

DESEMPEÑO DE VIBRADORES PORTÁTILES DEL TALLO EN LA COSECHA DEL CAFÉ

Humberto Araque-Salazar*, Carlos Eugenio Oliveros-Tascón**, Juan Rodrigo Sanz-Uribe**, César Augusto Ramírez-Gómez**

RESUMEN

ARAQUE S., H.; OLIVEROS T., C. E.; SANZ U., J. R.; RAMÍREZ G., C. A. Desempeño de vibradores portátiles del tallo (VPT'S) en la cosecha del café. *Cenicafé* 56(4):339-347. 2005.

Con el fin de incrementar la eficiencia de la mano de obra empleada en la cosecha de café y reducir el costo unitario, se evaluaron vibradores portátiles de tallo (VPT) marca Cifarelli, modelo SC700, empleando como testigo el método manual tradicional (MMT). Se utilizaron cinco unidades experimentales, cada una con 1.700 árboles de variedad Colombia de 3a cosecha, sembrados a 2,0m x 1,0m, en terrenos con pendiente moderada (<30%). Los ensayos se realizaron en la época de mayor flujo de la cosecha, en árboles con carga y concentración de café en el rango de 1.543 a 1.881g y 59,6 a 63,7%, respectivamente. El rendimiento promedio con los VPT fue de 23,4kg/h/operario mientras que con el MMT fue de 13,4kg/h/operario. Con el MMT la calidad del café recolectado fue de 2,9% de frutos en comparación con el 18,3% de los VPT. El costo unitario de recolección con los VPT y repase manual inmediato fue de 213,4\$/kg en tanto que con el MMT, éste fue de 248\$/kg. Los VPT podrían ser una alternativa para incrementar la eficiencia y disminuir el costo unitario en la cosecha del café utilizando estrategias adecuadas para su manejo, el repase y tecnologías para la captura de frutos en cafetales con distancias entre surcos desde 1,4m.

Palabras clave: Recolectación, café, cosecha manual asistida, vibración al tallo, costos de recolección.

ABSTRACT

In order to increase the efficiency of hand labor used in coffee harvest and to reduce the unit costs, Portable Stem Shakers (PSS) were evaluated. One of the PSS belonged to the Cifarelli brand model SC700 and it was compared to Traditional Hand Picking (THP). Five experimental units each one with 1,700 five-year-old Colombia variety coffee plants of the third harvest, sown at 2,0m x 1,0m in moderate slope soils (<30%) were used. The test were carried out during the crop peak in trees with ripe fruit contents varying from 1,543g to 1,881g, and concentrations of ripe fruits varying from 59,6 to 63,7%. The PSS average capacity was 23.4 kg/h/operator whereas for THP it was 13.4 kg/h/operator. With THP the collected coffee quality was 2.9% of immature fruits while with PSSs it was 18.3%. The unit cost for harvesting with PSSs and immediate manual re-passing was 213,4\$/kg and with THP it was 248\$/kg. PSSs could be an alternative to increase hand labor efficiency and decrease the unit cost of coffee harvesting using adequate strategies for its management, re-passing and technologies for fruits picking-up in coffee crops with distances between rows of 1.4m.

Keywords: Coffee picking-up, coffee, hand coffee picking-up, stem shaking, harvest costs

* Ingeniero Agrícola. Servicios profesionales. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Investigador Principal, Investigador Científico II, Investigador Científico I, respectivamente. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Como alternativas para disminuir los costos de la recolección del café en países productores como Brasil, se utilizan tecnologías de cosecha mecanizada y semimecanizada, con las cuales se logra incrementar notoriamente la eficiencia de la mano de obra y brindar mejores condiciones de trabajo para los operadores.

En el ámbito mundial (11, 13), el método de vibración al tallo, a las ramas o al follaje es muy utilizado para la recolección mecánica de frutos, por su versatilidad y los resultados que ofrece en la reducción de costos unitarios y en el incremento en la eficiencia de la mano de obra. Un vibrador permite aplicar niveles adecuados de energía en partes localizadas del árbol (tronco, ramas y follaje) que genera vibraciones en todas las estructuras del mismo que causan el desprendimiento de un alto porcentaje de frutos por fatiga y/o fuerzas inerciales en tiempos muy cortos, generalmente menos de 10 segundos.

