

EVALUACIÓN DE UN COSECHADOR DE CAFÉ POR VIBRACIÓN CIRCULAR AL TALLO

Carlos Mario Ramírez V.¹; Fernando Alvarez M.²;
Carlos Oliveros T.³; Iván Darío Aristizábal T.⁴

RESUMEN

Un prototipo para aplicar vibración circular al tallo del café, desarrollado en el Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFÉ, fue evaluado en campo para estudiar su factibilidad técnica en la cosecha mecanizada de café. La evaluación consistió en determinar el efecto de la frecuencia, excentricidad y punto de aplicación de la vibración circular en la selectividad y el rendimiento del desprendimiento de frutos de café. El análisis estadístico indicó que el mejor tratamiento para vibrar el tallo (chupón y tocón de la zoca) del café corresponde a una frecuencia de excitación de 2000 c.p.m, con una excentricidad de 2,5 cm aplicada en el chopón, lográndose desprender hasta el 45% de los frutos maduros presentes en el árbol con un porcentaje de frutos verdes desprendidos de 27%. Se encontró como en otros trabajos previos que el desprendimiento de los frutos depende del incremento de la amplitud (mayor excentricidad) y de la frecuencia de vibración. La selectividad de este desprendimiento depende también del porcentaje inicial de frutos maduros presentes en los árboles.

Palabras claves: Cosecha mecanizada, vibración circular, evaluación de equipos, café.

ABSTRACT

A HARVESTER'S COFFEE EVALUATION FOR CIRCULAR VIBRATION TO THE STEM

¹ Ingeniero Agrícola. Disciplina de Ingeniería Agrícola. CENICAFÉ.

² Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779. e-mail: falvarez@perseus.unalmed.edu.co

³ Investigador Científico III. Disciplina de Ingeniería Agrícola. CENICAFÉ. e-mail: Carlos.Oliveros@cafede colombia.com

⁴ Profesor Asistente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779. e-mail: idaristi@perseus.unalmed.edu.co

A prototype to apply circular vibration to the stem of the coffee plant, developed in the Centro Nacional de Investigaciones de café CENICAFÉ, was evaluated in field to study its technical feasibility in the mechanized harvest of coffee. The evaluation consisting of determining the effect of the frequency, eccentricity and point of application of the circular vibration in the selectivity and the yield of the loosening of coffee fruits. The statistical analysis indicated that the best processing to vibrate the stem (chupon and stump of zoca) of the coffee corresponds to a frequency of excitation of 2,000 c.p.m., with an eccentricity of 2.5 cm applied in chupon, managing itself to give off until 45% of the present mature fruits in the tree with a percentage of green fruits como off 27%. One was like in other previous works that the loosening of the fruits depends on the increase of the amplitude (greater eccentricity) and of the frequency of vibration. The selectivity of this loosening also depends on the initial percentage of present mature fruits in the trees.

Key words: *Mechanical harvesting, circular vibration, evaluation equipment, coffee.*

INTRODUCCIÓN

En Colombia y en la gran mayoría de países cafeteros del mundo la recolección del café se hace en forma manual, demandando gran cantidad de mano de obra, generalmente costosa y con rendimientos de recolección que varían entre 50 y 200 kg de café cereza por día por persona, los cuales hacen que esta labor incremente significativamente los costos de producción de la agroindustria del café.

Como una de las estrategias para disminuir los altos costos para la producción de café en Colombia la Federación Nacional de Cafeteros adelanta en CENICAFÉ desde 1996, diferentes investigaciones en cosecha mecanizada del café, estudiando diferentes principios, uno

de los cuales es la aplicación de vibraciones circulares al tallo del cafeto.

La vibración del tallo con determinadas condiciones de amplitud y frecuencia permite, mediante la transmisión de fuerzas inerciales a través de las estructuras del árbol, lograr desprender en pocos segundos los frutos maduros principalmente. Esta técnica de recolección mecanizada ha sido utilizada con muy buenos resultados en los olivos, las cerezas, frambuesas, nueces, manzanas y cítricos (Adrian y Fridley, 1965; Berlage, 1974; Cargill y Booster, 1983; Fridley y Adrian, 1960; Monroe y Levin, 1972).

Recientemente en Colombia, también, se exploró la utilización de este principio en la recolección del café, obteniéndose resultados bastante promisorios

(Aristizábal, 1998), los cuales permitieron el desarrollo de nuevos prototipos.

La mayor dificultad que se reporta, ha sido el daño generado en la estructura de la corteza de los árboles que se vibran cuando no se diseñan adecuadamente los sistemas de agarre, para absorber los altos esfuerzos cortantes generados por las vibraciones.

