

# DESGRANADOR MECÁNICO PORTÁTIL PARA LA COSECHA DEL CAFÉ - DESCAFÉ

César A. Ramírez-Gómez\*; Carlos E. Oliveros-Tascón\*; Juan R. Sanz-Uribe\*;  
Ricardo Acosta-Acosta\*\*; Juan D. Buenaventura-Aranzazu\*\*

---

## RESUMEN

**RAMÍREZ G., C. A.; OLIVEROS T., C. E.; SANZ U., J. R.; ACOSTAA., R.; BUENAVENTURAA., J. D. Desgranador mecánico portátil para la cosecha del café - Descafé. Cenicafé 57(2):122-131. 2006.**

Con la herramienta portátil DESCAFÉ (DESGranadora de frutos de CAFÉ) diseñada en Cenicafé se busca desprender frutos de café en forma similar a como la hace el recolector en cosecha manual selectiva, utilizando ruedas dentadas de caucho espumado colocadas en tres ejes de acero distribuidos uniformemente sobre una estructura circular truncada. En los primeros modelos se utilizó como fuente de potencia el motor de combustión interna de una guadaña, los cuales fueron evaluados en la cosecha principal de 2003, en cafetales sembrados a 2,0m x 1,0m obteniendo rendimiento operativo de 40,8kg/h, aproximadamente 3 veces el rendimiento promedio observado en cosecha manual tradicional, con frutos inmaduros en el rango del 10 al 15%. Con el fin de disminuir costos operativos y valor inicial, reducir el nivel de ruido y facilitar su manejo, se modificó el diseño inicial, obteniéndose el dispositivo DESCAFÉ III accionado por motor DC de 75W con energía eléctrica proveniente de 4 baterías portadas en un arnés colocado en la espalda. El peso del nuevo actuador, con agitadores girando a 1.100rpm, fue 1.350g y el nivel de ruido de 74dB. En ensayos con DESCAFÉ III en Timbío (Cauca), en la cosecha principal de 2004, con árboles con concentración de frutos maduros del 80%, se obtuvo rendimiento operativo similar a los primeros modelos (39,4kg/hora) y mejor calidad de cosecha (3,5 a 6,0% de frutos inmaduros), similar al observado en cosecha manual tradicional.

**Palabras claves:** Cosecha de café, equipo portátil, desgranadora de café.

---

## ABSTRACT

The portable tool DESCAFÉ designed in Cenicafé is intended to detach coffee berries from the tree and it is made up of jagged foamy-rubber wheels placed in a three steel shafts distributed uniformly on a truncated circular structure. DESCAFÉ models I and II were driven with an engine of portable grass trimmers. In the main harvest of 2003, in coffee plantations of 2.0m x 1.0m the operational efficiency was 40.8kg/h, approximately 3 times the average yield observed in traditional manual harvest and unripe berries content ranked between 10% and 15%. With the purpose of reducing costs and initial investment, moderating the noise level and facilitating its handling, the first model was redesigned and the device DESCAFÉ III, driven by a 75W DC motor which in turn was driven by 4 batteries carried in a harness placed in the back was obtained. The rotors turned at 1,100rpm, the weight of the actuator was 1,350g and the noise level was 74dB. Evaluations of DESCAFÉ III in Timbío (Cauca), in the main harvest of 2004, in trees with concentration of ripe fruits of 80%, showed an operational efficiency similar to that of the previous models (39.4kg/hour), and a significant decrease in the unripe fruits content (3.5 – 6.0%), similar to the one observed in traditional manual harvest.

**Keywords:** Coffee harvesting, aided harvesting, portable tools.

---

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

\*\* Ingeniero Mecánico y Diseñador Industrial. Profesionales.

