

Diseño y construcción de prototipo de máquina clasificadora de quinua por color usando sensores IR

Design and construction of prototype color quinoa sorting machine using IR sensors

Irenio Luis Chagua Aduviri^{1*}, Marco Antonio Quispe-Barra² y Olger Alejandrino Ortega Achata³

Abstract

Quinoa (*Chenopodium quinoa*) is one of the main grains of a domesticated species native to the high Andean plains and valleys. Because its harvests do not always have a homogeneous color, some companies have been using sorting machines for quinoa that are adapted from other cereals, whose operation does not guarantee the desired efficiency. The purpose of the study was to design and build a prototype machine that classifies quinoa grains according to the desired color. The main parts of the machine include the design of the mechanical structure comprising three zones: feeding, transport and processing and storage. The parts were built with steel materials and some parts with PLA filament manufactured with 3D printer; electronic control system, using a microcontroller for adapting the IR sensor signal and controlling the electro actuators for the selection of homogeneous quinoa according to the allowed color parameters; and mechanical operation control, using two motors, one for the dosing of quinoa grains and the other for the movement of the conveyor belt. To achieve the best performance, adjustments were made regarding the speed and quantity of quinoa, establishing 24 rows with an elevation of 22 degrees with respect to the horizontal axis, having achieved the goal of 5 kg per hour and obtained the homogeneity of quinoa grains with high efficiency and better quality for marketing.

Keywords: Technology, feeding, classification, quinoa, infrared sensor.

Resumen

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es uno de los principales granos de especie domesticada oriunda de los Andes altiplánicos y valles altoandinos. Debido a que sus cosechas no siempre presentan un color homogéneo, en algunas empresas vienen utilizando máquinas clasificadoras para quinua que son adaptadas de otros cereales, cuyo funcionamiento no garantiza la eficiencia deseada. El propósito del estudio fue diseñar y construir un prototipo de máquina que clasifique los granos de quinua según el color deseado. Las partes principales de la máquina incluyen el diseño de la estructura mecánica que comprende tres zonas: alimentación, transporte y proceso y almacenamiento. Las piezas fueron construidas con materiales de acero y algunas piezas con filamento PLA fabricadas con impresora 3D; sistema de control electrónico, utilizando un microcontrolador para la adaptación de la señal de sensor IR y controlar los electroactuadores para la selección de quinuas homogéneas según los parámetros de colores permitidos; y control de funcionamiento mecánico, utilizando dos motores, una para la dosificación de los granos de quinua y otra para el movimiento de la faja transportadora. Para conseguir el mejor rendimiento, se realizaron ajustes respecto a la velocidad y cantidad de quinuas, estableciendo a 24 hileras con una elevación de 22 grados respecto al eje horizontal, habiéndose conseguido la meta de 5 kg por hora y obtenido la homogeneidad de los granos de quinua con alta eficiencia y de mejor calidad para su comercialización.

Palabras clave: Tecnología, alimentación, clasificación, quinua, sensor infrarrojo.

Recibido: 18/03/2021

Aceptado: 15/12/2021

Publicado: 21/02/2022

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: ichagua@gmail.com

Introducción

Denominada como la madre de los cereales (Ayaşan, 2020), la quinua (*Chenopodium quinoa*) es uno de los principales granos de especie domesticada oriunda de los Andes altiplánicos y valles alto-andinos, son cultivadas desde el Perú prehispánico (Fairlie, 2016; Rojas *et al.*, 2011) con una semilla redondeada de 1,5-4 mm (Alandia *et al.*, 2020). Estas culturas conservaron los diversos tipos de quinua para su aprovechamiento, siendo la región andina, específicamente las orillas del lago Titicaca, las que muestran mayor diversidad genética (Fairlie, 2016; Melorose, J., Perroy, R., y Careas, 2016). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la quinua está catalogada como un superalimento ideal para el ser humano por su alto contenido de proteínas y nutrientes (Fairlie, 2016;

¹ Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5009-1268>.

² Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0430-8817>.

³ Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1767-0583>.

Cómo citar: Chagua Aduviri, I. L., Quispe-Barra, M. A. y Ortega Achata, O. A. (2022). Diseño y construcción de prototipo de máquina clasificadora de quinua por color usando sensores IR. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 45–52. DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2022.272>.