En el caso del café, donde la maduración de los frutos no es uniforme, los resultados en recolección mecánica

En este trabajo, se evaluó un prototipo desarrollado por Ramírez (1999), para aplicar vibraciones circulares inerciales utilizando como fuente de potencia un motocultor de 10 kW de potencia. Se busco obtener un régimen de funcionamiento del prototipo adecuado, para aumentar la selectividad (incrementar el desprendimiento de cerezas maduras y reducir el desprendimiento de cerezas verdes), reducir el daño mecánico (descor-tezamiento y defoliación) y operar en cafetales comerciales con alta densidad de siembra.

REVISIÓN DE LITERATURA

Las investigaciones en cosecha mecánica de cultivos comerciales se iniciaron en la década del 50. El café se considera difícil de cosechar mecánicamente a causa de la gran fuerza necesaria para desprender el fruto y el bajo peso del fruto (una relación Fuerza/Frecuencia relativamente alta) (Wang 1965 ; Phillips ,1967 ; Crisosto y Nagao, 1991).

utilizando vibraciones han mostrado alto desprendimiento de frutos inmaduros y/o bajo desprendimiento de frutos maduros, dando como consecuencia una selectividad inferior a la que obtienen los recolectores con la cosecha manual (Aristizábal, 1998; Ciro *et al*, 1998; Martínez *et al*, 1988).

Yung y Wang (1969), estudiaron el comportamiento de las ramas laterales del café sometidas a movimientos circulares del tallo encontrando esto como alternativa promisoría para lograr desprendimiento selectivo de los frutos maduros. En este trabajo no reportan evaluaciones de campo.

En Colombia, Aristizábal (1998), desarrolló y evaluó un prototipo de desplazamiento circular (brazo mecánico), para aplicar vibraciones circulares al tallo del café; este prototipo fue acoplado a los tres puntos de enganche de un tractor de 90 HP y utilizó el sistema hidráulico como fuente de potencia para su accionamiento.

Aristizábal (1998), evaluó en este prototipo frecuencias relativamente bajas (500 y 700 c.p.m.) y amplitudes relativamente grandes (2 y 3 cm) en dos puntos diferentes del tallo (30 y 60% de la altura total), encontrando mejor respuesta del árbol a las vibraciones circulares con la frecuencia de 500 c.p.m. y una amplitud del movimiento circular de 3 cm,

alcanzando a desprender hasta el 60% de los frutos maduros y el 30% de los frutos verdes. Los rendimientos de recolección variaron entre 50 y 118 kg de café cereza por hora.

Este autor también encontró que la selectividad de la recolección, utilizando

Como resultado del trabajo anterior, Aristizábal (1998) recomienda investigar las vibraciones circulares utilizando frecuencias más altas (1500 c.p.m.) con amplitudes menores a 2 cm, con el objetivo principal de disminuir el daño mecánico al cafeto. También recomienda generar la vibración circular empleando un vibrador de tipo inercial (masa excéntrica desbalanceada) que se acople directamente al tallo, con el propósito de transmitir las vibraciones en forma más eficiente a la estructura del árbol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las pruebas de evaluación se realizaron en lotes comerciales de café Variedad Colombia (zoca de tres años), a una distancia de siembra de 1,5m por 1m en zona con pendiente media del 13%, ubicados en la Subestación Experimental Gigante de CENICAFÉ

vibraciones circulares mejora cuando éstas se aplican al tallo en diferentes puntos. Sin embargo el daño producido a los cafetos fue alto, principalmente cuando se utilizó la amplitud de 3 cm en el movimiento circular.

localizada en el municipio de Gigante (Huila).

Se utilizó para la evaluación un prototipo diseñado y construido en Cenicafé, constituido básicamente por un motocultor Goldoni Special Lux 150 de 10 kW de potencia con un sistema oleohidráulico acoplado a él y un vibrador circular inercial accionado por este sistema (Figura 1).

Figura 1. Prototipo para aplicar vibración inercial circular al tallo del café.

Adicionalmente, se utilizaron los siguientes equipos:

- Balanza electrónica METTLER TOLEDO modelo PR/SR de 30 kg,

sensibilidad de 1 g.

- Balanza electrónica METTLER TOLEDO modelo MT-SICS de 3000 g, sensibilidad 1g.

- Cronómetro digital marca CASIO modelo HS-H-10, sensibilidad de 1/100 s.

