



**UNIVERSIDAD EAN**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE CLASIFICADORA DE GRANOS DE CAFÉ  
CEREZA COMO ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO Y MEJORA  
DEL PRODUCTO FINAL**

**JUAN DIEGO FERIA RAMÍREZ**

**GUILLERMO ESTEBAN MÁRQUEZ RODRÍGUEZ**

**JUAN NICOLÁS SALINAS PULGARÍN**

**Asesora**

**JOHANNA KARINA SOLANO MEZA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2024**



## ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO.....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
OBJETIVOS .....	9
Objetivo general .....	9
Objetivos específicos .....	9
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	10
Pregunta problema .....	11
JUSTIFICACIÓN .....	12
ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS .....	14
Intención del producto: .....	14
Verificación de parámetros de diseño: .....	14
Estimación de ciertas características de diseño o especificaciones del producto:	15
MARCO TEÓRICO .....	16
Producción del café .....	17
Partes del café .....	19
Sistemas de dosificación y transporte.....	21
Colorimetría en el grano de café .....	24
Sensores de color .....	27
Microcontrolador .....	28
ANÁLISIS DE RESTRICCIONES.....	30
Ambientales:.....	30



Económicas:.....	32
Legales:.....	32
Salud y seguridad: .....	33
Socioculturales:.....	35
METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN .....	36
Modelo matemático .....	48
Código Arduino .....	50
ANÁLISIS DE COSTOS.....	52
Costos prototipo escala laboratorio .....	52
Costos a escala industrial .....	53
Cálculo del retorno sobre la inversión.....	54
RESULTADOS .....	56
CONCLUSIONES .....	61
REFERENCIAS.....	62



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Balance mundial del café.....	16
Figura 2. Proceso del café hasta la etapa de obtención del grano verde. ....	19
Figura 3. Corte de una cereza de café. ....	20
Figura 4. Partes del grano del café. ....	20
Figura 5. Sistema dosificador sinfín. ....	22
Figura 6. Tazón Vibratorio. ....	23
Figura 7. Alimentador centrifugo. ....	24
Figura 8. Caracterización de los estados de desarrollo y color medio de los frutos de café. ....	26
Figura 9. Alteración de la luz al reflejarse en un objeto de determinado color. ....	28
Figura 10. Esquema general de un Microcontrolador. Representa los elementos más representativos de los elementos internos de un Microcontrolador.....	29
Figura 11. Diagrama de bloques del proceso del café con la etapa de intervención resaltada en rojo.....	37
Figura 12. Esquema del proceso de selección de la maquina seleccionadora de granos de café. ....	38
Figura 13. Diseño prototipo de seleccionadora de granos de café. ....	40
Figura 14. Diseño prototipo de seleccionadora de granos de café en acero inoxidable como idea de su posible implementación.....	42
Figura 15. Plano del diseño con todas sus piezas ensambladas. ....	43
Figura 16. Plano del encaje con la tolva de café con salida de 4 pulgadas de diámetro. ....	44
Figura 17. Plano del riel.....	45
Figura 18. Plano del soporte del sensor de color. ....	46
Figura 19. Esquema de conexiones de los componentes eléctricos.....	47



Figura 20. Grafica resultantes del modelamiento.....49

Figura 21. Prototipo a escala laboratorio de seleccionadora de granos de café. ....56

Figura 22. Pieza añadida para resolver problemas de bloqueo en granos de café. ....58

Figura 23. Ensamble para propuesta industrial con las respectivas correcciones. ....59



## RESUMEN EJECUTIVO

La producción de café en Colombia de alta calidad depende en gran parte de la eficiencia y precisión en cada etapa del proceso. Sin embargo, la realización manual y/o artesanal de tareas como la recolección o clasificación de granos produce un gran desgaste físico para los caficultores, esto puede llevar a una disminución en la calidad del producto debido a errores humanos o a la alta demanda. Además, el tiempo requerido para realizar estas etapas del proceso de manera manual limita la capacidad de producción.

Este proyecto se centra en el diseño y ensamble del prototipo de una clasificadora de granos de café en cereza utilizando conocimientos básicos de programación y algunos sensores y actuadores. Todo esto con el fin de ayudar a las pequeñas familias cafeteras con el proceso de escogencia artesanal de los granos, ahorrando tiempo y mejorar la calidad del producto final.

El proyecto busca ofrecer una solución automatizada que permita clasificar los granos de café de manera eficiente, separando los granos verdes o inmaduros de los granos rojos o maduros de la producción de café. A través de la implementación de sensor de color tcs34725 y un solenoide lineal, se desarrolló un sistema capaz de identificar y descartar los granos verdes, garantizando así un producto final de mayor calidad y consistencia.



## INTRODUCCIÓN

El proceso de producción del café comienza con el cultivo del cafeto, una planta que requiere condiciones climáticas específicas para su maduración, después, se recolectan todos los granos incluidos los que están caídos o secos y se someten a una etapa de clasificación detallada separando los granos según su estado de maduración requiriendo de un delicado equilibrio entre la calidad y la eficiencia para luego pasar por un proceso que puede ser seco donde los frutos se secan al sol o con máquinas hasta que la pulpa se desprende del grano o húmedo donde la pulpa se elimina mediante máquinas y los granos se fermentan y lavan. Finalmente, se tuestan y muelen para obtener el café listo para su consumo.

Por ende, la etapa de clasificación de los granos de café es una etapa muy importante si se desea producir café de alta calidad. Actualmente este proceso se realiza de forma artesanal por los pequeños productores cafeteros, lo cual toma demasiado tiempo y es susceptible a la equivocación humana.

Este proyecto inicia con el diseño SVG para cortadoras laser de un clasificadora de granos de café en cereza a escala laboratorio en MDF, con sensores y actuadores de bajo costo, que realice una clasificación en base al color de los granos de forma eficiente, luego se realiza el cortado a laser y ensamblado de la clasificadora con el



sensor de color (tcs34725) y el actuador en este caso un solenoide lineal. Finalmente, se calibra el sensor de color para que detecte rápido y de la mejor manera los colores rojo y verde, posteriormente se realizan pruebas junto con el solenoide para verificar que el grano de café salga eyectado correctamente, esto con el objetivo de mejorar la calidad del producto final, optimizando el proceso de producción y aumentando la rentabilidad de los productores.



## OBJETIVOS

### Objetivo general

Realizar un prototipo de clasificadora de granos de café post cosecha, compuesto por un sistema de sensores, actuadores y un controlador, para la mejora de la calidad del producto final y la optimización del proceso.

### Objetivos específicos

- Diseñar un sistema funcional de una clasificadora de granos de café compuesto de sensores, actuadores y un controlador con capacidad de clasificación según la coloración del grano.
- Desarrollar un prototipo a escala de laboratorio para la separación de granos de café en cereza.
- Realizar una evaluación operacional para determinar el margen de error o eficiencia del proceso.



## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Colombia es uno de los países con más hectáreas destinadas a plantación de café, hay alrededor de 564 municipios en 16 departamentos cafeteros del país lo superan aproximadamente 3.2 millones de hectáreas, de las que viven cerca de 2 millones de personas (pp. 52). Además, gracias a sus tierras fértiles y un clima templado, el café es de muy alta calidad, además de contar con diferentes tipos de café dependiendo de la zona (el “Café de Nariño”, el “Café de Cauca” y el “Café de Huila”).

El café tiene diferentes estados de maduración, entre los que se encuentra inmaduro, maduro, pintón y sobre maduro, cada uno tiene color o combinación de colores particulares, y una intensidad de aroma del café molido, aroma de la bebida, acidez o amargura, características relevantes en un café de buena calidad. Por ende, este factor de estado de maduración se vuelve imprescindible en la clasificación de granos de café, ya que según una investigación realizada por Marín-López et al. (2003), se demostró que la calidad de la bebida de café se ve afectada cuando el porcentaje de cerezas verdes en el bulto es superior al 2,5%, en consecuencia, los granos de café óptimos para la recolección son los pintones, los maduros y los sobre maduros (pp. 312)



En Colombia las familias que viven de la producción de café son las encargadas de realizar todas las etapas del proceso, lo que significa que ellos deben plantar los cafetos, recolectar los granos, clasificarlos, etc. algo que demanda mucho tiempo y esfuerzo físico. Estas familias al día recogen miles de granos de café que posteriormente deben clasificar manualmente para obtener los mejores granos, lo que se convierte en un gran problema debido a que esta tarea exige demasiado tiempo, por ende, todo el proceso se retrasará si se desea obtener un producto final de calidad, por otro lado, si no se realiza el proceso de escogencia se va a tener un mayor volumen de producción, pero se reduce la calidad, lo que reduce su valor final.

### **Pregunta problema**

¿Puede un prototipo de clasificadora de granos de café post cosecha por medio de sensores, actuadores y un controlador, contribuir en el proceso de producción del mismo, optimizando el tiempo y la calidad del producto final?



## JUSTIFICACIÓN

Hacer proyectos de impacto en la agroindustria colombiana es necesario por la falta de equipos y suministro en la que muchos campesinos suelen estar, factores determinantes a la hora de competir con otras economías globales; se necesita desarrollar por la carencia de tecnificación en el campo colombiano (Monsalve - González & Cortés, 2009, p.138).

Específicamente en el sector cafetero, Colombia al tener una gran participación en este mercado, es imprescindible que se mejore aquellas etapas de producción del café en donde se identifique falencias, se sacrifique el factor económico o que se requiera de un esfuerzo humano considerable.

En Colombia, el café se procesa mayormente de manera artesanal, iniciando con la recolección manual del fruto directamente del árbol. A continuación, se realiza un proceso de despulpado mecánico para separar el grano de la pulpa. Posteriormente, se somete el grano a una fermentación natural que facilita la eliminación del mucílago. Luego, se lava exhaustivamente para retirar cualquier impureza residual. Seguidamente, se seca al sol o en secadores hasta alcanzar el nivel de humedad de alrededor del 12%. Finalmente, se trilla para eliminar la cascarilla y se somete a los



procesos de tueste, molienda y empaque para su comercialización (Home - Café de Colombia, 2024)

Este proyecto se enfoca en una mejora en el proceso de producción de café a nivel artesanal con el objetivo de poder aportar a la tecnificación de este sector, teniendo en cuenta que se conoce de primera mano cada una de las partes que componen este proceso; y se identificó que se podrían conseguir mejores ganancias si se aplicara un paso que se está omitiendo en la producción (pequeño productor), que es escoger el café según sus características y/o calidad. Al comercializar café, se conoce que los productores que lo comercializan con las empresas y/o cooperativas, se lo venden sin separar el grano según las características de este, lo que comúnmente se conoce como venta a “granel”.

Separando el café según sus características, los productores podrían acceder a mejores precios tipo exportación, (normativa, calidad, diferencial, competencia, optimización) pero omiten este paso por el gasto de recursos y tiempo que se llevaría a cabo para completar esta tarea; por lo que se busca aplicar este proceso a la cadena de producción de manera que sea eficiente para el productor.



## ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

### Intención del producto:

Lo que se busca con el prototipo es una solución accesible, que minimice el esfuerzo del caficultor y reduzca el tiempo del procesamiento de café.

### Verificación de parámetros de diseño:

- El prototipo debe ser compacto, funcional y exequible.
- Los granos de café deben pasar por un riel que permita a los sensores detectar de forma correcta el color del grano y así enviar la información al controlador para que envíe la señal al actuador con el fin de que saque del riel el grano que no cumple con las características deseadas.
- La clasificación de granos se realizará respecto a los granos pequeños y los inmaduros.
- Estimar la velocidad de detección de color del sensor y la iluminación requerida para definir la posición correcta de los actuadores.
- Analizar la velocidad y precisión de los actuadores para que sean capaces de desviar los granos del riel.
- Calcular el lugar adecuado en el que se van a posicionar las canecas donde caerán los granos de baja calidad.



- Estimar el tiempo de funcionamiento del sistema para prevenir un sobrecalentamiento de los componentes.

