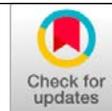


EVALUACIÓN DE LA DERRIBADORA SELECTIVA DE CAFÉ BRUDDEN DSC18

Juan Rodrigo Sanz Uribe *, Hernando Duque Orrego **

Sanz-Uribe, J. R., & Duque, H. (2020). Evaluación de la Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC18. *Revista Cenicafé*, 71(2), 92-104. <https://doi.org/10.38141/10778/71207>



La cosecha de café con la derribadora selectiva de café Brudden DSC18 es parte de la cosecha asistida de café, para los pases de mayor volumen en el año. Esta máquina, que es un desarrollo conjunto entre la empresa brasileña Brudden y Cenicafé, aplica principios novedosos en cosecha de frutales: utiliza las ramas para propagar la vibración y causar la caída de los frutos de café por fatiga del pedúnculo. La máquina basa su selectividad en que los frutos de café maduros necesitan menos ciclos para fallar a fatiga que los frutos verdes. La máquina debe usarse en conjunto con la retención de pases de cosecha y las lonas para recibir los frutos desprendidos. Para determinar el desempeño de la máquina en condiciones reales, se evaluó en lotes con diferentes pendientes de terreno, edades de los árboles y densidad de siembra, en las Estaciones Experimentales de Cenicafé. Los resultados mostraron los siguientes valores promedio: 28,53 kg h-1 de rendimiento, 6,07% de frutos verdes en la masa cosechada, 6,67 unidades/sitio de frutos maduros dejados en los árboles y 12,77 unidades/sitio de pérdidas. El rendimiento con la máquina es 180% más alto que el de un recolector promedio con el sistema tradicional. El bajo contenido de frutos verdes en la masa cosechada confirma el carácter selectivo de la máquina, los frutos maduros dejados en el árbol son aceptables, mientras que los frutos perdidos en el suelo estuvieron muy altos por motivos ajenos al funcionamiento la máquina.

Palabras clave: Cosecha asistida, cosecha selectiva, derribadora, vibración, falla por fatiga, lonas.

EVALUATION OF THE SELECTIVE COFFEE FRUIT KNOCKER BRUDDEN DSC18

The Selective Coffee Shaker Brudden DSC18, is part of the Assisted Coffee Harvesting, for the year's largest production peaks. This machine, which is a joint development between the Brazilian company Brudden (<https://www.brudden.com.br/>) and Cenicafé, applies innovative principles in fruits harvesting. It uses the branches to propagate vibration waves and causes the coffee fruits to fall due to fatigue of the fruit peduncle. The machine bases its selectivity in the fact that ripe coffee fruits need fewer cycles to fall down than immature fruits. The machine must be used in conjunction with the harvest pass retention and plastic tarps on the ground to receive the detached fruits. In order to determine the performance of the machine in real conditions, it was evaluated in coffee plantations with different terrain slopes, trees ages and trees densities, at Cenicafé's Experimental Stations. The results showed the following mean values: yield of 28.53 kg h-1, immature fruits content in the harvested mass of 6.07%, 6.67 ripe units per site of fruits left on the trees, and 12.77 units per site of fruits left on the ground. The yield with the machine was 180% higher than the one obtained by an average coffee picker with the traditional system. The low content of immature fruits in the harvested mass confirms the selectivity of the machine, the ripe fruits left on the trees are acceptable, while, the fruits lost to the ground were very high for reasons unrelated to the operation of the machine.

Keywords: Aided harvesting, selective harvesting, vibrations, fatigue, Plastic Tarps.

* Investigador Científico III. Disciplina de Poscosecha, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-9875-9426>

**Gerente Técnico, Federación Nacional de Cafeteros-FNC.



Las características de la caficultura colombiana son muy particulares. Las plantaciones manejan altas densidades de siembra, sobre suelos muy pendientes que hacen parte de las vertientes de las tres cordilleras que recorren el país de Sur a Norte, o de algunos sistemas montañosos independientes. La diversidad del clima hace que en la mayoría de regiones cafeteras se presenten cosechas semestrales de diferentes magnitudes y distribuciones, que conlleva a que siempre haya frutos de café en diferentes estados de madurez en los árboles, lo cual se convierte en la mayor limitante para obtener cosecha selectiva de café con herramientas manuales o con máquinas.

Con base en este desafío, desde 1997 Cenicafé ha venido trabajando diferentes propuestas para mejorar el rendimiento de los recolectores, con el fin de contribuir a la mejora de los indicadores económicos de los caficultores. Para lo que se propuso el Plan General de Investigación en Cosecha de Café (Figura 1), que tiene diferentes líneas de trabajo para cumplir con el objetivo (Oliveros et al., 2013; Oliveros & Sanz 2011).