- Tacómetro Digital con sensor inductivo para registro de frecuencias

- Flexómetros y una cinta métrica de 20 m (lienza).

METODOLOGÍA

Se planteó un diseño experimental con el propósito de evaluar en el prototipo, el efecto de la frecuencia de vibración, la amplitud del movimiento circular y el punto de acople al tallo en árboles de café variedad Colombia renovados por zoqueo; tomando como base los resultados obtenidos por Aristizábal (1998), aplicando vibraciones circulares con otro prototipo.

Diseño experimental. Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 3x4x2, tres frecuencias (1.000, 1.500 y 2.000 c.p.m), cuatro excentricidades (1,5 , 2,0 , 2,5 y 3,0 cm) y dos puntos de sujeción al árbol (el tocón* y el chupón**

de la zoca del café), utilizando como unidad experimental el árbol de café (zoca de tercera cosecha), con 20 unidades experimentales por cada tratamiento. La vibración en cada punto se aplicó durante 20 segundos.

Variables de respuesta. Las variables respuesta utilizadas para los análisis fueron:

PDM: Desprendimiento de frutos maduros [%]

PDV: Desprendimiento de frutos verdes [%]

cortado el tallo cuando se renueva un cafeto.

** Tallo secundario que brota en una zoca y que origina nuevas ramificaciones y producción.

* Parte gruesa (zoca) que queda después de ser

PVCD: Frutos verdes en el café desprendido [%]

R: Rendimiento del desprendimiento mecánico [kg/h]

Para cuantificar las variables anteriores en cada unidad experimental

después de aplicar el tratamiento (vibración circular) durante un tiempo de 20 segundos, se pesaron los frutos desprendidos, recolectados previamente sobre mallas en forma de platea circular (Figura 2), y se recolectaron manualmente los frutos no desprendidos para determinar también su peso por cada estado de maduración. Las hojas desprendidas también fueron pesadas.

Se cuantificaron los tallos que presentaron descortezamiento producto de la vibración circular. La frecuencia de vibración fue calibrada con un tacómetro digital con sensor inductivo instalado en el prototipo junto al eje rotacional de la masa excéntrica.

Análisis estadístico. Todas las variables fueron sometidas al análisis de varianza conforme al diseño experimental especificado. Las frecuencias y excentricidades se analizaron por polinomios ortogonales (regresión).

Todas las variables para el mejor punto de acople se sometieron al análisis de superficie de respuesta, para obtener el tratamiento con el cual se obtuvo la máxima respuesta en cuanto a desprendimiento de frutos maduros.

Criterio de selección del mejor tratamiento. Se determinó el régimen de funcionamiento (combinación de frecuencia y excentricidad del movimiento) del vibrador circular de tallos de café más eficaz, para el desprendimiento selectivo de frutos maduros, con menor daño mecánico al árbol (descortezamiento del

tallo y defoliación).

Figura 2. Malla en forma de platea circular para la recolección de los frutos desprendidos, con abertura en cierre adhesivo para evitar pérdidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones de maduración en los árboles antes de las evaluaciones. Las unidades

experimentales presentaron, al momento de realizar las evaluaciones, un promedio de frutos maduros de 1.683 g (52,4%), frutos pintones de 255 g (7,5%) y frutos verdes

de 1.373 g (40,1%). El peso promedio de todos los frutos presentes por árbol fue de 3.312 g. En la Tabla 1 se muestran los porcentajes iniciales y variación de los frutos por estado de maduración para cada uno de los 24 tratamientos al momento de realizar las pruebas de evaluación del prototipo. Se observa que los frutos maduros iniciales variaron entre 40,8 y 60,0% mientras los frutos verdes iniciales variaron entre 28,9 y 52,6%, condiciones comunes para la

época de recolección.

Resultados de desprendimiento de frutos maduros, verdes y pintones. En la Tabla 2 se presentan los valores promedios y variación en peso y porcentaje de desprendimiento de frutos maduros, pintones y verdes para todos los tratamientos evaluados.

El análisis de varianza mostró efecto de la interacción frecuencia por excentricidad en la variable porcentaje de desprendimiento de frutos maduros a favor de la frecuencia de 2000 c.p.m. y la excentricidad de 2,5 cm, presentándose un mayor desprendimiento de frutos maduros tanto en el punto de acople chupón como en el tocón, según prueba de polinomios ortogonales (Figura 3).

Tabla 1. Porcentaje inicial de frutos maduros, pintones y verdes en los árboles evaluados con el prototipo para aplicar vibración circular al tallo.

