

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA MANUAL PARA ASISTIR LA RECOLECCIÓN DE CAFÉ EN COLOMBIA¹

Diego Londoño-Huertas; Carlos Eugenio Oliveros-Tascón *; Martín Alonso Moreno-Santander**

RESUMEN

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.

La cosecha de café como se realiza en Colombia, desprendiendo manualmente frutos maduros, uno por uno, permite obtener el café de alta calidad conocido mundialmente. Sin embargo utilizando esta técnica de recolección el rendimiento de la mano de obra se reduce notoriamente. En este estudio se dio el primer paso en el desarrollo de herramientas de accionamiento manual para permitir al recolector de café incrementar su rendimiento operativo al desprender y capturar varios frutos, principalmente maduros, en forma simultánea. En el diseño del equipo, denominado ORdeñador SElectivo (ORSEL) se tuvieron en cuenta propiedades morfológicas, físicas y mecánicas de los racimos de café de la variedad Colombia. Para la conceptualización de la herramienta se utilizó el método CESAM, propuesto por Marouzé y Giroux (1998) para el desarrollo de equipos agrícolas en países en vía de desarrollo. La herramienta se evaluó y fue comparada con el método tradicional (manual) en condiciones de campo, utilizando un diseño experimental conmutativo. Los resultados obtenidos con ORSEL mostraron un incremento en el rendimiento operativo superior en más de un 80% al observado en la recolección manual tradicional, una eficacia (desprendimiento de frutos maduros) superior al 50%. La calidad de la recolección (19% de frutos inmaduros en la masa cosechada) no resultó aceptable para las condiciones colombianas.

Palabras claves: Propiedades físicas y mecánicas, cosecha, herramienta de cosecha manual, *Coffea arabica*.

ABSTRACT

Coffee harvest as carried out in Colombia, hand picking only mature fruits one by one, permit to obtain the highest quality, world-wide-known coffee. Nevertheless, by using this harvesting technique the manual labor yield is notoriously reduced. In this study the first step in manual tools development was initiated to increase the operating yield by simultaneously detaching and collecting several fruits, mainly mature. In the design of the equipment called ORSEL ("ORdeñador SElectivo"), morphologic, physical and mechanical properties of coffee clusters, Colombia variety, were considered. For the conception of the tool the CESAM method, proposed by Marouzé and Giroux (1998) for the design of agricultural equipment in less developed countries was applied. The tool was evaluated and compared to the traditional method (hand picking) under field conditions, using a commutative experimental design. The results obtained showed an important increment in the operative yield (more than 80% in relation to the traditional hand picking method), efficacy (detachment of mature cherries) higher than 50%; the harvesting quality was not acceptable for the Colombian standards (19% of green fruits in the harvested mass).

¹ Fragmento de la tesis de grado "Concepción de una herramienta manual para asistir la recolección manual de café en Colombia" presentada por el primer autor como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola. Universidad del Valle-Universidad Nacional de Colombia, Santiago de Cali, 2000.

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

** Profesor Asociado Departamento de Diseño y Procesos de Manufactura. Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle.

La cosecha del café en Colombia se ha caracterizado por su selectividad, lo que implica recolectar principalmente los frutos con más de 30 semanas después de floración. Esta práctica y el cuidadoso beneficio húmedo realizado, le han permitido a los caficultores colombianos posicionar su bebida como una de las más suaves del mundo (5).

En Brasil, un método de cosecha manual no selectiva, ampliamente utilizado en sus plantaciones es la “*derriça*” (“*strip picking*” u ordeño). Este método permite la cosecha de todas las cerezas en un solo pase de la mano (5). No obstante, el café obtenido es heterogéneo con relación a su madurez y su bebida no presenta la misma calidad que la colombiana, debido a la presencia de frutos verdes, sobremaduros y secos.

Para desprender las cerezas maduras por medios diferentes al tradicional y lograr la selectividad requerida, se podrían considerar algunos métodos de recolección manual tradicional (13). En este sentido, la remoción tipo “*derriça*” tiene potencial para ser utilizado en el desprendimiento selectivo dadas las características del método, como lo son: 1. contacto directo con las cerezas de café; 2. el empleo de pocos movimientos en su ejecución y 3. la facilidad de integrar los criterios registrados en la literatura para lograr la selectividad en el desprendimiento (1, 2, 5, 9, 10, 14). Bajo las condiciones de desprendimiento citadas, la remoción selectiva de frutos de café depende entre otros factores de las fuerzas externas aplicadas al fruto y/o estructuras que los soporten (magnitud, dirección y punto de aplicación), de las propiedades físicas y mecánicas del sistema fruto-pedúnculo, de la cantidad y distribución de frutos maduros en los racimos y de la variedad de café.