La transmisión de vibraciones en las estructuras del árbol de café con fines de cosecha ha sido estudiada por diversos autores como Phillips (8), quien afirma que el máximo desprendimiento de los frutos ocurre cuando el sistema fruto – pedúnculo (SFP) entra en condición de resonancia; Martínez *et al.* (6), consideran que el factor predominante en el desprendimiento de frutos es el momento flector en la zona de abscisión y no la fuerza de tracción y Shellenberger y Wang (12), que consideran que los frutos de café se desprenden por el efecto acumulado de ciclos de fatiga.

Algunas propiedades del sistema fruto pedúnculo de los frutos de café variedad Colombia fueron estudiadas por Ciro *et al.* (3), quienes encontraron que la frecuencia natural del SFP de frutos maduros es levemente inferior a la de frutos inmaduros, 1.506cpm (ciclos

por minuto) y 1.618cpm, respectivamente; mientras que la de los frutos pintones es estadísticamente igual a la de los frutos maduros. Esta cercanía de las frecuencias naturales permitió concluir que desprender selectivamente frutos de café por resonancia del SFP es muy difícil, al menos en la primera frecuencia natural.

Desde 1997, en Cenicafé se realizan investigaciones que buscan desarrollar tecnologías para incrementar el rendimiento de la mano de obra empleada en la cosecha, con la calidad exigida en los estándares colombianos, y que puedan utilizarse en cafetales plantados en altas densidades y en terrenos húmedos con pendiente moderada (hasta del 60%).

Entre los principios utilizados para desprender frutos de café están los vibradores del tronco del tipo multidireccional y circular, principalmente inerciales (1, 10).

Granja *et al.* (4, 5), construyeron y evaluaron un vibrador inercial para tallos de café que generaba patrones de vibración unidireccionales, circulares y multidireccionales, con el cual se cosecharon árboles que poseían una concentración de frutos maduros entre 48,9 y 56,3%, con un resultado de 7,8 a 18,3% de frutos inmaduros en la masa cosechada y una eficacia máxima del 65,7%.

Los vibradores portátiles (Figura 1) son dispositivos que pesan entre 7 y 17kg, accionados por motores de combustión interna de 1,0 a 2,0kW, y se utilizan en la cosecha de diversos frutales, principalmente olivas, para incrementar el rendimiento de la mano de obra hasta un 500%, y disminuir el costo unitario de recolección (11).

Zoli *et al.* (13), evaluaron dos equipos portátiles para producir la vibración del tronco y cosechar el café. Los resultados mostraron



Figura 1. Equipo portátil para desprender frutos aplicando vibraciones

una disminución en el tiempo de recolección por árbol de hasta 330% con relación al método manual y el desprendimiento de más del 90% de los frutos presentes en el árbol; no obstante, sólo con el método de recolección manual la calidad estuvo dentro del rango establecido por la Federación Nacional de Cafeteros para el café de Colombia.

En cafetos de Variedad Colombia de segunda cosecha, sembrados a 2,0m x 0,7m, Oliveros *et al.* (7) evaluaron el vibrador portátil Carratú, accionado con un motor de 1,0kW y obtuvieron un 6,4% de frutos inmaduros en la masa cosechada (C.V. 5,2%), una eficacia en el desprendimiento de frutos maduros del 78,7% (C.V. 8,8%) y un tiempo

promedio por árbol de 3,1s (C.V. 41%). El valor de tiempo empleado en la vibración de cada árbol fue solamente el 2,6% del promedio empleado por un recolector en la cosecha manual tradicional. Para árboles de 2^a a 5^a cosecha, utilizaron vibradores Cifarelli SC 700, y obtuvieron rendimientos efectivos entre 53,1 y 66,7kg/h, en los cuales se incluyó el tiempo empleado en las labores de recuperación del café caído al piso con las mallas, y un porcentaje de frutos inmaduros en la masa cosechada entre 8,6 y 13,1%.