T	P A	F R E	E X C		P M I (%)	PPI (%)	PVI (%)		
					CV	CV	CV		
1		1000	1,5	5490	3120	710	4580	3800	4330
2	T		2,0	4960	4120	580	4780	4460	4860
3	O		2,5	4110	5300	730	7150	5160	4390
4	C		3,0	5740	2930	670	7480	3590	4290
5	Ó	1500	1,5	5830	3460	1080	8060	3080	5320
6	N		2,0	4510	4780	660	4320	4840	4360
7			2,5	5410	2990	660	5270	3930	4270
8			3,0	4800	3290	700	5050	4500	3460
9		2000	1,5	5350	3990	1200	8690	3460	6170
10			2,0	4100	4400	760	6670	5140	3490

11			2,5	5830	2970	610	5290	3560	5010
12			3,0	5030	4390	640	3990	4320	5170
13		1000	1,5	5430	4350	880	6100	3680	6360
14			2,0	5360	4310	550	5900	4090	5520
15	C		2,5	5520	3710	1030	11030	3450	5440
16	H		3,0	6480	2520	620	5080	2890	5360
17	U	1500	1,5	5260	3730	940	4380	3800	5280
18	P		2,0	4080	4030	660	3170	5260	3030
19	Ó		2,5	6000	2730	580	6730	3420	4780
20	N		3,0	5970	2700	680	3970	3340	4780
21		2000	1,5	5070	3940	730	6290	4200	4880
22			2,0	4540	4100	820	3830	4640	4190
23			2,5	5360	3460	750	4070	3890	4650
24			3,0	5490	2850	810	4500	3700	42,5

T: Tratamiento, PA: Punto de aplicación,
 FRE: Frecuencia EXC: Excentricidad PMI: % frutos maduros iniciales,
 PMP: % frutos pintones iniciales, PMV: % frutos verdes iniciales

Tabla 2. Desprendimiento promedio de frutos maduros, pintones y verdes (gramos y porcentaje).

T	P A	F R E	E X C	MD (gr)	PD (gr)	VD (gr)	PDM (%)	PDP (%)	PDV (%)						
				CV	CV	CV	CV	CV	CV						
1			1,5	67,8	121,7	6,1	128,6	10,0	163,3	6,5	102,2	5,1	102,7	2,2	173,2
2		1000	2,0	124,9	75,0	14,0	62,6	19,7	68,2	13,2	79,8	11,3	79,5	2,1	78,3
3	T		2,5	188,7	71,3	15,2	53,7	68,4	180,6	17,5	70,0	14,4	158,2	3,9	101,5
4			3,0	229,0	78,8	13,7	83,0	39,2	73,0	13,0	75,1	8,4	66,8	4,7	117,5
5	O		1,5	127,5	81,5	11,2	61,4	22,9	116,5	9,4	89,6	6,4	102,6	3,5	91,3
6		1500	2,0	123,1	55,7	18,6	89,1	53,2	112,3	9,7	69,7	8,8	73,1	3,3	86,4
7	C		2,5	376,8	64,6	28,5	92,2	148,3	166,4	25,4	79,4	14,2	86,9	10,4	102,9
8			3,0	362,4	80,0	61,7	99,1	158,6	156,4	24,9	91,7	24,0	93,5	9,6	130,6
9	O		1,5	142,3	79,3	13,7	76,4	26,4	109,0	14,1	95,8	9,7	101,8	5,7	131,8
10		2000	2,0	221,5	65,8	28,9	72,0	81,3	88,0	19,7	94,4	13,3	88,0	4,5	100,8
11	N		2,5	628,8	81,1	47,7	75,9	168,5	102,3	41,8	67,2	31,2	64,1	19,4	97,1
12			3,0	525,2	86,2	47,7	148,5	217,8	94,8	40,0	69,0	24,9	96,4	20,1	104,4

