

Viabilidad Técnica Del Desprendimiento Selectivo De Café (*Coffea Arabica* L.) utilizando Espetación De Los Frutos*

*Victor Manuel Martínez Castro**
Néstor Enrique Cerquera Peña***
Juan Rodrigo Sanz Uribe****
Edilson León Moreno Cárdenas*****
Carlos Eugenio Oliveros Tascón******

Resumen

La presente investigación fue de carácter exploratoria y en ella se emplearon punzones para el desarrollo de una herramienta que asista la cosecha manual denominada COSER-6 (COSEchador de Rodillos) basado en las fuerzas de espetación reportadas por Restrepo et al. (1999), y en la recolectora de aceitunas. COSER-6 consta de 2 rodillos con punzones dispuestos radial y longitudinalmente, la rama es localizada en medio de los rodillos los cuales giran al rededor de su eje al ser accionados manualmente a lo largo de la rama. Con la herramienta fueron evaluados los indicadores de cosecha: Eficiencia, Eficacia y Calidad en ramas con dos rangos de maduración (entre 50 - 70% y mayor a 70%) de café (*Coffea arabica* L.) Variedad Colombia. El rendimiento potencial asociado a Eficiencia estuvo entre 95,78 y 98,33 kg/h, el porcentaje de frutos verdes asociado a Calidad entre 28,66 y 14,3 y la Eficacia entre 83 y 83,12%. Además se diseñaron y construyeron tres punzones de punta cónica con diámetro variable: 1mm (1P), 1,5mm (1,5P) y 2mm (2P), de diámetro máximo. Las fuerzas necesarias para espetar frutos maduros e inmaduros con los tres diferentes punzones, así como las fuerzas de retención, también fueron determinadas. El punzón de cabeza cónica mas grande (2,0 mm) fue el que presentó mayor fuerza de retención en el fruto maduro, siendo el promedio de 5,4 N, la cual es un poco mayor a la mitad de la fuerza necesaria para desprender un fruto de café por tracción. Además se observó que la fuerza necesaria para espetar los frutos inmaduros fue cerca de cuatro veces la fuerza necesaria para espetar los frutos maduros lo cual hace promisorio este principio.

Palabras claves: Fruto maduro, espetación, punzones, cosecha selectiva.

* Investigación financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café. Trabajo con mención "Laureada" por el Consejo Académico de la Universidad Surcolombiana mediante acuerdo No. 079 del 14 de diciembre de 2006.

** Ingeniero Agrícola. Universidad Surcolombiana.

*** Director Proyecto de Grado M.Sc Ingeniería Agrícola. Especialista Ciencia y Tecnología de Alimentos. Profesor Asociado. Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana. cerquera@usco.edu.co

**** Investigador Científico II. Disciplina de Ingeniería Agrícola. CENICAFÉ

***** Investigador Asociado. Disciplina de Ingeniería Agrícola. CENICAFÉ

***** Investigador Principal. Disciplina de Ingeniería Agrícola. CENICAFÉ



Especificaciones de diseño. Para abordar la exploración se partió del estudio realizado por Moreno (2005), a la línea de cosecha mecánica con equipos portátiles y manual asistida de la disciplina de Ingeniería de CENICAFÉ. De acuerdo con el autor la herramienta debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Adaptabilidad a las condiciones topográficas y climáticas de las zonas cafeteras del país.
- Fácil manejo (condiciones ergonómicas durante su operación).
- Facilidad de fabricación.
- Alta capacidad de desprendimiento de café.
- Altas posibilidades de alcanzar selectividad (medida como un bajo porcentaje de fruto inmaduro cosechado).
- Bajo costo de la herramienta.
- T : Tiempo de cosecha por rama (h).
- PFMC : Peso de frutos maduros cosechados (kg).
- PFM : Peso de frutos maduros totales (kg).
- PFVC : Peso de frutos verdes cosechados (kg).
- NTa: Número total de almendras en una muestra.
- Nap: Número de almendras espetadas por el punzón.

Variables de respuesta. Las variables de respuesta fueron obtenidas a partir de la anterior información registrada, ellas fueron:

- **Rendimiento (kg/h):** Variable asociada al indicador de cosecha **eficiencia**, se obtuvo a partir de la relación entre el peso de los frutos cosechados y el tiempo empleado para desprenderlos, a través de la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento} = \frac{PFC}{T} \quad [1]$$

- **Frutos maduros desprendidos (%).** Variable asociada al indicador **eficacia**, obteniéndose a partir de la relación del peso de los frutos maduros cosechados y el peso de los frutos maduros totales presentes en la rama.