Un alto porcentaje del café producido en el mundo es cosechado en forma manual, tal es el caso de los cafés de alta calidad como el colombiano que se obtienen recolectando individualmente los frutos maduros, en 12 a 15 pases al año (3). En el ciclo básico empleado por los recolectores de café en Colombia, hay dos *therbligs*: sujetar el fruto entre los dedos índice y pulgar, y desprenderlo, rotándolo con relación a su zona de unión con el pedúnculo (11), en las cuales el recolector emplea 40 y 8%, respectivamente, del tiempo total utilizado en cada ciclo de recolección.

A partir de estos resultados, en Cenicafé se han desarrollado investigaciones que buscan mejorar la eficiencia de la recolección, incrementando la participación del *therblig* desprender en el ciclo básico de recolección.

Londoño *et al.* (5), desarrollaron y evaluaron un dispositivo de accionamiento manual, denominado ORSEL, con el cual se incrementó el rendimiento en más del 80% con relación a la cosecha manual tradicional; sin embargo, la calidad del café cosechado con el ORSEL (19,0% de frutos inmaduros) fue inferior a la obtenida con la recolección manual tradicional (5,0%).

En un estudio posterior, Oliveros *et al.* (8), partiendo de los resultados obtenidos con la herramienta ORSEL, diseñaron un nuevo dispositivo de accionamiento manual construido con tubo de PVC de 2" de diámetro y 8,0cm de longitud, y trozos de poliamida dispuestos en su interior para desprender los frutos. Con el dispositivo, en un "pase pico" de la cosecha principal, sin repase manual, se logró incrementar el rendimiento hasta en 117% con relación al observado en cosecha manual tradicional, con 5,3% de frutos inmaduros en la masa cosechada.

Oliveros *et al.* (7) diseñaron y evaluaron un dispositivo para asistir la cosecha manual, accionado con un motor DC de 75W, para desprender frutos de café golpeándolos directamente y/o vibrando la rama. Con esta herramienta se logró desprender frutos individuales o de forma masiva de los racimos con alta concentración de frutos maduros. Los frutos desprendidos fueron recogidos en mallas plásticas colocadas sobre el piso (2). Con el dispositivo se logró un rendimiento hasta de 33,5kg/h, con 4,3% de frutos inmaduros en la masa cosechada, calidad similar a la observada en cosecha manual.

En esta investigación se desarrolló un dispositivo portátil para desprender los frutos, desgranándolos en forma individual. Con el dispositivo se logró desprender simultáneamente y de manera individual varios frutos, permitiendo incrementar el rendimiento de la cosecha con una calidad cercana a los estándares exigidos en Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en dos etapas:

- Etapa 1. Desarrollo de dispositivos y evaluaciones en el laboratorio.
- Etapa 2. Evaluación de los dispositivos en el campo.

### Etapa 1. Desarrollo de los dispositivos

El dispositivo Descafé (DESgranador de Frutos de CAFÉ) consta de: un actuador impactador, encargado de desprender los frutos, el soporte de éste, una estructura sobre la cual se ubican el actuador y los mandos para su control, una fuente de potencia (motor de 2T y/o motor DC) y un arnés para soportar el motor o transportar las baterías en caso de utilizar motores DC.

El actuador se construyó con piñones de caucho espumado con dureza 40 Shore A, colocados en tres ejes, separados 120° entre sí, con 3 piñones por eje (Figura 1). Los ejes están ubicados sobre un soporte que permite abrir y cerrar el actuador para ubicarlo en la rama. La potencia es suministrada a uno de los ejes por medio de cadenas y piñones en los primeros modelos o engranajes fabricados en nylon autolubricado, en los últimos modelos, se transmite a los ejes restantes.

- Modelo Descafé I. Este sistema fue accionado con el motor de combustión interna de una máquina guadañadora portátil (1,64kW entre 5.000 y 8.000rpm). Las ventajas técnicas de esta fuente de potencia son: relativo bajo peso (8,7kg), facilidad de transporte en la espalda, que permite desplazarse en cafetales de alta densidad con distancias entre surcos de 1,2m, en terrenos húmedos y pendientes hasta del 70%.