			CV	CV	CV	CV	CV	CV	CV	CV	CV	CV	CV		
13		1,5	81,3	83,2	14,8	226,4	6,3	56,1	8,0	94,7	9,7	222,9	1,4	138,5	
14	C	1000	2,0	129,4	90,9	8,3	72,9	22,4	85,4	11,2	83,7	15,1	160,6	3,3	95,4
15			2,5	126,9	64,3	8,8	40,6	15,3	81,3	10,8	81,6	5,5	91,4	1,8	60,3
16	H		3,0	262,0	45,7	9,4	79,6	31,2	67,8	17,2	83,6	6,1	77,8	4,4	69,9
17			1,5	96,6	55,7	13,0	58,6	23,1	93,7	5,8	76,4	4,9	95,5	2,1	109,4
18	U	1500	2,0	178,8	73,2	17,4	43,2	36,1	84,9	14,6	79,9	9,9	89,3	2,1	72,9
19			2,5	284,3	72,2	13,6	103,4	59,5	98,1	17,3	99,8	8,4	97,5	6,3	85,8
20	P		3,0	682,3	60,1	62,1	78,8	196,2	67,4	35,6	50,5	30,9	70,9	22,8	79,3
21			1,5	166,1	81,7	25,9	100,3	60,6	73,6	13,1	112,9	13,5	115,9	6,8	101,5
22	O	2000	2,0	315,6	94,0	47,0	103,2	100,7	81,7	18,1	82,4	16,6	104,2	9,0	143,2
23			2,5	713,1	46,3	77,2	59,7	282,4	71,7	46,0	49,1	35,8	62,7	25,9	64,9
24	N		3,0	756,7	47,3	66,9	60,6	313,1	55,8	43,8	60,9	28,8	76,5	27,9	69,7

T: Tratamiento PA: Punto de aplicación FRE: Frecuencia
 EXC:
 Excentricidad
 MD,PD,VD: Gramos cosechados de frutos maduros, pintones y verdes
 respectivamente
 PDM,PDP, PDV: % de desprendimiento de frutos maduros, pintones y
 verdes respectivamente.

Se observó que el mayor desprendimiento de frutos maduros obedece a un incremento en la fuerza de excitación del vibrador, esta tendencia se presenta tanto en el punto de acople tocón como en el chupón, pero se encontró que el desprendimiento de frutos maduros es mayor para el chupón, debido a que en este la fuerza elástica de recuperación y la fuerza de amortiguamiento viscoso son menores; lo cual permite una mejor transmisión de la vibración a las ramas y de estas a los frutos para incrementar el desprendimiento comparado con el tocón que requiere más energía para ser vibrado por su mayor dimensión en diámetro y menor longitud y su posterior transmisión de vibración al chupón.

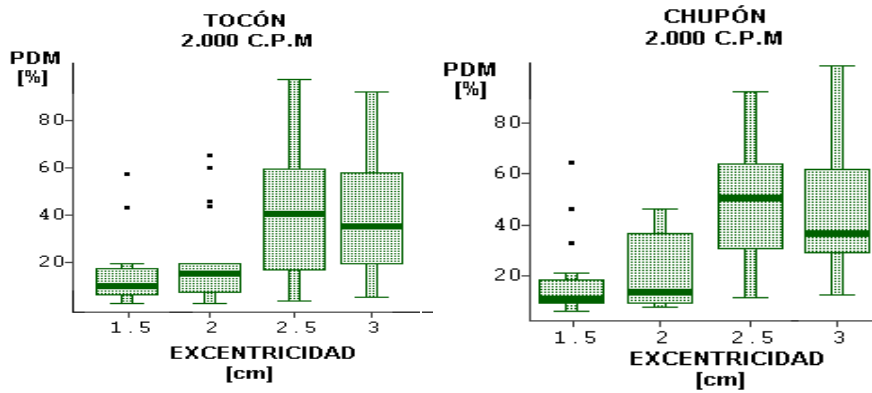


Figura 3. Efecto de la excentricidad para una frecuencia de 2000 c.p.m por cada punto de acople en el porcentaje de frutos maduros desprendidos.

Según la Figura 3 para la mayor frecuencia evaluada 2.000 c.p.m se encontró un incremento del porcentaje de frutos maduros para ambos puntos de acople cuando se operó el equipo con la excentricidad de 2,5 cm, este mayor desprendimiento correspondió a una fuerza de excitación de 2.194 N, generada en el punto de acople del vibrador al tallo.

El análisis de varianza también mostró efecto de la interacción frecuencia por excentricidad en el porcentaje de desprendimiento de frutos verdes a favor de la frecuencia de 1.000 c.p.m y las excentricidades 1,5 y 2,0 cm,

según prueba de polinomios ortogonales (Figura 4). Para esta condición de operación se presentó el más bajo valor de porcentaje de frutos verdes desprendidos que no superó el 5% para el caso del tocón.

Resultados obtenidos para el porcentaje de frutos verdes desprendidos y para el rendimiento del desprendimiento. En la Tabla 3 se presentan los valores promedios y variación del porcentaje de los frutos verdes presentes en el café cosechado y el rendimiento de recolección para todos los tratamientos evaluados.