Diferentes investigadores han encontrado que a medida que aumenta el grado de maduración de los frutos disminuye la magnitud

de la fuerza de tracción pura necesaria para desprenderlos (1, 2, 5, 14). Adicionalmente, encontraron diferencias significativas entre las cerezas maduras y verdes con respecto al tamaño, a favor de las primeras (1, 2).

Por otro lado, los estudios de límite de fluencia biológico y firmeza, realizados por Oliveros *et al.* (11) identificaron diferencias entre frutos de café dependiendo de su estado de maduración que podrían ser utilizadas en el desarrollo de herramientas para la cosecha selectiva. En la medida que la pulpa (epidermis) y el mucílago (mesocarpio), más elásticos en frutos maduros, podrían evitar el daño mecánico a la almendra y le daría la posibilidad de soportar efectivamente las deformaciones.

El principal valor económico de la cereza de café lo constituyen los granos o almendras ubicados en su interior. Las estructuras anteriormente mencionadas (pulpa y mucílago) constituyen una protección natural contra fuerzas externas que se generan al intentar cosecharlas por medios mecánicos y/o manuales.

Finalmente, el método de desprendimiento masivo, tipo “*derriça*” y los criterios de selectividad, se integraron en una primera fase, lo cual originó un dispositivo cosechador elaborado a partir de un envase plástico de gaseosa (de 1 litro, Figura 1) al cual se le realizaron cortes en el fondo y en las paredes para permitir su empleo en las ramas de café. Con los cortes realizados al fondo del recipiente se formaron aletas, las cuales debido a sus propiedades elásticas, permitieron generar las fuerzas tangenciales requeridas para desprender los frutos. En los ensayos preliminares se observó baja selectividad en el desprendimiento de frutos maduros y dificultades para el manejo del prototipo.

No obstante, las experiencias con este primer prototipo aportaron nuevos conceptos para el diseño de herramientas para la cosecha manual

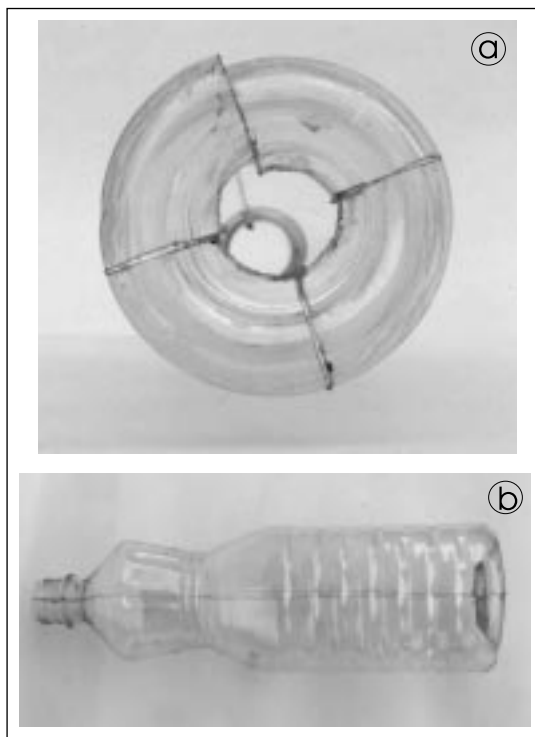
asistida de café los cuales sirvieron para el desarrollo de esta investigación con la cual se buscó diseñar, construir y evaluar una herramienta de tracción manual para la cosecha selectiva del café.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Las investigaciones básicas y los ensayos con los primeros prototipos se realizaron en Cenicafé, Chinchiná, Caldas. La evaluación en campo con el último prototipo se llevó a cabo en la subestación experimental La Sirena, en el departamento del Valle del Cauca, en árboles de café de la variedad Colombia de frutos rojos, en una zoca con dos chupones de primera cosecha, densidad de siembra de 10.000 plantas por hectárea, en un lote de topografía plana.

Propiedades físicas. Se seleccionó en los lotes experimentales una muestra de 50 árboles al azar y de cada árbol se tomaron dos (2) racimos. Como se muestra en la Figura 2a, al cortar transversalmente a un racimo de café, la superficie externa de los frutos (básicamente la región cercana a los ombligos) estaría contenida en una elipse con eje mayor “a” y menor “b”. En forma similar (Figura 2b) los extremos de los frutos en su unión con el pedúnculo en un racimo también están contenidos en una elipse de ejes mayores y menores “a' ” y “b' ”, respectivamente. Para el diseño de la herramienta se consideró la región comprendida entre las dos elipses, la cual se definió como zona de trabajo. Teniendo en cuenta los semiejes mayores y menores de las dos elipses se obtuvieron las profundidades máxima y mínima de trabajo de la herramienta.