**Estimación de ciertas características de diseño o especificaciones del producto:**

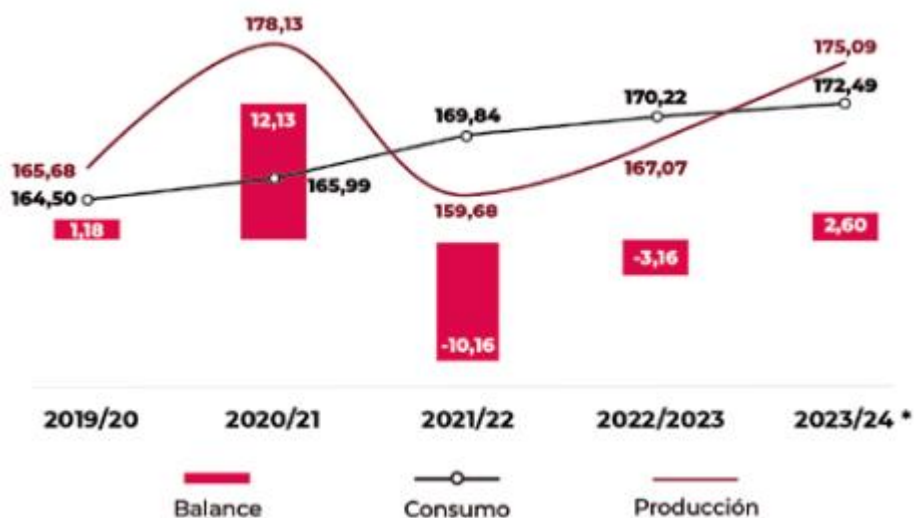
- El consumo energético debe ser relativamente bajo, por lo que se usaran componentes que no funcionen a más de 12 voltios.
- La cantidad de granos de café clasificados por hora debe ser mayor a 200 kilos.
- Se separarán los granos de tamaño pequeño y los granos con tonalidades de color verde.
- El prototipo tendrá un precio menor a 150.000 pesos colombianos, sin embargo, para un proyecto a mayor escala hay que tener en cuenta que este precio dependerá del material de construcción.
- Procurar no mojar directamente el sistema.



## MARCO TEÓRICO

Aunque la producción mundial aumento un 4.6% en comparación con la producción registrada en el periodo 2021/22, el déficit de café en el año 2022/23 fue de 3,16 millones de sacos de 60 kg, aunque esta producción no es en todo gracias a Colombia ya que la producción nacional cayo en 10,6 millones de sacos de café, una reducción del 9.1% con respecto al mismo periodo anterior (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2023).

Figura 1. Balance mundial del café.



Nota. Adaptado de *Global Data – Proyecciones [Gráfico]*, por Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2023



Esto da a entender que el mercado del café tiene oportunidad para realizar mejoras en sus procesos y para consolidar a Colombia como históricamente uno de los grandes países caficultores. Para esto es necesario analizar varios aspectos y/o factores que impliquen en la producción del café como lo es sus subprocesos, calidad, transporte, etc.

### **Producción del café**

El proceso de producción del café es un conjunto de etapas que van desde la recolección de granos de café hasta la preparación de la bebida. Cada una de estas etapas requiere de especial atención si se desea obtener una bebida de calidad.

La primera etapa es la recolección de los granos del cafeto, en donde los caficultores recolectan todos los granos maduros, sobre maduros, secos, los verdes que se desprenden del árbol al pasar y los granos que se encuentran en la base del árbol que se cayeron por cualquier factor. Luego de esta etapa se pueden realizar dos procesos diferentes, el de vía húmeda y el de vía seca, dependiendo del que se desee realizar va a variar la calidad y el coste del café. Si se desea hacer el proceso por la vía húmeda el siguiente paso es el despulpado, en el cual se llevan los granos de café a la despulpadora, una máquina que por medio de presión y fricción desprende la cereza de la pulpa. Después de esto el café se deja fermentar

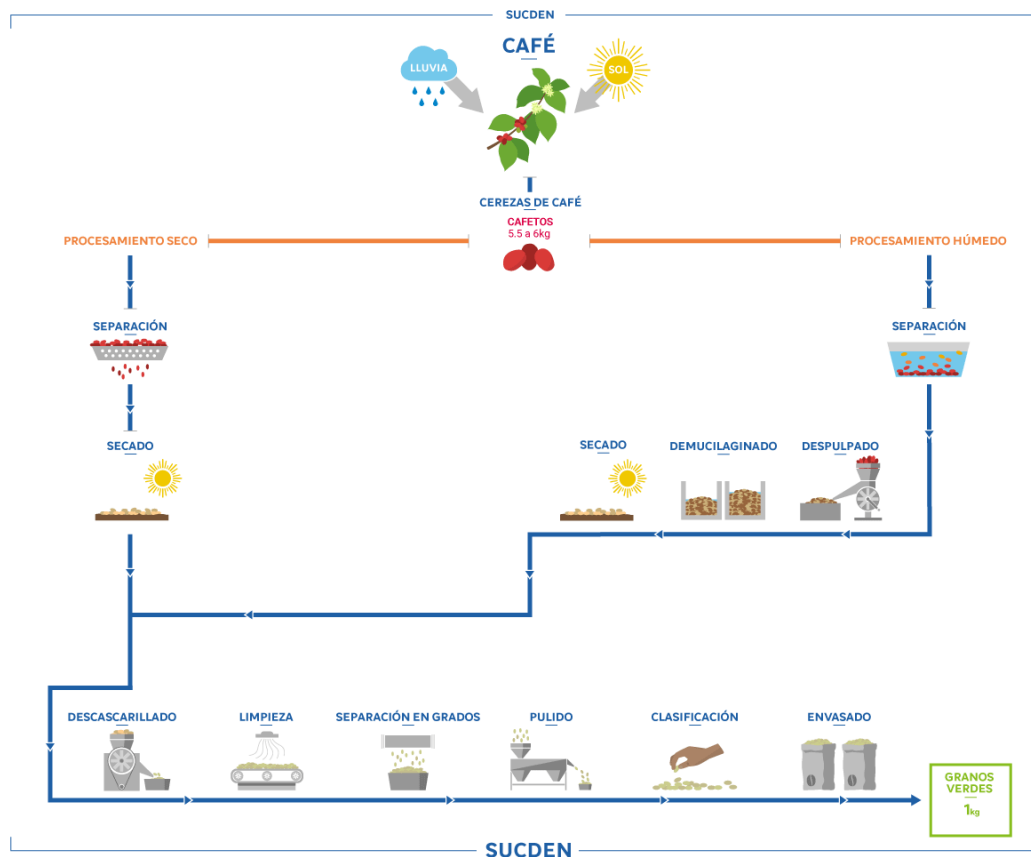


durante unas cuantas horas y se lleva a secar con el mucilago o se lava para removerlo junto con demás impurezas.

Si se realiza el proceso por la vía seca el paso a seguir es la selección de los granos más adecuados que se llevan a secar directamente con la cereza. El secado es la etapa donde se vuelve a unir el proceso, allí se busca que la humedad del café baje alrededor de un 10-12% para seguir con el proceso (Asociación Española del Café, 2021), esto se consigue extendiendo el café al sol o ingresándolo en hornos, lo cual es un proceso más rápido. Luego viene la etapa del descascarillado o trillado en donde se remueve la cascarilla de los granos para obtener el café verde, que es el que se llevará al proceso de tueste y luego a la molienda o directamente al empaclado, para por último ser transportado hasta su destino final (el consumo).



Figura 2. Proceso del café hasta la etapa de obtención del grano verde.



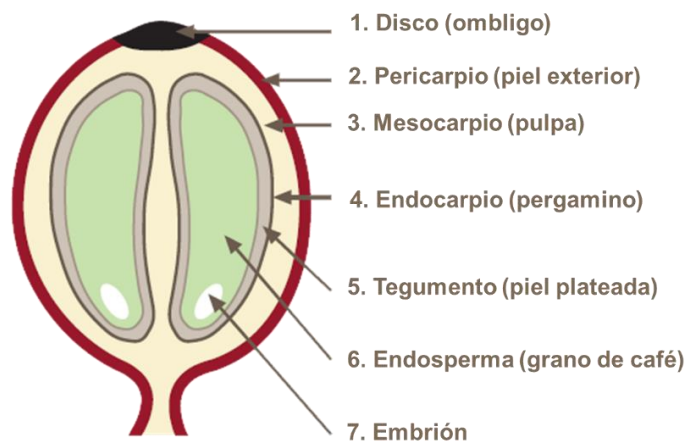
Nota. Diagrama de flujo del proceso - Café - Productos y servicios - Sucden. (s/f).

### Partes del café

Según la información obtenida de Se habla Café (2019, octubre 29), el café en cereza principalmente se divide en dos partes: pericarpio y semilla, estos a su vez se subdividen en otras partes, que se ilustran en las siguientes imágenes.

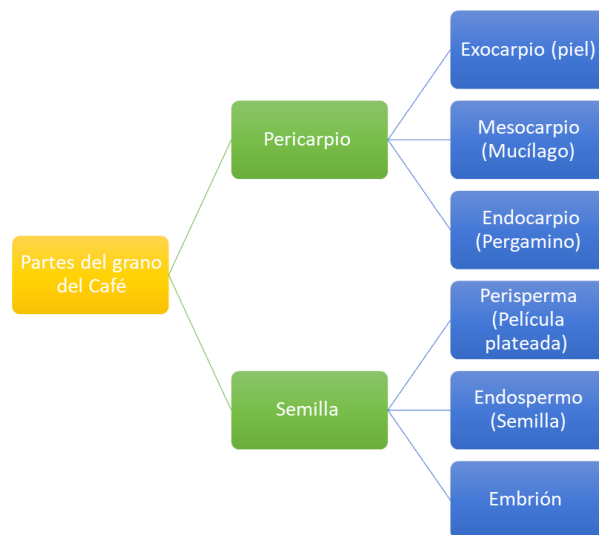


Figura 3. Corte de una cereza de café.



Nota. Corte de una cereza de café, (s. f.), YARA.

Figura 4. Partes del grano del café.



Nota. Adaptado de *Se habla Café, 2019, Anatomía del Café*. Fuente propia basada en la figura 3.



### **Sistemas de dosificación y transporte**

En los procesos industriales es necesario incluir dos etapas indispensables con el objetivo de optimizar cadenas de producción, las cuales son la dosificación y el transporte.

Los sistemas de dosificación son tecnologías diseñadas para medir y distribuir materiales en cantidades precisas y controladas. Estos sistemas pueden ser volumétricos o gravimétricos, dependiendo de si se basan en el volumen o el peso del material a dosificar (Chumillas Technology, 2022).

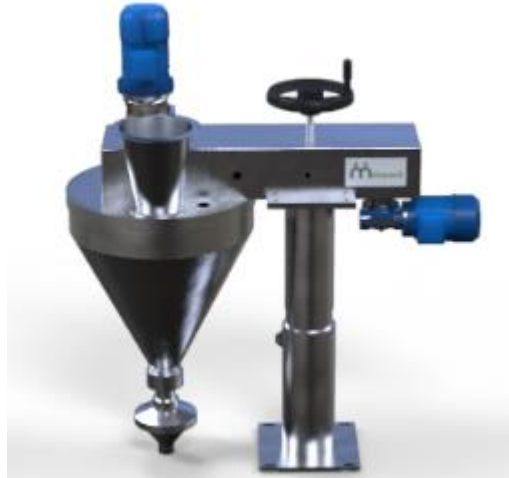
Para el caso particular se requiere adaptar este tipo de sistemas con el fin de hacer el proceso de selección del fruto de café, teniendo en cuenta su cadena de transporte en cantidades pequeñas para que el sistema responda con eficiencia; a continuación, se muestran algunos ejemplos de este tipo de sistemas

- **Dosificador sinfín:**

Este sistema está enfocado para el transporte y dosificación de polvos granulares, semillas, azúcar, café, etc., y consta de un tornillo sinfín que por rotación fuerza el desplazamiento al producto que almacena y a su vez rompe aglomeraciones de este mismo (Medpack, 2015).



