

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE SELECCIÓN DE SEMILLAS SACHA INCHI UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A COMPUTER VISION SELECTING MACHINE OF SACHA INCHI

Ing. Marcos Fabián Soto Archila, MSc. Oscar Eduardo Rueda Sánchez*, MSc.
Claudia Isabel Cáceres Becerra*

* **Universidad Autónoma de Bucaramanga**, Facultad Ingeniería, Ingeniería Mecatrónica.
Avenida 42 No. 48 – 11, Bucaramanga, Santander, Colombia.
PBX (57) (7) 643 6111/643 6261
E-mail: {msoto353, orueda741, ccaceres4}@unab.edu.co.

Resumen: Los rápidos avances tecnológicos permiten desarrollar diversos dispositivos que apoyan las labores de las empresas en diversas áreas, como en este caso la agricultura. Sin embargo, es importante tener en cuenta a los pequeños productores que requieren de tecnificación a costos moderados y asequibles. Este trabajo se ha enfocado en el desarrollo tecnológico integrando procesos de visión artificial en el diseño de la máquina selectora de semillas de Sacha Inchi. Este desarrollo debe tener en cuenta materiales de bajo costo, pero aceptados entre los estándares de calidad, integrados a dispositivos de captura y procesamiento de datos, que faciliten las tareas de selección de frutos.

Palabras clave: Clasificación automática, Dispensadores de precisión, Reconocimiento de imágenes, Sacha Inchi, Visión Artificial.

Abstract: Technological advances allow the development of devices that are used by companies in several areas, such as agriculture. However, it is important to consider small producers who need technological updates at affordable costs. This article is focused on the development of a machine that integrates artificial vision for Sacha Inchi seed selection using low-cost materials, but accepted among quality standards and integrated into data capture and processing devices that ease fruit selection tasks.

Keywords: Automatic sorting, precision dispenser, image recognition, Sacha Inchi, computer vision.

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico, propone entre sus retos mejorar la producción y el consumo eficiente de los recursos y lograr niveles más elevados de productividad económica mediante modernización económica; por otra parte en el ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura, se propone como reto

el apoyo en la innovación industrial (Objetivos de Desarrollo Sostenible, 2015). Estos retos justifican la necesidad de invertir en estudios que permitan automatizar los procesos y la producción, orientados a que el pequeño agricultor logre mejores resultados, con sostenibilidad, con seguridad y protección. Propender por la eficiencia en la producción fortalecerá a pequeños productores y responderá a estos retos.

Un cultivo que está en auge y crecimiento en los últimos años es el de Sacha Inchi, ya que de esta semilla se producen aceites con aplicaciones en la gastronomía y la industria cosmética, también ha surgido como una opción para la sustitución de cultivos ilícitos por el alto valor de los productos elaborados.

La semilla de esta plata al ser prensada, libera un aceite con altas concentraciones de proteínas, antioxidantes, vitamina A, proteínas y ácidos grasos (Omega 3, 6 y 9), utilizados en jabones, cosméticos y también para el consumo humano; el producto extraído contiene ácidos grasos saturados en un 6.5% e insaturados en un 92,7%. (Hermoza Llanos, 2018) (Khumaidi, Purwanto, Sukoco, Wijava, & Darmawan, 2020)

El objetivo principal de este trabajo es el diseño y construcción de un prototipo de máquina integrada con técnicas de visión artificial para la selección de semillas de Sacha Inchi. Las semillas alimentadas a la máquina selectora provienen de la etapa de descascarado, por lo tanto, la máquina debe ser capaz de analizar el color y escoger entre semillas con cáscara (color marrón) y semillas aptas para la siguiente etapa de prensado (color blanco). La implementación de esta máquina mejorará la calidad del aceite al disminuir la cantidad de semillas defectuosas enviadas al proceso de prensado y evitará el cansancio visual generado en los operarios dedicados al proceso de selección.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de la máquina comprende tres subsistemas que interactúan entre sí para lograr la selección de las semillas a saber: parte mecánica, parte eléctrica y electrónica, y finalmente una tercera que es el algoritmo computacional de visión artificial para la clasificación requerida.