Figura 1. Prototipo de accionamiento manual para la cosecha de café construido de un recipiente plástico de 1 litro. (a): cortes en la base del envase que definen las dimensiones de las aletas y de la sección circular a través de la cual deben pasar los frutos que no se desprenden al desplazar la herramienta por los racimos (principalmente los inmaduros). (b): corte longitudinal realizado al recipiente para permitir el ingreso y acomodamiento del dispositivo en los racimos.



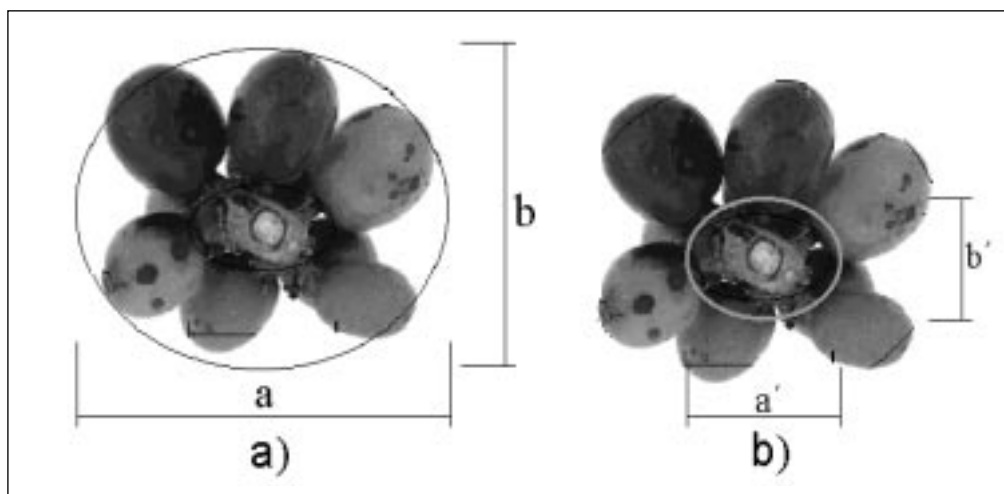


Figura 2. Representación esquemática de las dimensiones de las elipses que contienen los frutos de café en los racimos: a. elipse externa y b. elipse interna.

Fuerza para desprender masivamente frutos de café de un racimo.

Para facilitar la operación se hace necesario que la herramienta requiera poca fuerza para desplazarla a través de los racimos. En general, la fuerza para accionar la herramienta depende principalmente de su diseño, de los sistemas de desprendimiento y de evacuación, y de la cantidad y porcentaje de frutos maduros en cada racimo. La fuerza requerida para desprender masivamente frutos de café con porcentaje de maduración de 0 al 100% se midió utilizando una máquina de deformación controlada marca GOODBRAND con velocidad de desplazamiento del cabezote de 50mm/min. Los racimos se obtuvieron al azar de 30 árboles de variedad Colombia de 4 años. Las muestras se empacaron en doble bolsa plástica sellada, se almacenaron a 5°C y antes de cada ensayo se dejaron reposar a temperatura ambiente, mínimo por una hora. En cada ensayo se registraron la fuerza (N) y la deformación (mm) al momento del desprendimiento de los frutos.

Constante de elasticidad del fruto de café. Con la información obtenida por Oliveros *et al.* (11), se calculó la constante de elasticidad del fruto

(K) utilizando un modelo lineal simple pasando por el origen, tomando como variable independiente la fuerza (kN) y como variable dependiente la deformación (mm).

Análisis estadístico. Estas variables fueron sometidas a las transformaciones necesarias para su normalización y análisis de estadística descriptiva.

Diseño y construcción. Para el desarrollo de la herramienta se utilizó la técnica de aproximación morfológica (6), la cual se basa en el análisis sistemático y la observación de las propiedades físicas y mecánicas del material biológico, por lo general, muy ajustadas a las condiciones reales de campo. Así mismo, se tuvieron en cuenta los planteamientos metodológicos propuestos por el método CESAM (“Conception d’Equipements dans les ays du Sud pour l’Agriculture et l’agro-alimentaire, Méthode”), para el desarrollo de equipos para la cosecha de café en Colombia (3, 8). Los prototipos iniciales se construyeron en el taller de Ingeniería Agrícola, en la sede principal de Cenicafé y el prototipo definitivo en un taller especializado.

Evaluación. Se realizó durante el mes de febrero de 2000, bajo un diseño experimental conmutativo que permite comparar los dos tratamientos evaluados: 1. cosecha manual tradicional y 2. cosecha con herramienta ORSEL. A través de los indicadores operativos de eficiencia (rendimiento operativo, kg/h; tiempo por árbol, min.), eficacia (porcentaje de desprendimiento de frutos maduros) y calidad (porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada). Se utilizó como covariable el peso inicial de los frutos maduros en los árboles antes de realizar los tratamientos.