En el primer modelo construido, Descafé-I (Figura 2a), el actuador y la fuente de potencia se acoplaron utilizando el eje flexible de la guadañadora. Para obtener velocidades en el actuador cercanas a 1.000rpm se colocó una transmisión por cadena y piñones entre el eje del motor y el eje flexible.

Para ubicar el actuador en la rama se utilizó un mecanismo de apertura y cierre rápido (Figura 2b).

Para diseñar adecuadamente las partes de la máquina se determinó la fuerza aplicada por los rotores del actuador impactando una viga de acero en voladizo, simulando el golpe que se daría a los frutos de café, en el rango elástico de deformación del acero utilizado.

La fuerza de impacto se obtuvo a partir de la Ecuación <1>, para vigas en voladizo.

$$F = \frac{3 E I Y}{L^3} \quad <1>$$

Donde:

*F*: Fuerza.

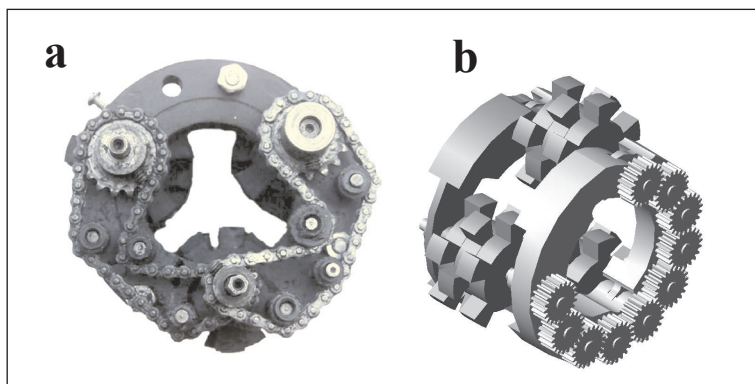
*E*: Módulo de elasticidad del acero.

*I*: Momento de inercia de la sección transversal de la viga.

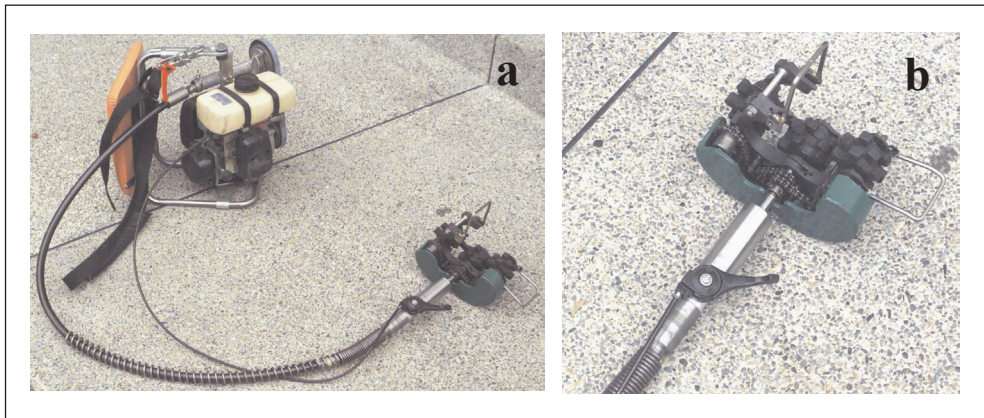
*Y*: Deflexión máxima del eje neutro de la viga medido con un LVDT con rango entre -10 a 10mm.

*L*: Longitud de la viga.

- Modelo Descafé II. Para facilitar el manejo de la herramienta se redujo a 950g el peso



**Figura 1.** Actuador diseñado para desprender frutos de café. a). Transmisión con cadena y piñones; b). Transmisión con engranajes).