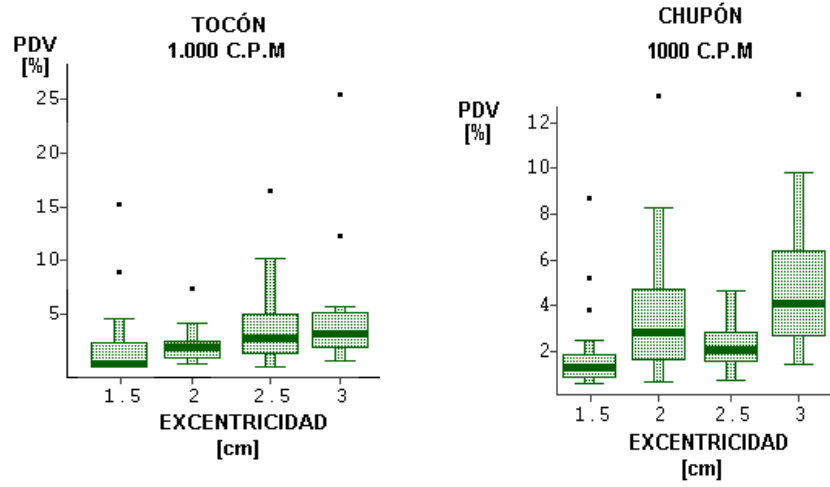


Figura 4. Efecto de la excentricidad para una frecuencia de 1000 c.p.m. por cada punto de acople en el porcentaje de frutos verdes desprendidos.

Tabla 3. Porcentaje promedio de frutos verdes en el café recolectado y rendimiento mecánico de recolección.

F	E	PVCD	R
---	---	------	---

T	PA	R E	X C	(%)		(kg/h)	
				CV	CV		
1		1000	1,5	11,8	84,1	13,3	120,0
2			2,0	14,3	67,2	24,8	71,9
3			2,5	22,5	91,3	36,7	68,4
4	T		3,0	17,2	61,6	43,6	76,1
5	O	1500	1,5	15,4	88,3	24,8	78,2
6	C		2,0	25,3	70,0	25,6	56,0
7	Ó		2,5	23,9	90,5	73,1	63,7
8	N		3,0	25,1	70,3	76,3	75,2
9		2000	1,5	16,5	69,5	28,1	75,0
10			2,0	26,1	72,4	45,0	63,3
11			2,5	20,3	64,8	121,7	79,0
12			3,0	29,3	60,7	103,0	88,6

Continuación Tabla 3.....

T	PA	F R E	E X C	PVCD (%)		R (kg/h)	
				CV	CV		
13		1000	1,5	8,6	99,4	17,3	74,9
14			2,0	19,1	112,2	24,8	86,7
15	C		2,5	14,6	107,2	24,5	60,1
16	H		3,0	11,9	89,0	49,0	44,6
17	P	1500	1,5	19,7	87,1	19,8	53,7
18	Ó		2,0	18,8	67,5	35,3	69,6
19	N		2,5	18,8	62,7	53,6	70,4
20			3,0	22,7	60,1	133,9	59,3
21		2000	1,5	25,4	61,0	34,6	75,9
22			2,0	26,9	68,9	65,2	92,6
23			2,5	27,5	62,9	142,2	44,2
24			3,0	28,9	57,9	148,3	45,3

PVCD: % de frutos verdes en el café cosechado
 PVCD: % de frutos verdes en el café cosechado

R: Rendimiento del desprendimiento
 R: Rendimiento del desprendimiento

El análisis de varianza mostró efecto por separado de los factores frecuencia y

excentricidad en la variable porcentaje de frutos verdes en el café desprendido, presentándose diferencias a favor de la frecuencia de 1000 c.p.m. (Figura 5) y

a favor de la excentricidad de 1,5 cm (Figura 6) según prueba de polinomios ortogonales, obteniendo para ambos análisis un porcentaje promedio de frutos verdes en el café cosechado del 15%.

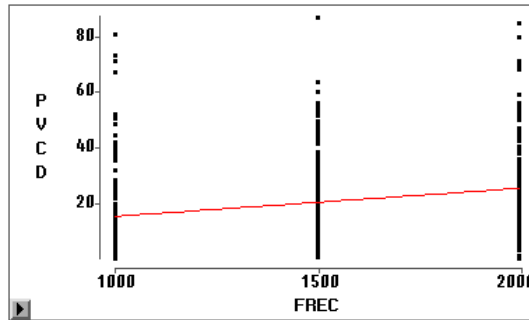


Figura 5. Efecto de la frecuencia en el porcentaje de frutos verdes en el café desprendido.