La parcela experimental constó de 28 árboles. En una parcela se efectuaron dos ciclos de trabajo (cosecha manual tradicional y cosecha con el prototipo ORSEL) que corresponden a los tratamientos con 20 repeticiones cada uno.

Las unidades experimentales se asignaron de la siguiente manera: al azar se seleccionó la primera unidad experimental para cualquiera de los dos métodos y luego se alternó en forma sistemática, con el propósito de que cada uno fuera evaluado en una parcela adyacente a la otra.

Los dos operarios fueron entrenados durante dos jornadas de trabajo, enfatizando en los movimientos a realizar con el prototipo desarrollado.

Análisis estadístico. Se comparó el método que presentó la mayor eficacia, el mayor rendimiento operativo y la mejor calidad en la masa de café cosechado según análisis de covarianza conforme al diseño experimental especificado y prueba de comparación de promedios t al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas. En la Tabla 1 se presentan los promedios y los coeficientes de variación de cada una de las variables determinadas.

A partir de la información presentada en la Tabla 1 se definió una zona de trabajo para la aplicación de esfuerzos que permitieran el desprendimiento de los frutos, preferiblemente en las zonas de unión fruto-pedúnculo.

Fuerza para desprender masivamente frutos de café de un racimo. A medida que aumenta el porcentaje de frutos maduros en un racimo, la fuerza para desprenderlos masivamente disminuye: 76,96 N para 0% de frutos maduros y 24,13 N para 100% de frutos maduros (Figura 3). Este resultado para racimos coincide con la información registrada por Álvarez (2) para frutos aislados desprendidos con la aplicación de momento flector en la unión fruto-pedúnculo.

Tabla 1. Promedios de los ejes mayor y menor (mm) para las elipses que contienen los frutos de café Variedad Colombia de fruto rojo.

Variable	Mínimo	\bar{X}	Máximo	CV (%)
Eje mayor elipse externa (a)	39,84	50,88	66,21	7,89
Eje menor elipse externa (b)	27,38	45,38	57,74	10,85
Eje mayor elipse interna (a')	16,71	23,84	30,94	9,77
Eje menor elipse interna (b')	10,02	16,77	23,16	14,17
Profundidad de trabajo (a)	11,5	13,5	17,6	11,56
Profundidad (b)	8,7	14,3	17,2	15,36

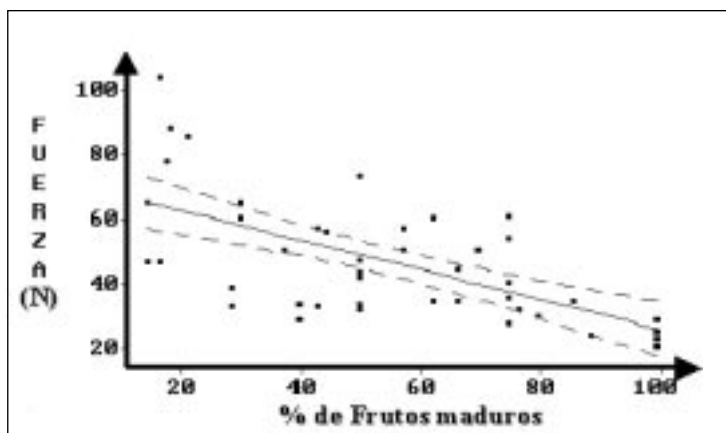


Figura 3. Fuerza (N) para desprender masivamente los frutos presentes en un racimo de café para diferente porcentaje de frutos maduros.

Así mismo, se analizó el efecto del número de frutos por racimo en cuanto a la fuerza para desprenderlos, que generalmente varía entre racimos. Se usó como covariable el número de frutos, cuya interacción resultó significativa, es decir, a medida que aumenta el número de frutos maduros es mayor la fuerza necesaria para desprenderlos. En la Tabla 2 se muestran los valores de la fuerza corregida por la covariable que físicamente representa un valor relativamente alto para el tipo de actividad que se realiza, debido a que por rama se encuentran entre 7 y 10 racimos, donde cada uno para ser desprendido requiere de una fuerza que oscila entre los 30 y 70N.