Figura 5. Sistema dosificador sinfin.



Nota. Dosificador Sinfin Versátil y Preciso, Mdepack, 2015.

- **Bowl Feeder:**

También conocido como alimentador o tazón vibratorio, está diseñado para alimentar de manera automatizada las líneas de producción con piezas a granel. Consiste en un recipiente en forma de cuenco que contiene las piezas a transportar. Estas piezas son movidas y orientadas mediante vibraciones generadas por un sistema de motores internos., es un sistema que está diseñado para alimentar de manera automatizada las líneas de producción con piezas a granel. Consiste en un recipiente en forma de cuenco que contiene las piezas a transportar. Estas piezas son movidas y



orientadas mediante vibraciones generadas por un sistema de motores internos (TAD, 2024).

*Figura 6. Tazón Vibratorio.*



*Nota. Tazón Vibratorio, TAD Bowl Feeders, 2024.*

- **Alimentadores centrífugos**

Los alimentadores centrífugos no necesitan del movimiento vibratorio para trasladar las piezas, en lugar de eso, utilizan un rotor central cónico eléctrico, que hace girar el disco haciendo que las piezas giren con este y, debido a la fuerza centrífuga, se desplazan hacia el exterior del borde del disco. Los



alimentadores centrífugos se utilizan principalmente en sitios donde se deban transportar las piezas de manera delicada a alta velocidad (Metrika Supply, s/f).

*Figura 7. Alimentador centrífugo.*



*Nota. Alimentadores Centrífugos, Metrika Supply, s.f,  
<https://www.metrikasupply.com/blank-3-1-1-2-2-1-1-1-1>*

Es cierto que existen más sistemas de transporte y dosificación, pero para efectos del proyecto, y su requerimiento de transporte en línea, estos se pueden tomar de referencia, apreciando sus diferencias, ventajas y virtudes.

### **Colorimetría en el grano de café**



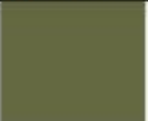














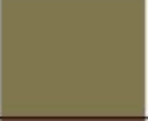








Es imprescindible hablar de la maduración del fruto del café y su correlación a la maduración de este. Para entender esto es necesario comprender el concepto de la



antes, que es el periodo de florescencia de una planta; Herrera-Carvajal et. Al. (2011) toman en cuenta los días después de la antesis (DDA) para hacer un muestreo del estado de maduración y su tonalidad (color medio), la tonalidad se midió a partir de un espectrofotómetro de esfera X-Rite® modelo SP64.



Figura 8. Caracterización de los estados de desarrollo y color medio de los frutos de café.

DDA	Muestreo	Fruto	Color medio
182			
189			
196			
203			
210			
217			
224			
231			
238			

Nota. Herrera-Carvajal et. Al. (2011). *Colorimetría del Fruto de Café (Coffea arabica L.) Durante su Desarrollo y Maduración*. Scielo, 12.



A partir de estos indicadores colorimétricos se puede inferir el estado de maduración del fruto de café, donde se tendrá que hacer un proceso de reconocimiento para hacer la respectiva selección

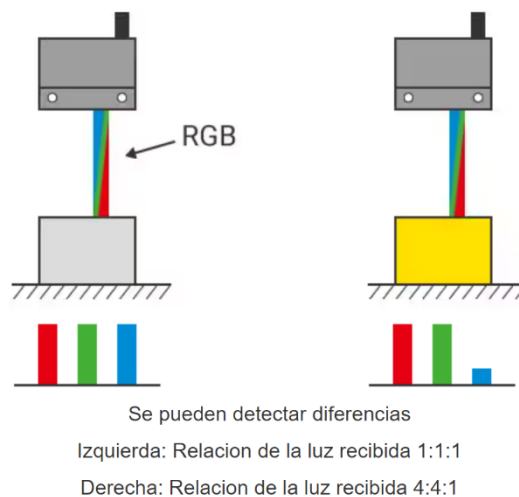
### **Sensores de color**

Los sensores de color son dispositivos electrónicos diseñados para detectar y medir la intensidad de la luz en diferentes longitudes de onda mediante fotodiodos, filtros ópticos y circuitos electrónicos. Estos emiten luz desde un transmisor y luego, con un receptor, detecta la luz que se refleja desde el objeto de detección.

Los sensores de color funcionan emitiendo luz sobre un objeto y luego analizando la luz reflejada. Esta luz se separa en sus colores básicos (rojo, verde y azul) gracias a filtros ópticos. Cada color básico es detectado por un fotodiodo que mide su intensidad. Finalmente, un circuito electrónico procesa estas mediciones y las compara con valores de referencia para identificar el color del objeto (López, 2024).



Figura 9. Alteración de la luz al reflejarse en un objeto de determinado color.



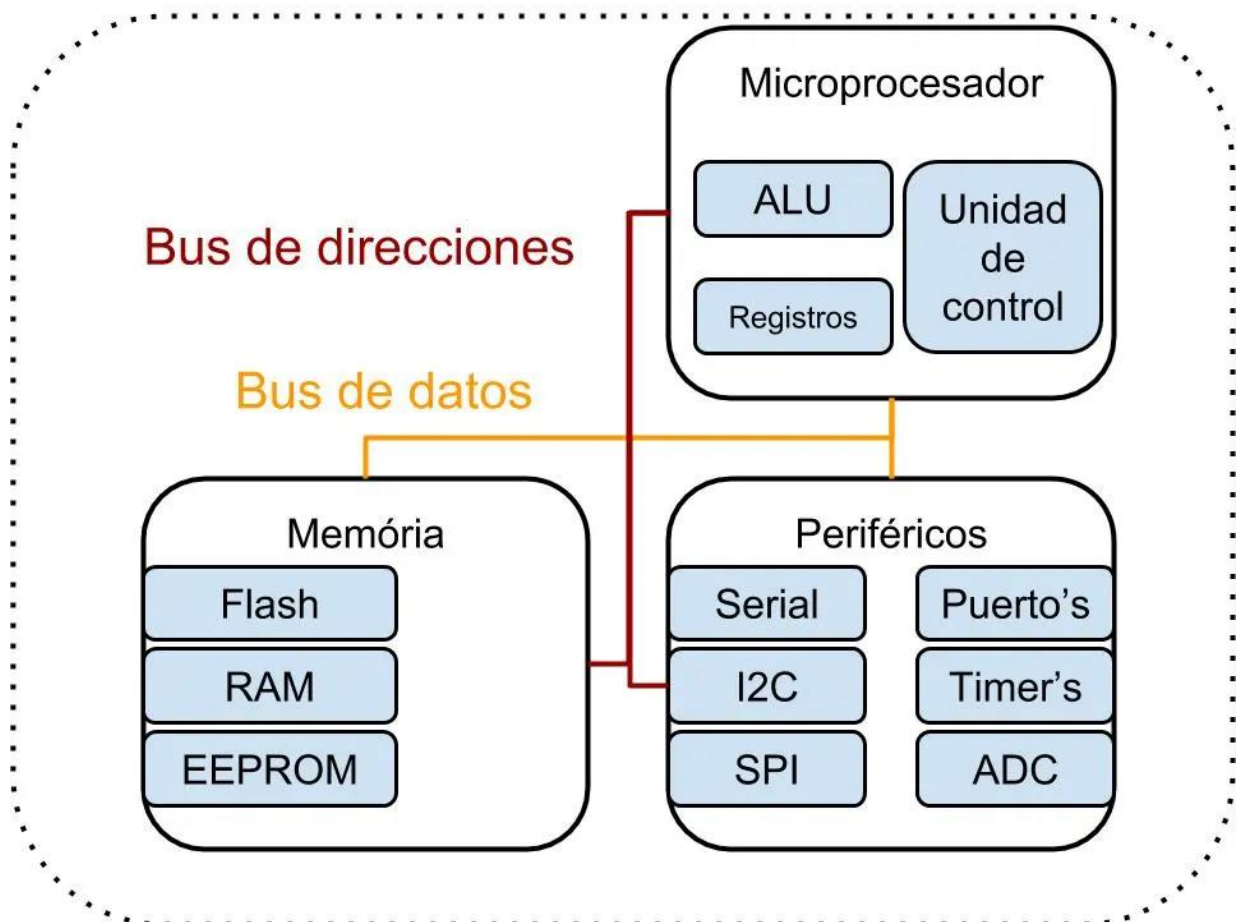
Nota. ¿Qué es un sensor de color?, KEYENCE CORPORATION, s/f.,

### Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que se compone de un microprocesador, la memoria y las unidades de entrada y salida. Funciona como una mini PC. Su función es la de automatizar procesos y procesar información. Su tamaño reducido, bajo consumo de energía y flexibilidad los hacen ideales para una amplia gama de aplicaciones donde se requiere seguir un proceso automático (“Microcontrolador - qué es y para que sirve”, 2017).



Figura 10. Esquema general de un Microcontrolador. Representa los elementos más representativos de los elementos internos de un Microcontrolador.



Nota. HeTPro-Tutoriales, Microcontrolador - qué es y para que sirve. (2017)



## ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

### **Ambientales:**

En lo que respecta al ámbito ambiental no se encuentran restricciones significativas para el prototipo ni una propuesta a escala real en lo que concierne al uso de distintos de materiales dañinos para el ambiente, ya que por las características de la maquina a desarrollar, los elementos que componen a esta deben ser materiales resistentes y duraderos en el tiempo. Para el prototipo a escala laboratorio probablemente se usen materiales como madera tipo Madeflex y filamento de impresión PLA (ácido poliláctico), el cual es un material que se obtiene a partir de la fermentación de vegetales como el maíz, la yuca o la caña de azúcar entre otros (Prime, 2022 junio 30); por tanto, no representan un peligro ambiental significativo, sin descuidar la parte sostenible que debe llevar al proyecto.

Lo que si se tiene que revisar es la parte del consumo eléctrico que implicaría el correcto funcionamiento del mecanismo, y los niveles de ruido que implicaría la puesta en marcha de este mismo. Para el caso del consumo energético se tiene como normativa la ley 697 de 2001 la cual dice “Por la cual se promueve el uso racional y eficiente de la energía, se fomenta el uso de energías alternativas, y se dictan otras disposiciones”; en esta ley no se indican topes de consumo energético, aunque si se indican las disposiciones para el uso racional y eficiente del flujo



eléctrico, cosa que se debe tener en cuenta en los aspectos técnicos, ya que esto se traduce en costos.

Mientras que en el aspecto de ruido y contaminación auditiva se tiene como normativa la resolución 627 de 2006 por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. En dicha resolución, además de contextualizar las definiciones referentes al tema, también indica el cálculo del ruido total generado y las diferentes categorías de los sectores y sus respectivos decibelios (dB) permisibles juntos con las jornadas. Para el cálculo de los niveles de ruido, esta normativa implementa la siguiente formula

$$L_{total} = 10 \cdot \log_{10} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

Donde:

- $L_{total}$  es el nivel total de ruido.
- $L_1, L_2, \dots, L_n$  son los niveles de ruido de cada fuente en decibelios (dB).

Si bien el prototipo a desarrollar está pensado para mejorar procesos en el ámbito agroindustrial, puede ser categorizado como “zonas de interés industrial” por las características del proyecto. Para este caso el funcionamiento del sistema estaría considerado como Sector C: Ruido Intermedio Restringido, el cual, tanto en horario diurno como nocturno, tiene un ruido permisible de 75 dB, aspecto a tener en cuenta en el desarrollo del prototipo.

**Económicas:**

En un principio el factor económico es un ítem determinante para el desarrollo de este tipo de proyectos, teniendo en cuenta que no se tiene una fuente de financiación, por ende, se tiene que acudir a recursos propios de los autores del proyecto, a pesar de esto, es preciso llegar a un entregable funcional que sirva como fase escalable para producción industrial o incluso para futuros proyectos. Dicho esto, se debe indicar que, si bien la funcionalidad del prototipo debe ser equivalente a producción industrial, debe ser sacrificada la parte de los materiales y componentes que integran al prototipo para poder superar la parte económica. Este proyecto se tiene presupuestado un rango estimado desde los COP \$200.000 hasta los COP \$500.000 teniendo en cuenta que se va a realizar en escala de laboratorio, buscando una relación calidad precio con los componentes, no obstante, también buscando lugares donde se pueda acceder a precios competitivos en el mercado.