$$\text{Eficacia} = \frac{PFMC}{PFM} * 100 \quad [2]$$

- **Frutos verdes en la masa cosechada (%).** Variable asociada al indicador **calidad**, relaciona el peso de los frutos verdes (inmaduros) cosechados con el total de los frutos cosechados

$$\text{Calidad} = \frac{PFVC}{PFC} * 100 \quad [3]$$

Variables complementarias. Las variables complementarias fueron:

Los parámetros de diseño tomados en cuenta para el desarrollo de la herramienta con punzones, estuvieron relacionados con el movimiento lineal del RASELCA II y de la máquina recolectora de aceitunas de cilindro con punzones; de igual manera se buscó la distribución y tipo de punzón de acuerdo a las propiedades físico – mecánicas del sistema fruto – pedúnculo y a las posibles áreas expuestas del fruto en el racimo, lo que permite estimar las posibles causas de desprendimientos selectivos con las diferencias notables de firmeza entre frutos maduros e inmaduros de café, utilizando punzones.

Evaluación de la herramienta. La herramienta se evaluó bajo condiciones de laboratorio, para tal propósito se emplearon ramas de café agrupadas en dos rangos de porcentaje de maduración así; entre 50 - 70% y mayor a 70%, con lo cual fueron definidos dos tratamientos con unidad experimental la rama de café.

Información registrada. La siguiente fue la información registrada:

- PFC : Peso de frutos cosechados (kg).



- **Almendras espetadas por el punzón (%).** Variable asociada al daño mecánico generado por los punzones sobre el grano. El café cosechado, fue llevado a pergamino seco, tomando de este una muestra aleatoriamente, contando en ella las almendras espetadas por los punzones, para obtener el daño mecánico la expresión empleada fue la siguiente:

$$\text{Daño Mecánico} = \frac{Nap}{NTa} * 100 \quad [4]$$

Se realizó el análisis de varianza de una vía con cada una de las variables de respuesta para los dos tratamientos. En el caso de existir diferencias entre promedios se aplicó la prueba *t* al 5%.

Etapa II. Desarrollo y evaluación de diversos tipos de punzones. Esta etapa se dividió en dos fases; en la primera se llevo a cabo el diseño de punzones que se acomodaran a las dimensiones de la estructura pulpa – mucílago, y en la segunda se evaluaron los punzones diseñados en una máquina de ensayos mecánicos Instron, serie – 5569.

Primera Fase, Diseño: Para cumplir con la primera etapa se partió de resultados preliminares obtenidos con punzones de tipo comercial, como son tachuelas de 1/2 pulgada y agujas de acero, para diseñar punzones con los cuales se pretendía incrementar la diferencia en la fuerza de espetación para frutos de café en diferentes estados de desarrollo. De estudios anteriores (Marín, 2003 y Restrepo et al, 1999) y con pruebas preliminares de laboratorio se determinó que la diferencia de firmeza entre frutos maduros e inmaduros se incrementa a medida que varía el tamaño del punzón.

Segunda Fase, Evaluación: Se cosecharon frutos provenientes del lote la Vitrina localizado

en la Granja de CENICAFÉ, los cuales fueron agrupados en dos estados de desarrollo de acuerdo con la escala de maduración para el fruto de Variedad Colombia, identificando como frutos inmaduros aquellos de color verde-amarillo y firmeza ecuatorial entre 39,19 N y 41,53 N, los cuales en el trabajo de Marín et al. (2003) corresponden a frutos con 203 días después de la floración (ddf).

También se identificaron frutos maduros cuya firmeza ecuatorial se encontró entre 11,92 N y 12,83 N, que corresponde a frutos con desarrollo de 217 ddf. La firmeza fue medida con el penetrómetro Fruit Tester FT –327 con un punzón de 3 mm.

Con los punzones diseñados se evaluaron también la tachuela de 1/2 pulgada y la aguja de acero.

La medición consistió en determinar para cada punzón la fuerza necesaria para espetar 50 frutos en ambos estados de desarrollo en la zona cercana al ombligo, denominada en esta investigación FE, y la fuerza máxima necesaria para remover el punzón del fruto espetado, la cual se llamó fuerza de retención del punzón en el fruto y representada por FR. Los punzones se instalaron en la mordaza, la cual se encuentra fija al bastidor que va unido a una celda de carga, encargada de registrar las fuerzas.

La dinámica de la fuerza de espetación se determinó desplazando hacia abajo el bastidor de la máquina Instron 5569 a una velocidad de 20 mm/min y la dinámica de la fuerza de retención se determinó mientras el bastidor se desplazaba a la misma velocidad hacia arriba. El montaje experimental se muestra en la Figura 2. Aunque se dispone de valores de la fuerza con respecto al tiempo, las fuerzas de espetación y de retención corresponden solamente a los valores máximos.