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

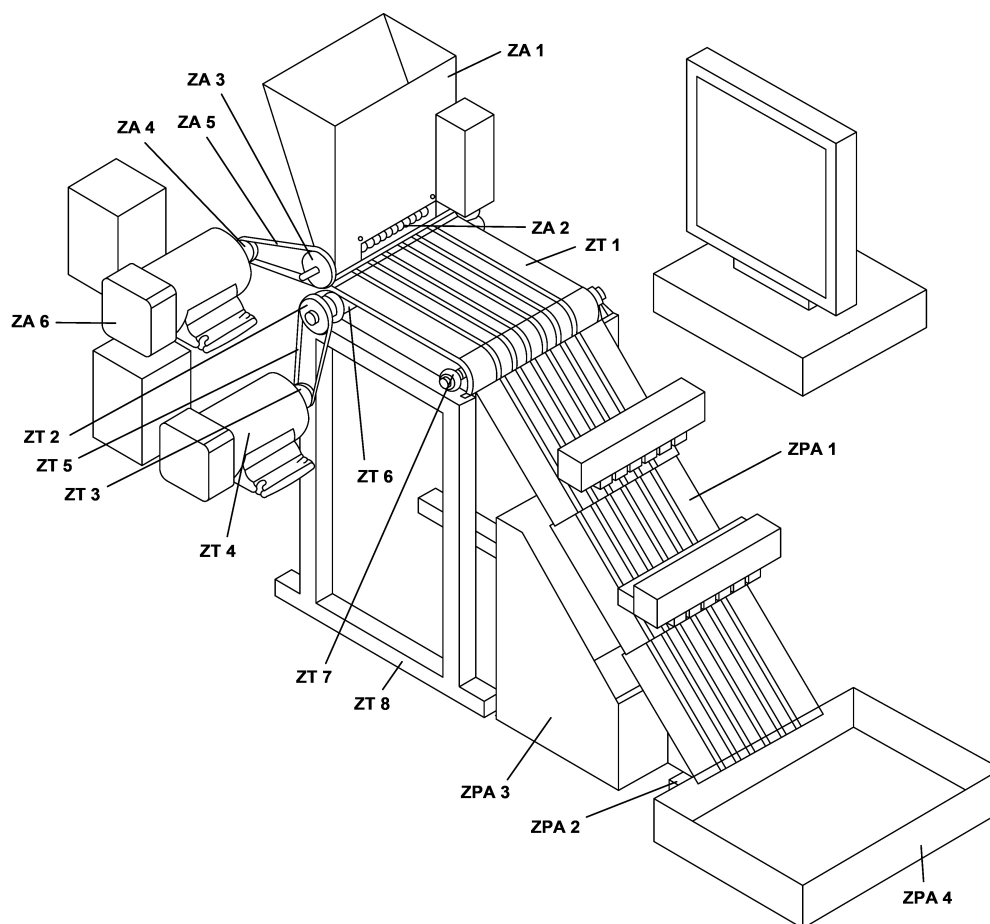


Figura 1. Diseño de esquema mecánico de la máquina clasificadora de quinua.

Melorse, J., Perroy, R., y Careas, 2016; Navruz-Varli y Sanlier, 2016).

Del suelo de los Andes brotan unas 182 especies de plantas domesticadas nativas, de las cuales 174 son de origen andino como la papa, maíz, oyuco, oca, quinua, entre otras valiosas plantas (Escobar-Mamani y Pulido, 2021). En la zona circunlacustre, el sistema de producción es en *aynokas* o pequeñas parcelas, y parcelas individuales colindantes a las unidades productivas; están ubicadas en la zona sur de Puno (Fairlie, 2016). Los granos andinos como quinua, cañiwa y kiwicha tienen un alto contenido de proteína en comparación con los cereales (Espinoza, 2017), justificándose la necesidad de crear condiciones productivas capaces de vislumbrar rentabilidad y beneficio en el mediano y largo plazo, de tal forma que se favorezcan otras actividades articuladas con la cadena productiva de la quinua, y entrelazarse bajo mecanismos de acción conjunta (Guzmán, 2013).

En la región Puno, la producción de quinua presenta cualidades con mayor porcentaje de proteínas, por ejemplo, la quinua de color blanco son las más promocionadas y por consiguiente las más demandadas por el consumidor local y el consumidor externo en comparación a las quinuas de diferente color (Fairlie, 2016). La cosecha de quinua en la mayoría de los casos no siempre presenta un color homogéneo (Inamdar y Suresh, 2014; Sujitha y Augustia, 2020); por consiguiente, para poder obtener una alta calidad de los granos de quinua, es necesario someterlos a procesos de clasificación por color, considerando que la clasificación manual convencional en

grandes volúmenes es un gran desafío incluso para el personal capacitado generando errores visuales y requiriendo mucho tiempo en su clasificación.

A nivel académico, numerosos proyectos de investigación y desarrollo tecnológico relacionados a los diseños de máquinas clasificadoras para diversos tipos de granos y cereales como son: máquinas clasificadores de granos por visión artificial (Rosas-Echevarría *et al.*, 2019), clasificador de arroz por vibración (Camacho *et al.*, 2007), seleccionadoras de quinua controladas por PLC (Jarata, 2018), clasificadora de grano de alta velocidad por color y textura superficial (Pearson, 2010) y clasificador de color de alta velocidad para granos de trigo rojo y blanco (Pasikatan y Dowell, 2003).