La primera línea de investigación, en la que se estudian las propiedades mecánicas

y físicas del árbol de café y sus diferentes órganos (Aristizábal et al., 2003; Álvarez et al., 1999; Ciro et al., 1998a; Ciro et al., 1998b; Ciro et al., 1998c), es transversal a todas las demás. En ella, se han obtenido resultados que han demostrado la dificultad de aumentar el rendimiento de los recolectores y de hacer la cosecha de manera selectiva en las condiciones colombianas.

El principio físico que más se usa en el mundo para la cosecha de frutales es la vibración, buscando la falla de las estructuras del pedúnculo de los frutos por resonancia mecánica. Por esa razón, Araque et al. (2005), Oliveros et al. (2005a,b), Aristizábal et al. (2003), entre otros, trabajaron en el uso de ese principio para el desprendimiento de frutos de café con máquinas portátiles motorizadas (tercera línea de investigación – cosecha semi-mecanizada), encontrando resultados interesantes desde el punto de vista de rendimiento, no así de calidad de la cosecha, ya que se obtuvo un alto contenido de frutos verdes en la masa cosechada y se dejaron frutos cosechables sin desprender.

También ha sido común el uso de vibro-impactos sobre los frutos y ramas para la

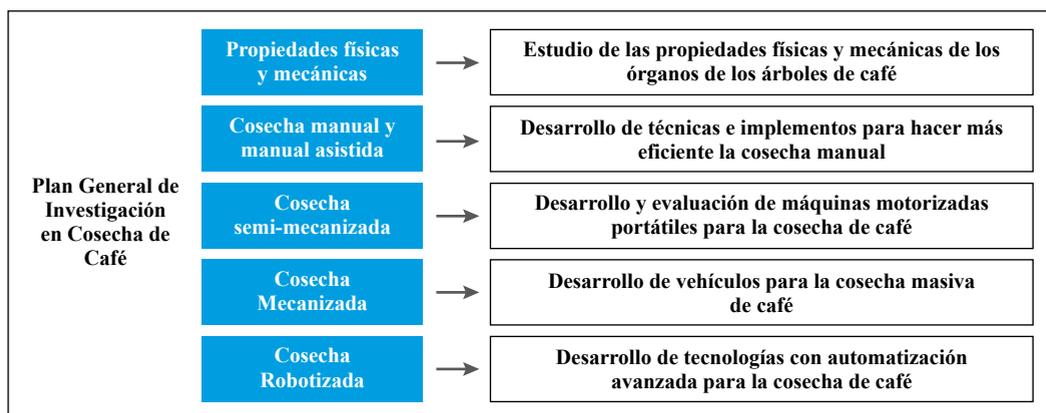


Figura 1. Plan general de investigación en cosecha de café establecido en 1997 en Cenicafé.

cosecha con máquinas portátiles motorizadas. Ramírez et al. (2006), Cardona (2006), Álvarez et al. (2006) y Londoño et al. (2002), entre otros, en Cenicafé, hicieron estudios con desarrollos propios que aplicaban este principio, mientras que Díaz et al. (2005) trabajaron con una máquina desarrollada en Brasil para la cosecha de café por vibro-impactos, encontrando desempeños muy variables y poco repetibles.

Durante el desarrollo de esas investigaciones, Cardona (2006) demostró que los frutos de café no se caen por resonancia mecánica sino por fatiga, cuando son sometidos a esfuerzos repetidos, cambiando completamente el concepto que había hasta entonces para la cosecha de café por vibración. Este hallazgo sirvió de base para que se unieran a la empresa Brudden y Cenicafé para desarrollar una máquina que utilizara el principio de vibración para causar el colapso del pedúnculo por fatiga, a través de altas frecuencias. Por eso, en el año de 2018 se lanzó la Derribadora Selectiva de Café, Brudden DSC18 (Portafolio, 2018), la cual basa su selectividad en que los frutos maduros necesitan muchos menos ciclos para colapsar por fatiga que los frutos verdes.

Adicionalmente, estudios realizados por Sanz et al. (2018a) demostraron que, con las variedades resistentes a la roya del café desarrolladas en Cenicafé, es posible retener mayor tiempo los frutos maduros en los árboles, lo que permite ampliar el tiempo entre pases de cosecha y garantizar mayor disponibilidad de frutos maduros para la recolección, lo cual se convierte en un complemento importante para mejorar el desempeño de los sistemas para recolección manuales y con máquinas, sin detrimento de la calidad del producto. Sin embargo, existe una restricción para hacer el uso de esta técnica, si al inicio de la retención la infestación por broca es mayor o igual a 2,0%.

Por otro lado, Sanz et al. (2018b) y Oliveros et al. (2006) hicieron trabajos relacionados con el uso de lonas en el suelo para recibir los frutos desprendidos, ya sea con la mano o con máquinas portátiles. Por el aumento de la capacidad de recolección y la facilidad de manejo, estos implementos han demostrado que son un complemento para recibir los frutos desprendidos con la derribadora DSC18.