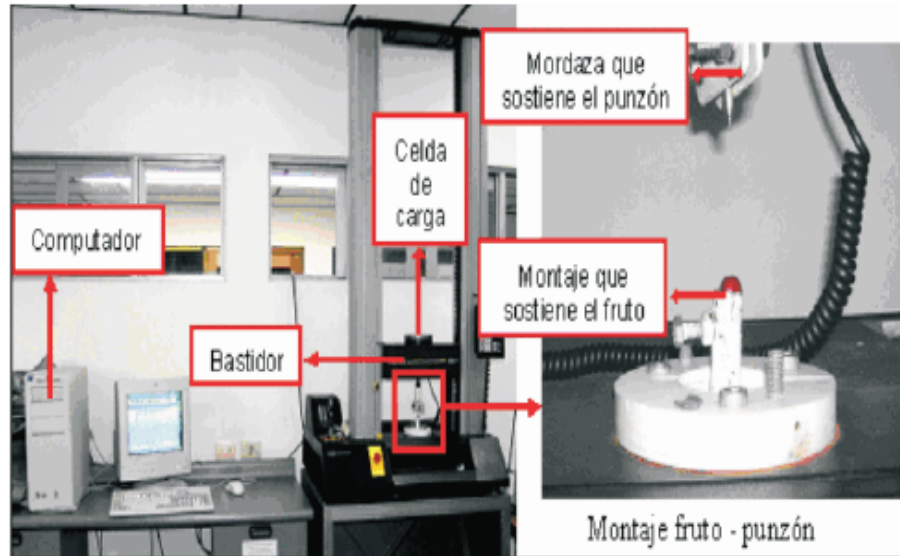


Figura 2. Montaje experimental en la máquina de ensayos mecánicos INSTRON Serie-5569TM

Con la información se establecieron medias, máximos, mínimos y coeficientes de variación para FR y FE. Adicionalmente, para los cinco punzones en los dos estados de desarrollo del fruto, se aplicó la prueba Duncan al 95% de confiabilidad, para observar la significancia entre las dos variables de respuesta entre punzones.

A partir de las fuerzas de espatación y retención para cada tipo de punzón se obtuvo la relación entre estas para frutos maduros e inmaduros las cuales están dadas por las siguientes expresiones:

$$R_E = \frac{F_{E_v}}{F_{E_m}} \quad [5]$$

$$R_R = \frac{F_{R_m}}{F_{R_v}} \quad [6]$$

Donde:

R_E : Relación entre las fuerzas de espatación entre frutos Verde – amarillos y maduros para un mismo punzón.

R_R : Relación entre las fuerzas de retención entre frutos maduros y Verde – amarillos para un mismo punzón.

F_{E_m} : Valor promedio de la fuerza de espatación registrado para cada punzón en frutos maduros.

F_{E_v} : Valor promedio de la fuerza de espatación registrado para cada punzón en frutos Verde - amarillos.

F_{R_m} : Valor promedio de la fuerza de retención, registrado para cada punzón en frutos maduros.

F_{R_v} : Valor promedio de la fuerza de retención, registrado para cada punzón en frutos Verde - amarillos.

$$R_m = \frac{F_{R_m}}{F_{E_m}} \quad [7]$$

$$R_v = \frac{F_{R_v}}{F_{E_v}} \quad [8]$$

R_m : Relación entre los promedios para cada punzón de F_R y F_E para frutos maduros.

R_v : Relación entre los promedios para cada punzón de F_R y F_E para frutos Verde – amarillos.



Las anteriores relaciones estiman la proporción de las variables de respuesta y fortalece la decisión técnica entorno a la viabilidad selectiva de los punzones, fundamentada en los resultados de la prueba estadística.

RESULTADOS

Etapla I. Herramienta de Cosecha con Punzones Comerciales. Tomando el desplazamiento lineal de la máquina recolectora de aceitunas y el de la herramienta de asistencia a la cosecha RASELCA II a lo largo de la rama, se estableció que la herramienta de cosecha basada en rodillos con punzones se desplaza a lo largo de la rama, inicialmente el operario ubica la herramienta en la rama en su unión con el tallo y posteriormente se desplaza a lo largo de la misma generando que los rodillos con los punzones roten y simultáneamente se trasladen espetando y desprendiendo los frutos que son evacuados por acción de la gravedad y la velocidad, describiendo trayectorias parabólicas en su caída (figura 3)

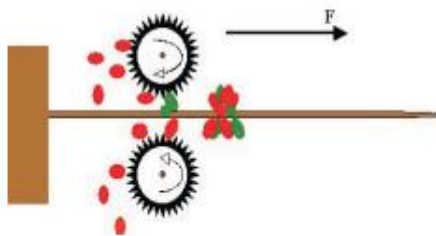


Figura 3. Accionamiento de los rodillos, cuyos ejes están perpendiculares al de la rama, accionados con fuerza y velocidad variable por el operario.