**Legales:**

El desarrollo de este prototipo a pequeña escala no está sujeto a restricciones legales significativas. Sin embargo, si se decide llevar a cabo una producción a gran escala como la industrial, se deben considerar diferentes leyes o normas que rigen los materiales que deben ser usados para realizar la máquina, como lo son la Resolución 683 de 2012 mediante la que se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y



equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano o en el caso de que se vaya a reemplazar algún componente por material plástico se debe tener en cuenta la resolución 4143 de 2012 por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos plásticos y elastoméricos y sus aditivos, destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano en el territorio nacional. Todo esto con el fin de que se cumplan las normas sanitarias y que se conserve la inocuidad del producto, que en este caso es el café en cereza.

#### **Salud y seguridad:**

Es de vital importancia hacer énfasis en este aspecto de las posibles restricciones que se puedan generar para el desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta que el sistema a desarrollar manipula alimentos, por tanto, independientemente de si exista normativas al respecto, es imprescindible prestar atención a la inocuidad y asepsia en la manipulación de los granos de café.

Para efectos de este caso se consideran pertinentes las normativas Ley 9 de 1979 (Código Sanitario Nacional), la cual establece el marco sobre condiciones de salubridad en los procesos industriales incluyendo la producción y manipulación de alimentos; y la Resolución 2674 de 2013, la cual complementa al Decreto 3075 de 1997, las cuales disponen los estándares en los que deben estar la maquinaria que



hace parte del manejo de alimentos, en estos estándares se destacan los materiales con los cuales la maquinaria y equipos deben estar hechos para evitar migraciones tóxicas a los alimentos.

Teniendo en cuenta lo mencionado referente a la propuesta inicial de realizar el prototipo a escala laboratorio con materiales como Madeflex y/o PLA, para el caso del madeflex no existiría problema alguno siempre y cuando que este no esté en contacto con humedad, ni venga incluido con agentes tóxicos como resinas o sustancias agregadas; para el caso del PLA, si bien los estudios que investigan los efectos en la salud humana de este material es limitada, algunos indican irritación en las vías respiratorias la inhalación humos derivados de este (Doan, 2024). Por tanto, si se llega a usar dentro del prototipo es necesario que no tenga contacto directo con el café en cereza ni estar sometido a temperaturas altas. Para el caso de la realización de un sistema a escala industrial ya sería necesario hacerlo con materiales más pertinentes como acero inoxidable.

Por otro lado, haciendo énfasis en el tema de seguridad del prototipo para los diferentes operarios que manejen la maquina es necesario seguir unas directrices para el diseño del prototipo en pro de la integridad de los que manipulan esta, se tiene como referencia la NTC 4075, la cual presenta las disposiciones para el diseño y fabricación de maquinaria industrial para que garantice que no genere riesgos para



los operadores. Se incluye también la NTC 2050 la cual indica las directrices respecto a los diseños de las conexiones eléctricas en el ámbito industrial

### **Socioculturales:**

La implementación de una clasificadora de café en cereza representa un cambio significativo en las prácticas tradicionales de los cafeteros. Para garantizar su aceptación y éxito, es fundamental diseñar una estrategia de capacitación integral que considere las particularidades culturales y el nivel de conocimiento tecnológico de los productores. La capacitación debe ir más allá de la operación de la máquina y abordar aspectos como el mantenimiento, la resolución de problemas y los beneficios económicos. Además, es necesario adaptar la tecnología a las condiciones locales, asegurando su accesibilidad y facilidad de uso. Al involucrar a los productores en el proceso de diseño y adaptación de la tecnología, se puede fomentar su apropiación y garantizar un impacto positivo en la calidad de vida y la sostenibilidad de las comunidades caficultoras.

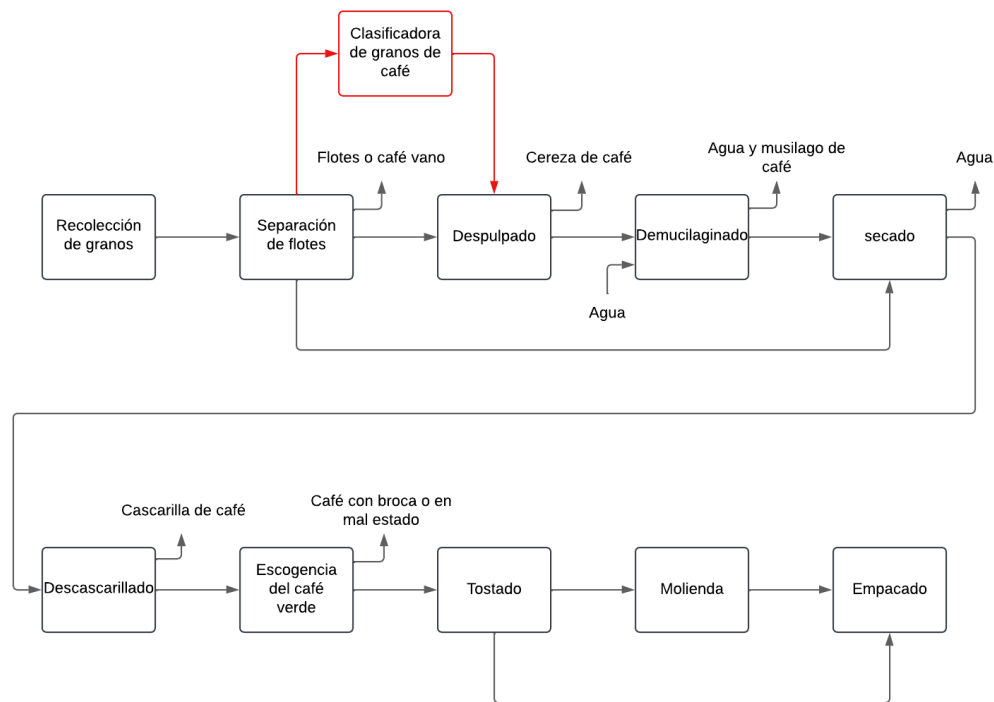


## METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Para cumplir con los objetivos propuestos en este proyecto, se comenzó evaluando la viabilidad técnica del mismo. Esto implicó analizar si, con los conocimientos, tecnologías y presupuesto disponibles, es posible desarrollar un entregable que sea tanto viable como escalable. Se realizó un análisis detallado del proceso de producción de café para identificar el punto específico de intervención y definir cómo se implementará la solución. A continuación, se presenta un diagrama de bloques en el que se destaca en rojo la etapa del proceso donde se intervendrá, proponiendo una alternativa al flujo original.



Figura 11. Diagrama de bloques del proceso del café con la etapa de intervención resaltada en rojo.

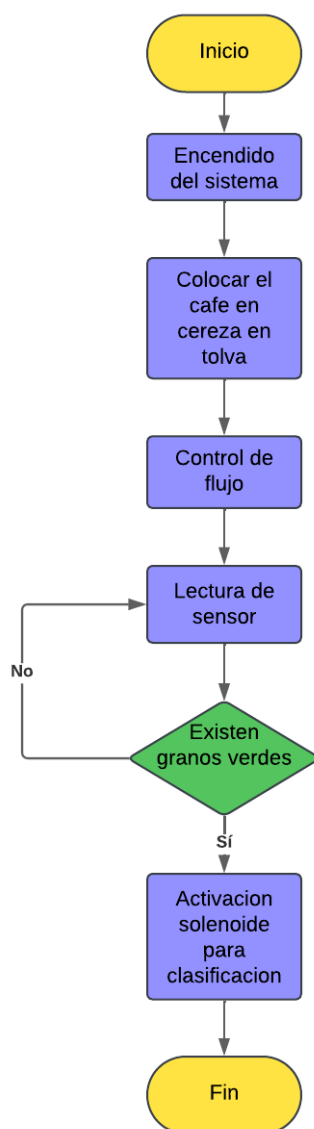


Proceso completo desde la recolección hasta el empaçado del café. Fuente propia

Para comprender más a fondo nuestra intervención en el proceso de producción de café, se presenta un diagrama de flujo detallado a continuación. Este diagrama describe específicamente cómo funcionará la clasificadora de granos de café en cereza dentro del flujo general, ilustrando cada paso del procedimiento y cómo se integrará la propuesta de solución en el sistema existente.



Figura 12. Esquema del proceso de selección de la máquina seleccionadora de granos de café.



Explicación de las etapas que se debe tener en cuenta en el mecanismo de seleccion de granos de café. Fuente propia



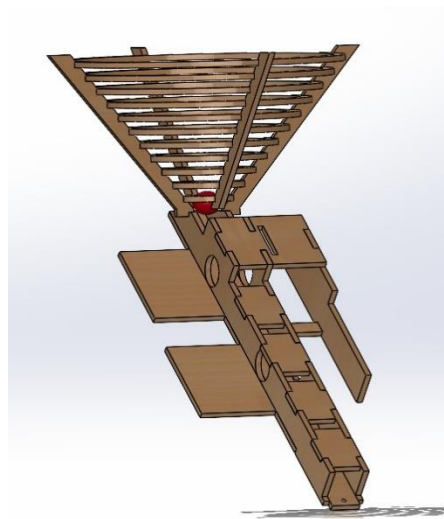
Tras el análisis detallado del proceso y la elaboración del diagrama de flujo, se decidió desarrollar un prototipo de clasificador de granos de café en cereza basado en sensores de color, actuadores y un microcontrolador. Esta decisión se tomó luego de evaluar varias alternativas tecnológicas. Si bien las técnicas de visión artificial, como el reconocimiento de patrones basado en redes neuronales convolucionales, ofrecen una mayor precisión en la clasificación, su implementación requiere una inversión significativa en hardware, software y personal altamente capacitado. Además, el entrenamiento de las redes neuronales puede ser un proceso lento y complejo. En contraste, este prototipo ofrece una solución más sencilla y accesible, que permite obtener resultados preliminares en un tiempo más breve. Aunque la precisión puede ser ligeramente menor debido a que solo se revisara el color de los granos de café en cereza, se considera que esta solución es adecuada para la fase inicial del proyecto, ya que nos permitirá validar el concepto y obtener información valiosa para futuras mejoras.

Para avanzar en el desarrollo de la solución, lo primero que se hizo fue diseñar un prototipo de la seleccionadora de granos de café en cereza basado en su colorimetría, utilizando herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD). Este diseño se realizó considerando las dimensiones y los materiales adecuados para el entorno académico, permitiendo así realizar pruebas de viabilidad en un prototipo primario a escala de laboratorio. El prototipo está configurado para permitir el flujo de



los granos de café en línea recta e incluye dos bases para ubicar el solenoide, facilitando las pruebas de funcionalidad relacionadas con el manejo y flujo de los granos.