Con esta investigación se buscó mejorar el desempeño en la cosecha con vibradores portátiles y determinar el costo unitario de recolección en un cultivo comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales. Se utilizaron dos vibradores portátiles marca Cifarelli SC 700, con un motor de 2T enfriado por aire, de 2,2kW, 6,2cm de amplitud de la vibración, una frecuencia de vibraciones de hasta 30Hz, longitud de la lanza de 0,74m y 16,4kg de peso.

Para recibir el café desprendido se utilizaron mallas polisombra de 2m de ancho x 25m de largo extendidas en las calles.

Metodología. La investigación se realizó en la finca Santa Bárbara, localizada en el municipio de Sasaima (Cundinamarca), en la cosecha principal del 2005 durante el mes de mayo; y en la Subestación Experimental La Catalina, localizada en el municipio de Pereira (Risaralda), durante la cosecha principal del 2005, en el mes de octubre.

Los tratamientos evaluados fueron: recolección con el método manual tradicional MMT (tratamiento 1) y recolección con el vibrador portátil del tallo (VPT) (tratamiento

2). Como unidad de trabajo se utilizó una parcela de 1.700 árboles de café Variedad Colombia de 3ª cosecha, con una distancia entre plantas de 1,0m y 2,0m entre surcos. La pendiente de los lotes fue clasificada como moderada (<30%). La unidad de trabajo fue recolectada en un día, la mitad con el tratamiento 1 y la otra mitad con el tratamiento 2, asignadas aleatoriamente. En total se tuvieron cinco unidades de trabajo (repeticiones), durante la semana pico de recolección.

El café de los árboles destinados para el tratamiento 1 fue recolectado según los criterios comerciales empleados por el administrador de la Subestación Experimental La Catalina en cuanto al número de recolectores y la fecha de inicio del pase. El trabajo realizado por los recolectores fue remunerado mediante el sistema de pago al “destajo”, en el cual la tarifa por kilogramo de café recolectado correspondió a la vigente en la finca en el momento de realizar la prueba.

Antes de la aplicación de los tratamientos en cada unidad experimental se seleccionaron aleatoriamente 10 árboles, y a cada uno se le retiraron los frutos. Por cada árbol se registró el peso de los frutos maduros y verdes, y se estimó el porcentaje de maduración del lote.

Adicionalmente, en cada unidad experimental se seleccionaron y marcaron 30 sitios aleatoriamente, y a cada uno se le retiraron todos los frutos presentes en la “gotera” del árbol para la determinación de los frutos caídos al suelo en cosecha con VPT’s.

En cada unidad experimental asignada a cada tratamiento se registró el peso de la masa de café cosechada por operario, el tiempo empleado para cosechar el lote (horas), el número de frutos maduros dejados

en el árbol y el número de frutos dejados en el suelo, en los 30 árboles marcados inicialmente; del café cosechado se tomó una muestra compuesta de un kilo y de ésta se registró el peso de los frutos verdes, para obtener el porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada.

En el tratamiento 2, la recolección del café en el lote se realizó utilizando vibradores portátiles para el tronco Cifarelli SC 700, en asocio con un sistema de mallas extendidas en el suelo para recoger el café desprendido (Figuras 2 a la 4), una en cada calle del surco.



Figura 2. Malla de polisombra, utilizada para recoger los frutos de café desprendidos con el vibrador Cifarelli SC700.



Figura 3. Vibración de los cafetos



Figura 4. Acopio del café desprendido

En la cosecha con los VPT se realizaron las siguientes actividades: instalación de mallas de polisombra en el suelo, vibración de los árboles que se encontraban dentro del área cubierta por las mallas, acopio y empaque del café cosechado. Este ciclo se repitió hasta terminar de cosechar los árboles del lote.

