

Diseño y construcción de una desgranadora rotativa de semillas de frijol

Design and construction of a rotary bean seed sheller machine

Jorge Alexander Londoño Castañeda^{1*} and Alvaro Guerrero Aguirre²,

RESUMEN

Palabras clave:

Daño mecánico en el frijol
Desgranadora de frijol
Desgrane manual
Eficiencia de mano de obra
Esfuerzo físico
Prototipo experimental

En la poscosecha del frijol, la actividad de desgrane es realizada comúnmente por medios manuales, abriendo cada vaina para retirar los granos o a través de golpes a la masa cosechada; lo cual representa limitaciones por alto requerimiento de mano de obra y tiempo, además, considerable esfuerzo físico de los trabajadores. Para dar solución a este problema se diseñó y construyó un prototipo experimental de desgranadora mecánica, accionada por un motor eléctrico, capaz de separar el grano de la gavilla que puede ser usado en diferentes variedades de frijol, con bajo daño mecánico y disminuyendo el número de jornales requeridos para esta actividad. Adicionalmente, durante el proceso de diseño y construcción, se consideró el uso de materiales de bajo costo y fácil adquisición. También se realizó un análisis ergonómico y de seguridad del operario. La desgranadora de frijol consta de un rodillo con paletas y sistemas de zarandas vibratorias. El uso de la máquina, aumentó el rendimiento en 485,1% comparado con el desgrane manual. Se proyecta que, con ajustes en capacidad y durabilidad, este prototipo pueda adaptarse a diferentes escalas de producción. Asimismo, su implementación a nivel comunitario podría fomentar procesos asociativos, y servir como base para futuros desarrollos tecnológicos en la poscosecha del frijol.

ABSTRACT

Keywords:

Mechanical damage to beans
Bean sheller
Manual shelling
Labor efficiency
Physical effort
Experimental prototype.

In the bean postharvest process, shelling is performed manually, either by opening each pod to remove the beans or by hitting the harvested mass. This represents limitations due to high labor and time demands, as well as considerable physical effort required from workers. To address this problem, an experimental prototype of a mechanical sheller was designed and built, driven by an electric motor. It can separate the grain from the sheaf. It can be used for several bean varieties, causing minimal mechanical damage and reducing the number of days used in this activity. Furthermore, during the design and construction process, the use of low-cost and easily acquired materials was demonstrated. An ergonomic and operator safety analysis was also conducted. The bean sheller consists of a roller with paddles and vibrating sieve systems. The use of the machine increased yield by 485.1% compared to manual shelling. It is projected that, with adjustments in capacity and durability, this prototype can be adapted to different production scales. Furthermore, its implementation at the community level could foster associative processes and serve as a basis for future technological developments in bean post-harvest.

¹ CENICAFÉ, Manizales, Colombia. ORCID 0009-0006-2369-3542

² CENICAFÉ, Manizales, Colombia. ORCID 0000-0002-4986-4366

*Corresponding author: jorge.londono@cafedecolombia.com

La producción de *Phaseolus vulgaris* L. (Frijol arbustivo), en las calles del café durante la etapa de levante, representa una alternativa para mejorar la seguridad alimentaria de las familias cafeteras y generar ingresos adicionales antes de obtener la primera cosecha de café (Jaramillo & Salazar, 2021), (Jaramillo & Jaramillo-Jiménez, 2025). Sin embargo, una de las etapas más laboriosas y con menor mecanización en la cadena de producción del frijol es el proceso de desgrane, que consiste en extraer las semillas de las vainas secas (Jaramillo, 2023).

En el mercado existen algunas opciones de máquinas para el desgrane, no obstante, estas suelen tener costos elevados y requerir un mantenimiento complejo. Por ello, surge la necesidad de desarrollar una máquina desgranadora de frijol de bajo costo, con un alto nivel de seguridad, operación sencilla y de fácil mantenimiento. La idea principal para la fabricación de la desgranadora de frijol, se obtuvo, en particular, de máquinas desgranadoras de maíz (*Zea mays* L.), con las cuales se realizaron pruebas preliminares, donde se observaron resultados positivos. Se modificó el área de ingreso, las dimensiones del eje central y sus paletas; adicionalmente se incluyeron las zarandas para la clasificación y extracción del grano de frijol.

El objetivo principal del desarrollo de la máquina, es suministrar una herramienta que permita reducir los tiempos del proceso de desgrane, con un bajo nivel de daño mecánico y disminuyendo el requerimiento de mano de obra, la cual puede destinarse a otras labores agrícolas, y considerando aspectos como la ergonomía y la seguridad del operario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Conceptualización y diseño de la desgranadora de semillas de frijol

Para el diseño de la desgranadora se tuvo en cuenta la alimentación manual de vainas secas, separación de granos y expulsión de gavilla.

El equipo está conformado por una boca de entrada de vainas secas que permite la seguridad del operario, un eje principal con paletas para la destrucción de las vainas que permite la expulsión de la gavilla de gran tamaño en el extremo posterior, tamiz intercambiable

de agujeros circulares que permite contener la gavilla y filtrar el frijol según la variedad, sistema densimétrico de clasificación grano-gavilla basado en mesa vibratoria, sistema motriz con accionamiento manual, paro de emergencia y switch de seguridad en apertura de la tapa principal (ver Figura 1).