Actualmente, en algunas empresas, las máquinas clasificadoras de quinua son adaptadas de máquinas clasificadoras de otros cereales, cuyo funcionamiento ayuda a la clasificación de quinua, pero no garantiza la eficiencia deseada. En función de lo anterior, se propuso diseñar y construir un prototipo de máquina que clasifique los granos de quinua según el color deseado usando sensores infrarrojos, realizado en la ciudad de Puno, con el aporte en ciencia y tecnología de los alimentos (Escobar-Mamani *et al.*, 2020) orientadas hacia la interacción entre los seres humanos y el medioambiente en las regiones de montaña de los países andinos.

Materiales y métodos

A continuación, se describe el diseño y la construcción de una máquina que clasifica la quinua según el color deseado. Para una mejor explicación, el diseño fue dividido en tres bloques principales los cuales fueron: el diseño de la estructura mecánica, el sistema de control electrónico, y control de funcionamiento mecánico, de modo que cada uno de estas secciones fueron desarrolladas simultáneamente. A continuación, se detalla cada sección.

Diseño de la estructura mecánica

En la Figura 1 se observa el diseño del esquema mecánico de la máquina clasificadora de quinua, que fue construido con materiales de acero por su alta resistencia a la corrosión (Gana *et al.*, 2017).

La máquina clasificadora comprende tres zonas importantes que son: zona de alimentación, zona de transporte y finalmente una zona de proceso y almacenamiento.

a) Zona de alimentación. En esta zona, inicialmente la quinua fue almacenada y a través del dosificador, fueron distribuidas de forma unitaria hacia la faja transportadora. Según se puede observar en la Figura 1, esta zona está compuesta por una tolva (ZA-1) similar a un embudo de gran tamaño, de una rueda dosificadora para extraer de la tolva los granos de quinua y una polea (ZA-3). En la salida inferior de la tolva se ubicaron 24 ruedas dosificadoras (ZA-2) cada uno distanciados en 40 mm, a fin de distribuir la quinua de forma unitaria a la faja transportadora. Finalmente forman parte de la tolva la polea motora (ZA-4) con una correa de transmisión (ZA-5) acoplado al eje del motor (ZA-6).

b) Zona de transporte. En la zona de transporte se ubica la faja transportadora (ZT-1) compuesta por una banda continua con ranuras, desplazándose entre el tambor (ZT-6) y la chumacera (ZT-7). Además, se encuentra un motor (ZT-4) conjuntamente con las poleas (ZT-2 y ZT-3) y una correa de transmisión (ZT-5) que convierten la energía eléctrica en energía mecánica proporcionando así el movimiento a la faja transportadora, y finalmente, se tiene una estructura de soporte (ZT-8). c) Zona de proceso y almacenamiento. En esta zona la quinua es clasificada según el color deseado. Primeramente, la quinua pasa a través de una rampa plegada con agujeros en el final de los canales (ZPA-1). Posteriormente los granos de quinua son clasificados de acuerdo al color deseado (quinuas de color amarilla o ploma), pasan por las demás rampas plegadas hasta llegar al recipiente final (ZPA-4). Los granos de color diferente a los mencionados anteriormente son expulsados a un recipiente (ZPA-3). Las tres rampas son ajustables entre las uniones a través de un tornillo de ajuste angular (ZPA-2).

En la rampa plegada (ZPA-1), los sensores IR (*Infra Red*) se acoplaron en un portasensor elaborado en una impresora 3D, diseñado en AutoCAD, de material filamento ácido poliláctico (PLA), con una precisión del 90 % (García-Martínez, 2017), de forma cuadrangular para tres sensores (Figura 2). El filamento utilizado fue de color negro, favoreciendo la eliminación de los reflejos de luz que interfieren en la base de los sensores.

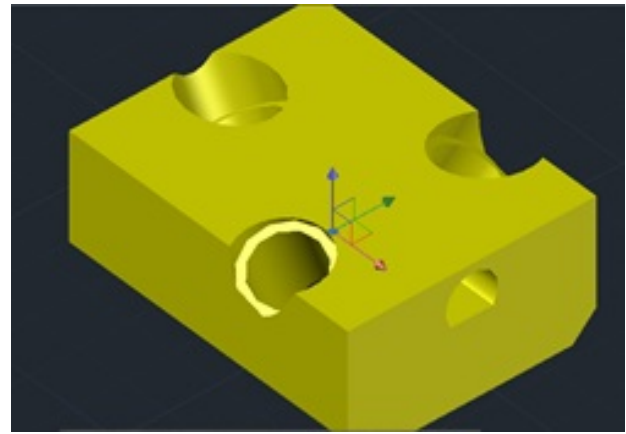


Figura 2. Diseño del portasensor base cuadrangular para tres sensores.