*Figura 13. Diseño prototipo de seleccionadora de granos de café.*



Diseño de la estructura de la seleccionadora de granos de café para ensamblar con MDF en la propuesta del prototipo. Fuente propia

Esta representación muestra la estructura del sistema, que requiere la integración de componentes eléctricos y de control para un funcionamiento óptimo. A diferencia de otros sistemas de selección de café que emplean bandas transportadoras para el movimiento de los granos, este diseño aprovecha la

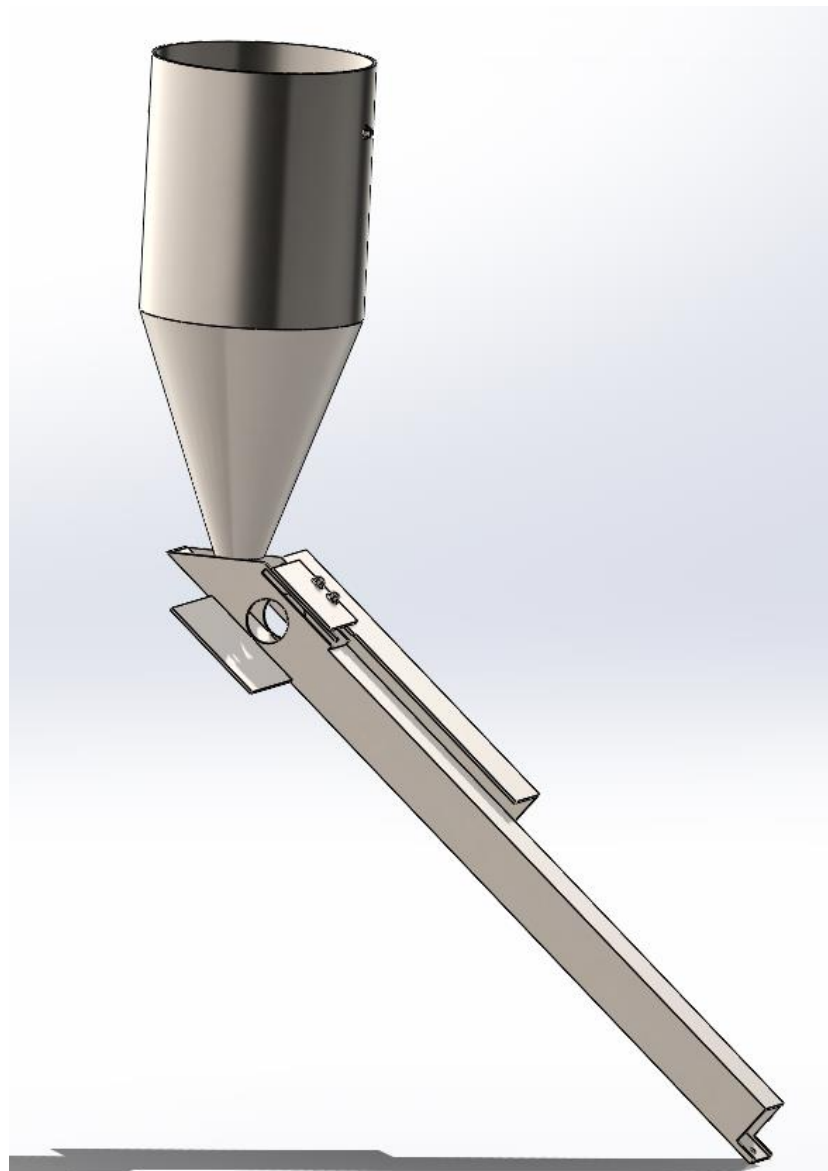


gravedad, lo que contribuye a una mayor eficiencia energética. Cabe destacar que el prototipo se ha desarrollado a escala de laboratorio. Si se quisiera implementar en un entorno real, sería necesario conservar las dimensiones del riel por donde se desplazan los granos de café. Además, para escalar el sistema y procesar un mayor volumen de granos, se deberían ajustar el tamaño o la forma de la tolva y aumentar la cantidad de rieles, así como los diferentes componentes eléctricos.

Para adaptar el diseño a un entorno más realista, se desarrolló una versión utilizando acero inoxidable de 1.5 mm de espesor, adecuado para acoplarse a una tolva de café con un diámetro de salida de 4 pulgadas. Así mismo se elaboraron los planos correspondientes para facilitar su implementación, los cuales se encuentran más adelante en este documento. Además, como se mencionó anteriormente, si este diseño se utilizara en una producción de café a gran escala, sería necesario realizar modificaciones, como agregar más salidas a la tolva y aumentar el número de rieles junto con sus componentes electrónicos respectivos. Cabe señalar que los agujeros de 3 mm están destinados a los tornillos que fijarán las piezas en su respectivo lugar.



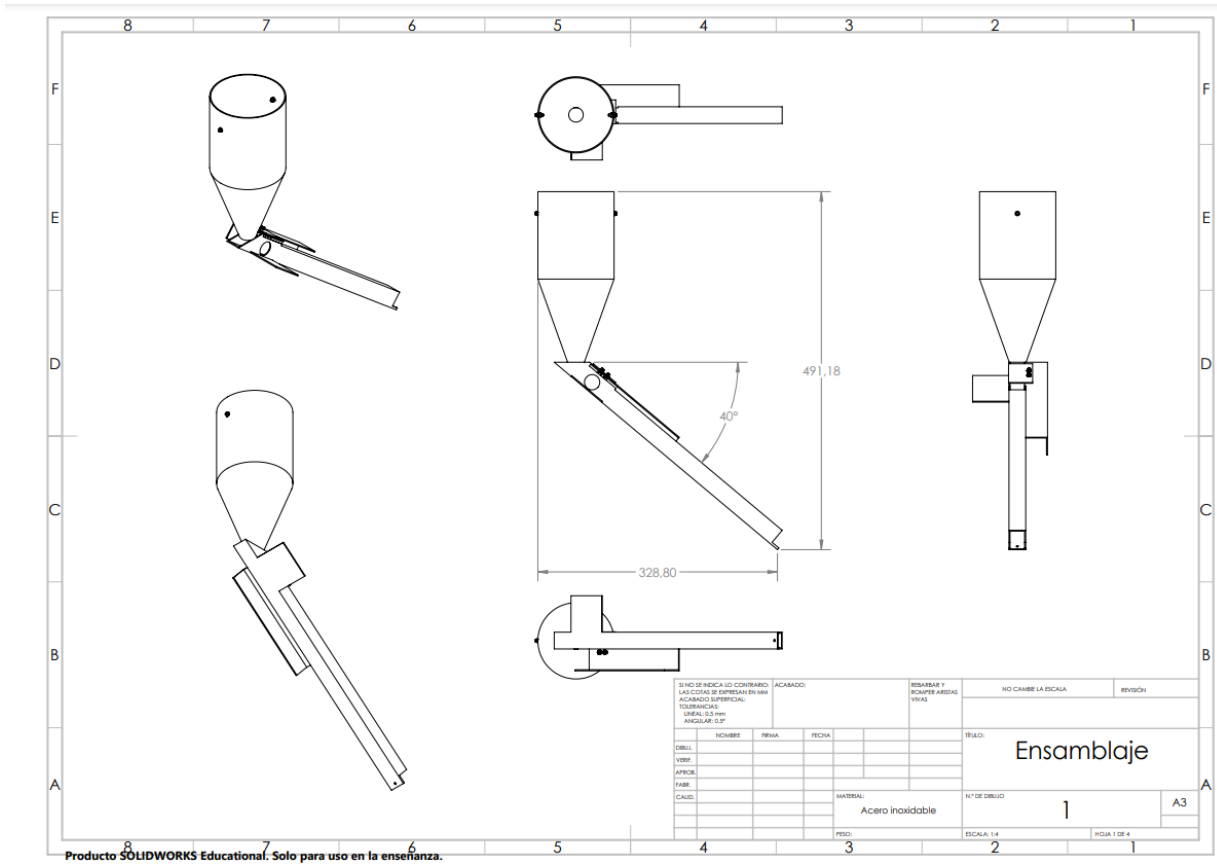
*Figura 14. Diseño prototipo de seleccionadora de granos de café en acero inoxidable como idea de su posible implementación.*



Diseño de ensamble para propuesta a escala real, aplicado a la agroindustria,  
realizado en SolidWorks. Fuente propia



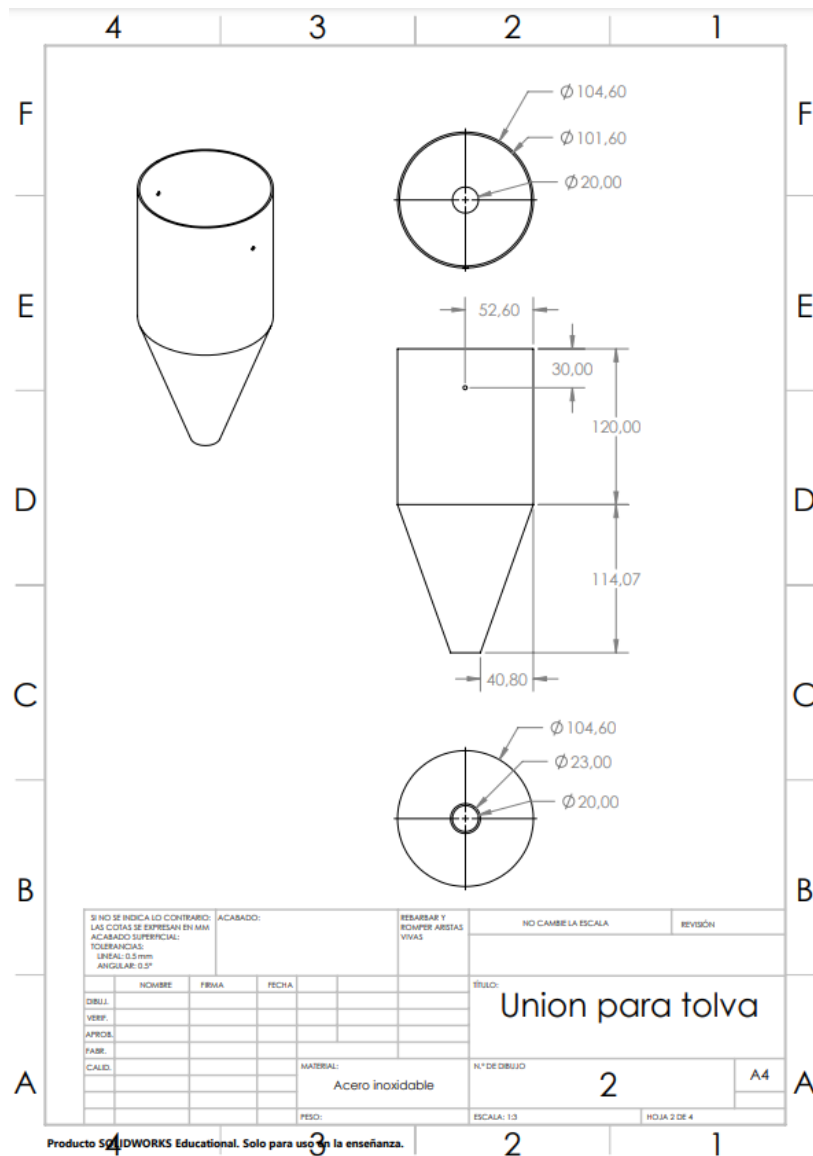
Figura 15. Plano del diseño con todas sus piezas ensambladas.



La figura se encuentra en escala de 1 a 4 con las medidas generales a tener en cuenta al momento de hacer su instalación.



