía de campo de los cultivos andinos*. Lima: FAO y AMPE.
- Tapia, M., Tapia, E., & Arla, S. (2017). Diseño y construcción de un equipo pelador de maíz de bajo costo para la variedad seco suave de altura. *3C Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la Pyme*, 6(2), 52 - 64.