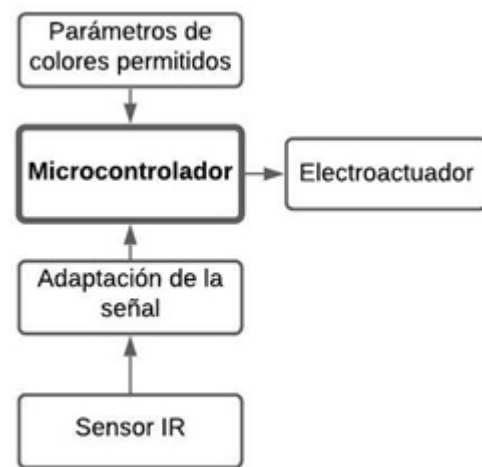


Figura 3. Esquema del sistema de control de la máquina clasificadora de quinua.

Sistema de control electrónico

El esquema del sistema de control propuesto para la máquina clasificadora de quinua se muestra en la Figura 3. Dentro del sistema de control encontramos al microcontrolador PIC18F4550 de MICROCHIP® (Microchip, 2009) como el coordinador de todos los demás subsistemas. Este microcontrolador PIC fue seleccionado para esta aplicación debido a su desempeño computacional, su memoria flash mejorada, su robustez y su precio accesible al usuario (Kazan *et al.*, 2015). La función principal del microcontrolador fue de controlar los electroactuadores a través de los puertos de salida del microcontrolador PIC, según los datos de entrada obtenidos por los sensores IR y los parámetros de colores permitidos.

En la zona de proceso y almacenamiento del esquema mecánico de la máquina clasificadora de quinua encontramos el bloque de sensor IR, compuesto por 24 sensores infrarrojos, elegidos por sus características de sensado a corta distancia, son fáciles de conectar, su precio es accesible y están disponibles en el mercado. El sensor IR usa la luz infrarroja para medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión. Sin embargo, estos sensores infrarrojos se perturban por el ruido del entorno, como las radiaciones, la luz ambiental, entre otros (Naranjo *et al.*, 2009;

Tabla 1. Parámetros de clasificación de quinua

N°	Rango de lectura del ADC en decimales	Sin quinua	Quinua negra	Quinua ploma	Quinua amarilla
1	0 – 9	X			
2	10 - 40		X		
3	41 - 80			X	
4	81 - 255				X

Arnadillo, 2016).

Los sensores infrarrojos se basan en la combinación de un LED (*Light Emitting Diodes*) infrarrojo como emisor y un fototransistor como receptor. Los rayos infrarrojos emitidos por el LED infrarrojo son reflejados por la quinua que se encuentran en línea vista frente al emisor, con un ángulo de reflexión agudo que va disminuyendo a medida que la quinua se va alejando del sensor y finalmente son captados por el fototransistor que mide la radiación proveniente del reflejo de la luz a través de la quinua emitida por el LED infrarrojo.

Después de recoger la información de luz reflejada por el fototransistor infrarrojo en forma de señal, en seguida esta señal es filtrada por un filtro pasabanda, luego pasa por el amplificador inversor y finalmente por un rectificador de media onda, así como muestra la Figura 4. Para determinar el tipo de quinua, fue necesario definir un rango de valores según el reflejo del tipo de quinua utilizado, que se muestra en la Tabla 1. Estos valores son almacenados en la memoria EEPROM del microcontrolador PIC.

El microcontrolador PIC18F4550 fue programado para convertir la señal obtenida de los sensores IR a través del puerto de entrada ADC, para controlar los electroactuadores así como observamos el esquema del accionamiento del electroactuador de la Figura 5. La decisión de abrir o cerrar la compuerta de electroactuador depende de los parámetros considerados en la Tabla 1, según el tipo de quinua deseada (Jihuallanca, 2015).

Control de funcionamiento mecánico

Según lo descrito en la estructura del diseño mecánico, en la zona de alimentación y la zona de transporte se utilizaron motores para cada zona, cada motor está acoplado a su eje por una polea y su correa de transmisión. El funcionamiento de estos motores es de manera electrónica, y los ajustes de velocidad de dosificación y velocidad de faja se realiza mediante un variador de frecuencia, el cual controla las revoluciones de los motores trifásicos del motor reductor, que acciona el dosificador y el motor reductor que acciona la faja transportadora, hasta alcanzar el óptimo y diseñar el sistema de transmisión directa. El encendido y apagado de los motores está controlado por contactores y pulsadores.