2.1. Metodología

La metodología usada para el diseño fue el modelo V. El modelo V resume los pasos principales a ser llevados a cabo, en conjunto con los entregables dentro del marco de la validación de los sistemas mecatrónicos. Describe las actividades a ser realizadas y los resultados que deben ser producidos durante el desarrollo del producto. (Graessler, Hentze, & Bruckmann, 2018)

El modelo V define las siguientes cuatro fases para el desarrollo del prototipo:

- Fase 1: Identificación de la necesidad
- Fase 2: Definición y diseño
- Fase 3: Prototipado
- Fase 4: Integración y validación

2.2. Desarrollo de la metodología

2.2.1. Identificación de la necesidad

El problema actual en la selección de semilla Sacha Inchi radica en que el cansancio visual de los operarios deja pasar semillas no aptas, las cuales arruinan litros de aceite producto del prensado en frío.

Esta problemática fue directamente planteada por el presidente del Ecosistema SumaSach'a, el ingeniero Carlos Andrés Palacio Lopera, ese ecosistema se encarga de la promoción del cultivo de Sacha Inchi en Colombia y en la comercialización de los productos derivados de esta semilla.

Es deseable automatizar este proceso, primero para disminuir el riesgo y la penuria laboral de los trabajadores agrícolas, quienes pueden ocupar el tiempo de selección en otras labores y segundo, para mejorar la calidad de la selección de la semilla. De la entrevista con el ingeniero salieron las siguientes características y parámetros que debe tener la máquina.

Tabla 1: Parámetros de la máquina

Necesidades del cliente	
Parámetro	Descripción
Función Principal	Separar las semillas de Sacha Inchi descascaradas y sin descascar
Tamaño	La máquina debe ser portátil y poderse llevar en el platón de una camioneta
Velocidad	Debe seleccionar a una velocidad de 50kg/h de semilla en tolva de entrada
Fuente	La máquina se debe conectar a una fuente de 120V a 60Hz
Interacción con el usuario	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema señalará el inicio del proceso, falta de material o parada de emergencia • Una parada de trabajo cuando el recipiente de alimentación sobrepase el volumen máximo o cuando no se detecten más frutos

	en la línea de trabajo
Electrónica de control	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema debe poseer un sistema que permita la programación, control y recepción de datos que permita su funcionamiento • El sistema debe poseer un sistema de reconocimiento de color para seleccionar los frutos de manera adecuada
Seguridad Industrial	La máquina tendrá protegidos aquellos elementos que puedan causar riesgo de ocasionar accidentes de tipo eléctrico o mecánico
Ergonomía	La altura del recipiente de suministro de materia prima y los dispositivos de control estarán al alcance del operario
Fabricación	Se utilizarán métodos de manufactura convencionales y materiales de fácil adquisición
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil acceso a las piezas que requieren lubricación constante • Fácil sustitución de las piezas de mayor desgaste
Medio Ambiente	El sistema se diseñará para ser utilizado en un ambiente de producción agroindustrial
Materiales	En las partes donde la semilla se encuentre en contacto con la máquina se utilizarán materiales de grado alimenticio. Para el resto de la máquina se utilizarán materiales de ingeniería fáciles de conseguir en el mercado local
Precio	La máquina diseñada debe tener un costo bajo para los agricultores de Sacha Inchi

2.2.2. Definición y diseño

En el proceso de diseño se utilizaron como referencia las maquinas industriales selectoras de grano por color, forma y cuerpos extraños en arroz, trigo, ajonjolí, soja verde y roja, producida por ABM FOOD (ABM RECYCLING MINING, s.f.), que incluye cámara a color que junto con su

algoritmo de procesamiento identifica diferencias de color, con visión por varios lados.

1. Diseño conceptual del prototipo de máquina selectora de semilla Sacha Inchi:

Primero se procede a definir la función principal de los subsistemas representados por cajas negras, conociendo sus entradas y salidas como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 1. Función principal del sistema según subsistemas

a) Subsistema mecánico:

Se partió de las necesidades del cliente, que contemplan bajo costo, transportabilidad e inocuidad alimentaria entre otros. En la Tabla 1 se describen los parámetros definidos para el diseño y elaboración del prototipo.

Para lograr cumplir con las etapas necesarias para la selección de las semillas, la máquina debe tener la siguiente arquitectura básica.