En los rodillos se emplearon dos tipos de punzones disponibles comercialmente tachuelas de 1/2 pulgada y chinchas de papelería. Para evitar el daño físico de la almendra, se modificó la tachuela reduciendo su longitud y aumentando el área de contacto entre la punta y el fruto.

Forma de la Herramienta y Materiales de Construcción. Se definió que la herramienta contara con dos rodillos en los cuales se instaló radial y longitudinalmente los punzones simulando la forma de la recolectora de aceitunas,

la forma circular permite que al accionar la herramienta se presente simultáneamente dos tipos de movimiento; rotacional y lineal, facilitando el desplazamiento de la herramienta en la rama. Se emplearon punzones tipo tachuela, tubo PVC, espuma y Nylon para el soporte lo que permitió que la herramienta en sus diferentes modelos presentara un bajo peso, entre 300 y 500g.

Después de la construcción de varios modelos del prototipo denominado COSER (COSEchador de Rodillos), se analizó el dimensionamiento del racimo efectuado por Londoño et al. (2002), llegando al modelo COSER - 6, que se aprecia en la figura 4.



Figura 4. Modelo COSER - 6 construido, el cual localiza la rama en medio de los rodillos.

Variabes de respuesta e Indicadores de Cosecha. Para realizar las pruebas con la herramienta COSER 6, se instalaron las ramas en un soporte para simular el empotramiento de éstas al árbol,



posteriormente la herramienta fue desplazada a lo largo de las ramas, iniciando el movimiento en su parte empotrada y finalizando en su extremo libre.

Los resultados para la variable de respuesta rendimiento asociada al indicador eficiencia (Tabla 1), de acuerdo con la prueba t al 5%, no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, se debe considerar que los rendimientos son potenciales ya que en este análisis no se incluyó los movimientos del operario entre ramas del árbol y entre árboles. Sin embargo descontando estos tiempos (aproximadamente 20% del total) los valores continúan siendo muy superiores a los reportados en recolección manual tradicional con rendimientos promedio de 10 kg/h.

Esta variable asociada al indicador eficacia, no presentó diferencia significativa en los dos tratamientos, en la tabla 3 se observa que fue posible obtener valores de 100% en algunas ramas. Sin embargo comparando en detalle con la recolección manual se presentan desventajas por que el barrido parcial hecho por los rodillos no cubre en su totalidad el área transversal del racimo, esto no sucede con la mano del recolector que permite desprender porcentajes más altos de frutos maduros en la labor de cosecha selectiva.

Se encontraron diferencias estadísticas en el porcentaje de frutos inmaduros en la masa cosechada (Tabla 3), el mayor valor se obtuvo para el rango de maduración entre 50 y 70%, para ambos intervalos la calidad fue afectada principalmente por la alta dispersión de los frutos maduros en las ramas, que dificultan la selectividad al estar presentes en medio de los frutos inmaduros. Sin embargo, se resaltan valores mínimos registrados para el intervalo >70% de 4,35% y 4,61% de frutos inmaduros en la masa cosechada, mientras que en el intervalo de 50% - 70% el valor mínimo llegó a 12,05%.

El mayor porcentaje de maduración favorece la calidad de la recolección con COSER - 6; sin embargo este valor promedio de 14,30% de frutos inmaduros en la masa cosechada en el tratamiento 2, no es adecuado para preservar la calidad del café colombiano. Según Puerta (2000), este valor debe estar por debajo de 2,5%, para que no se genere defecto en taza por esta causa.

Para una muestra seleccionada al azar con un total de 992 granos de café pergamino seco proveniente de las ramas cosechadas en laboratorio, se registraron 16 almendras espetadas por los punzones; indicando un daño mecánico del 1,61% adicional del que se puede generar en el beneficio o por causa de perforación de insectos.

Tabla 1. Resultados en indicador Eficiencia (kg/h) para la herramienta de cosecha COSER 6.

Tratamientos	n (Ramas)	Mínimo	Máximo	Promedio	C.V (%)
1 (50% - 70%)	15	32,17	224,41	95,78 a*	64,11
2 (>70%)	11	25,80	176,72	98,33 a	42,00

* Valores seguidos de la misma letra no difieren de acuerdo a prueba t al 5%.

Tabla 2. Indicador Eficacia (% de frutos maduros desprendidos)

Tratamientos	n (Ramas)	Mínimo	Máximo	Promedio	C.V (%)
1 (50% - 70%)	15	63,12	100,0	83,01 a*	15,1
2 (>70%)	11	30,94	100,0	83,12 a	25,5

* Valores seguidos de la misma letra no difieren de acuerdo a la prueba de t al 5%.