Resultados

Prototipo de la máquina

En la Figura 6 observamos el resultado del ensamblado en su etapa final del prototipo de la máquina clasificadora de quinua por color, usando materiales de acero en la estructura mecánica. El prototipo comprende tres zonas,

los cuales son, zona de alimentación de quinua, zona de transporte de quinua y zona de procesamiento o clasificación de quinua. El sistema de control electrónico es la encargada de controlar la clasificación de los granos de quinua realizado a través de los 24 sensores IR y el microcontrolador PIC, situados en la zona de proceso o clasificación de quinua del prototipo.

Clasificador de grano de quinua usando sensor IR

Para detectar el color de los granos de quinua, se desplazan por ranuras desde el dosificador (ZA-3) a la faja transportadora (ZT-1), pasando por la sección donde se encuentra los 24 sensores IR que detectan el color según la Tabla 1 (ZPA-1). En esta etapa (ZPA-1) el sensor IR realiza lecturas de radiación desde la aparición del grano de quinua hasta su alejamiento.

Se realizó cincuenta lecturas con respecto a la emisión de luz infrarroja para cada grano de quinua de color amarilla; para la detección, al inicio de la lectura la emisión de luz es menor, cuando el grano de quinua va desplazándose y pasa por el sensor IR en forma vertical, se observa que la emisión de luz es más alta, los valores leídos también son altos, y cuando el grano de quinua se aleja del sensor la emisión de luz infrarroja disminuye, hasta que el grano pase totalmente a la vista de los sensores, tal como se observa en la Figura 7, teniendo como promedio 102,80 y según el rango de lectura del ADC en decimales de la Tabla 1 corresponde a quinua amarilla.

En la función de distribución para las lecturas de los colores detectados que son la quinua amarilla y quinua ploma (Figura 9). La función de distribución de la quinua ploma presenta una varianza menor con una media mayor, esta curva de la función de distribución tiene mayor precisión para la detección del color plomo. La función de distribución de la quinua amarilla presenta una varianza mayor con una media menor, esta curva de la función de distribución tiene un nivel aceptable para detectar el color amarillo.

Para el tipo de quinua de color ploma también se realizó cincuenta lecturas con respecto a la emisión de luz infrarroja, de forma análoga a quinua de color amarilla, teniendo como promedio 53,04 y según el rango de lectura del ADC en decimales de la Tabla 1 corresponde a quinua ploma, tal como se observa en la Figura 8.

En la función de distribución para las lecturas de los colores detectados que son la quinua amarilla y quinua ploma (Figura 9). La función de distribución de la quinua ploma presenta una varianza menor con una media mayor, esta curva de la función de distribución tiene mayor precisión para la detección del color plomo. La función de distribución de la quinua amarilla presenta una varianza mayor con una media menor, esta curva de