**Figura 2.** Modelo Descafé-I. a). Actuator y fuente de potencia; b). Actuator con mecanismo de apertura y cierre rápido.

del actuator, reemplazando la transmisión de cadena y piñones por un tren de engranajes fabricados en poliamida 66 (PA66), que presenta la ventaja adicional de autolubricarse. El nuevo modelo se denominó Descafé-II y conservó la fuente de potencia del modelo anterior (9). Para facilitar la apertura del actuator y permitir su ubicación en la rama con una sola mano del operario se construyó un sistema de guaya y palanca (Figura 3).

Con el fin de medir los esfuerzos generados por los rotores al impactar frutos de café se utilizó el equipo XSENSOR PRESSURE MAPPING SYSTEM (Figura 4).

▪ Modelo Descafé III. Con el fin de disminuir el costo de la tecnología (valor inicial y costo operativo), reducir el nivel de ruido y facilitar su manejo se modificó el modelo anterior. Básicamente se utilizó una nueva fuente de potencia y se rediseñó el actuator. Como fuente de potencia se seleccionó un minimotor FAULHABER referencia 3257 a 48 VDC, con torque máximo de 557mN.m, velocidad de salida de 1.350rpm y 409g de peso (10). El motor fue alimentado con 4 baterías recargables Ref. HGL4-12 de 12 V-4A, conectadas en serie, con el fin de



**Figura 3.** Modelo Descafé-II.

asegurar carga suficiente para trabajar 8 horas continuas. El nuevo actuator pesa 1.350g, incluyendo el peso del motor. La Figura 5 muestra el diseño virtual y la versión real del modelo Descafé III.

Para medir la potencia requerida para operar el actuator desprendiendo frutos de café, en laboratorio se midió el consumo de corriente en el minimotor, utilizando

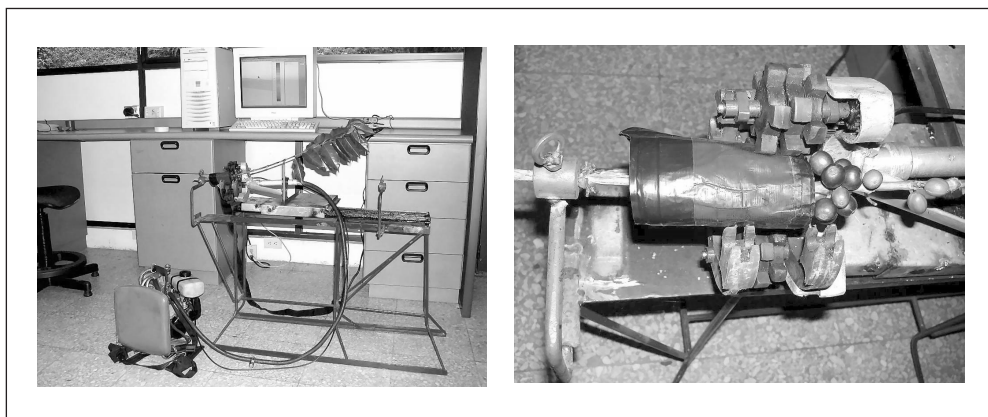


Figura 4. Evaluación de la presión de contacto en los dedos de caucho con el Modelo Descafé-II.

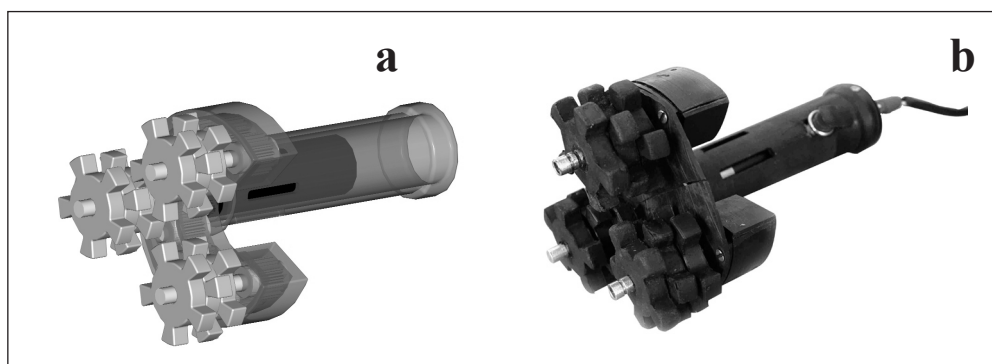


Figura 5. Modelo Descafé-III. a). Diseño virtual; b). Foto del modelo real.