**Tabla 3. Indicador Calidad (% de frutos inmaduros en la masa cosechada)**

Tratamientos	n (Ramas)	Mínimo	Máximo	Promedio	C.V (%)
1 (50% - 70%)	15	12,05	46,63	28,66 a*	39,85
2 (>70%)	11	4,35	26,77	14,30 b	51,38

* Valores seguidos de la misma letra no difieren de acuerdo a la prueba de t al 5%.

Etapa II. Evaluación Punzones Diseñados

Diseño de punzones. Partiendo del estudio de las propiedades reológicas del mucilago, como un fluido altamente viscoso que no ejerce una reacción apreciable al ser espetado (Restrepo et al, 1999), y observando que la pulpa es un sólido deformable con comportamiento elástico y plástico, se llegó al diseño que aparece en la Figuras 5, 6 y 7, el cual somete la pulpa a esfuerzos cortantes variables (Fuerza de corte V de la Figura 5) debidos a la geometría cónica que genera un cambio continuo del área de contacto sobre la pulpa.

El fruto queda sostenido por la cabeza del punzón cuando es cubierta parcialmente por la acción recuperadora de la pulpa fallada. En la Figura 6 se aprecia un diagrama de cuerpo libre del punzón en posición de retro; donde la fuerza de retención (FR) depende de las propiedades mecánicas y reológicas de la interfase mucilago-pulpa y del área de contacto del punzón, donde la mayor resistencia a dejar salir la cabeza del punzón se presenta en el área normal a la fuerza FR, representa por el esfuerzo.

Con base en el anterior análisis se construyeron los 3 punzones que se aprecian en la Figura 7, diseñados de cabeza cónica con longitud constante y diámetro variable, elaborados en acero inoxidable.

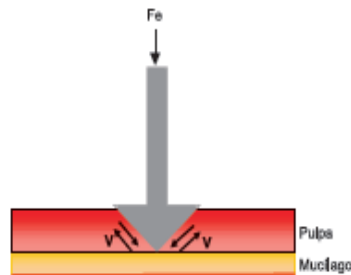


Figura 5. Diagrama de cuerpo libre del punzón cónico penetrando la pulpa, ejerciendo esfuerzos cortantes sobre el tejido esponjoso.

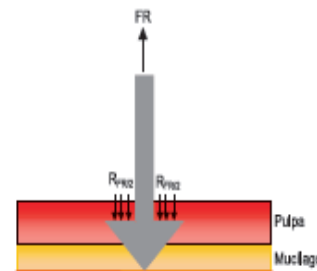


Figura 6. Diagrama de cuerpo libre del punzón cónico en posición de retro, apoyado sobre el mucilago y parte de la pulpa fallada.

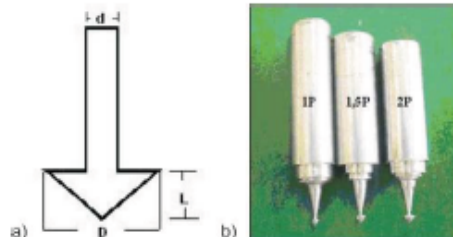


Figura 7. a) Dimensiones del diseño cónico del punzón. b) Tipos de punzón diseñados: 1P, 1,5P y 2P



Las dimensiones "d" y "L" se mantuvieron constantes con valores de 0,5mm y 1,0mm ($\pm 0,05$ mm) respectivamente, variando únicamente el valor de "D" para los 3 modelos. Los punzones fueron identificados con la siguiente notación:

(1P): punzón de diámetro D = 1,0 mm
(1,5P): punzón de diámetro D = 1,5 mm
(2P): punzón de diámetro D = 2,0 mm

Adicionalmente, para la evaluación se tuvieron en cuenta los punzones tachuela de 1/2 pulgada y aguja de acero, los cuales fueron representados como PT y PA, respectivamente.

Evaluación de punzones: Ejecutado el ensayo de 50 frutos maduros y 50 inmaduros (Verde

- Amarillos) en la máquina universal de ensayos mecánicos INSTRON 5569, para los 5 punzones evaluados se obtuvieron los datos mostrados en las Tablas 1 y 2 con medidas de tendencia central.

Observando las Tablas 4 y 5, los coeficientes de variación (CV) que presentaron mayor valor, fueron obtenidos en la fuerza de retención de frutos maduros para todos los punzones evaluados. Esto es debido probablemente a la diversidad en el tamaño de los frutos que relaciona directamente la variación del espesor de la pulpa. Bajo esta situación, en el momento de retirar el punzón de cabeza cónica se causa un esfuerzo (σ) que es directamente proporcional la profundidad lograda a través de la pulpa.

50

Tabla 4. Medidas de tendencia central de FE, para los 5 punzones evaluados sobre frutos de café en dos estados de desarrollo.