Antes de realizar el tratamiento 2, se hizo el entrenamiento de los operarios para el manejo de los VPT. Al final, se efectuó un repase manual para recolectar los frutos que no se desprendieron mecánicamente.

El repase del lote se realizó utilizando el método manual tradicional. Se registró el peso del café cosechado durante el repase y el valor pagado por kilogramo cosechado, el cual fue pactado entre los recolectores y el administrador de la finca.

La estimación del costo unitario de recolección con los VPT, teniendo en cuenta el repase con el método tradicional, se hizo aplicando la siguiente expresión:

$$Cu = \frac{Dep + CMan + Ccomb + Cmo + Crep}{Qm + Qrep}$$

Donde:

Cu: Costo unitario.

Dep: Costo de depreciación del equipo.

CMan: Costo de mantenimiento del equipo.

Ccomb: Costo del combustible.

Cmo: Costo de la mano de obra.

Crep: Costo de la mano de obra para cosechar el café del repase.

Qm: Peso del café cosechado con el vibrador.

Qrep: Peso del café cosechado en el repase.

Adicionalmente, se estimó la cantidad de café pergamino seco que pierde el caficultor al cosechar café verde en el proceso de recolección, para lo cual se tomó como peso promedio de los frutos verdes y maduros 1,3 y 1,8g, respectivamente, y una relación café cereza a café pergamino seco de 5 a 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración y carga promedio de frutos maduros por árbol al momento de la aplicación de los tratamientos se presentan en la Tabla 1. Los resultados fueron estadísticamente iguales, y reflejan las condiciones del pico de la cosecha concentrada, favorables para el empleo de equipos como los VPT.

En la Tabla 2 se observa que con los VPT se logran rendimientos operativos superiores a los obtenidos manualmente (85,1%), aunque notoriamente inferiores a los reportados por Oliveros *et al.* (7), 53 a 67 kg/h/operario.

Entre los factores que pudieron afectar el rendimiento operativo se tienen: la tecnología empleada para recoger los frutos desprendidos y la estrategia utilizada para el manejo de los VPT, la cual redujo el tiempo efectivo de empleo de los vibradores en la jornada, para

dedicar tiempo y personal a la recolección y acopio de los frutos de café desprendidos, lo cual adicionalmente afecta el ritmo de trabajo.

El resultado anterior indica la necesidad de desarrollar estrategias que permitan operar los equipos el mayor tiempo con el menor número posible de operarios.

El porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada (%FVMC) para el MMT en promedio fue de 2,9%, ligeramente superior al establecido por Puerta (9), como límite admisible de frutos verdes para no afectar la calidad en taza (2,5%).

Para el tratamiento con los VPT obtuvo un 18,3%, y varió entre 11,0 y 21,2%, valores superiores a los reportados por Oliveros *et al.* (7), los cuales oscilaron entre 9,9 y 13,1%,

en árboles con una concentración de frutos maduros mayor que el 70%.

Entre los principales factores que pudieron ocasionar el alto desprendimiento de frutos inmaduros se tienen: el manejo del equipo (punto de sujeción del vibrador, tiempo excesivo de vibración), la vibración de árboles con baja concentración de frutos maduros (<50%) y la altura de los árboles, cercana a 2,4m, que obligó a doblarlos en su tercio superior para acoplar la lanza del vibrador (Figura 3). Bajo esta condición de acoplamiento, se observó una mejor transmisión de la vibración en las estructuras del árbol, con mayor desprendimiento de frutos maduros e inmaduros en tiempo corto (menos de 2s).

El número de frutos maduros dejados por árbol con el MMT fue de 17,2; superior al

Tabla 1. Promedio y coeficiente de variación para el porcentaje de maduración y carga por árbol (g), por tratamiento evaluado.