Este trabajo tuvo como objetivo determinar la funcionalidad y el rendimiento de recolección de operarios, trabajando con la derribadora DSC18 en condiciones reales, aplicando la retención de pases de cosecha y usando lonas para recibir los frutos desprendidos, en diferentes regiones del país. Así mismo, se evaluó la calidad de recolección con la máquina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la máquina

La Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC18, consta de tres partes principales (Figura 2): sistema motriz, transmisión remota de potencia y cabeza de cosecha.

Sistema motriz. Consiste en un motor de combustión interna de dos tiempos, con 25,4 cm³ de volumen de cámara de combustión y carburador de diafragma de tipo Walbro referencia WYK 389, con los cuales se obtienen 0,95 kW (1,3 hp) a 9.000 r min⁻¹.

Transmisión remota de potencia. Se realiza a través de un tubo de aluminio, dentro del cual hay un eje delgado y resistente, que transmite el movimiento giratorio desde el motor hasta la cabeza de cosecha.

Cabeza de cosecha. Este dispositivo mecánico tiene dos funciones principales, la primera

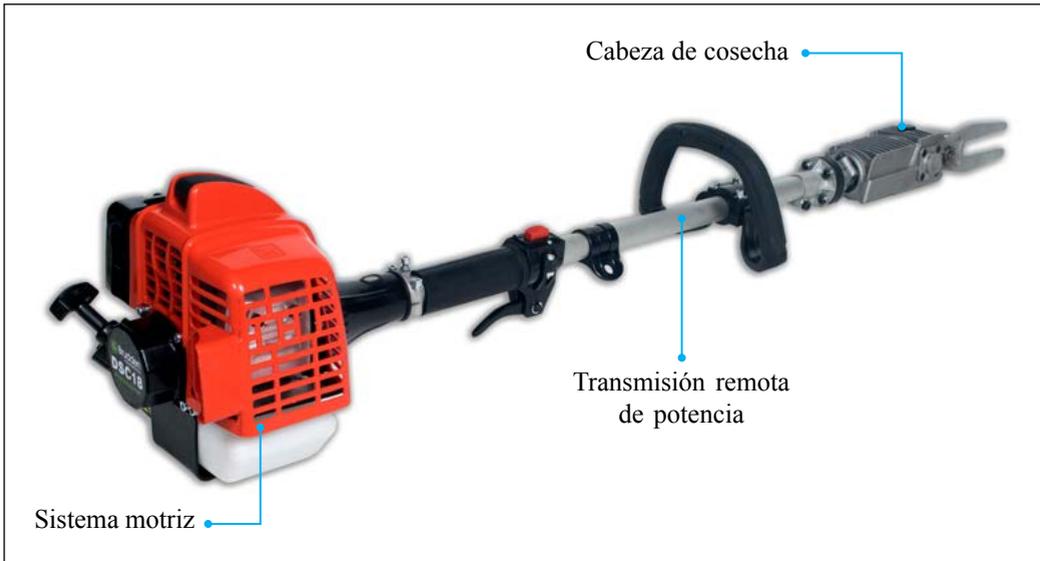


Figura 2. Partes de la máquina derribadora DSC18.

consiste en aumentar la velocidad de giro desde 9.000 hasta 13.500 r min^{-1} (equivalente a 220 Hz), y la segunda consiste en convertir el movimiento giratorio en movimiento oscilatorio de $1,1^\circ$ de amplitud, con el fin de tener la horquilla oscilando con una amplitud de 3 mm en el extremo, a una frecuencia de 220 Hz.

El aumento de velocidad de giro se realiza internamente con una transmisión de 1,0:1,5 conformada por dos piñones cónicos de alto ajuste. Por otro lado, el cambio de movimiento se realiza a través de un mecanismo excéntrico.

Dadas las altas velocidades de giro, las características de los mecanismos internos y la alta frecuencia de las vibraciones, en la cabeza de cosecha se disipa energía en forma de calor, lo que hace que las piezas que la conforman, aumenten su temperatura. Por esa razón, se requiere de lubricación interna con aceite de alta viscosidad e intercambio de calor con el ambiente a través de aletas.

El aparato posee piezas que balancean los mecanismos que hay al interior de la cabeza de cosecha, sin embargo, dada las características de la oscilación generada, todavía hay vibraciones que son transmitidas a la estructura de la máquina. Así mismo, cuando los operarios tocan las ramas, también se sienten las reacciones de la fuerza que se ejerce, en forma de vibración. Para disipar las vibraciones que llegan al operario a través de la estructura cuando utiliza la derribadora, el equipo posee un amortiguador conformado por un acople con un elastómero de características especiales, ubicado en un sitio adecuado entre la cabeza vibratoria y las manos del operario.

La horquilla es en forma de U y es el elemento principal de la cabeza de cosecha (Figura 3), el cual está sometido a grandes esfuerzos mecánicos por las altas vibraciones y por las reacciones mencionadas. Por esta razón, esta pieza requirió un material de construcción liviano pero muy resistente (aleación de aluminio de alta resistencia),

especialmente a la fatiga, lo mismo que mayor dedicación de diseño y pruebas de laboratorio antes de volverla una pieza comercial.