La tapa principal de la máquina fue construida en lámina cold rolled calibre 18, está incluye tolva de entrada de vainas secas y la boca de salida de la gavilla.

El eje principal de la máquina fue construido con un tubo de 4" SCH40, al cual se le soldaron las paletas o aspas perpendiculares, que giran a una velocidad de 530 revoluciones por minuto (rpm). Este sistema incluye una bandeja perforada con agujeros circulares que está sobrepuesta a la estructura de forma tal que se pueda intercambiar para clasificar distintos tamaños de granos, según su variedad.

El sistema de clasificación por densidad, construido con un mecanismo de excéntrica, realiza una segunda separación de la gavilla que pasa por la bandeja perforada. Se usaron listones de madera cedro (*Cedrela odorata* L.) por sus propiedades físico-mecánicas para amortiguar el mecanismo vibratorio.

La estructura metálica principal fue construida en su totalidad mediante un ensamblaje soldado de perfiles metálicos de sección cuadrada de 50mm calibre 16. El sistema eléctrico, está conformado por un motor monofásico de 2hp, con un requerimiento energético de 1,765 kWh, para uso en fincas. Adicionalmente, cuenta con un guardamotor de 25 amperios con interruptor de encendido y apagado, un paro de emergencia ubicado al otro extremo del guardamotor y un microswitch de seguridad ubicado entre la tapa principal y la estructura de la máquina.

El prototipo tiene unas dimensiones de 1.230 mm de largo, 1.450 mm de alto y 620 mm de ancho y 120 kg de peso. (ver Figura 2).

La máquina cuenta con guardas de seguridad en los sistemas de transmisión para evitar el contacto de los operarios con partes móviles, garantizando la seguridad durante limpieza o ante atascos. La tolva de

alimentación cuenta con una geometría ergonómica la cual por su longitud impide que las manos del operario alcancen a llegar a las aspas del eje central.

Pruebas de funcionamiento

Para la evaluación de la máquina se midió la cantidad de frijol desgranado por día, utilizando frijol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.). Se realizaron pruebas durante 11 jornadas de trabajo en las estaciones experimentales de Cenicafé: “La Catalina” (Risaralda), “Naranjal” (Caldas) y “El Tambo” (Cauca). La alimentación de la máquina fue realizada de forma manual, con intervalos para el transporte del material a desgranar y para la limpieza de la gavilla sobre la máquina. Se determinaron las siguientes variables:

Eficiencia operativa de la máquina respecto al método manual. Para esto se utilizó la Ecuación 1:

$$\eta = \left(\frac{R_m - R_c}{R_c} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde: η : Eficiencia relativa (%); R_m : Rendimiento de la máquina (kg jornal⁻¹); R_c : Rendimiento del método convencional (manual) (kg jornal⁻¹).

Jornales requeridos con el método convencional, determinado mediante la Ecuación 2.

$$J_c = \frac{R_m}{R_c} \quad (2)$$

Donde: J_c : jornales requeridos con el método convencional.

Porcentaje de uso de jornales, determinado mediante la Ecuación 3.

$$\eta_2 = \left(\frac{J_c - J_m}{J_c} \right) \quad (3)$$

Donde: η_2 : Porcentaje de reducción en el uso de jornales (%); J_m : Jornales requeridos con la desgranadora.

Consumo energético por jornada: determinado mediante la Ecuación 4

$$CE = P \times t \quad (4)$$

Donde: CE : Consumo energético por jornada (kWh) P : Potencia Nominal del motor (kW). t : Tiempo de operación por jornada (h).

Consumo energético por jornada ajustado, con un factor de uso del 75%, se determinó con la Ecuación 5.

$$CE_{ajustado} = P \times t \times 0,75 \quad (5)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Construcción de la desgranadora de frijol

El prototipo alcanzó un rendimiento promedio de 275 kilogramos de frijol desgranado por día, con un 0% de daño mecánico, lo cual representa una mejora significativa frente al desgrane manual cuyo rendimiento se estima en 47 kilogramos por jornal. Esto implica un aumento del 485,1% de eficiencia (Tabla 1). Adicionalmente, durante las pruebas, el prototipo funcionó sin atascos ni fallos mecánicos, demostrando un diseño robusto y confiable. En términos de seguridad, incorpora un paro de emergencia, un sensor de tapa que evita el funcionamiento con el eje expuesto, y guardas en los mecanismos de transmisión, lo que permite cumplir con estándares básicos de seguridad operacional y reduce riesgos de accidentes.

Tabla 1. Valores de eficiencia, jornales y consumo energético de la máquina desgranadora de frijol.