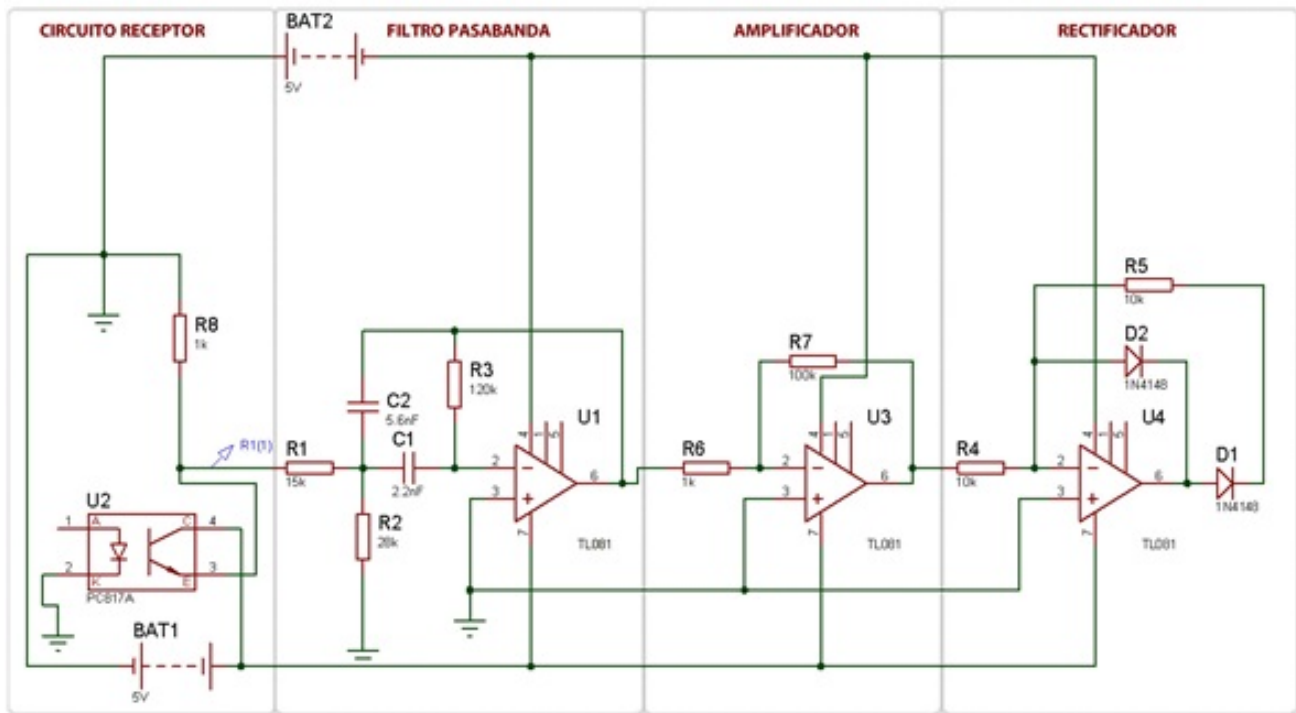


Figura 4. Diseño de esquema mecánico de la máquina clasificadora de quinua.

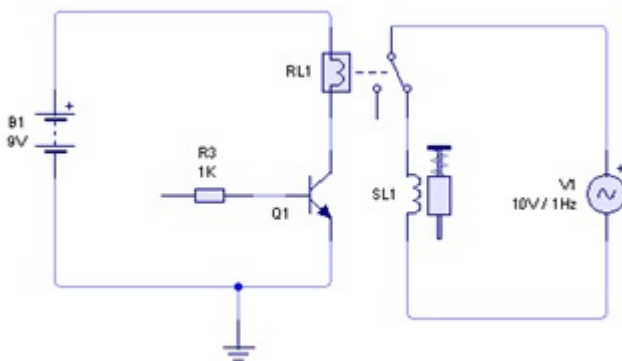


Figura 5. Esquema accionamiento del electroactuador.

la función de distribución tiene un nivel aceptable para detectar el color amarillo.

Discusión

El objetivo de la presente investigación fue diseñar y construir un prototipo de máquina que clasifique los granos de quinua según el color deseado usando sensores infrarrojos, para elaborar productos de calidad, pues la agroindustria requiere de materia prima de calidad, es decir, un producto estandarizado con uno de los atributos que es el color, así como inocuo, libre de impurezas de origen orgánico e inorgánico (Fairlie, 2016); por lo cual, para alcanzar y cumplir estos parámetros, la materia prima debe pasar necesariamente por una etapa de procesamiento industrial. El prototipo diseñado muestra resultados bastante significativos en cuanto a la selección de color uniforme, así como, se realizaron numerosas modificaciones en cuanto al diseño para obtener el mejor rendimiento, en cuanto a velocidad, cantidad de quinuas clasificadas y la homogeneidad de quinua obtenida.

En la actualidad existen diversos tipos de clasificadores de productos tales como para el arroz (Camacho *et al.*, 2007), para el café u otros cereales (Pearson, 2010), con la desventaja de que los granos de la quinua son esencialmente más pequeños que los granos mencionados, por lo que su clasificación se hace muy difícil utilizando la adaptación de máquinas clasificadoras de otros cereales, asimismo la eficiencia de la clasificación de estos granos andinos con las máquinas clasificadoras de otros cereales adaptadas es muy baja, por lo que tienen que realizar varias veces el proceso de clasificado y no es el adecuado.

Fueron realizados ajustes en el dosificador o selector de granos de quinua. Ajustes como la velocidad de rotación del dosificador en las pruebas iniciales se estableció a 30 rpm (revoluciones por minuto), luego la velocidad a 50 rpm, 80 rpm y finalmente se aumentó las revoluciones del motor con el valor de 100 rpm. Con los ajustes se consiguió mayor velocidad de procesamiento de granos de quinua, sin embargo, debido al tipo de microcontrolador utilizado, la velocidad de procesamiento no se pudo ajustar a mayores revoluciones por minuto.

Se realizó ajustes en la longitud de la faja transportadora, inicialmente las medidas dispuestas de la faja transportadora no cumplieron con las expectativas, por lo que, se ajustó a 75 cm de largo y 60 cm de ancho teniendo 24 hileras, que permitió el transporte de mayor cantidad de quinua.