El punto de aplicación de la vibración o toque sobre las ramas se hace solamente con las caras externas de la horquilla, como se muestra en la Figura 4. La parte interior de la U de la horquilla es para hacer el repase de los frutos que no hayan sido desprendidos con el toque de cosecha, como se va a explicar más adelante.

Principios físicos que gobiernan el fenómeno

La cosecha de café con la derribadora DSC18 está gobernada fundamentalmente por dos principios físicos: La propagación de ondas en medio sólido y la falla de estructuras por fatiga.

Propagación de ondas en medio sólido.

Cuando un cuerpo golpea una rama de café, ella sirve de medio para que una onda se propague hasta el extremo. Cuando la horquilla de la derribadora DSC18 toca la rama vibrando a 220 Hz, esa serie de ondas se propagan hasta el extremo a esa alta frecuencia. Ese efecto hace que todas las partes de la rama y

todos los órganos que están sobre las ramas se muevan a esa misma frecuencia.

No obstante, dado que la rama es muy poco rígida por su naturaleza visco elástica, la vibración se disipa fácilmente. Por esta razón, debe aplicarse la vibración en un punto donde la estructura tenga mayor rigidez, lo que sucede cerca de la unión de la rama y el tallo, conocido como punto de inserción. Por esta razón, se recomienda hacer el toque con la horquilla vibrante a 5 o 10 cm del punto de inserción, para que la propagación de la onda sea efectiva.

Las características de la propagación de la onda en la rama hacen que la derribadora sea solamente apta para trabajar bien en ramas primarias. Afortunadamente, todas las variedades que se siembran en Colombia tienen como característica particular que están conformadas por ramas primarias. No obstante, en árboles de quinta cosecha es común encontrar algunas pocas ramas secundarias en las partes bajas, en las que los frutos maduros no se desprenden por el efecto de la vibración impartida por la derribadora. Esto también limita el uso de la máquina en plantaciones donde se practican podas, como la poda calavera,

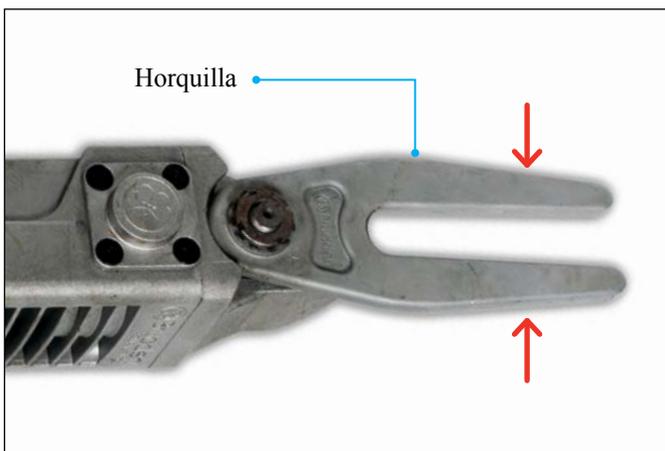


Figura 3. Cabeza de cosecha mostrando los puntos con los que se tocan las ramas.

el despunte y la zoca pulmón, descritas por Rendón (2016), porque la producción se da en ramas secundarias y terciarias.

Falla por fatiga. Cuando se hacen movimientos repetidos sobre una estructura, esta colapsa si los esfuerzos alcanzan un valor predeterminado por la fatiga. Por eso es que cuando a un alambre se le aplican movimientos repetidos, se corta cuando alcanza cierto número de ciclos. Lo mismo sucede con la estructura del pedúnculo, falla cuando alcanza cierto número de ciclos, dependiendo de la frecuencia de vibración.

Cuando las ondas se propagan sobre las ramas, los frutos experimentan movimientos oscilatorios y desplazamientos repetidos que hacen que los pedúnculos fallen por fatiga y los frutos caigan. La clave de la derribadora para que sea selectiva es que los frutos maduros necesitan menos ciclos para fallar por fatiga que los frutos verdes. Por esta razón, dado que la caída selectiva de los frutos maduros depende del tiempo de aplicación de vibración sobre la rama, la experiencia de los operarios juega un papel muy importante en el uso efectivo de la máquina.

Metodología

Esta investigación se realizó en lotes de seis de las Estaciones Experimentales de Cenicafé, ubicadas en Paraguaicito (Quindío), La Trinidad (Tolima), El Tambo (Cauca), San Antonio (Santander), El Rosario (Antioquia) y Pueblo Bello (Cesar), las cuales presentaron condiciones contrastantes de pendiente, distancia de siembra y edad de la plantación. Las pruebas se realizaron entre los meses de abril y noviembre de 2019.

Las pruebas se programaron con base en el pronóstico de cosecha basado en los registros de floración usando el método de

Rendón et al. (2008), en el cual se seleccionó el pase más voluminoso. Al pase de cosecha seleccionado se le practicó la retención entre 30 y 35 días, para tener mayor disponibilidad de frutos maduros, sin afectar la calidad del producto.