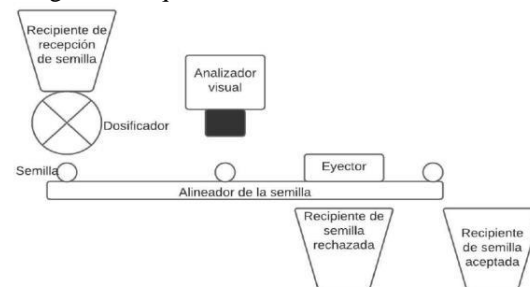


Figura 2. Arquitectura básica del sistema de clasificación de semillas Sacha Inchi

b) Caracterización de la semilla

Se realizó un análisis morfológico de la semilla. La forma de la semilla de Sacha Inchi es ovalada, comprimida lateralmente, de color marrón cuando está con cáscara, algunas veces con manchas irregulares más oscuras. Cuando se descascara la semilla, surge una almendra de color crema de dimensiones inferiores, pero conservando su forma.

Para dimensionar los diferentes componentes del prototipo se catalogaron los datos de las semillas seleccionadas para las pruebas en valores de masa (en gramos) y medidas de los granos según las medidas a, b y c indicadas en la Figura 3. Para el peso se tomaron 20 muestras. En la Tabla 2 se pueden observar los datos estadísticos resultantes.

De igual forma, en la Tabla 3, se observan los datos estadísticos de 30 muestras, con relación a su tamaño.



Figura 3. Dimensiones de a semilla sin descascarar

Tabla 2 Datos experimentales del peso de los frutos

Medida Estadística	Masa (g)	
	Semilla Marrón Oscura	Almendra
Promedio	1.26021	0.81376
Mediana	1.2727	0.82775
Desviación Estándar	0.19557	0.13334

Tabla 2 Datos experimentales del tamaño de las semillas descascaradas y sin descascarar

Medida Estadística	a (mm)	b (mm)	c (mm)
Promedio	21.3	18.11	8.5
Mediana	21.43	18.03	8.53
Desviación Estándar	1.66	1.43	2.26

Con base en estos datos se estimó el flujo de selección teniendo en cuenta el tipo de semilla, suponiendo casos críticos donde el 70% de las semillas sean almendra y el resto semillas marrón oscuro. También se tiene en cuenta en el cálculo el dato de la velocidad de procesamiento manual de 70kg/hora por operario.

Se calcula el lote de semillas teniendo en cuenta su peso promedio y el % estimado de su presencia, se tiene:

$$1,26 \left(\frac{g}{\text{marrón}} \right) * 30\% + 0,81 \left(\frac{g}{\text{almendra}} \right) * 70\% = 0,945 \frac{g}{\text{SemillaGral}} \quad (1)$$

Y para el tiempo de conversión de flujo:

$$70 \frac{kg}{h} * 1000 \frac{g}{kg} * \frac{1 \text{ semilla}}{0,945 \frac{g}{\text{SemillaGral}}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 21,4 \frac{\text{semillas}}{s} \approx 22 \frac{\text{semillas}}{s} \quad (2)$$

Por lo que se concluye que se estima procesar 22 semillas por segundo.

c) Diseño mecánico de los componentes principales

TOLVA DE RECEPCIÓN DE LA SEMILLA

La tolva de recepción es el primer componente que interactúa con la semilla. Dado que la mayoría de las tolvas funcionan por gravedad, estas se encuentran en la parte más elevada del proceso si no se quieren utilizar métodos de transporte como elevadores de cangilones o bandas transportadoras.

En el diseño de la tolva se realizaron cálculos de volumen para soportar la cantidad de semillas provenientes de los sacos comercialmente usados. También se tuvieron en cuenta las recomendaciones del manual de Sistemas estructurales: Otras estructuras (Instituto Técnico de la Estructura en Acero, 2017). Se tiene en cuenta en el diseño una descarga circular con un tamaño mayor de 5 a 6 veces el tamaño del material para evitar atascamiento, con un ángulo vertical de 45° para una caída suave y un volumen mayor a los 0.17 m³, obteniendo los siguientes datos

$$\text{Salida circular} = 6 * 24,15 \text{ mm} = 144,9 \text{ mm} \approx 145 \text{ mm} \rightarrow 150 \text{ mm} \quad (3)$$

$$\text{Volumen tolva} = 550 \text{ mm} * 1500 \text{ mm} * 270 \text{ mm} = 0,23 \text{ m}^3 \quad (4)$$