Tratamiento	Maduración (%)		Carga (g)	
	\bar{x}	C.V. (%)	\bar{x}	C.V. (%)
Método Manual Tradicional (MMT)	59,6 a*	11,0	1.881,4 a	19,4
Vibradores Portátiles del Tronco (VPT)	63,7 a	5,0	1.545,3 a	27,9

* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba t al 5%

Tabla 2. Rendimiento operativo (kg/h) por operario, para los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Máximo	Mínimo	\bar{x}	C.V. (%)
Método Manual Tradicional (MMT)	14,8	11,1	13,4 a*	10,7
Vibradores Portátiles del Tronco (VPT)	27,4	17,8	23,4 b	15,1

* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba t al 5%

máximo recomendado por Bustillo (2) para facilitar el control de la broca, que es de cinco frutos maduros por árbol después de un pase de recolección. Para el tratamiento con los VPT el número de frutos fue de 299,5; lo que obligó a realizar un repase manual, e incrementó el costo final de la cosecha con los VPT.

El número de frutos dejados en el suelo para el método manual fue de 12,8, superior al máximo recomendado por Bustillo (2) para el control de la broca. Con los VPT el promedio obtenido fue de 52,2, valor atribuible a fallas en la tecnología empleada para recolectar los frutos desprendidos.

Hubo dificultades para lograr que las mallas utilizadas cubrieran completamente la base de los árboles, por la presencia de

las ramas bajas y por el movimiento de éstas ocasionado por los operarios durante su desplazamiento.

Se recomienda evaluar el efecto en el rendimiento, la calidad y la eficacia, al aumentar el número de puntos de sujeción al tronco, alternos y simultáneos, con tiempo total máximo de 5s.

El costo unitario para el tratamiento con los VPT con repase fue inferior al obtenido con el tratamiento manual tradicional - MMT (Tabla 5); con una estimación del promedio que puede variar entre 188,98 y 237,9\$/kg.

El costo unitario con los VPT puede reducirse si se mejoran los siguientes componentes tecnológicos: 1) El bajo rendimiento, inferior

Tabla 3. Porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada, para los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Máximo	Mínimo	\bar{x}	C.V. (%)
Método Manual Tradicional (MMT)	5,7	1,8	2,9 a*	54,2
Vibradores Portátiles del Tronco (VPT)	21,2	11,0	18,3 b	22,6

* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba t al 5%

Tabla 4. Número de frutos dejados en el árbol (NFA) y número de frutos dejados en el suelo (NFS), por tratamiento evaluado.

Tratamiento	NFA		NFS	
	\bar{x}	C.V. (%)	\bar{x}	C.V. (%)
Método Manual Tradicional (MMT)	17,2a*	30,3	12,8a	19,0
Vibradores Portátiles del Tronco (VPT)	299,5b	30,0	52,2b	37,9

* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba t al 5%

Tabla 5. Costo unitario promedio de recolección (\$/kg de cereza) y su intervalo, para los tratamientos evaluados.

Tratamiento	\bar{X}	LI	LS
Método Manual Tradicional	248,0a* a	214,7	281,3
Vibradores Portátiles del Tronco (VPT)	213,4b b	188,9	237,9

* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba t al 5%
LI y LS: límite inferior y superior para el intervalo del promedio, con un coeficiente de confianza del 95%.

Tabla 6. Promedio de café pergamino seco (kg CPS) y su intervalo, dejado de producir por el caficultor debido a la recolección de café verde.

Tratamiento	\bar{X}	LI	LS
Método Manual Tradicional	3,92a* a	1,71	6,113
Vibradores Portátiles del Tronco (VPT)	18,48b b	11,60	25,30

* Valores con letras distintas indican diferencia estadística según la prueba t al 5%
LI y LS: límite inferior y superior para el intervalo del promedio, con un coeficiente de confianza del 95%.

al esperado (62,5kg/h operario), debido a la estrategia de trabajo utilizada y al sistema empleado para acopiar el café desprendido; 2) La baja eficacia, con los VPT se cosechó el 55% del total de los frutos maduros presentes en los árboles, inferior a la meta esperada (70%), lo cual incrementó la cantidad de café a repasar manualmente, y que por la baja oferta de mano de obra en la época de los ensayos, se pagó hasta \$400/kg; 3) Si se utilizan máquinas separadoras de verdes se podría mejorar la calidad final del café y los ingresos (\$/kg.c.p.s.). Estos resultados indican la necesidad de desarrollar estrategias de trabajo con los VPT que permitan aumentar la eficacia de la recolección y definir la realización del repase en forma inmediata o en el pase siguiente, empleando tecnologías para incrementar el rendimiento de la mano de obra empleada.