En cada lote seleccionado se realizaron todas las prácticas agronómicas recomendadas por Cenicafé. El resto de los pases de cosecha se recolectaron de diferente forma. Los flujos de cosecha muy bajos con cosecha tradicional con coco, pases más voluminosos con lonas y se dejó el pase de mayor producción para las pruebas con la derribadora DSC18.

Para usar la derribadora DSC18 se tuvieron en cuenta las condiciones mínimas de carga y concentración de frutos maduros de 1,0 kg por árbol y 50%, respectivamente. Cuando no se cumple con estos requerimientos, se espera una reducción en el rendimiento, porque se dedica mucho tiempo de repase, y un mayor contenido de frutos verdes en la masa cosechada. La derribadora se usó en combinación con las lonas, que son implementos fabricados con mallas de 70% de sombreado, de 3,0 m x 12,5 m, hechas de fibra de polipropileno y con cierre Velcro® en sus extremos más largos, las cuales son extendidas debajo de los árboles, con el fin de recibir los frutos desprendidos, ya sea manualmente o con máquina (Sanz et al., 2018b; Oliveros et al. 2006).

Antes de las pruebas se seleccionaron tres operarios de la Estación Experimental correspondiente, quienes fueron entrenados tanto en el manejo de las lonas como en el manejo del equipo Brudden DSC18. A los recolectores se les enseñó a manejar las lonas para hacer cada una de las labores requeridas en el menor tiempo posible. Así mismo, se les aclaró que, con la máquina acelerada al máximo, el punto de toque de la horquilla debe ser en un lugar donde la rama es rígida,

lo cual ocurre a unos 5 o 10 cm de distancia desde la inserción de la rama al tallo principal; también que, el tiempo de aplicación de la vibración en la rama es menor de 1,0 s para ser selectivo, y que el toque de la horquilla debe hacerse sin desplazamiento lateral para no causar daño sobre la rama.

Antes de cada prueba se conformó aleatoriamente una pareja de operarios, con el fin de mantener un suplente. La recolección para esta investigación siempre se hizo con el sistema: dos máquinas, dos lonas y dos operarios. Las pruebas se hicieron por toda la jornada, por lo que la duración de la jornada fue variable dependiendo del clima. Las variables de respuesta fueron duración de la jornada (horas), masa de café recolectado (kg), contenido de frutos verdes en la masa cosechada (%), frutos maduros dejados en los árboles (frutos/sitio) y frutos caídos al suelo (frutos/sitio). Con la masa recolectada y el tiempo empleado durante la jornada se calculó el rendimiento (kg h^{-1}), incluyendo el tiempo ocioso y el tiempo invertido en la labor.

Como referencia, el rendimiento promedio de un recolector con el sistema tradicional es de $12,5 \text{ kg h}^{-1}$, se permite hasta 2,5% de frutos verdes en la masa cosechada, pueden dejarse hasta un máximo de 5 frutos maduros por sitio sin desprender, y se acepta hasta un máximo de 5 frutos caídos por sitio accidentalmente sobre el suelo. Se estima que un contenido de frutos verdes en la masa cosechada por encima de 2,5% tiene incidencia negativa sobre la calidad del producto final (Puerta, 2000), mientras que los límites de frutos sin desprender y de pérdidas al suelo están dados para control de la broca del café (Bustillo et al., 1994).

En la Figura 4 se muestra el diagrama de flujo de la cosecha con la derribadora DSC18

y las lonas, además de todas las actividades que se requieren durante el trabajo.

Para comenzar, se tuvieron listos todos los elementos, implementos y equipos necesarios para empezar la cosecha de café con la derribadora. Posteriormente se hicieron las actividades para tener las lonas listas para recibir los frutos desprendidos con la máquina, como son extender las lonas en la posición correcta y cerrar el velcro para que haya cubrimiento total debajo de los árboles. Posteriormente, se realizó la cosecha con la máquina de la manera recomendada y se hizo el repase de los árboles, de ser necesario. Después se despegaron cuidadosamente las lonas y se analizó si el contenido estaba en el orden de los 40 o 50 kg; si no estaban muy pesadas, las lonas se reubicaron en otra parte del surco o en nuevo surco para extenderlas en ese sitio y se realizó nuevamente el ciclo de cosecha. Si la lona estaba muy pesada, se movió el café desprendido hacia el extremo, se removieron las hojas y se empacó el café en las estopas. Si la jornada no había terminado, se reubicaron las lonas en un nuevo sitio de recolección y se procedió a realizar nuevamente el ciclo de cosecha.

Los datos se analizaron a través de medidas de tendencia central en las que se determinó el promedio y como medida de dispersión la desviación estándar, de cada una de las variables que miden el desempeño de la máquina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las seis de las Estaciones Experimentales de Cenicafé seleccionadas para esta investigación, se removieron del análisis las pruebas realizadas en Paraguaicito (Quindío), La Trinidad (Tolima) y Pueblo Bello (Cesar), porque no presentaron la carga mínima ($1,0 \text{ kg/árbol}$) para obtener buen desempeño con el uso de la máquina.