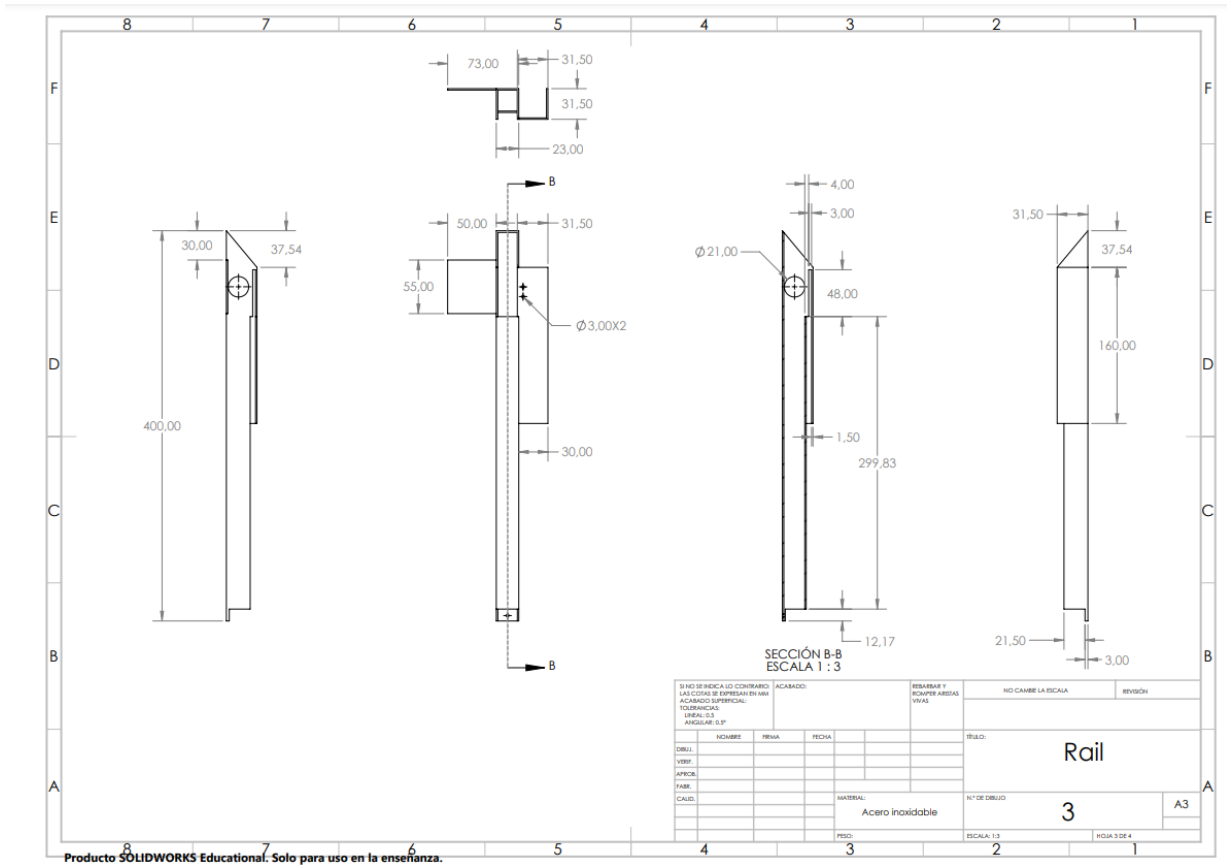
Figura 16. Plano del encaje con la tolva de café con salida de 4 pulgadas de diámetro.



La figura se encuentra en escala de 1 a 3 con las respectivas acotaciones a tener en cuenta a la hora de realizar la pieza.



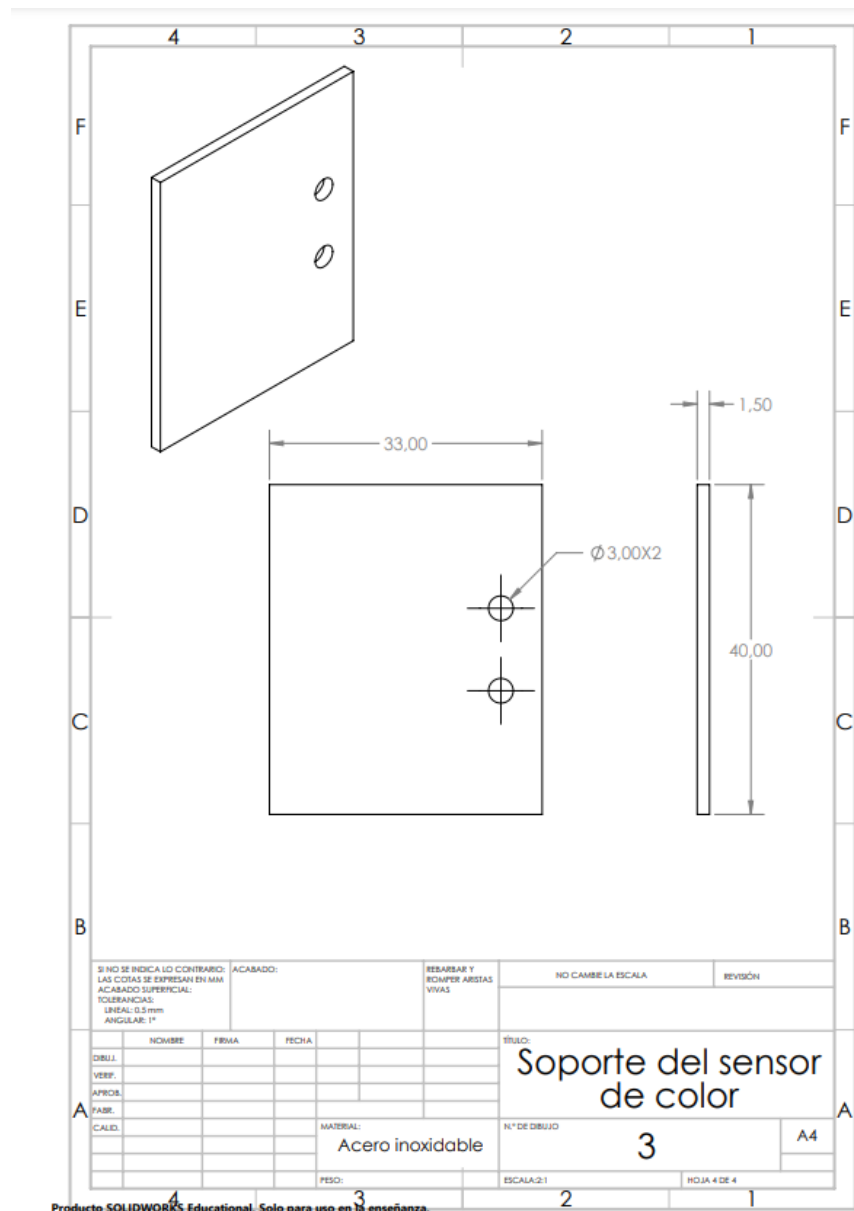
Figura 17. Plano del riel.



La figura se encuentra en escala de 1 a 3 con las respectivas acotaciones a tener en cuenta a la hora de realizar la pieza.



Figura 18. Plano del soporte del sensor de color.

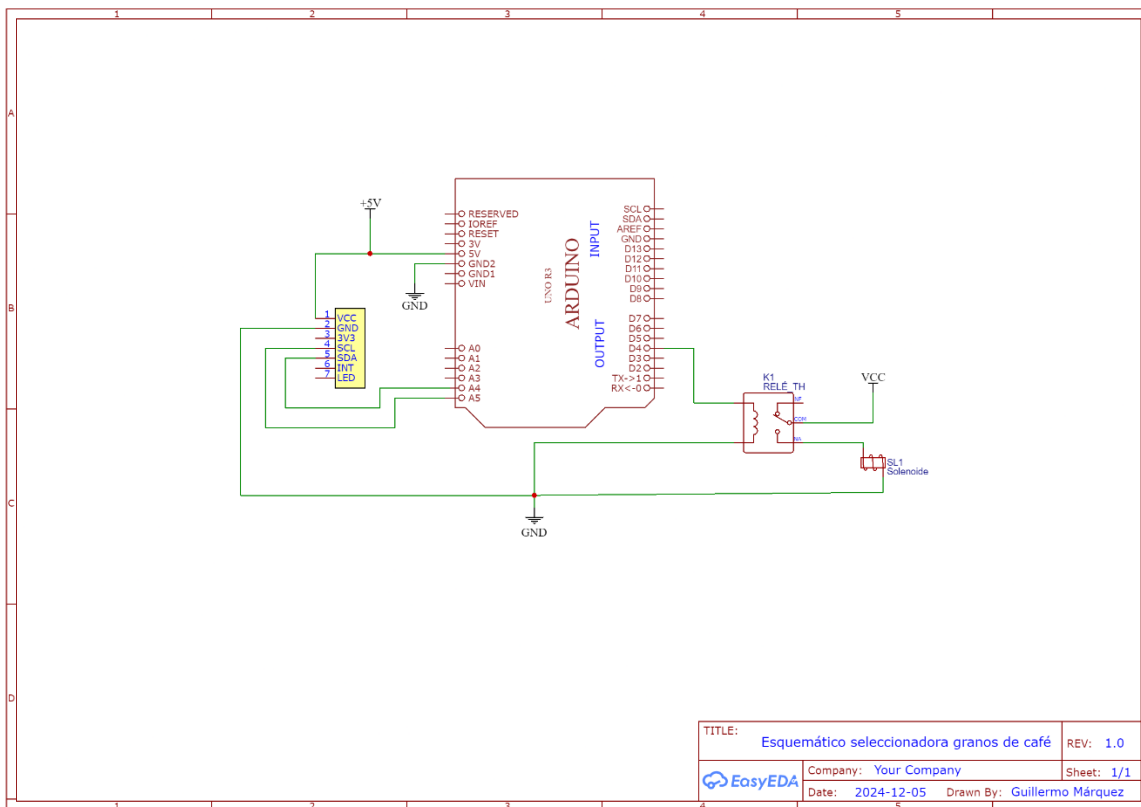


La figura se encuentra en escala de 2 a 1 con las respectivas acotaciones a tener en cuenta a la hora de realizar la pieza.



Además de los planos se hizo el diagrama de conexiones de los componentes electrónicos, el cual se muestra a continuación. Cabe resaltar que el solenoide que se utilizó para el desarrollo del prototipo funciona a 12v DC, por lo cual se incorporó un relé para no afectar los demás componentes que trabajan a 5v DC.

Figura 19. Esquema de conexiones de los componentes eléctricos.



En este diagrama se evidencian las conexiones del controlador (el Arduino) a los respectivos componentes electrónicos considerando que los pines que se usan están definidos en el código.



## Modelo matemático

Al proponer esta idea de desarrollo para la selección de granos de café, es necesario tener un soporte del funcionamiento antes del ensamble, esto da una idea de posibles mejoras que se puedan dar al sistema.

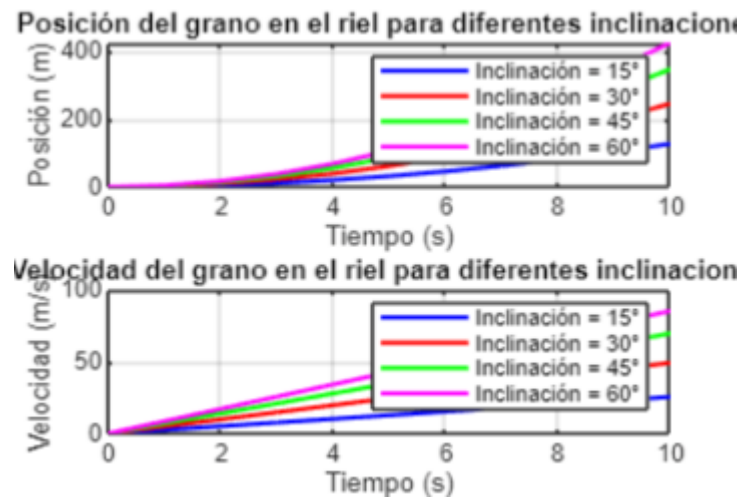
Los parámetros a tener en cuenta del modelo son:

- Gravedad:  $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$
- Inclinação riel:  $\theta = Variable$
- Flujo de granos:  $\gamma \approx 1 \frac{granos}{s}$
- Tiempo de detección del sensor:  $t_d = 0.1 s$
- Tiempo de activación del solenoide:  $t_{sol} = 0.05 s$

Aplicando un poco de teoría de movimiento uniformemente acelerado y conceptos básicos de física, se diseña un algoritmo en Matlab para calcular la velocidad y la posición de cada grano de café, teniendo en cuenta una situación ideal de un flujo de un grano cada segundo. He aquí resultados de este modelamiento:



Figura 20. Grafica resultantes del modelamiento.



Graficas de la posición y velocidad de los granos de café según la inclinación del riel. Fuente propia

Aquí se puede observar que, al haber una mayor inclinación, la velocidad del grano aumentara a través del tiempo, por tanto, es necesario considerar la inclinación a la que va a estar el riel. Incluir también el aspecto de respuesta del solenoide para que desvíe los granos de color verde, entre más recorrido se le permita al grano, mayor será su velocidad y también su dificultad para su efectividad, es conveniente dejar el sistema de reconocimiento y selección de los granos al principio el riel, esto ya que la velocidad de cada grano será relativamente baja.



Y por último para tener en cuenta es la probabilidad de efectividad del sistema, en donde indistintamente de cualquier diseño, siempre va a haber un margen de error, sobre todo en el reconocimiento y el tiempo de respuesta, los resultados indicaran la efectividad del sistema, sin poder asegurar un ciento por ciento.