un dispositivo para controlar la velocidad de éste, basado en un circuito integrado NE555. Se realizaron mediciones a diferentes velocidades de rotación del motor (1.350, 1.000 y 700rpm), con ramas de café recién cortadas, con diferentes condiciones de carga. En los ensayos se trabajó con 1, 2 y 3 piñones de caucho por eje.

## **Etapas 2. Evaluación de los dispositivos en el campo.**

**Localización:** Las pruebas se llevaron a cabo en las cosechas principales de 2003, en la Subestación La Catalina (municipio de

Pereira, Risaralda) y en fincas de particulares en el municipio de Timbío (Cauca).

La cosecha con las herramientas Descafé I, II y III consistió en desprender los frutos que por su ubicación y alta concentración de la maduración fueran apropiados para su cosecha. En asocio con estos dispositivos de desprendimiento, se emplearon mallas extendidas en el suelo.

La unidad de trabajo empleada para realizar las evaluaciones de los cambios realizados en la herramienta se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características de los lotes de café utilizados en la evaluación de los dispositivos Descafé I, II y III.

Modelo	Variedad	Nº de árboles	Nº de parcelas	Nº de tallos	Nº de repeticiones	Manejo adicional
Descafé I	Colombia amarillo	30	4	2	4	Ethrel 48 SL/400 ppm
Descafé II	Colombia amarillo	9	1	2	1	No
Descafé III	Colombia rojo	45	8	2	1	No

Antes de realizar las pruebas operativas de la herramienta Descafé se seleccionaron y se caracterizaron parcelas sembradas con árboles de *Coffea arabica* variedad Colombia, de segundo y tercer año de producción; las características de las pruebas se pueden apreciar en la Tabla 1.

Antes de iniciar cada pase de recolección, se estimaron los promedios del porcentaje de maduración y carga de frutos maduros por árbol. Para ello se seleccionaron aleatoriamente 8, 2 y 18 árboles para la evaluación de cada uno de los modelos (Descafé I, II y III). En cada uno de éstos árboles se desprendieron la totalidad de frutos de los tercios medio y superior (área efectiva de trabajo con las herramientas).

### Variables de respuesta

Las variables evaluadas que están asociadas a los indicadores de eficiencia y calidad se describen a continuación:

Rendimiento operativo (kg/h):

Se registró el peso del café cosechado (kilogramos) y el tiempo empleado en esta operación (horas) por observación.

Frutos Verdes en la Masa Cosechada (FVMC) (%): Del café cosechado se extrajo una muestra compuesta de un kilogramo, se separaron y pesaron los frutos por estado

de maduración. El porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada correspondió a la relación entre el peso de los frutos verdes y el peso de la muestra obtenida. A la información obtenida se le estimaron los promedios y coeficientes de variación por observación. Los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio y de campo fueron sometidos a análisis de varianza.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Etapa 1. Desarrollo de los dispositivos

**Modelo Descafé I.** Las fuerzas registradas en el extremo de los impactadores, a velocidades de rotación de 2.790 y 3.484rpm, fueron de 2,42 y 3,48N, respectivamente; a partir de éstas y al considerar que las fuerzas de desprendimiento obtenidas por Álvarez *et al.* (1), con frutos maduros e inmaduros de café variedad Colombia a tracción pura, son de mayor magnitud, se espera un desprendimiento por fatiga a flexión y en menor grado, por torsión. Sin embargo, debido a que los frutos inmaduros tienen menor diámetro característico que los maduros (6), por la distribución, ubicación y geometría de los rotores del actuador se espera un desprendimiento de frutos inmaduros relativamente bajo (<5%).