Tipo de punzón	Estado de desarrollo del fruto	Promedio [N]	Máximo [N]	Mínimo [N]	D. St.	CV (%)
PA	Maduros	0,63	0,87	0,32	0,12	18,70
	Verde-Amarillo	2,11	3,26	1,34	0,40	19,07
PT	Maduros	0,64	1,12	0,4	0,15	23,83
	Verde-Amarillo	2,67	4,2	1,61	0,57	21,40
1P	Maduros	1,90	3,10	0,55	0,50	26,46
	Verde-Amarillo	6,09	7,30	4,45	0,63	10,40
1,5P	Maduros	3,15	5,55	1,71	0,89	28,35
	Verde-Amarillo	11,10	14,23	6,79	1,67	15,05
2P	Maduros	4,13	7,59	2,81	0,83	20,22
	Verde-Amarillo	18,49	22,24	13,06	2,30	12,41

Tabla 5. Medidas de tendencia central y dispersión de FR, para los 5 punzones evaluados sobre frutos de café en dos estados de desarrollo.

Tipo de punzón	Estado de desarrollo del fruto	Promedio [N]	Máximo [N]	Mínimo [N]	D. St.	CV (%)
PA	Maduro	0,46	0,91	0,21	0,13	29,38
	Verde -Amarillo	2,50	3,93	1,02	0,86	34,44
PT	Maduro	1,13	3,49	0,27	0,86	76,45
	Verde -Amarillo	3,17	5,77	1,13	1,28	40,57
1P	Maduro	3,25	8,51	0,53	2,13	65,60
	Verde -Amarillo	5,72	11,90	2,59	2,10	36,63
1,5P	Maduro	3,89	9,46	0,64	2,11	54,17
	Verde -Amarillo	10,53	15,97	6,02	3,00	28,47
2P	Maduro	5,40	11,83	1,00	2,35	43,52
	Verde -Amarillo	15,52	27,73	5,26	5,51	35,49



Al espetar frutos con los punzones comerciales se dificultó el control del ensayo, por la exigencia en la diferenciación de los intervalos de fuerza cuando el punzón se encontraba entre la estructura pulpa – mucílago y el pergamino, pues este último incrementó las diferencias entre los valores de \overline{F}_R al ser espetado.

De acuerdo con la prueba Duncan al 5%, no existen diferencias estadísticas para la fuerza de espetación y la fuerza de retención entre las tachelas (PT) y las agujas (PA).

para el fruto maduro pero sí para el fruto inmaduro. Sin embargo, existen diferencias entre estos dos tipos de punzones y los tres punzones diseñados (1P, 1,5P y 2P) para los dos estados de desarrollo. Igualmente el análisis muestra que existen diferencias estadísticas entre la mayoría de los punzones diseñados para los dos estados de desarrollo con excepción de los punzones 1,5P y 2P en fuerza de espetación para frutos maduros.

Tabla 6. Comparación de medias entre los punzones.

Tipo de Punzón	Maduro		Verde - Amarillo	
	\overline{F}_E [N]	\overline{F}_R [N]	\overline{F}_E [N]	\overline{F}_R [N]
PA	0,63 a*	0,46 a	2,11 a	2,50 a
PT	0,64 a	1,13 b	2,67 a	3,17 a
1P	1,90 b	3,25 c	6,09 b	5,72 b
1,5P	3,15 c	3,89 d	11,10 c	10,53 c
2P	4,13 c	5,41 e	18,49 d	15,52 d

* Valores seguidos de la misma letra no difieren de acuerdo a la prueba de Duncan al 5%.

Tabla 7. Comparación de medias entre los punzones diseñados.

Tipo de Punzón	Maduro		Verde - Amarillo	
	\overline{F}_E [N]	\overline{F}_R [N]	\overline{F}_E [N]	\overline{F}_R [N]
1P	1,90 a	3,25 a	6,09 a	5,72 a
1,5P	3,15 b	3,89 a	11,10 b	10,53 b
2P	4,13 c	5,41 b	18,49 c	15,52 c

* Valores seguidos de la misma letra no difieren de acuerdo a la prueba de Duncan al 5%.

Dado que los punzones PA y PT presentaron diferencias significativas frente a los punzones 1P, 1,5P y 2P, se realizó un segundo análisis pero sólo con estos tres últimos (Tabla 4).

Esta comparación muestra que existen diferencias significativas entre los tres punzones respecto a la fuerza de espetación y la fuerza de remoción para los dos estados de desarrollo, con excepción de la fuerza de remoción para frutos maduros con los punzones 1P y 1,5P, que de acuerdo con la prueba de Duncan no presentan diferencias significativas.