### Código Arduino

Debido a que el controlador de los sensores y actuadores en este caso va a ser un Arduino, se desarrolló el siguiente código, en el cual, a partir de la lectura del sensor de color que se hará cada 100ms, al detectar el color verde activará el solenoide para sacar el grano del riel. Aunque existe la posibilidad de que el sensor deje pasar algunos granos por el retraso en la lectura, al momento de que la tolva se encuentre llena, el flujo de granos se ralentizará considerablemente, lo que mejorará la detección y separado de los mismos considerablemente.

```
#include <Adafruit_TCS34725.h>
```

```
Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS, TCS34725_GAIN_4X);
```

```
const int solenoidPin = 9;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  pinMode(solenoidPin, OUTPUT);
```



```

tcs.begin();
digitalWrite(solenoidPin, LOW);

}

void loop() {

float red,green,blue;
tcs.getRGB(&red,&green,&blue);
int R = int(red);
int G = int(green);
int B = int(blue);
String color = "";
  if((R-G>50)&(R-B>50)){
    color = "Rojo";
  }
  if((G-B>10)&(G-R>30)){
    color = "Verde";
    digitalWrite(solenoidPin, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(solenoidPin, LOW);
  }
  if ((B-G>20)&(B-R>40)){
    color = "Azul";
  }
  if ((R-B>40)&(G-B>40)){
    color = "Verde";
    digitalWrite(solenoidPin, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(solenoidPin, LOW);
  }
  Serial.print("  Color: ");Serial.print(color);
  Serial.println();

}

```



## ANÁLISIS DE COSTOS

Este proyecto, al tratarse de un prototipo, los costos pueden variar según los materiales utilizados. Si se desea realizar una implementación a nivel industrial, es necesario revisar los materiales que se emplearían para reemplazar los componentes del prototipo, lo cual también podría modificar el análisis de costos. Por ende, se realizó el análisis de costos para ambos casos con el fin de tener un estimado en la diferencia de costos, además, se debe tener en cuenta que los precios pueden fluctuar dependiendo del lugar de compra de los componentes.

### Costos prototipo escala laboratorio

Costos directos			
Ítem	Cantidad	Valor Unitario (pesos)	Total acumulado
Sensor tcs34725	1	17.000	17.000
Tabla MDF de 4mm 1.83 x 2.44	1	60.000	60.000
Solenoide Push Pull JF-0530B 12V 5N Carrera 10mm 300mA	1	27.000	27.000
Arduino UNO R3 genérico	1	40.000	40.000
Mano de obra	3	40.000	120.000
Jumpers	12	250	3.000
Mantenimiento	N/A	10.000	10.000
Fuente de alimentación de 12v	1	8.000	8.000



Servicio de máquina de corte laser	N/A	-	20.000
Total			305.000

### Costos a escala industrial

Para la adaptación a escala industrial además de tener un incremento en los costos, hay un cambio en el diseño debido al cambio de materiales y componentes electrónicos. Por ejemplo, el material ya no sería madera, sino acero inoxidable, que es el material propuesto en el diseño realizado. Además, debido a su forma compacta y delgada el sensor de color tcs34725 puede ser mejorado respecto a su respuesta para mejorar la eficiencia del modelo, por lo que se tendría que hacer una inversión para este tipo de cosas, así mismo como para el cambio del controlador que no sería necesariamente un Arduino, sino que se cambiaría al diseño de una tarjeta programable más enfocada a la industria.

Costos Directos			
Ítem	Cantidad	Valor Unitario (pesos)	Total acumulado
SENSOR DE COLOR RGB JK-LX101	1	444.600	444.600
Lamina Acero Inoxidable 1.50mm 1220X2440	0.2	510.900	102.180
Electroimán Solenoide Eléctrico Tipo Empuje	1	50.000	50.000



Tubular Xrn-19/42tl 12v100			
PLC AMSAMOTION- AMX-FX3U-26MR- E-24VDC	1	578.900	578.900
Mano de obra	8 horas	30.000	240.000
100 Ft Bobina 24 Awg Cable Núcleo Sólido 300v Calibre 24 Negro	1	50.000	50.000
Mantenimiento	1 hora	40.000	40.000
Total			1'505.680

#### Costos fijos mensuales

Producto o servicio	Valor (pesos)
Técnico de mantenimiento	2'500.000
Energía eléctrica	1'200.000
Agua y alcantarillado	250.000
Gas natural	150.000
Internet y telefonía	400.000
Total	4'500.000

#### Inversión inicial

Producto	Valor (pesos)
Computador	3'000.000
Herramientas	2'500.000
Cortadora De Lamina 1 Metro	2'900.000
Máquina soldadora láser 5 en 1 para reparación de moldes de hierro, 1500w, 2000w, 3000w	2'520.000
Total	10'920.000

#### Cálculo del retorno sobre la inversión

Costo de la inversión = 10'920.000



Precio de venta por unidad = \$ 2'000.000

Volumen de ventas mensuales = 12

Costos mensuales = \$4'500.000 + \$18'068.160 = \$22'568.160

Beneficio obtenido neto = (\$2'000.000\*12) - \$22'568.160 = \$1'431.840

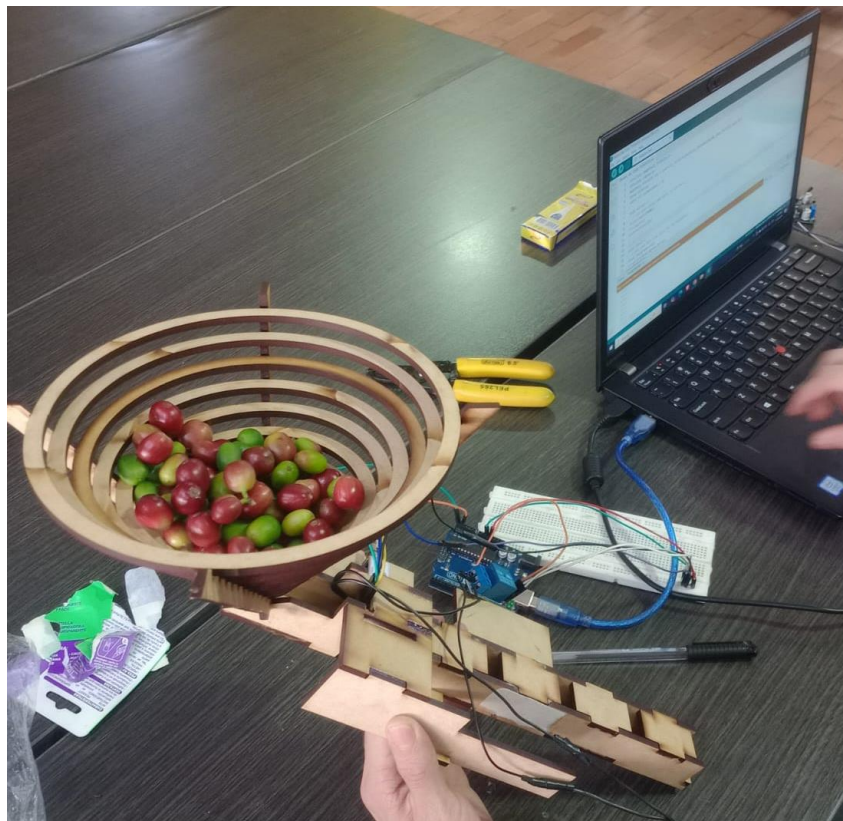
$$ROI = \left( \frac{1'431.840}{10'920.000} \right) \cdot 100 = 13,11\%$$



## RESULTADOS

Luego de realizar el ensamblaje del prototipo hecho en MDF de 4mm se comenzó con la realización de las pruebas con los granos de café para verificar el funcionamiento del sistema, a continuación, algunas evidencias.

*Figura 21. Prototipo a escala laboratorio de seleccionadora de granos de café.*



En la imagen se puede evidenciar el montaje completo del prototipo durante la realización de las pruebas de clasificación.



En la imagen se puede observar la implementación de la estructura postulada y el diagrama eléctrico que está compuesto por Arduino uno, modulo relé, actuador solenoide 12v y sensor de color TCS34725.

Para probar el sistema se utilizaron granos de café en cereza en distintos estados de maduración, obtenidos de la finca el hatilo, ubicada en la peña Cundinamarca. Al momento de realizar las respectivas pruebas del sistema, se encontraron algunos errores en la construcción, por lo que se realizaron algunas mejoras y propuestas para solucionar estas falencias en el diseño. Luego de esto se recopilaron los datos de la respectiva clasificación de granos de café en la siguiente tabla.

	<b>Granos maduros</b>	<b>Granos verdes</b>
Total	59	36

	<b>Granos verdes clasificados</b>	<b>Granos verdes no clasificados</b>	<b>Efectividad</b>
Intento #1	28	8	77,78%
Intento #2	25	11	69,44%
Intento #3	30	6	83,33%
Intento #4	22	14	61,11%
Intento #5	31	5	86,11%

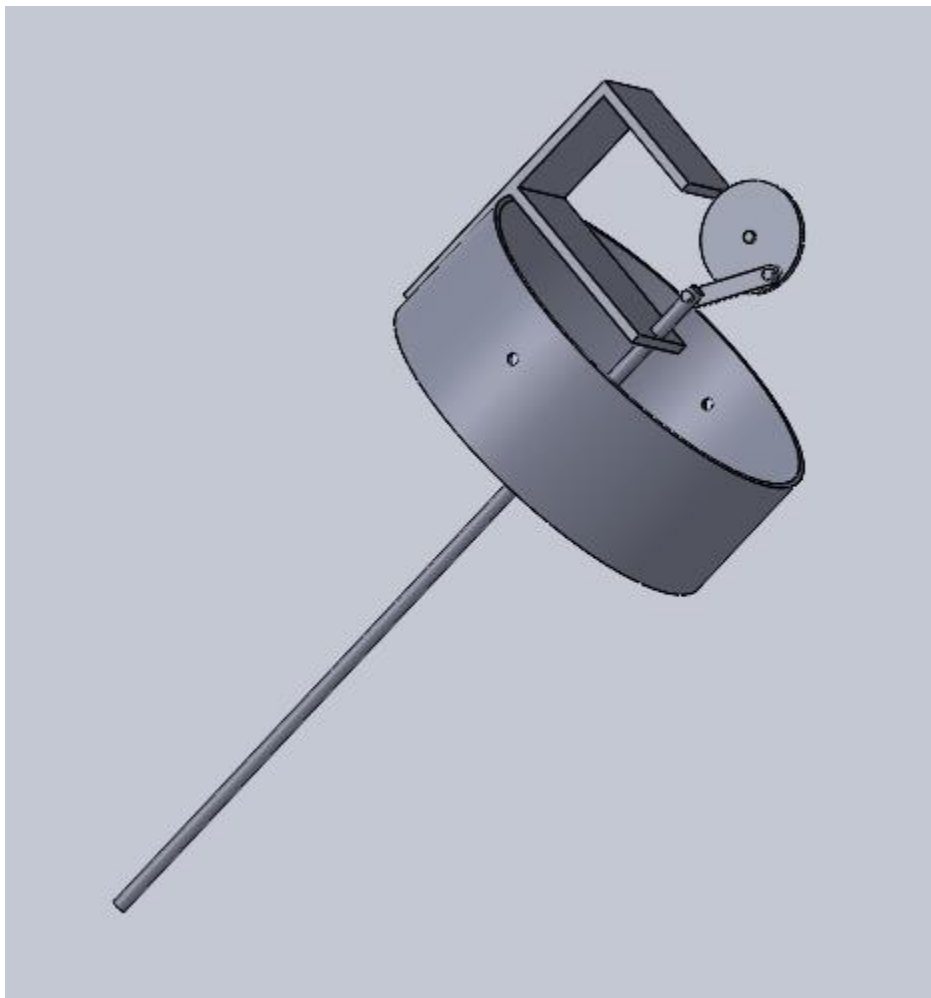
Una de las propuestas de mejora del prototipo a tener en cuenta, es la del sistema de empuje de los granos por el orificio de la tolva, debido a que cuando se ingresa el café a la tolva de forma abrupta, los granos bloquean la salida debido a que la tolva es considerablemente pequeña para que salgan los granos



individualmente.