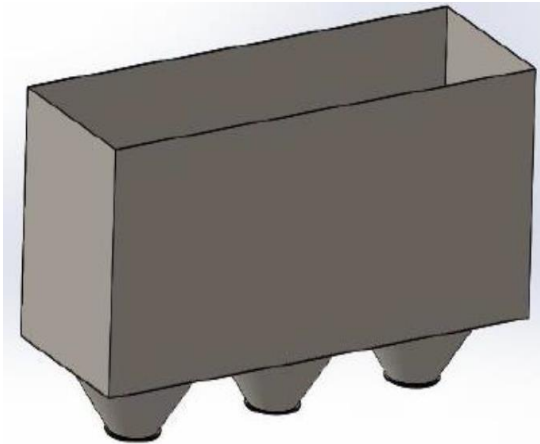


Figura 4. Diseño CAD de la tolva de recepción de materia prima

DOSIFICADOR DE PRECISIÓN

Para garantizar el posicionamiento correcto de las semillas para que entren en orden al subsistema de visión artificial, se necesita un dispositivo que las dosifique y las alinee en las bandas transportadoras. Este dispositivo es el dosificador de precisión el cual se calcula determinar la velocidad de rotación de su motor para entregar las semillas a la siguiente etapa.

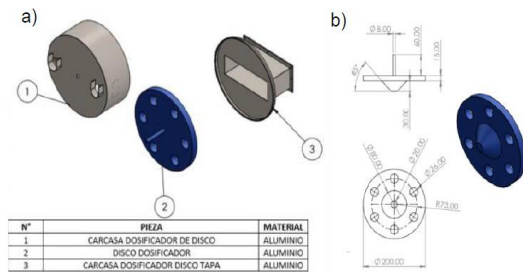


Figura 5. Diseño CAD del dosificador de precisión. a) Piezas del dosificador de precisión. b) Dimensiones del disco dosificador

DISPENSADOR ROTARIO

Entre la tolva y el dosificador de precisión se encuentra el dispensador rotatorio. La función de este componente es regular la salida de semilla de la tolva y depositarla en el dosificador de precisión.

Para el diseño del dispensador interior se tuvo en cuenta el volumen de 48 semillas, el mínimo tamaño del diámetro de la boca de salida de la

tolva, una carcasa para evitar la salida no deseada de semillas, 8 celdas por dispensador y se estima una circunferencia interior de 40 mm de radio.

Para el dosificador se diseña una carcasa con entrada circular consonante con la salida de la tolva y una salida rectangular, dividida en dos partes para facilitar el ensamble.

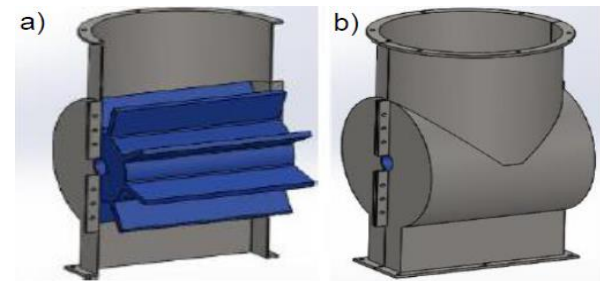


Figura 6. Diseño CAD del dosificador de precisión. a) Piezas del dosificador de precisión. b) Dimensiones del disco dosificador

Con los valores obtenidos se determinó que, para un grupo de 48 semillas por descarga, el disco tendrá 6 agujeros que permitirán una velocidad de 40RPM, con dos salidas por disco.

ENSAMBLE DEL SUBSISTEMA MECÁNICO

El diseño final y las partes de la máquina se pueden observar en la Figura 7 y en la Tabla 4. Elementos de la máquina.

Tabla 4 Elementos de la máquina

N°	Pieza	N°	Pieza
1	Tolva	9	Servomotor
2	Dispensador rotatorio	10	Pala
3	Dosificador de precisión	11	Eje
4	Banda	12	Estructura
5	Cámara de selección	13	Rodamiento
6	Recipiente rechazadas	14	Soporte motor
7	Banda grande	15	Motor PaP
8	Recipiente aceptadas	16	Piñón eje