Variable	Unidad	Valor
Eficiencia Operativa (1)	%	485,1
Eficiencia Relativa (2)	jornales	5,85
Uso de jornales (3)	%	83
Consumo energético jornada (4)	kWh	15,89
Consumo energético ajustado (5)	kWh	11,91

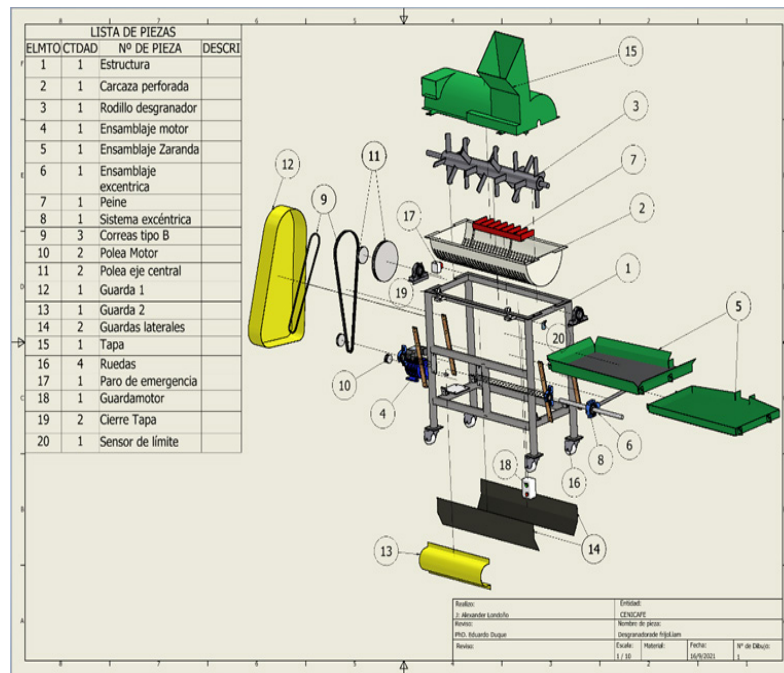


Figura 1. Plano general del diseño de la desgranadora de frijol.

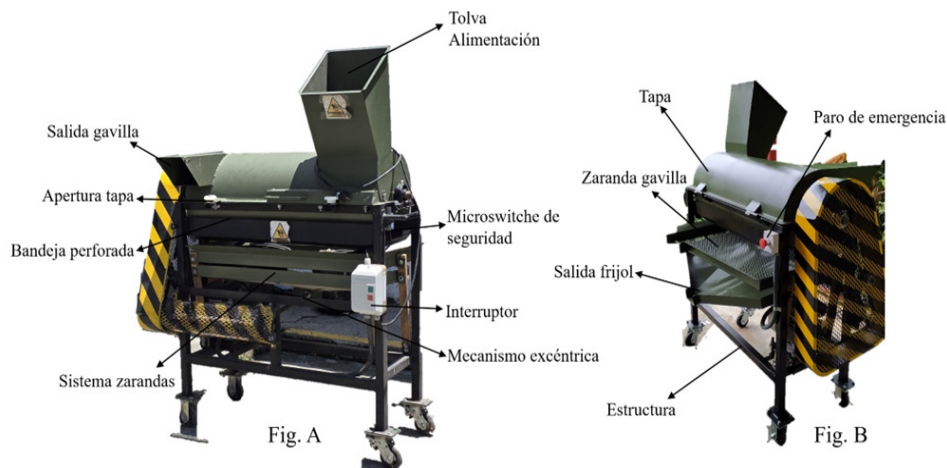


Figura 2 Vista frontal (A) y vista posterior (B)

CONCLUSIÓN

El diseño actual del prototipo, junto con sus materiales de estructura metálica y demás componentes, permiten su escalabilidad a distintas dimensiones, facilitando la adaptación de la máquina para su transporte en campo, fabricación y distribución. Asimismo, se contempla la posibilidad de incorporar motores de combustión a gasolina, lo que permitiría llevar el equipo directamente hasta los lotes de cultivo, incrementando la eficiencia

operativa y evitando el transporte manual de la masa de frijol hasta la máquina.

Gracias al aumento del rendimiento en el proceso de desgrane, este equipo representa una potencial reducción en los costos de mano de obra para pequeños y medianos productores de café y frijol. Además, su diseño posibilita el uso asociativo, beneficiando a un mayor número de agricultores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores presentan sus agradecimientos por la asesoría y colaboración a: Juan Rodrigo Sanz Uribe, Líder de la disciplina de Poscosecha de Cenicafé; Santiago Jaramillo Cardona, Investigador de la disciplina de Fitotecnia; Hugo Mauricio Salazar Echeverry, Investigador de la Disciplina de Economía y a Cenicafé por financiación para la construcción y evaluación.

REFERENCIAS

Jaramillo, S. (2023). Recomendaciones para el manejo agronómico del cultivo de frijol arbustivo en el sistema intercalado con café. *Avances Técnicos Cenicafé* 551, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0551>

Jaramillo, S., & Jaramillo-Jiménez, A. (2025). Nuevas variedades de frijol arbustivo biofortificado adaptadas al sistema intercalado con café. *Avances Técnicos Cenicafé* 571. <https://doi.org/10.38141/10779/0571>

Jaramillo, S., & Salazar, H. M. (2021). Cultivos intercalados: Una alternativa para aumentar los ingresos y la sostenibilidad de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé* 534, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0534>