En la Figura 8 se puede observar la gráfica de los intervalos de confianza para \overline{F}_E con los tres punzones diseñados en frutos maduros e inmaduros. Existe una tendencia a incrementar la fuerza de espetación a medida que se incrementa el tamaño del punzón tanto para frutos maduros como para frutos inmaduros, sin embargo, se nota que los incrementos para frutos inmaduros son más fuertes que en los maduros. Para todos los punzones la \overline{F}_E para los frutos inmaduros fue mayor a la requerida para los frutos maduros.

La Figura 9, muestra en los intervalos de confianza un comportamiento de la fuerza de retención similar a la fuerza de espetación. A medida que se incrementa el diámetro del punzón la fuerza de remoción que se genera es mayor, igualmente para todos los punzones la fuerza de retención para frutos verde - amarillos fue mayor que para los frutos maduros. Los resultados para los dos estados de muestran una tasa de incremento mayor para la fuerza de remoción en frutos inmaduros respecto a los maduros.

Las relaciones entre fuerza de espetación y retención para los cinco punzones y entre éstas y los dos estados de desarrollo se obtuvieron a partir de las ecuaciones 5, 6, 7 y 8, los resultados se presentan en la Tabla 8.

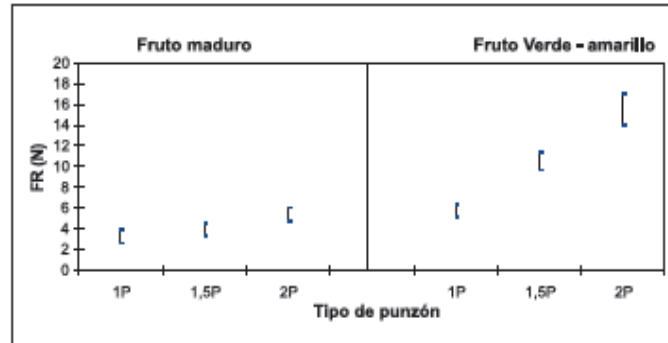


Figura 8. Relación entre el tipo de punzón y la fuerza de espatación y el estado de desarrollo

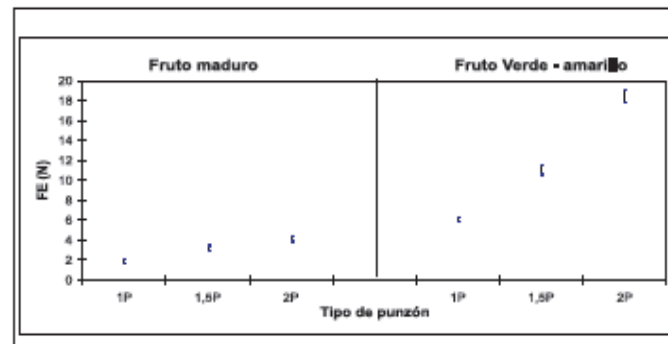


Figura 9. Relación entre el punzón, la fuerza de retención y estado de desarrollo.

Tabla 8. Relación entre fuerzas para los dos estados de desarrollo del fruto

Tipo de punzón	Estado de desarrollo del fruto	[N]	[N]	Rm	Rv	RE	RR
PA	Maduro	0,63	0,46	0,73	1,19	3,34	0,18
	Verde - Amarillo	2,11	2,50				
PT	Maduro	0,64	1,13	1,76	1,18	4,16	0,36
	Verde - Amarillo	2,67	3,17				
1P	Maduro	1,90	3,25	1,72	0,94	3,21	0,57
	Verde - Amarillo	6,09	5,72				
1,5P	Maduro	3,15	3,89	1,23	0,95	3,52	0,37
	Verde - Amarillo	11,10	10,53				
2P	Maduro	4,13	5,40	1,31	0,84	4,48	0,35
	Verde - Amarillo	18,49	15,52				



En las Figuras 8 y 9 se observa claramente que tanto la fuerza de espatación como la de retención para todos los punzones es mayor para frutos inmaduros, respecto a los frutos maduros. Bajo este criterio con todos los punzones es posible diferenciar tanto en fuerza de espatación como en retención entre frutos inmaduros y maduros.

Además la fuerza de espatación y la de retención para el mismo estado de desarrollo, con cada uno de los punzones, son similares, es por ello que al hacer la relación para cada punzón entre la fuerza de espatación y la de remoción para frutos del mismo estado de desarrollo (R_m y R_v), la mayoría de los valores están cercanos a 1. En cuanto a R_v , esta relación presenta un comportamiento decreciente en la medida que se incrementa el diámetro de los punzones, debido a que la dureza de la pulpa en los frutos verde - amarillos, por el desarrollo incipiente del mucilago, aumenta considerablemente la magnitud media de $\overline{F_E}$, con una diferencia media a favor respecto a $\overline{F_R}$ en el punzón 2P cercana a los 3N.