Se realizó el ajuste de los ángulos de elevación (Wan *et al.*, 2002) en los canales o hileras. La primera prueba fue de 30 grados de elevación respecto al eje horizontal, en la segunda prueba de 45 grados respecto al eje horizontal y en la tercera prueba de 25 grados respecto al eje horizontal, llegando a un ajuste final de un ángulo óptimo para la lectura de los granos de quinua de 22 grados. Por tanto, a mayores velocidades de caída de los granos de quinua se tiene mayor cantidad de granos de quinua procesadas, sin embargo, a mayor ángulo de inclinación



Figura 6. Máquina clasificadora de quinua por color ensamblada.

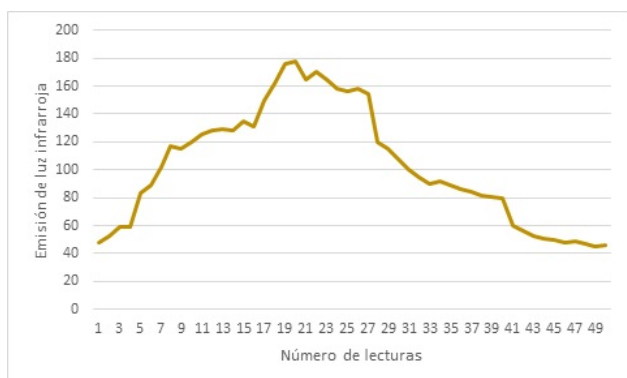


Figura 7. Valores de detección de quinua amarilla.

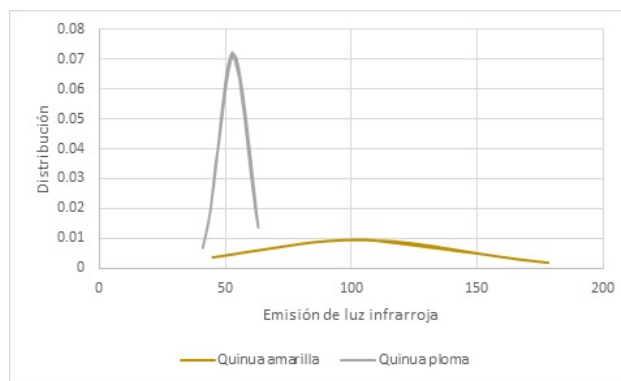


Figura 9. Campana de gauss de los tipos de quinua.

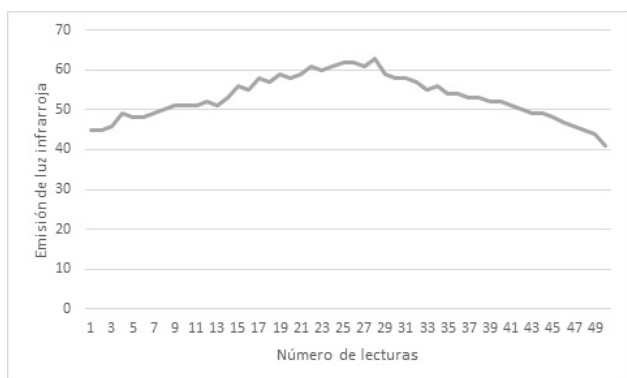


Figura 8. Valores de detección de quinua ploma.

de las hileras o carriles, se presentan los efectos de rebote de los granos de quinua por su forma ovalada, es así que se consiguió alcanzar a la meta de 5 kg por hora.

El proceso de clasificación que se presenta en este trabajo es para el tipo de quinua amarilla y quinua ploma, sin embargo, es posible configurar otros tipos de colores en el sistema de control electrónico para que realice la clasificación, obteniendo el almacenamiento de quinuas homogéneas de un mismo tipo de color.

Conclusiones

Se diseñó y construyó un prototipo de máquina que clasifica los granos de quinua según el color deseado usando sensores infrarrojos. El diseño mecánico de la

máquina clasificadora de quinua fue construido con materiales de acero y algunas piezas con filamento PLA fabricadas con impresora 3D. Los sensores infrarrojos usados son la combinación de un LED infrarrojo como emisor, y un fototransistor como receptor jugando un papel importante en la clasificación de la quinua, entre la quinua amarilla y la quinua ploma. La máquina clasificadora fue construida para clasificar 5kg de quinua por hora de un determinado tipo de quinua.

Para futuros trabajos proponemos que la máquina clasificadora de quinua sea implementada usando redes neuronales para una mejor detección y clasificación del tipo de color de la quinua deseada.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación fue posible su realización gracias al Convenio Nro. 163-FINCYT-FIDECOM-PIMEN-2012 de adjudicación de recursos no reembolsables (RNR), que otorga la Unidad Coordinadora del Programa de Ciencia y Tecnología de la Presidencia del Consejo de Ministros del Perú en asociación con la Universidad Nacional del Altiplano de Puno-Perú.