**Modelo Descafé II.** En las pruebas en el laboratorio se obtuvieron valores promedios

de presión de contacto de 0,17MPa, sobre un área de contacto de 0,26cm<sup>2</sup>, que corresponde a una fuerza de impacto de 4,34N, valor cercano al obtenido con la celda de carga para el modelo anterior.

**Modelo Descafé III.** De los resultados obtenidos en el laboratorio se espera que al trabajar con dos rotores de caucho en cada uno de los ejes se logre buena alineación y guía de la herramienta a través del rama. A 700rpm el avance de la herramienta a través de la rama se dificulta, presentándose bloqueos que incrementan el consumo de corriente del motor. A 1.000rpm y 1.350rpm el avance de la herramienta sobre la rama es constante y muy fluido.

### Caracterización de la producción por lote evaluado

En la Tabla 2 se observan los resultados de carga promedio y porcentaje de maduración por lote, para cada uno de los modelos evaluados.

**Modelo Descafé I.** En la Figura 6 se muestra el modelo utilizado en la evaluación y en la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en el campo con el modelo Descafé I.

La carga y concentración de frutos maduros por árbol al momento del pase fueron 2,9 kg/árbol y 66,4%, respectivamente. El rendimiento potencial promedio obtenido (considerando únicamente desprendimiento) fue de 82,5 kg/h (considerado alto), favorecido por la

**Tabla 2.** Caracterización de los lotes para cada una de las evaluaciones.

Modelo	Nº de árboles	Área de caracterización	Carga Promedio (kg/árbol)	Maduración (%)
Descafé I	8	Tercio medio y superior	2,9	66,4
Descafé II	2	Tercio medio y superior	2,0	45,2
Descafé III	18	Tercio medio y superior	1,8	81,0



**Figura 6.** Cosecha de café con el modelo Descafé-I.

carga de frutos a cosechar. La calidad de la recolección estuvo en el rango esperado con la tecnología (máximo 5% de FVMC).

**Modelo Descafé II.** En la Figura 7, se muestra el modelo utilizado en la evaluación realizada. La Tabla 3 presenta los resultados obtenidos con el dispositivo.

La carga de frutos maduros/árbol en las parcelas experimentales fue de 2,0kg/árbol, considerada alta, mientras que la concentración de los frutos maduros fue de 45,2%.



**Figura 7.** Cosecha de café con el modelo Descafé-II.

El rendimiento potencial fue inferior al obtenido en pruebas anteriores (40,7 kg/h), también sin incluir el tiempo de instalación de las mallas. Sin embargo, este rendimiento puede considerarse aceptable, teniendo en cuenta que el rendimiento promedio de un recolector en la cosecha manual tradicional en condiciones similares de carga de frutos maduros es inferior a 20,0kg/h. La calidad de la cosecha fue superior a la meta fijada del 5,0% de FVMC. En promedio el tiempo empleado por árbol fue de 1,3min, 30% del utilizado en cosecha manual tradicional (11).

**Modelo Descafé III.** En la Figura 8, se presenta el prototipo utilizado en las evaluaciones de campo. La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos con el dispositivo Descafé III.

Los promedios de carga y concentración de frutos maduros al momento de la cosecha fueron de 1,8kg/árbol y 81,0%, respectivamente, adecuados para la recolección con la herramienta Descafé. El rendimiento potencial promedio fue de 39,3kg/h, muy similar al obtenido con el Descafé II e inferior al obtenido con el Descafé I. El café cosechado presentó 4,5% de frutos inmaduros, calidad aceptable teniendo en cuenta que es inferior al promedio observado en la recolección manual sin descartar los frutos inmaduros (5,0%).