El modelo que describe la fuerza de desprendimiento masivo de frutos en un racimo (F_c) afectada solamente por la covariable porcentaje de frutos maduros (P_{mad}) es el siguiente ($R^2 = 0,8818$):

$$F_c = 0,3153P_{mad} + 65,98$$

<<1>>

Adicionalmente, se obtuvo un modelo que considera el número de frutos (N) presentes

en el racimo y el porcentaje de maduración (P_{mad}), ($R^2 = 0,67$, error relativo promedio de 2%):

$$F_c = e^{(1,62+0,019N-0,003P_{mad})}$$

<<2>>

En la Figura 4 se presenta la curva esfuerzo vs. deformación para una cereza de café madura cargada en su plano ecuatorial hasta causar el rompimiento de la pulpa e iniciar la expulsión de las semillas. En ella se observan dos picos: el primero indica la ruptura de la pulpa e inicio de la expulsión de las semillas y el segundo la compresión de las semillas hasta su ruptura o falla.

Las características de elasticidad exhibidas por las estructuras pulpa y mucílago propias de un fruto maduro (Tabla 3), permiten que la cereza madura experimente una deformación elástica considerable, del orden de 2mm. Así mismo, le permite en su plano ecuatorial soportar fuerzas de hasta 30N sin que se causen daños a la semilla.

El segundo aspecto se relaciona con la posibilidad de establecer una marcada diferencia entre un fruto maduro y uno verde, dado que

Tabla 2. Fuerza (N) para desprender masivamente frutos de café presentes en un racimo, por grupos de maduración. Variedad Colombia de fruto rojo, de 4 años.

% Maduración de racimos por grupos	Promedio de maduración por grupo %	Fuerza (N)	Fuerza Corregida (N)
(0–10)	0,0	76,96	69,00
(10,1–20)	16,29	72,11	60,51
(20,1–30)	26,19	52,97	53,62
(30,1–40)	33,75	57,14	58,61
(40,1–50)	41,70	41,04	46,18
(50,1–60)	51,79	48,13	52,35
(60,1–70)	64,58	44,14	46,83
(70,1–80)	74,62	43,41	45,18
(80,1–90)	84,87	30,08	36,45
(>90,1)	100	24,13	35,40

Figura 4.
Curva de esfuerzo y deformación de una cereza de café madura, cargada en el plano ecuatorial (11).

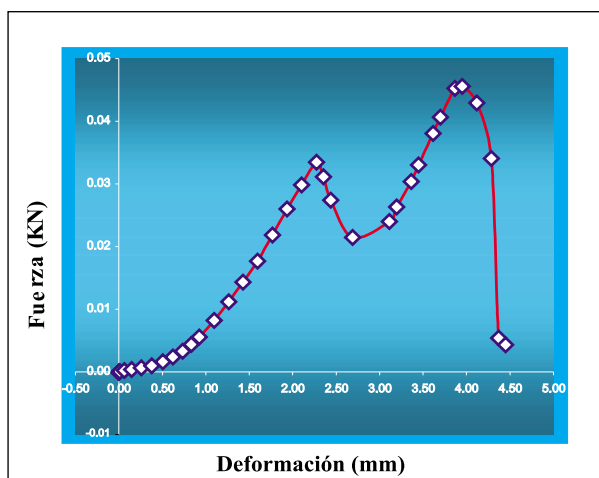


Tabla 3. Constante elástica para el fruto maduro de café variedad Colombia roja

Variable	Cereza Madura	R ² Ajustado	Prob.
Constante elástica (K)	0,0172 (kN/mm)	0,7646	0,0001

las cerezas maduras son menos rígidas que las verdes, que no contienen mucílago.

Diseño y construcción. Con la información obtenida a partir de los modelos icónicos de los racimos, los cuales permiten observar la distribución espacial de los frutos y la dirección que estos asumen en ellos, y la fuerza promedio requerida para desprender todos los frutos presentes en un racimo (Tabla 2), desprendimiento masivo, se diseñó un mecanismo que permitiera desprender gradualmente los frutos maduros presentes en el racimo y de esta forma, disminuir la fuerza requerida para desprender el conjunto de frutos disponibles en ellos. El mecanismo diseñado constó de tres anillos, cada uno de los cuales tenía como objetivo remover una parte de los frutos maduros del racimo. Al primero le corresponde desprender los frutos periféricos o sobresalientes, el segundo y el tercer cuerpo remueven las cerezas maduras de los lados derecho e izquierdo del racimo, respectivamente. La distancia entre cada anillo se determinó considerando la longitud existente entre los nudos de una rama y las medidas ortogonales del fruto, con el fin de poder evacuar por la gravedad, las cerezas desprendidas.

En la Figura 5 se presenta el diseño virtual de la herramienta ORSEL en la cual se integraron las propiedades físicas y mecánicas determinadas para los racimos. Igualmente, se tuvieron en cuenta las características antropométricas de la población colombiana y consideraciones ergonómicas en el agarre y manipulación.