Tabla 2. Resumen de los resultados obtenidos con el uso de derribadora DSC18 para cosecha de café.

N°	R		V		M		P		Cosecha		Arreglo	Carga (kg/sitio)
	(kg h ⁻¹ hombre)	(%)	(%)	(%)	(unidades/sitio)	(unidades/sitio)	(unidades/sitio)	(unidades/sitio)	Estación	Cosecha		
1	24,61	6,2	2,0	3,60	El Tambo	5	1,7x1,0	2,60				
2	29,14	7,2	2,8	4,10	El Tambo	5	1,7x1,0	2,60				
3	27,48	5,1	3,0	6,00	El Tambo	2	1,0x1,0	2,44				
4	49,39	3,8	6,2	7,60	El Tambo	2	1,0x1,0	2,44				
5	46,77	4,5	3,6	5,70	El Tambo	2	1,0x1,0	2,44				
6	40,04	5,1	4,3	14,60	El Tambo	2	1,0x1,0	2,44				
7	33,64	4,8	5,8	8,40	El Tambo	2	1,0x1,0	2,44				
8	25,25	3,9	3,2	8,60	El Tambo	2	1,0x1,0	1,28				
9	20,25	3,8	2,2	4,30	El Tambo	2	1,0x1,0	1,28				
10	20,92	2,7	4,2	3,90	El Tambo	2	1,0x1,0	1,28				
11	15,08	3,0	2,0	5,20	El Tambo	2	1,0x1,1	1,28				
12	14,65	13,0	10,0	9,90	San Antonio	2	1,5x1,5	1,16				
13	20,68	10,0	11,8	8,00	San Antonio	2	1,5x1,5	1,38				
14	26,53	6,7	26,1	56,90	El Rosario	2	1,1x1,3	1,53				
15	33,50	11,2	12,9	44,80	El Rosario	2	1,1x1,3	1,64				
Prom.	28,53	6,07	6,67	12,77								
D.E.	10,50	3,08	6,44	15,89								

que es 2,8 veces más rápido que la cosecha con el método manual tradicional. No obstante, el histograma del desempeño de la cosecha con derribadora DSC18 tiene una alta desviación estándar (medida de dispersión), lo cual se explica porque todavía está en proceso de aprendizaje de utilización del equipo y adopción de los conceptos de cosecha asistida.

El promedio de los frutos verdes en la masa cosechada fue de 6,07%, el cual es aceptable para la cosecha semi-mecanizada de café, lo que hace resaltar el carácter selectivo de la máquina, pues se encuentra muy cerca del contenido de frutos verdes en la masa cosechada manualmente, ya que no hay cuantificación de los frutos verdes que dejan los recolectores en los lotes para cumplir con los estándares de la recolección en las fincas. El promedio de 6,67 unidades/sitio de frutos cosechables dejados en los árboles estuvo ligeramente por encima del límite de 5 unidades/sitio para control de broca, lo cual se considera aceptable para cosecha semi-mecanizada.

El promedio de las pérdidas de 12,77 frutos/sitio está lejos de ser aceptable, pues

el valor difiere de los obtenidos en otras evaluaciones, y no está relacionado con el desempeño de la máquina sino con el manejo de las lonas, lo cual es susceptible de mejora con la experiencia. Adicionalmente, las pérdidas de frutos al suelo en las pruebas realizadas en la Estación Experimental El Rosario estuvieron por encima de los 40 frutos/sitio, las cuales tuvieron gran influencia en el alto valor del promedio general; si no se incluyeran estos dos valores, el promedio sería de 6,92 unidades/sitio, valor que se encuentra cerca del límite aceptable (5 unidades/sitio) para la cosecha con máquinas portátiles motorizadas.

Adicionalmente, se encontró una tendencia directamente proporcional entre el aumento de la carga de frutos cosechables y el rendimiento de los operarios (Figura 6).

En conclusión, la cosecha de café con la derribadora selectiva de café DSC18 presentó un aumento del rendimiento en comparación con el sistema tradicional (180%), atractivo para ser usada en las fincas cafeteras. Adicionalmente, fue comprobado el carácter selectivo de la máquina, dado el bajo contenido de frutos