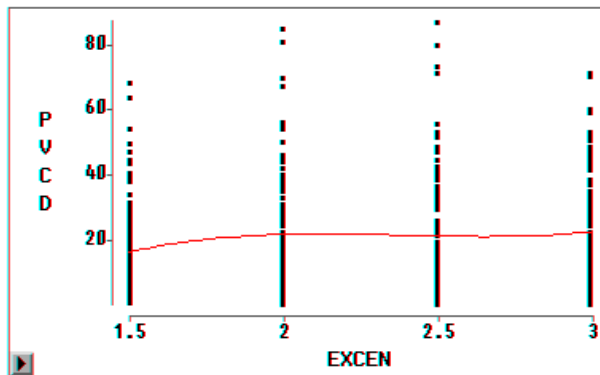


Figura 6. Efecto de la excentricidad en el porcentaje de frutos verdes en el café desprendido.

Para la variable rendimiento del desprendimiento mecánico el análisis de varianza mostró para la frecuencia de 2000 c.p.m., efecto de la interacción punto de acople por excentricidad a favor de la excentricidad de 3 cm y punto de acople y en el chupón y a favor de la excentricidad de 2,5 cm aplicando la vibración en el tocón.

Resultados obtenidos para las variables indicadoras de daño mecánico (defoliación y descortezamiento). En la Tabla 4 se muestran los valores promedios y variación de las variables defoliación y porcentaje de daño mecánico ocasionado al tallo por descortezamiento.

El análisis de varianza mostró efecto de la interacción doble en el menor porcentaje de hojas desprendidas a favor de la frecuencia de 1.000 cpm, la excentricidad de 1,5 cm y el punto de acople en el tocón.

La variable porcentaje de daño mecánico ocasionado al tallo no fue sometida a análisis estadístico, pero los resultados indican que los porcentajes más bajos se presentaron cuando el prototipo se acopló en el tocón.

Los valores promedios de este daño estuvieron entre el 35 y el 65%. Los valores registrados para el chupón variaron entre el 40 y el 85%.

Tabla 4. Promedio de defoliación (peso y porcentaje de hoja desprendida) y porcentaje de daño mecánico al tallo (descortezamiento).

T	PA	F R E	E X C	HD (gr)	PDH (%)	PDMT (%)		
				CV	CV			
1		1000	1,5	11,6	86,4	0,4	86,4	45,0
2	T		2,0	23,3	49,3	0,8	49,3	50,0
3	O		2,5	27,7	65,4	0,9	65,4	35,0
4	C		3,0	34,0	59,9	1,1	59,9	45,0
5	Ó	1500	1,5	18,7	72,6	0,6	72,6	65,0
6	N		2,0	22,6	69,5	0,8	69,5	35,0
7			2,5	29,9	59,6	1,0	59,6	55,0
8			3,0	35,7	79,8	1,2	79,8	65,0
9		2000	1,5	20,1	70,8	0,7	70,8	50,0
10			2,0	16,1	39,4	0,5	39,4	55,0

11		2,5	35,2	59,7	1,2	59,7	50,0	
12		3,0	58,3	59,7	1,9	59,7	60,0	
13	1000	1,5	16,5	71,5	0,6	71,5	40,0	
14		2,0	17,8	56,4	0,6	56,4	45,0	
15	C	2,5	20,4	58,3	0,7	58,3	50,0	
16	H	3,0	36,9	60,2	1,2	60,2	55,0	
17	U	1500	1,5	33,3	76,3	1,1	76,3	45
18	Ó	2,0	22,1	47,6	0,7	47,6	70	
19	N	2,5	27,4	59,7	0,9	59,7	85	
20		3,0	62,8	69,2	2,1	69,2	70	
21	2000	1,5	27,0	63,6	0,9	63,6	65	
22		2,0	24,1	42,1	0,8	42,1	80	
23		2,5	62,4	73,8	2,1	73,8	70	
24		3,0	59,2	37,1	2,0	37,1	75	

HD, PHD: gramos y porcentaje de hojas desprendidas respectivamente.