El mecanismo diseñado para desprender selectivamente los frutos maduros (Figura 5) consta de las siguientes partes: diente, espigo, resorte y tensor, que conforman un palpador o dedo. Cada palpador tiene dos grados de libertad con la elasticidad adecuada para ceder y retornar a su posición neutral en presencia de frutos con mayor o menor adherencia al pedúnculo. Los frutos de mayor tamaño (generalmente maduros) son retenidos entre dos palpadores. Para facilitar y agilizar su empleo en el campo se diseñó un sistema de sujeción compuesto por un mango principal y uno auxiliar, el primero de los cuales controla la entrada y la salida de la herramienta en la rama. Adicionalmente, permite el posicionamiento del prototipo en cualquier parte del árbol. El mango auxiliar permite distribuir los esfuerzos y fuerzas

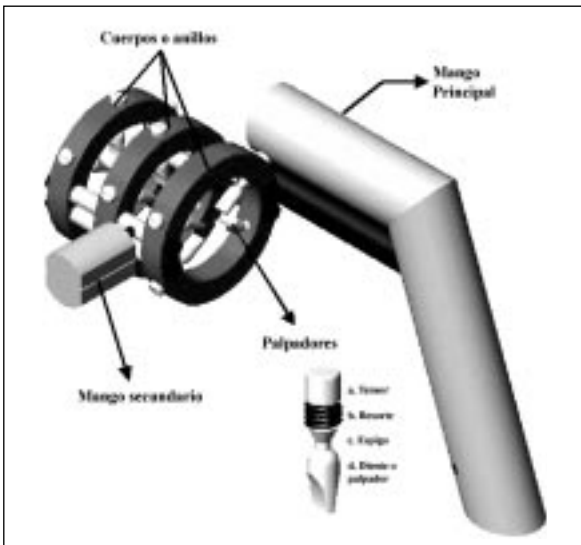


Figura 5.
Primera generación del prototipo ORSEL.

en ambas muñecas del operario, al tiempo que asegura los cuerpos del mecanismo evitando que se abran cuando la herramienta esté siendo utilizada sobre la rama. En la Figura 6 se observa el prototipo construido siguiendo las especificaciones descritas en el diseño y con los materiales seleccionados.

Evaluación. En la Tabla 4 se registran los resultados del análisis descriptivo para las variables que representan el “indicador de eficacia”. El resultado obtenido con relación al porcentaje de frutos maduros desprendidos no correspondió al proyectado en el diseño del prototipo. Los datos muestran que se desprende sólo el 50% de los frutos aptos para

ser cosechados, resultado fundamentalmente atribuible a las dificultades que presentó la herramienta para ubicarse al inicio de la rama, donde por lo general, se encuentran cerezas aptas para la recolección. Así mismo, la longitud de los palpadores permitió que gran cantidad de frutos maduros de menor tamaño (por debajo del valor de diseño) permanecieran en la rama. Finalmente, el sistema de desprendimiento utilizado con los tres anillos cumplió la función de disminuir la fuerza de accionamiento de la herramienta, pero no fue muy eficiente en el momento de desprender los frutos aptos.

En lo que respecta a la cosecha manual tradicional (CMT), la Tabla 4 muestra un

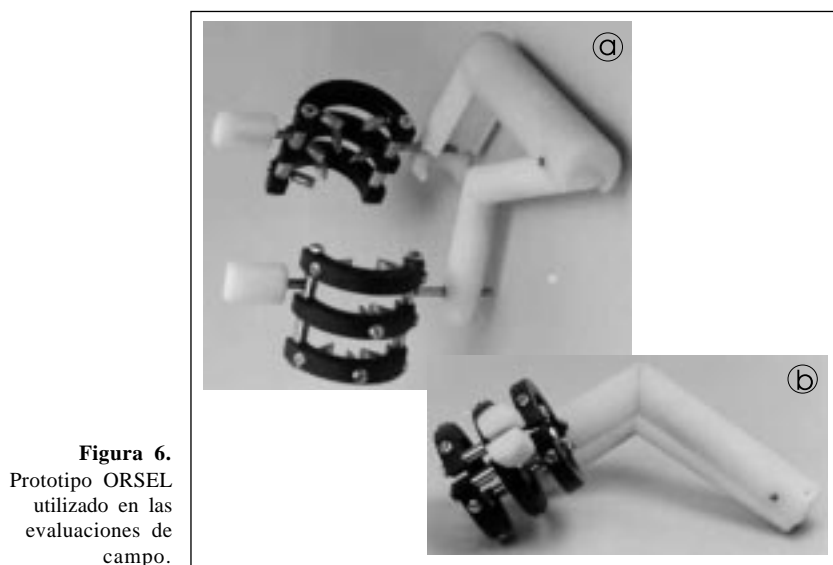


Figura 6. Prototipo ORSEL utilizado en las evaluaciones de campo.

Tabla 4. Eficacia en la recolección de café con el prototipo ORSEL y en cosecha manual tradicional (CMT).