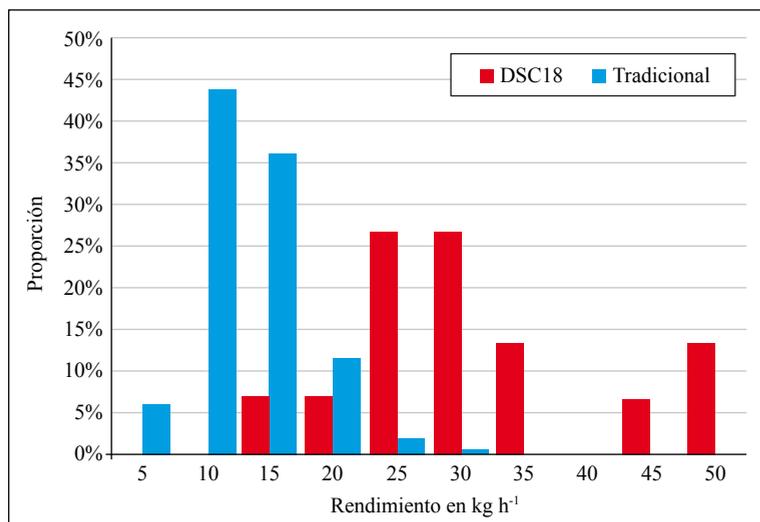


Figura 5. Distribución del rendimiento con derribadora DSC18 y con cosecha tradicional con coco.

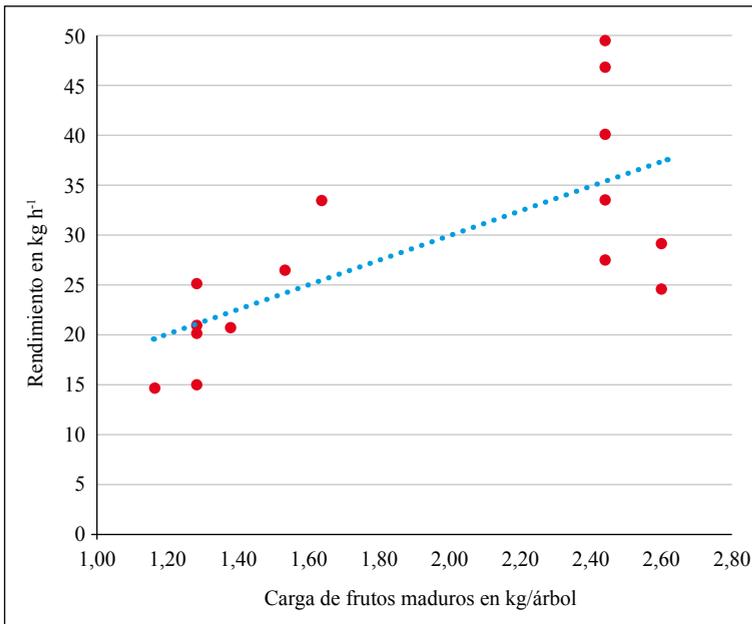


Figura 6. Tendencia del rendimiento con la máquina DSC18 con relación a la carga de frutos cosechables.

verdes en la masa cosechada. Se considera que cuando haya mayor experiencia en el uso de la retención de pases de cosecha, manejo de las lonas y manejo de la máquina, los indicadores tendrán mejores valores que los obtenidos en esta investigación.

Así mismo, durante y posterior a las pruebas, se han hecho seguimientos a los árboles que fueron cosechados con la máquina, con el fin de observar posibles efectos adversos sobre las plantas. Se tienen plantaciones que han sido cosechadas en segunda oportunidad con la derribadora DSC18 y no se observan plantas afectadas por enfermedades que puedan entrar por los lugares donde se hace el contacto, ni disminuciones en la producción.

También se han hecho evaluaciones del desprendimiento de otros órganos como hojas, botones florales y frutos verdes pequeños. Se ha determinado que las hojas que caen por el efecto de la vibración son aquellas