**Tabla 3.** Eficiencia y calidad de la recolección con los diferentes dispositivos (Descafé I, II y III).

Modelo	Eficiencia (kg/h)		Calidad (FVMC) %	
	Promedio	CV(%)	Promedio	CV(%)
Descafé I	82,5	8,3	2,9	12,5
Descafé II	40,7	8,7	14,3	4,0
Descafé III	39,3	23,7	4,5	21,7





**Figura 8.**  
Cosecha de café con el modelo  
Descafé-III.

Los resultados obtenidos con el dispositivo Descafé III indican que es una tecnología portátil muy promisoría para asistir la recolección manual de café en picos de cosecha principal en cafetales de alta densidad localizados en terrenos con pendiente de hasta el 70%. Con el nuevo dispositivo se ha logrado incrementar el rendimiento en más del 300% con relación al promedio observado en la cosecha manual tradicional, con calidad aceptable para los estándares de Colombia.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a COLCIENCIAS la cofinanciación de esta investigación dentro del convenio 2251-07-12086; a los propietarios de fincas y recolectores de café, por su respaldo y entusiasmo para realizar el trabajo en el campo.

### LITERATURA CITADA

1. ÁLVAREZ T., E.; ÁLVAREZ M., F.; OLIVEROS T., C.E.; MONTOYA R., E.C. Propiedades físico-mecánicas del fruto de café y del sistema fruto-pedúnculo del café variedad Colombia. Revista

Facultad Nacional de Agronomía Medellín 52(2): 701-732.1999.

2. ÁLVAREZ V., J.A.; OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A. Evaluación de dos sistemas para el manejo de mallas en la cosecha manual del café. *Cenicafé* 55 (2):130-135. 2004.
3. ARCILA P., J. Fisiología del cafeto: crecimiento, desarrollo, floración y producción. Chinchiná, Cenicafé, 2000. 16 p.
4. BUENAVENTURA A., J.D. Dispositivo para agilizar la cosecha del café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola 2000-2001. Chinchiná, Cenicafé, 2000.
5. LONDOÑO H., D.; OLIVEROS T., C. E.; MORENO S., M. A. Desarrollo de una herramienta manual para asistir la recolección de café en Colombia. *Cenicafé* 53(2): 93-105.2002.
6. MARÍN L., S. M.; ARCILA P., J.; MONTOYA R., E. C.; OLIVEROS T., C. E. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Cenicafé* 54 (3):208-225.2003.
7. OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; ACOSTA A., R.; ÁLVAREZ M. F. Equipo portátil para asistir la cosecha manual de café. Facultad Nacional de Agronomía. Medellín. 58(2): 3003 – 3013. 2005.

8. OLIVEROS T., C. E.; RAMÍREZ G., C. A.; BUENAVENTURA A., J. D.; GARCÍA U., F. Evaluación de una herramienta de asistencia para la cosecha manual de café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe Científico Proyecto Alternativas de Cosecha Manual Asistida y de Pequeñas Máquinas para la Recolección del Café, 3. Chinchiná, Cenicafé-COLCIENCIAS, 2004. 41 p.
9. RAMÍREZ G., C.A. Dispositivo portátil para la cosecha de café con la aplicación de momentos flectores a los frutos. (DESCAFÉ). In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola Octubre de 2003. Chinchiná, Cenicafé, 2003. p. 3-18.
10. RAMÍREZ G., C. A.; OLIVEROS T., C. E. Dispositivo portátil para la cosecha de café con la aplicación de momentos flectores a los frutos. (DESCAFÉ). In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe Científico Proyecto Alternativas de cosecha manual asistida y de pequeñas máquinas para la recolección del café, 3. Chinchiná, CENICAFÉ-COLCIENCIAS, 2004. 27 p.
11. VÉLEZ Z., J. C.; MONTOYA R., E. C.; OLIVEROS T., C. E. Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual de café. Boletín Técnico Cenicafé No. 21:1-91. 1999.