Referencias

- Alandia, G., Rodríguez, J. P., Jacobsen, S. E., Bazile, D. y Condori, B. (2020). Global expansion of quinoa and challenges for the Andean region. *Global Food Security*, 26, 100429. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100429>.
- Arnadillo, J. (2016). *Sensores IR*. <https://bit.ly/3jaSWiM>.
- Ayaşan, T. (2020). Determination of nutritional value of some quinoa varieties. *Turkish Journal of Veterinary Animal Sciences*, 44(4), 950–954. <https://doi.org/10.3906/vet-2003-53>.
- Camacho, J., Lewis, R., y Dwyer-Joyce, R. S. (2007). Wear of a chute in a rice sorting machine. *Wear*, 263 (1-6), 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.11.052>.
- Escobar-Mamani, F., Branca, D. y Haller, A. (2020). Investigación de montaña sobre y para la región andina. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22 (4), 311–312. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.191>.
- Escobar-Mamani, F. y Pulido, V. (2021). Biodiversidad y viajeros científicos: una visión desde los Andes. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(1), 5–9. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.238>.
- Espinoza, E. A. (2017). Adaptación del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) al cambio climático en los Andes del Perú. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 19 (37), 15–23. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v19i37.12950>.
- Fairlie, A. (2016). *La quinua en el Perú: cadena exportadora y políticas de gestión ambiental*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Instituto de Ciencias de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables (INTE-PUCP). <https://bit.ly/310qPmJ>.
- Gana, I. M., Agidi, G., Idah, P. A. y Anuonye, J. C. (2017). Development and testing of an automated grain drinks processing machine. *Food and Bioproducts Processing*, 104, 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.04.002>.
- García-Martínez, H. (2017). Caracterización de Sustratos de Impresión 3D para Aplicaciones de Microondas. *Revista Doctorado UMH.*, 3 (2), 3. <https://bit.ly/3JmEiY>.
- Guzmán, J. H. (2013). Competitividad de la quinua perlada para exportación: el caso de Puno. *Ingeniería Industrial*, 31, 91–112. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2013.n031.14>.
- Inamdar, A. A. y Suresh, D. S. (2014). Application of color sorter in wheat milling. *International Food Research Journal*, 21(6), 2083–2089. .
- Jarata, E. (2018). *Diseño integral y simulación de una máquina seleccionadora de quinua controlada por PLC Allen Bradley para la empresa Innova S.R.L* [tesis de pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. <https://bit.ly/3C1aSVB>.
- Jihuallanca, J. V. (2015). *Diseño y modelamiento de una seleccionadora de quinua por color* [tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://bit.ly/3xY4AUz>.
- Kazan, F. A., Terziolu, H. y Aaçayak, A. C. (2015). The design of a Test development board for the training of PIC18F4550 microcontroller. *Proceedings - 2015 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering, ICISCE 2015*, 951–955. <https://doi.org/10.1109/ICISCE.2015.215>.
- Melorse, J., Perroy, R., y Careas, S. (2016). Guía del cultivo de la quinua. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Microchip. (2009). PIC18F4550. *PIC*, 438. <https://bit.ly/3fhNvgV>.
- Naranjo, K., Montoya, J., Tobón, M. y Visbal, D. (2009). *Sensores Infrarrojos con Microprocesador dsPIC30F4013*. <https://bit.ly/2TN6Uib>.
- Navruz-Varli, S. y Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*). *Journal of Cereal Science*, 69, 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>.
- Pasikatan, M. C., y Dowell, F. E. (2003). Evaluation of a High-Speed Color Sorter for Segregation of Red and White Wheat. *American Society of Agricultural Engineers*, 19(1), 71–76. <https://doi.org/10.13031/2013.12725>.
- Pearson, T. (2010). High-Speed Sorting of Grains by Color and Surface Texture. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 26 (3), 499–505. <https://doi.org/10.13031/2013.29948>.
- Rojas, W., Alandia, G., Irigoyen, J., Blajos, J. y Santivañez, T. (2011). *La Quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, FAO. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.03.010>.
- Rosas-Echevarría, C. W., Solís-Bonifacio, H. y Cerna-Cueva, A. F. (2019). Sistema eficiente y de bajo costo para la selección de granos de café: una aplicación de la visión artificial. *Scientia Agropecuaria*, 10 (3), 347–351. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.04>.
- Sujitha, S., y Augustia, N. (2020). FPGA Implementation of CALIBIO, Wave and Clock Generation Modules for Grain Sorting Machine. *ICTACT Journal on Microelectronics*, 5(4), 854–860. <https://doi.org/10.21917/ijme.2020.0147>.

Wan, Y. N., Lin, C.M. y Chiou, J.F. (2002). Rice quality classification using an automatic grain quality inspection system. *American Society of Agricultural and Biological*

Engineers, 45(2), 379–387. <https://doi.org/10.13031/2013.8509>.