que ya cumplieron su ciclo, y son aquellas que también se desprenden cuando se hace la cosecha manual. Las hojas sanas, flores, botones florales y frutos de café pequeños no se caen porque tienen una masa muy pequeña que hace que vibren en menor medida y que no se afecten sus estructuras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan agradecimientos a la empresa Brudden de Brasil, particularmente a los señores Evair Rojo, Marcelo Bissoli y Jose Luiz Burgueti. En Cenicafé a Carlos Gonzalo Mejía, Myriam Cañón, Carlos Ramírez, José Baute, Henán Menza, Carlos Ospina y Carlos Ariza. También reconocen el compromiso de Andrés Henao y José Jaramillo, auxiliares de investigación en este proyecto, y a los trabajadores agrícolas de las Estaciones Experimentales que hicieron parte de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Álvarez, J. A., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., & Moreno, E. L. (2006) *Evaluación técnico-económica de un sistema de cosecha manual asistida de café*. Memorias del X Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Neiva, Colombia.
- Álvarez, J. A., Oliveros, C. E., Ramírez, C. A. (2004). Evaluación de dos sistemas para el manejo de mallas en la cosecha manual del café. *Revista Cenicafé*, 55(2), 130–135. <http://hdl.handle.net/10778/110>
- Álvarez, E., Álvarez, F., Oliveros, C. E., & Montoya, E. C. (1999). Propiedades físico-mecánicas del fruto de café y del sistema fruto-pedúnculo del café variedad Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 52(2), 701–720. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/23916>
- Araque, H., Oliveros, C. E., Sanz, J. R., & Ramírez, C. A. (2005). Desempeño de vibradores portátiles del tallo en la cosecha del café. *Revista Cenicafé*, 56(4), 339–347. <http://hdl.handle.net/10778/114>
- Aristizábal, I. D., Oliveros, C. E., Álvarez, F. (2003). Physical and mechanical properties of the coffee tree related to harvest mechanization. *Transactions of the ASAE*, 46(2), 197–204. <https://doi.org/10.13031/2013.12947>
- Bustillo, A. E., Cárdenas, R., Villalba, D. A., Benavides, P., Orozco, J., Posada, F. J. (1998). *Manejo integrado de la broca del café Hypothenemus hampei (Ferrari) en Colombia*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/848>
- Cardona, J. A. (2006). *Diseño de una máquina portátil para la cosecha asistida de Café* [Tesis Pregrado]. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Ciro, J. H., Álvarez, F., & Oliveros, C. E. (1998a). Estudio experimental de la dinámica de las vibraciones longitudinales y transversales aplicadas a las ramas de café. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 51(2), 245–275. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28969>
- Ciro, J. H., Oliveros, C. E., & Álvarez, F. (1998b). Estudio dinámico bajo oscilación forzada del sistema fruto-pedúnculo (S.F.P.) del café variedad Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 51(1), 63–90. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28857>
- Ciro, J. H., Oliveros, C. E., Álvarez, F., Montoya, E. C. (1998c). Respuesta dinámica de la rama del café a la aplicación de vibraciones unidireccionales. *Revista Cenicafé*, 49(2), 151–161. <http://hdl.handle.net/10778/822>
- Díaz, D., Ramírez, C. A., Oliveros, C. E., & Moreno, E. L. (2009). *Cosecha de café con el equipo STIHL SP-81 de actuadores oscilantes*. *Revista Cenicafé*, 60(1), 41–57. <http://hdl.handle.net/10778/111>
- Duque, H., & Dussan, C. (2004). Productividad de la mano de obra en la cosecha de café en cuatro municipios de la región cafetera central de Caldas. *Revista Cenicafé*, 55(3), 246–258. <http://hdl.handle.net/10778/256>
- Londoño, D., Oliveros, C. E., & Moreno, M. A. (2002). Desarrollo de una herramienta manual para asistir la recolección de café en Colombia. *Revista Cenicafé*, 53(2), 93–105. <http://hdl.handle.net/10778/1018>
- Oliveros, C. E., Sanz, J. R. (2011). Ingeniería y Café en Colombia. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes*. 33, 99–114. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n33/n33a11.pdf>
- Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., & Sanz, J. R. (2013). Cosecha del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 320–348). Cenicafé.
- Oliveros, C. E., Álvarez, J. A., Ramírez, C. A., Sanz, J. R., Moreno, E. L., & Peñuela, A. E. (2006). Cosecha manual de café utilizando mallas plásticas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 354, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/398>
- Oliveros, C. E., Benítez, R., Álvarez, F., Aristizábal, I. D., Ramírez, C. A., & Sanz, J. R. (2005a). Cosecha del café con vibradores portátiles del tallo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2697–2708. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/21512>
- Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., Buenaventura, J. D., & Sanz, J. R. (2005b). Diseño y evaluación de una herramienta para agilizar la cosecha manual de café. *Revista Cenicafé*, 56(1), 37–49. <http://hdl.handle.net/10778/101>
- Oliveros, C. E., Ramírez, C. A., & Acosta, R. (2005c). Equipo portátil para asistir la cosecha manual de café. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(2), 3003–3013. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24257>

- Portafolio. (2018, noviembre 22). *Así funciona la máquina para recolectar 360 kilos de café por jornal*. Portafolio. co. <https://www.portafolio.co/economia/asi-funciona-la-maquina-para-recolectar-360-kilos-de-cafe-por-jornal-523645>
- Puerta, G. I. (2000) Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Revista Cenicafé*, 51(2), 136–150. <http://hdl.handle.net/10778/65>
- Ramírez, C. A., Oliveros, C. E., Sanz, J. R., Acosta, R., & Buenaventura, J. D. (2006). Desgranador mecánico portátil para la cosecha del café – Descafé. *Revista Cenicafé*, 57(2), 122–131. <http://hdl.handle.net/10778/209>
- Rendón, J. R. (2016). Sistemas de renovación de cafetales para recuperar y estabilizar la producción. *Avances Técnicos Cenicafé*, 463, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/701>
- Rendón, J. R., Arcila, J., & Montoya, E. C. (2008). Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Revista Cenicafé*, 59(3), 238–259. <http://hdl.handle.net/10778/108>
- Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Duque, H., Mejía, C. G., Benavides, P., & Rivera, R. D. (2018). Retención de pases: una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 488, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4218>
- Sanz, J. R., Duque, H., Menza, H. D., Zamudio, G. E., Oliveros, C. E., & Ramírez, C. A. (2018). Lonas para asistir la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 487, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4219>