Método	ORSEL					CMT				
	Mín.	Máx.	\bar{X}	CV (%)	Error estándar	Mín.	Máx.	\bar{X}	CV (%)	Error estándar
Variable (% frutos)										
Maduros desprendidos	32,7	65,0	49,7	17,7	1,97	95,3	99,1	97,1	0,9	0,21
Pintones desprendidos	15,4	80,8	40,8	31,9	2,91	87,0	98,8	96,0	2,7	0,59

desprendimiento de frutos maduros y pintones superior al 95% (alta eficacia), lo que indica un desempeño adecuado de los operarios frente a este indicador. No obstante, se muestra un alto porcentaje de cerezas pintonas desprendidas, práctica que se ha acentuado debido a que de esta forma es posible evitar los continuos pases de cosecha. Sin embargo, esta práctica no es aconsejable ya que los frutos pintones generalmente pesan menos que los maduros y pueden dar origen a bebidas con sabor astringente.

Calidad. En la Tabla 5 se muestra la información obtenida para las variables que representan este indicador. Con el prototipo se obtuvo en la masa cerca del 19% de frutos no aptos para cosechar, comparado con tan sólo 0,45% en la CMT.

El alto desprendimiento de frutos verdes, de tamaño similar al pintón y maduro, puede atribuirse a: 1. Diseño del sistema de

desprendimiento (distancia inapropiada entre palpadores, crítico en el caso de frutos de variedad Colombia de gran tamaño; falta de alineación de la herramienta con relación al eje de los racimos lo cual fue más evidente en las ramas ubicadas en los tercios inferior y superior del árbol; materiales inapropiados, etc). 2. De operación (fallas en el manejo del equipo por falta de mayor entrenamiento; empleo en cafetales con porcentaje de frutos maduros que no favorece el empleo de dispositivos como el ORSEL: < 50%).

Con relación a la eficiencia, evaluada a través de las variables rendimiento neto y tiempo por árbol, el prototipo ORSEL presentó un buen desempeño comparado con la (CMT)(Tabla 6).

Los valores mostrados en la Tabla 6 indican que con la herramienta se aumentó el rendimiento operativo en más del 80%. Sin embargo, debe tenerse presente que el 20% de la masa cosechada estaba constituido por frutos verdes.

Tabla 5. Calidad en la recolección con el prototipo ORSEL y la cosecha manual tradicional (CMT).

Método	ORSEL					CMT				
	Mín.	Máx.	\bar{X}	CV (%)	Error estándar	Mín.	Máx.	\bar{X}	CV (%)	Error estándar
Variable (%)										
Maduros cosechados	39,7	81,3	67,9	15,7	2,40	84,2	92,4	89,2	2,53	0,50
Verdes cosechados	12,1	27,2	19,0	24,1	1,02	0,0	1,18	0,45	69,2	0,06

Tabla 6. Indicador descriptivo de eficiencia para el ORSEL y la Cosecha Manual Tradicional (CMT).

Método	ORSEL					CMT				
	Mín.	Máx.	\bar{X}	CV (%)	Error estándar	Mín.	Máx.	\bar{X}	CV (%)	Error estándar
Variable										
Rendimiento neto (kg/h)	19,0	42,8	32,1	20,5	1,47	14,8	22,4	17,4	12,1	0,47
Tiempo por árbol (mínimo)	0,54	1,24	0,79	22,4	0,03	0,65	1,84	1,41	21,2	0,06

La prueba de t al 5% mostró diferencias significativas para las variables porcentaje de frutos maduros cosechados, porcentaje de frutos verdes cosechados a favor del método tradicional y las variables rendimiento neto y tiempo por árbol, a favor de la herramienta (Tabla 7).

En el indicador operativo de eficiencia, la variable tiempo por árbol mostró las ventajas de la herramienta, al disminuir el tiempo

empleado en la recolección de un árbol en más del 80%. Lo anterior, coincide con lo encontrado para la variable rendimiento neto.

Con relación a la evaluación de campo, el mayor problema presentado por la herramienta fue el bajo desprendimiento de frutos aptos para cosechar, cercano al 50%. A pesar de ello, se debe tener en cuenta que la herramienta no se utilizó sobre todas las ramas, porque muchas de ellas tenían un bajo porcentaje de



Figura 7.
Prototipo de herramienta ORSEL durante la evaluación de campo.

Tabla 7. Promedios y variación por tratamientos para las variables que definen la recolección de café.