Por ellos se añadió una pieza al ensamble que es un mecanismo para empujar los granos de café, aquí prueba de ello:

*Figura 22. Pieza añadida para resolver problemas de bloqueo en granos de café.*



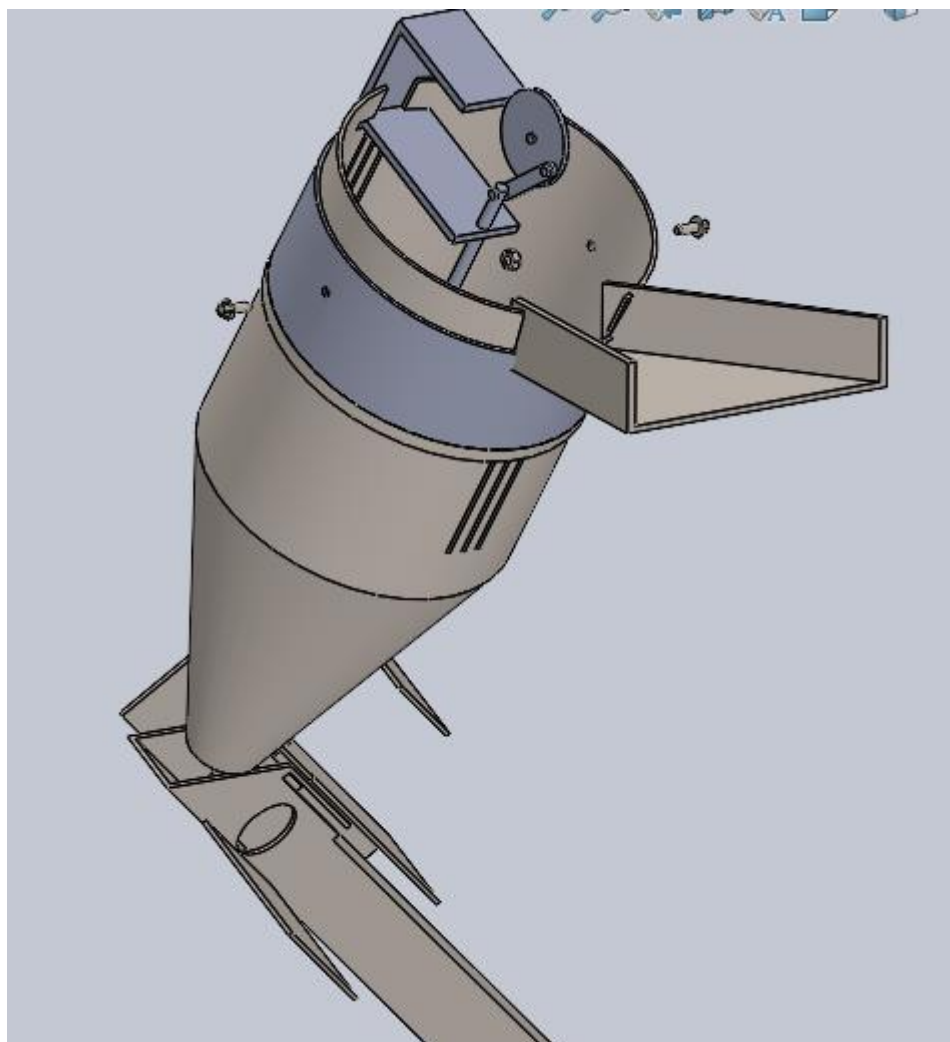
Pieza con el objetivo de que el vástago empuje granos bloqueados en la tolva.

Fuente propia



Por tanto, el ensamble final, para una propuesta de escala industrial quedaría de la siguiente manera:

*Figura 23. Ensamble para propuesta industrial con las respectivas correcciones.*



Modificación al ensamble final con correcciones para propuesta en el ámbito agroindustrial. Fuente propia



Otro aspecto para tener en cuenta es que la eficiencia de este sistema se ve afectada por el número de granos que se encuentren dentro del riel, es decir, cuando se llena completamente el riel, tiene una mayor eficiencia. El motivo de dejar este sistema de esta manera es que posterior a este proceso de selección, como se menciona en el diagrama de bloques del proceso del café (figura 11), se hace el proceso de despulpado, el cual en este proceso, los granos generalmente quedan suspendidos en la tolva de la maquina despulpadora, es decir, esta tolva hay momentos en los que se llene, por consiguiente, el riel de la seleccionadora de granos de café a implementar quedara también llena, y el flujo de los granos será mejor regulado que cuando esté vacío.



## CONCLUSIONES

En conclusión, el desarrollo del prototipo de clasificadora de granos de café en MDF ha evidenciado la factibilidad de emplear máquinas para automatizar el proceso del café. Aunque el prototipo en escala de laboratorio contó con diversos retos en cuanto a precisión y modificación de parámetros, se consiguió desarrollar un sistema que permite distinguir los granos de café verde (inmaduro) y rojo (maduro), así como activar el mecanismo que expulsa el grano del rail (solenoides). Este proceso iterativo de prueba y error fue fundamental para optimizar el rendimiento de la máquina y obtener resultados más claros, ya que, la precisión en la detección del color y la sincronización del solenoide lineal son factores determinantes para la eficacia de la clasificación de granos de café.

Finalmente, el prototipo de clasificadora de café desarrollado en este proyecto ha demostrado la viabilidad económica y la eficacia de automatizar el proceso de clasificación de granos. A pesar de tratarse de un sistema a escala laboratorio, los conocimientos adquiridos y los resultados obtenidos son importantes para el desarrollo de soluciones industriales más robustas y eficientes. La implementación de esta tecnología en fincas cafeteras podría mejorar significativamente la calidad del café y reducir su tiempo de producción.



## REFERENCIAS

- Carvajal-Herrera, J. J., Aristizábal-Torres, I. D., Oliveros-Tascón, C. E., Mejía-Montoya, J.W., (2011). Colorimetría del Fruto de Café (*Coffea arabica* L.) Durante su Desarrollo y Maduración. Scielo, 12.
- Chumillas Technology. (2022). ¿En qué consiste el proceso de dosificación? Recuperado de [chumillastechnology.com](http://chumillastechnology.com)
- Congreso de Colombia. (2001). Ley 697 de 2001: Por la cual se promueve el uso racional y eficiente de la energía, se fomenta el uso de energías alternativas, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 44.509 del 3 de octubre de 2001. <https://www.funcionpublica.gov.co>
- DE LA SEMILLA a LA TAZA - Café de Colombia. (2020). Café de Colombia. <https://www.cafedecolombia.com/particulares/de-la-semilla-a-la-taza/>
- Diagrama de flujo del proceso - Café - Productos y servicios - Sucden. (s/f). Recuperado el 3 de diciembre de 2024, de <https://sucden.com/es/products-and-activities/coffee/process-flowchart/>
- Dosificador Sinfin versátil y preciso | Mdepack. (s. f.). Mdepack - Soluciones Integrales de Envasado. <https://mdepack.com/maquinaria-de-ensado/dosificadores/dosificador-sinfin/>



- Doan, M. C. (2024, marzo 20). ¿Es tóxico el humo del filamento de PLA? Alveo3D. <https://www.alveo3d.com/es/humo-filamento-pla/>
- Editorial la Unidad S.A. (31 de enero de 2024). Colombia sigue en el top 3 de productores de café del mundo. EL NUEVO SIGLO. Obtenido de EL NUEVO SIGLO: <https://www.elnuevosiglo.com.co/economia/colombia-sigue-en-el-top-3-de-productores-de-cafe-del-mundo-0#:~:text=Los%20datos%20muestran%20que%20en,11%2C35%20millones%20de%20sacos.>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2023). Informe del Gerente 2023. <https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2023/11/IG-92-CNC-DIGITAL.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (s/f). 6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y DEL BENEFICIO DEL CAFÉ. En Guía Tecnológica del Cultivo. Recuperado el 7 de septiembre de 2024, de <https://federaciondefcafeteros.org/static/files/8Capitulo6.pdf>
- Farah, A. (2019). Coffee: Production, quality and chemistry. CPI Books. <https://books.google.es/books?id=SRSEDwAAQBAJ&lpg=PA3&ots=Pomv3xnNY6&dq=process%20of%20coffee%20production&lr&hl=es&pg=PA17#v=onepage&q=process%20of%20coffee%20production&f=false>



- KEYENCE CORPORATION. (s/f). ¿Qué es un sensor de color? KEYENCE. Recuperado el 14 de septiembre de 2024, de <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/color/info/>
- Ley 9 de 1979: Congreso de la República de Colombia. (1979). Ley 9 de 1979: Por la cual se dictan medidas sanitarias. Diario Oficial No. 35.321 del 24 de enero de 1979. <https://www.funcionpublica.gov.co>
- López, A. (2024, febrero 29). Guía completa sobre los sensores de color. Manufactura Latam. <https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/guia-completa-sobre-los-sensores-de-color>
- Marín-López, S. M., Arcila-Pulgarín, J., Montoya-Restrepo, E. C., & Oliveros-Tascón, C. E. (2003). RELACIÓN ENTRE EL ESTADO DE MADUREZ DEL FRUTO DEL CAFÉ Y LAS CARACTERÍSTICAS DE BENEFICIO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LA BEBIDA 1. Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/254/1/arc054%2804%29297-315.pdf>
- Mdepack. (2015). Dosificador Sinfín versátil y preciso. <https://mdepack.com/maquinaria-de-ensado/dosificadores/dosificador-sinfin/>
- Metrika Supply. (s/f). Alimentadores Centrífugos. Recuperado el 12 de septiembre de 2024, de <https://www.metrikasupply.com/blank-3-1-1-2-2-1-1-1-1>



- Microcontrolador - qué es y para que sirve. (2017, noviembre 12). HeTPro-Tutoriales. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>
- Monsalve, G. G., González, H., & Cortés, E. (2009). Metodología de mantenimiento con posible aplicación en el sector agroindustrial. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 4(2), 137-150.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). Resolución 627 de 2006: Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Diario Oficial No. 46.205 del 7 de abril de 2006. <https://www.minambiente.gov.co>
- Prime. (2022, junio 30). Plástico PLA: qué es y para qué se utiliza este material. Primebiopolymers. <https://primebiopol.com/plastico-pla-que-es-y-para-que-se-utiliza/>
- ¿Qué es un Bowl Feeder? - Todo sobre su Funcionamiento - TAD. (2024, marzo 1). TAD Bowl Feeders. <https://tad.group/bowl-feeder-todo-sobre-su-funcionamiento/>
- Resolución 2674 de 2013: Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Resolución 2674 de 2013: Por la cual se establecen los requisitos sanitarios que deben cumplir los alimentos y su reglamentación. Diario Oficial No. 48.834 del 22 de julio de 2013. <https://www.invima.gov.co>



- RESOLUCION 4143 DE 2012. Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-4143-de-2012.pdf>
- RESOLUCION 683 DE 2012. Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0683-de-2012.pdf>
- Se habla Café (2019, octubre 29). Anatomía del café. ¿cuáles son los nombres de las partes del café?. <https://sehablacafe.com/hablemos/anatomia-de-la-fruta-y-semilla-del-cafe/>
- Silva, G. (s/f). 6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO Y DEL BENEFICIO DEL CAFÉ. Federaciondecafeteros.org. <https://federaciondecafeteros.org/static/files/8Capitulo6.pdf>
- Unknown. (s. f.). DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL CAFE. [https://elaboraciondeproductosdecafe.blogspot.com/2016/03/blog-post\\_69.html](https://elaboraciondeproductosdecafe.blogspot.com/2016/03/blog-post_69.html)
- Yara Chile (s/f). Corte de una cereza de café [figura]. Recuperado de <https://www.yara.cl/nutricion-vegetal/cafe/cafe-glosario/>