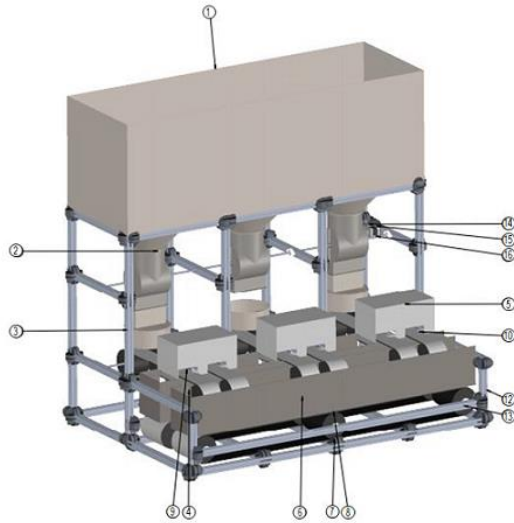


Figura 7. Ensamble general de la máquina

d) Subsistema electrónico

Este subsistema está constituido por los componentes electrónicos necesarios para el control de los componentes móviles mecánicos y el subsistema de análisis visual. Para ello se necesitan los siguientes componentes:

- Sensores de presencia y de conteo de semilla
- Botones de encendido, apagado y parada de emergencia
- Actuadores de los mecanismos dosificadores y alineadores de la semilla
- Actuador mecanismo eyector
- Fuente de energía
- Tarjeta controladora
- Interfaz Humano Máquina

e) Subsistema de visión artificial

En el diseño conceptual de este subsistema, primero se estableció el proceso técnico, luego se realizó la estructura de cada función por módulos y finalmente se realizó una Matriz morfológica de ZWICKY para obtener el orden de la solución del problema. Esta metodología fue creada en los años sesenta por el astrónomo Fritz Zwicky en el California Institute of Technology, Caltech. (Martín, 2018).

Se utilizó esta matriz morfológica para la selección del módulo de visión artificial.

En el módulo de visión artificial se analizaron las funciones de energía, iluminación, captura,

comunicación, preprocesamiento, segmentación, extracción, clasificación, envío y actuadores, seleccionándose dos posibles soluciones al analizar las combinaciones resultantes, como se puede observar en la Figura 8. Dentro de cada una de las celdas de la matriz se ubicaron tecnologías usadas comercialmente, de bajo costo, de fácil implementación y de fácil consecución en el mercado local de dispositivos electrónicos.

FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES				
	1	2	3	4	5
ENERGIZAR	5 VDC	12 VDC	24VDC		
ILUMINAR	LED	Luz Natural			
CAPTURA	Cámaras Embebidas	Webcam	Cámaras Industriales	Semi Cámaras Industriales	
COMUNICACION	USB 2.0 USB 2	USB 3.0 USB 3	Giga Ethernet GigE	TCP/IP	CANopen CANopen
PREPROCESAMIENTO SEGMENTACION EXTRACCION	Raspberry PI	Beaglebone	PcDuits v2	PC	DSP
CLASIFICACION	Matlab	C++ Open CV	Python Open CV	Labview	Vision Software
ENVIAR	USB 2.0 USB 2	USB 3.0 USB 3	Giga Ethernet GigE	TCP/IP	CANopen CANopen
ACTUACION	Serial RS 232		Relés		Transistores

Figura 8. Matriz morfológica para la selección del módulo de visión artificial

En el diseño del sistema de visión artificial se ha tenido en cuenta que se debe tener las condiciones de luz adecuada para garantizar la exactitud, fiabilidad y tiempos de respuesta. Por lo tanto, para no depender de la luz ambiente se implementó un sistema de luz en anillo que contiene la cámara en el centro con el fin de evitar sombras que desvirtúen la imagen. También se incluyó una tira led para iluminación en 360°.

El sistema para visión artificial fue implementado en una Raspberry PI, con la cámara conectada en serie, incluyendo un sensor de presencia para tomar la foto, que constituye los datos de entradas. El procesamiento fue desarrollado con Matlab y Simulink, (Mathwoks, 2019) que mediante funciones prediseñadas permite el procesamiento de imágenes, señales y modelado matemático entre otros.

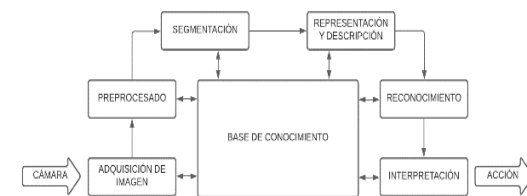


Figura 9. Diagrama de proceso para Verificación de Semillas

Para el procesamiento de la imagen, se utilizó el sistema RGB que permite desglosar la imagen en un vector de 3 componentes, el cual es comparado con un vector ya parametrizado y generar la señal al actuador. La imagen de entrada se puede observar en Figura 10.



Figura 10. Imágenes de Semilla Blanca y Negra

Se realizó el análisis con 200 muestras de semillas, para las cuales se generó el histograma de rango dinámico para cada dimensión, como se puede observar en la Figura 11, la Figura 12 y la Figura 13.