Es importante mencionar que en el proceso de cosecha se recolecta café verde, tanto con el método manual tradicional como

con los vibradores portátiles del tronco, lo que implica una pérdida económica para el caficultor. En la Tabla 6 se muestra la cantidad de café pergamino seco que dejó de obtener el caficultor, debido a la cosecha de café verde.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta investigación indican que los VPT podrían ser una alternativa para incrementar la eficiencia de la mano de obra empleada en la recolección del café y reducir el costo unitario de ésta en los picos de cosecha, en plantaciones de alta densidad, con concentración de frutos maduros superiores al 60%, en terrenos con pendiente hasta del 60%. Sin embargo, deben desarrollarse estrategias para el manejo de los VPT, para el repase y los sistemas para la captura de frutos en plantaciones con distancias entre surcos desde 1,40m, que permitan mejorar, principalmente, la calidad, la eficacia y reducir el costo unitario de la cosecha.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a COLCIENCIAS la cofinanciación de esta investigación, a la Disciplina de Ingeniería Agrícola, a la Dra. Esther Cecilia Montoya de la Disciplina Biometría y al Dr. Hernando Duque de la Disciplina Economía de Cenicafé por sus aportes.

LITERATURA CITADA

1. ARISTIZÁBAL T., I.D.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ M., F. Mechanical harvest of coffee applying circular and multidirectional vibrations. *Transactions of the ASAE*. 46(2):205-209. 2003.
2. BUSTILLO P., A.E. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé* No. 24:1-40. 2002.
3. CIRO V., H.J.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ M., F. 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. 1998.
4. GRANJAF., J.J.; OLIVEROS T., C.E. Diseño, construcción y evaluación de un vibrador multidireccional de tallos para la cosecha mecánica de café en Colombia. *Scientia et Technica* 7(17):13-18. 2001.
5. GRANJAF., J.J.; OLIVEROS T., C.E. Diseño, construcción y evaluación de un vibrador multidireccional de tallos para la cosecha mecánica de café en Colombia. 2. *Scientia et Technica* 9(21):59-64. 2003.
6. MARTÍNEZ R., A.; MORALES F., A.; GÓMEZ, A.D.; ALOYSIUS, H.N. Determinación de los parámetros de un órgano de trabajo para la cosecha mecanizada del café por vibración. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 2(3):27-49. 1989.
7. OLIVEROS T., C.E.; BENÍTEZ M., R.; ÁLVAREZ M., F.; ARISTIZÁBAL T., I.D.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R. Cosecha del café con vibradores portátiles del tallo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 58(1):2697-2708. 2005.
8. PHILLIPS, A.L. Computers formulation of forced vibrations of the limbs with secondary branch. Davis (Estados Unidos), University of California, 1967. 154p (Thesis: PhD).
9. PUERTA Q., G.I. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Cenicafé* 51(2):136-150. 2000.
10. RAMÍREZ V., C.M.; ÁLVAREZ M., F.; OLIVEROS T., C.E.; ARISTIZÁBAL T., I.D. Evaluación de un cosechador de café por vibración circular al tallo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 56(1):1789-1803. 2003.
11. SPERANDIO, G.; BIOCCA, M. Una macchina agevolatrice elettrica per la raccolta delle olive. *Olivo e Olio* 4 (5): 2-15. 2001.
12. WANG, J.K.; SHELLENBERGER, F.A. Effects of cumulative damage due to stress cycles on selective harvesting of coffee. *Transactions of the ASAE*. 10(2):252-255. 1967.
13. ZOLI, M.; VIERI, M.; LEGUIZAMÓN, J. Recolección mecanizada del café. *Agricultura de las Américas* 49(5):22-30. 2000.