Método	ORSEL		CMT	
	\bar{X}	CV	\bar{X}	CV
EFICACIA				
Maduros desprendidos (%)	49,7 b*	17,7	97,1 a	0,99
CALIDAD				
Maduros cosechados (%) ¹	67,9 b	15,7	89,2 a	2,53
Verdes cosechados (%) ²	19,0 a	24,1	0,45 b	69,2
EFICIENCIA				
Rendimiento neto (kg/h) ³	32,1 a	20,5	17,4 b	12,1
Tiempo por árbol (min.) ²	0,79 b	22,4	1,41 a	21,2

* Promedios seguidos por diferente letra presentan diferencia estadística, según prueba t al 5%

¹ Para el análisis la variable fue transformada por la función X^5 .

² Transformada por la variable $X^{1/2}$

³ La variable fue transformada por la función $\log X$.

frutos aptos para cosecha (<50%) y en estas condiciones era muy probable desprender un alto número de frutos verdes.

En la evaluación del prototipo ORSEL 1 el desprendimiento de hojas fue similar al observado en la cosecha manual tradicional. Adicionalmente, no se generó ninguna clase de daño mecánico sobre la corteza ni fracturas en las ramas o chupones. En la Figura 7 se muestra el prototipo durante la evaluación realizada.

Con relación al recolector y sus causas de morbilidad, durante el ciclo de cosecha las manos, principalmente las yemas de los dedos, se lesionan por el roce permanente con los frutos, pedúnculos de frutos desprendidos con anterioridad y/o por las picaduras de insectos y arañas los cuales afectan drásticamente la productividad. Ésta, de acuerdo con lo observado en los ensayos realizados y en visitas a plantaciones, se reduce considerablemente en los últimos días de la semana. El prototipo ORSEL 1 es el primer resultado en la búsqueda de tecnología sencilla, de bajo costo, que permita incrementar la productividad del operario y mantenerla estable a lo largo de toda la jornada de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento a COLCIENCIAS. A la Doctora Lucelly Orozco Gallego por su asesoría metodológica y estadística. Al Doctor César Augusto Ramírez por su asesoría técnica. Al profesor de la Universidad Nacional de Colombia-Palmira Luís Arnoby Rodríguez por su interés y colaboración. A la Doctora Esther C. Montoya R. por sus recomendaciones para el análisis de la información obtenida y la elaboración de este artículo. Al Ingeniero Juan Carlos Vélez por sus recomendaciones técnicas y al personal de la disciplina de Ingeniería Agrícola por todos sus aportes.

LITERATURA CITADA

1. ÁLVAREZ T., E. Estudio de las propiedades físico-mecánicas del sistema fruto-pedúnculo del café variedad Colombia. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1998. 80 p. (Tesis: Ingeniero Agrícola).
2. ÁLVAREZ M., F. Algunas características dimensionales y propiedades físico – mecánicas del café relativas a su cosecha mecánica. Chinchiná, Cenicafé, 1993. 47 p. (Reporte de año sabático).
3. ARCILA M., M. Etude de conception d'un outil d'aide a la recolte manuelle du café en Colombie. Montpellier, L'Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires-ENSIA, 1998. 65 p. (Tesis: Master of Science).
4. ARCILA M., M. Proposición de un proyecto de concepción de una herramienta para la cosecha de café en Colombia: Aplicación del método CESAM para la concepción de equipos en Colombia. Montpellier, CIRAD, 1998. 28 p.
5. CRISOSTO, C. Evaluation of fruit removal force of coffee cultivars. Hortscience 26 (2): 210. 1991.
6. CHRISTIANSON, L.; ROHRBACH, R. Design in agricultural engineering. Michigan, ASAE, 1986. 310 p.
7. LONDOÑO H., D. Concepción de una herramienta manual para asistir la recolección de café en Colombia. Santiago de Cali, Universidad del Valle-Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, 2000. 110 p. (Tesis: Ingeniero Agrícola).
8. MAROUZÉ, C.; GIROUX, F. Méthode CESAM. Montpellier, CIRAD, 1998. 16 p. (Amis No. 18)
9. MOHSEIN, N. Physical properties of plant and animal materials : structure, physical characteristics an mechanical properties. 2. ed. New York, Gordon and Breach, 1986. 891 p.
10. MOHSEIN, N. Mechanical properties of fruits and vegetables review of a decade of research applications and future needs. Transactions of the ASAE 15 (6):1064-1069. 1972.
11. OLIVEROS T., C.E.; MONTTOYA R., E.C.; AYALA A., A. Efecto de la broca del café en la firmeza

del grano en los estados de cereza, pergamino húmedo y pergamino seco. *Cenicafé* 53(1):25-32. 2002.

12. ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; DÁVILA A., M.T.; ÁLVAREZ H., J.R.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRIGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1999. 273 p.
13. 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.
14. WANG, J.K. Mechanical coffee harvesting (Part A,B). *Transactions of the ASAE* 8 (3): 400-405.1965.