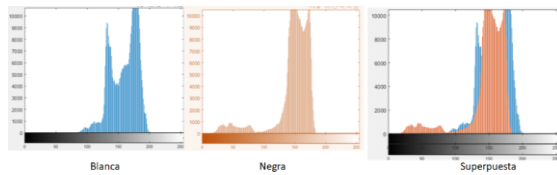


Figura 11. Histograma rango Dinámico en la dimensión R

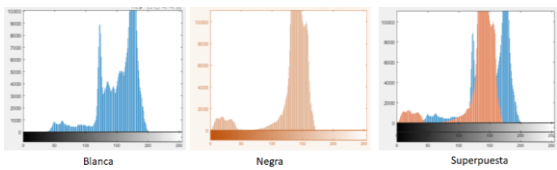


Figura 12. Histograma rango Dinámico en la dimensión G

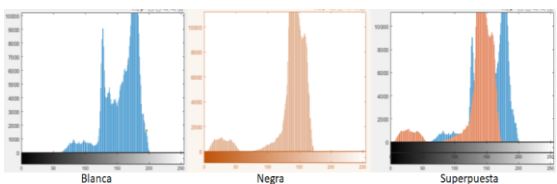


Figura 13. Histograma rango Dinámico en la dimensión B

Analizando las gráficas, se encuentra que en las primeras 50 muestras, la clase negra tiene dominancia en la dimensión G y de la muestra 125 a 175, la clase negra tiene dominancia o muestra mayor diferencia en la dimensión B.

El rango de muestras de la 0 a la 50 muestra gran diferencia por la ausencia de valores de semilla blanca. Se propone un umbral de 300 para realizar la separación de las clases. En la Figura 14, se puede observar el diagrama de flujo para la adquisición y el procesamiento de la imagen.

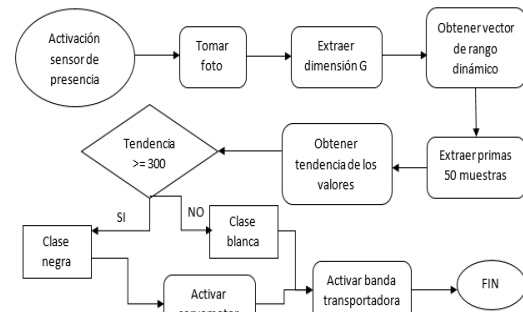


Figura 14. Diagrama Adquisición - Procesamiento de Imagen

3. RESULTADOS

El diseño detallado de cada componente deriva en la construcción del prototipo en la siguiente imagen se observa el prototipo construido y listo para ser validado en cada una de la etapas. En este caso sólo se construyó un módulo de los tres planeados, sin embargo, con este módulo se pueden hacer las pruebas necesarias para comprobar el concepto y además obedece a una de las necesidades del cliente que es la portabilidad.

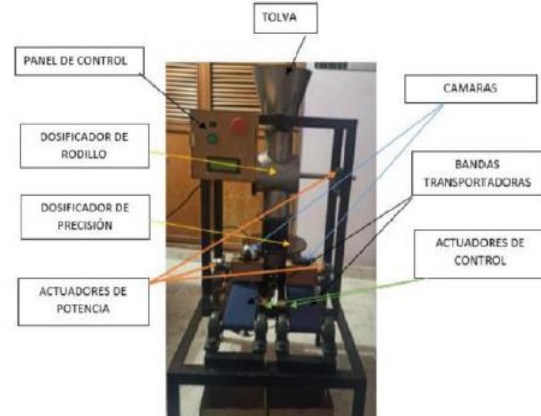


Figura 15. Construcción del prototipo

Después de comprobar cada subsistema, ensamblar toda la máquina se procedió a hacer pruebas para comprobar que la máquina realiza la selección de las semillas como se planteó al comienzo del proyecto. Para esto se procesaron diez muestras de 200 gramos de semilla de Sacha Inchi en donde se midió el porcentaje de éxito (porcentaje de semillas

bien seleccionadas), el tiempo de procesamiento y la velocidad de selección.

Como producto de las pruebas realizadas se llegó a los siguientes resultados para muestras de 200 gramos.