PDMT: porcentaje de daño mecánico del tallo (descortezamiento)

CONCLUSIONES

- Con el prototipo para aplicar vibración circular al tallo, evaluado en zocas de café, el punto de aplicación de la vibración no tuvo efecto en el desprendimiento de los frutos.
- El desprendimiento de frutos maduros, pintones y verdes del árbol de café variedad Colombia (zoca de tercera cosecha), varía de acuerdo al estado de madurez y cantidad total de frutos presentes en el árbol y es proporcional a la energía suministrada al árbol.
- La interacción de la frecuencia de vibración y excentricidad del movimiento circular tuvo el mayor efecto en el desprendimiento de frutos maduros, pintones y verdes aplicando vibraciones circulares a la zoca de café.
- Cada árbol de café tiene requerimientos energéticos diferentes para lograr desprendimiento de frutos aplicando vibraciones mecánicas al tallo (particularmente vibraciones circulares) a pesar de que los árboles tengan la misma edad, arquitectura y distancias similares de siembra.
- Para las condiciones de este experimento los parámetros de vibración más adecuados, para vibrar la zoca del café variedad Colombia de

tercera cosecha, con el prototipo inercial de vibración circular al tallo fueron: frecuencia de 2000 c.p.m. y

excentricidad de 2,5 cm aplicados en el chupón o en el tocón.

- El motocultor como fuente de potencia, para el equipo de vibración tuvo un desempeño acertado y se verificó la factibilidad técnica de su utilización en cafetales comerciales con alta densidad de siembra y terrenos con pendientes del 13% o mayores. Pero, se observó un desempeño deficiente en cuanto a la tracción en suelos pesados, con alta humedad.

RECOMENDACIONES

- Adelantar estudios básicos, de laboratorio y de campo, para ampliar el conocimiento actual de la transmisión de las vibraciones a través de las diferentes estructuras del árbol de café, considerando diferentes arquitecturas.
- Evaluar un equipo de vibración circular inercial acoplado al tallo, utilizando excentricidades mayores de 3 cm y frecuencias superiores 2000 c.p.m., para aumentar la cantidad de frutos maduros desprendidos, comprometiendo un alto desprendimiento de verdes y un alto porcentaje de daño mecánico.
- Realizar pruebas de evaluación teniendo en cuenta factores de variación como tiempo de vibración, la masa inercial, diferentes puntos de aplicación de la vibración a lo largo del chupón o el tallo.

BIBLIOGRAFÍA

- ADRIAN, P.A. and FRIDLEY, R.B. Dynamic design criteria for inertia type shaker. *En: Transactions of the ASAE. Vol.8, No.4 (1965); p.12-14.*
- ARISTIZABAL, I. D. Estudio del efecto de la vibración del árbol de café en la selectividad de la cosecha. Chinchiná: Cenicafé, 1998. 46p.
- BERLAGE, A.G. Harvesting apples with straddle-frame trunk shaker. *En: Transactions of the ASAE. Vol.17, No.2 (1974); p.230-232.*
- CARGILL, B. F. and BOOSTER, D. F. Vibrational removal techniques: high-density applications. *En: O'BRIEN, M. and CARGILL, B.F., ed. Principles and Practices for harvesting and handling fruits or nuts. Westport, AVI, 1983. 189-219p.*
- CIRO V.,H.J. *et al.* Respuesta dinámica de la rama del cafeto a la aplicación de vibraciones unidireccionales. *En: Cenicafé. Vol.49, No.2 (1998); p.161. 1998.*
- CRISOSTO, C.H. and NAGAO, A.A. Evaluation of fruit removal force of coffee cultivars. *En: HortScience. Vol.26, No.2 (1991); p.210-219.*
- FRIDLEY R.B. and ADRIAN P.A. Some aspects of vibratory fruit harvesting. *En: Agricultural Engineering. Vol.41, No.1 (1960); p.28-31.*
- MARTINEZ R.,A. *et al.* Reporte de investigaciones sobre cosecha mecanizada de café. (Parte I). La Habana: ISCAH, 1988. p 3-89.
- MONROE, G.E. and LEVIN, J.H. Mechanical harvesting of cultivated blueberries. *En: Transactions of the ASAE. Vol.9, No.1 (1972); p. 4-5.*
- PHILLIPS A., L. Computer formulation of forced vibrations of tree limbs with secondary branches. Davis. 1967. 154p. Tesis (Ph.D.). University of California.
- RAMÍREZ V., C. M. Desarrollo y evaluación de un cosechador de café por vibración circular al tallo. Medellín, 1999. 131 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- WANG, K.J. Mechanical coffee harvesting (Part A, B). *En: Transactions of the ASAE. Vol.8, No.3 (1965); p.400-405.*
- YUNG C. and WANG, K. J. Response of coffee laterals to circular base motion. *En: Transactions of the ASAE. Vol.12, No.5 (1969); p.580-583.*

Recibido: 29-04-2002

Aceptado: 7-10-2002