El mayor valor alcanzado en la relación entre fuerza de espatación para frutos inmaduros y maduros (R) se logró para el punzón 2P, esto quiere decir que este punzón es el que presenta mayor diferencia entre la fuerza que aplica al espetar un fruto inmaduro respecto a la aplicada por el mismo punzón a un fruto maduro. Como se presenta en la Tabla 5 la fuerza de espatación es 4,48 veces mayor para este tipo de punzón en los frutos inmaduros, respecto a los maduros. La Figura 7 corrobora lo anterior, donde a medida que aumenta el diámetro del punzón, el rango de F_E para los dos estados de desarrollo se hace mas grande a favor de los frutos maduros.

La menor relación en la fuerza de retención para los dos estados de desarrollo con un mismo punzón (R_R) se obtuvo para el punzón PA (0,18), es decir, la fuerza de retención que ejerce este punzón sobre un fruto maduro, es el 18% de la magnitud de la fuerza que ejerce sobre un fruto inmaduro. A medida que esta relación se incrementa (valor cercano a 1), la fuerza de retención para un fruto maduro

respecto a una inmaduro es similar, situación altamente desventajosa para la cosecha selectiva. Con esta apreciación, sería el punzón PA el más adecuado para remover frutos de forma selectiva.

Sin embargo, en la Tabla 5 se aprecia que la fuerza de remoción promedio para éste punzón solo llega a 0,46N, valor muy inferior a la fuerza requerida para desprender un fruto maduro a tracción (9,12 N) reportado por Álvarez et al. (1999), lo anterior implica que se deberían instalar gran cantidad de punzones para generar la fuerza de desprendimiento.

El segundo menor valor para esta relación se obtuvo con el punzón 2P (0,35) y la fuerza de retención promedio para este en frutos maduros fue de 5,4N, lo cual implica que se requieren tan solo de dos punzones para remover el fruto, situación muy ventajosa para ser implementada en una herramienta de cosecha selectiva.

Según las estimaciones hechas con el análisis de los datos y gráficas, las probabilidades de espetar frutos verde - amarillos con arreglos de punzones de cabeza cónica se reducen, favoreciendo la selección del punzón 2P para el diseño de una herramienta para la cosecha selectiva de café, ya que con este punzón se diferencia mejor entre frutos maduros e inmaduros tanto en fuerza de espatación como en retención (mayor valor para R_E y uno de los menores valores de R_R).

Además puede garantizar la calidad física del grano, teniendo en cuenta que la fuerza al dirigir estos elementos sobre los racimos en el momento de la cosecha se puede controlar, dependiendo de la fuente de potencia que se elija para accionar la herramienta.

» Bibliografía

1. ACOSTA A. R. ING-0148. Evaluación de dos dispositivos en la recolección de frutos caídos al suelo. Cenicafé. 2003. 61 p.
2. ALVAREZ T., E.; ALVAREZ 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. Facultad Nacional de Agronomía. Medellín. 52(2): 701-732.1999.

Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Programa de Agronomía, 2003. 104 p (Tesis: Ingeniero Agrónomo).

3. DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Espasa Calpe 2001. http://diccionarios.elmundo.es/diccionarios/cgi/lee_diccionario.html (consultado en Agosto 16 de 2005).
4. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. El comportamiento de la industria cafetera colombiana durante 2003.
5. FELIPE BORRÁS S.A. Recolectoras de Aceitunas. Catálogo de Herramientas. Maquinaria Agrícola. Uldecona. Tarragona, España. 2003.
6. LONDOÑO, H.D.; OLIVEROS, T. C.E.; MORENO, S. M.A. Desarrollo de una herramienta manual para asistir la recolección de café en Colombia. CENICAFE. 53(2): 93-105. 2002.
7. MARÍN L, S.M. Caracterización de los estados de maduración del fruto de café. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Programa de Agronomía, 2003. 104 p (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
8. OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; ACOSTA A.,R.; ALVAREZ M.,F. Equipo Portátil para Asistir la Cosecha Manual de Café. Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional sede Medellín. 2005.
9. OLIVEROS T.C.E.; RAMIREZ G.C.A.; BUENAVENTURA A.J.D.; SANZ U. J.R. Diseño y evaluación de una herramienta para aguilzar la cosecha manual de café. Cenicafé 56(1):37-49. 2005.
10. PUERTA Q., G.I. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica del bebida. Cenicafé 51 (2): 136-150. 2000.
11. RESTREPO H. I. SANZ, U. J.R.; ALVAREZ, M. F. Desarrollo de un separador de objetos duros en el café cosechado. Cenicafé 50 (3): 183-194.1999.