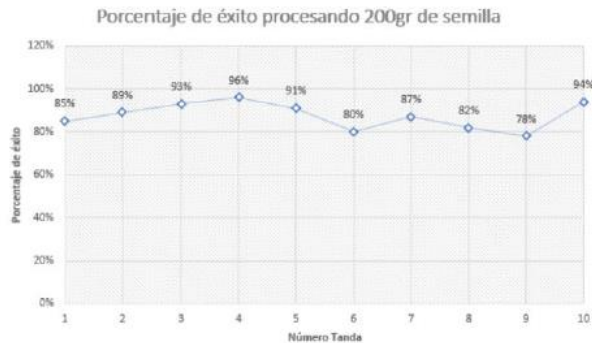


Figura 16. Gráfica del porcentaje de éxito procesando 200gr de semilla de Sacha Inchi

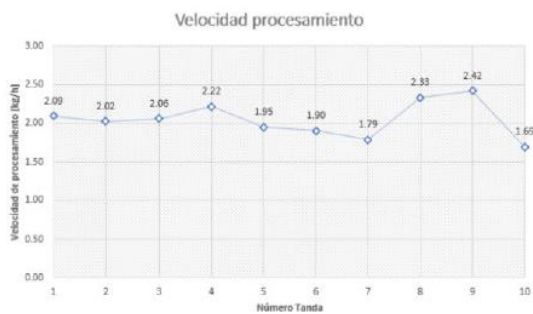


Figura 17. Gráfica de la velocidad de procesamiento en kilogramos por hora de semilla Sacha Inchi

4. CONCLUSIONES

La selección de semillas automática le garantiza al productor, semillas aptas para los procesos siguientes independiente de contratación de mayor mano de obra.

Fue un acierto utilizar una tarjeta controladora basada en microprocesadores como la Raspberry Pi, ya que cuenta con todas las ventajas de un computador como lo son la captura de imágenes con cámaras y su procesamiento, así como pines analógicos y digitales para procesar señales más básicas provenientes de sensores o ejecutar comandos para los actuadores.

Utilizar un algoritmo de selección por fragmentación en espacio RGB permitió encontrar

una solución rápida al problema de utilización de visión artificial sin tener que usar algoritmos más robustos, pero con una curva de aprendizaje mayor como es el caso de las técnicas basadas en Machine Learning.

Se logró crear una máquina que es compacta y puede ser transportada en el platón de una camioneta y manipulada por dos personas para trayectos cortos.

El diseño permite añadir módulos y de esta manera incrementar la cantidad de semilla a ser seleccionada.

Se debe mejorar en buena medida la velocidad de procesamiento de la máquina para poder alcanzar la meta de selección un ser humano y ser una solución viable para los agricultores de Sacha Inchi.

REFERENCES

- ABM RECYCLING MINING. (s.f.). Obtenido de (<https://www.color-sorting-machine.com>),
- Graessler, I., Hentze, J., & Bruckmann, T. (2018). V-MODELS FOR INTERDISCIPLINARY SYSTEMS. *INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE*. Dubrovnik, Croacia.
- Hermoza Llanos, E. A. (02 de 2018). [www.http://tesis.pucp.edu.pe/](http://tesis.pucp.edu.pe/). *DISEÑO DE UNA MÁQUINA SELECCIONADORA DE SEMILLAS DE SACHA INCHI PELADAS, POR COLOR CON CAPACIDAD DE 200 Kg/h.*. Lima, Perú. Recuperado el 01 de 2020, de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/11729/HERMOZA_ESTEFANIA_MAQUINA_SELECCIONADORA_SEMILLAS_SACHA_INCHI.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto Técnico de la Estructura en Acero. (2017). *Sistemas estructurales: Otras estructuras*. Madrid, España: Instituto Técnico de la Estructura en Acero.
- Khumaidi, A., Purwanto, Y. A., Sukoco, H., Wijava, S. H., & Darmawan, R. (2020). Design of smart system for fruit packinghouse management in supply chain. (I. o. Inc., Ed.) doi:10.1109/ICOSICA49951.2020.9243205
- Martín, J. (31 de Agosto de 2018). *Innovación en el Análisis Morfológico*. Obtenido de CEREM International Business School: <https://www.cerembs.co/blog/innovacion-en-el-analisis-morfologico>
- Mathwoks. (2019). *Mathwoks*. (Mathwoks) Recuperado el 2020, de <https://la.mathworks.com/help/stats/classification.html>
- Objetivos de Desarrollo Sostenible*. (2015). Recuperado el 2019, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure>