

COSECHA DE CAFÉ UTILIZANDO UN EQUIPO DE ASPIRACIÓN

Pablo Ignacio Campillo-Orozco*; Jairo Rafael Álvarez-Hernández**;
Carlos Eugenio Oliveros-Tascón***; Fernando Álvarez-Mejía****

RESUMEN

CAMPILLO O., P.I.; ÁLVAREZ H., J.R.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ M., F. Cosecha de café utilizando un equipo de aspiración. *Cenicafé* 52(3):185-194. 2001.

Las ventosas se utilizan para sujetar y transportar productos industriales, avícolas y agrícolas. Éstas, pueden adaptarse a diferentes formas y rugosidades superficiales. Estos dispositivos pueden ser empleados para desprender frutos maduros en cosechadoras operadas por el hombre o en equipos robotizados. En *Cenicafé* se evaluaron cuatro tipos de ventosas en la sujeción y el desprendimiento de frutos maduros de café (*Coffea arabica* var. Colombia): de fuelle 1, fuelle 2, multifuelle y profunda. Se midieron las siguientes variables: área de contacto de la ventosa, proporción de agarre (proporción de frutos agarrados en una rama), proporción de desprendimiento (proporción de frutos maduros desprendidos en una rama), fuerza media de desprendimiento (N) y presión media de vacío (kPa). Los resultados obtenidos indicaron que la proporción de agarre fue del 100% y la proporción de desprendimiento superior al 86% para todas las ventosas estudiadas. La presión media de vacío varió entre -57kPa y -45kPa para todas las ventosas. La fuerza media de desprendimiento varió para cada ángulo y cada ventosa, encontrándose valores entre 3,0 y 10 N. El desprendimiento del fruto de café utilizando un sistema neumático de vacío con ventosas depende del tipo de ventosa utilizada, siendo independiente del ángulo en el que actúa. La ventosa tipo multifuelle resultó ser la más adecuada para agarrar y desprender frutos maduros de café.

Palabras claves: Café, *Coffea arabica* var. Colombia, cosecha, succión, sistema neumático, ventosas.

ABSTRACT

Suction pads are used to grip and transport industrial bird-raising and agricultural products. They can be adapted to different shapes and surfaces. These appliances can be used to detach ripe berries in man-operated harvesters or in robotic equipment. In this study, four types of suction pads (Bellow 1, Bellow 2, Multibellow and Profound) were evaluated in relation to gripping and detachment of ripe coffee berries (*Coffea arabica* var. Colombia) at *Cenicafé*. The following variables were measured: contact area of suction pad, gripping proportion (proportion of berries gripped in the branch), detaching proportion (proportion of detached berries in the branch), average detaching force (N) and average vacuum pressure (kPa). The results obtained indicated that the gripping proportion was 100% and detachment proportion was above 86% for all suction pads studied. Vacuum pressure was between -57 kPa and -45 kPa in all-suction pads. Average detaching force varied among suckers between 3 and 10 N, and depended on the angle of application of the vacuum. Berry detachment, using a pneumatic vacuum system with suction pads depends on the type of suction pad and it is independent from the application angle. According to the results, Multibellow suction pad is the most appropriate for gripping and detaching ripe coffee berries.

Keywords: Coffee, *Coffea arabica*, harvesting, suction, pneumatic system, suction pads.

* Joven Investigador. Convenio *Cenicafé* - Colciencias. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Cenicafé*. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Investigador Científico III. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Cenicafé*. Chinchiná, Caldas, Colombia, hasta el 31 de mayo de 2000.

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

*** Profesor Asociado. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Los sistemas neumáticos de vacío se han estudiado para recolectar algunos productos agrícolas tales como pastos, cereales, leguminosas, nueces, fresas y cítricos, entre otros, directamente de las plantas o de la superficie del suelo (5, 7, 14). Liang y Kirschbawm (8), desarrollaron un cosechador - barredor comercial para nueces de macadamia, en el cual se empleó un sistema neumático que combina la impulsión y la succión, y demanda requerimientos energéticos altos. También se ha explorado el arrastre aerodinámico para desprender frutos directamente de las ramas de los árboles, estableciéndose que la relación fuerza de remoción/peso, no tiene un efecto significativo en el desprendimiento de los frutos (1).

En los sistemas neumáticos la presión de vacío es la fuerza por unidad de área ejercida por el aire, inferior a la presión atmosférica, con un valor promedio de 100kPa (9).

Entre los dispositivos neumáticos diseñados para la cosecha de frutales se ha desarrollado la recogedora neumática de café en Brasil (6), el transporte neumático del café en cereza (7), los batidores mecánicos con fuente de potencia neumática (4) y otros, donde se determinaron la velocidad de flotación o velocidad terminal del fruto de café en diferentes estados de madurez (7, 18).

En las investigaciones realizadas en la Disciplina de Ingeniería Agrícola de Cenicafé, se han obtenido resultados importantes en cosecha manual asistida (4, 15, 19). En el área de cosecha mecanizada también se han generado conocimientos importantes para el estudio y desarrollo de dispositivos para la cosecha mecanizada del café, en cuanto a propiedades físico-mecánicas de las estructuras del café y de los frutos, en el desprendimiento de frutos con la aplicación al tallo de vibraciones circulares y

multidireccionales, en cosecha mediante la aplicación de impacto a las ramas y con el empleo de batidores mecánicos. Las investigaciones llevadas a cabo por Cenicafé han tomado como base algunos principios de las tecnologías existentes para la cosecha de otros arbustos (4).

En observaciones preliminares que buscan estimar la viabilidad técnica de desprender frutos utilizando aspiración neumática (17), se diseñó un montaje conformado por una bomba de vacío, un tanque acumulador de 500L, para mantener la presión constante durante las pruebas, tubería galvanizada de succión de 2" (50,8mm) de diámetro y un tanque ciclón para separar los frutos. Con este sistema de aspiración se obtuvo en una rama de café el desprendimiento del 100% de los frutos maduros, 30% de frutos pintones y se desprendieron frutos verdes. Sin embargo, para lograr esta selectividad, Sanz (17) encontró que se requería una velocidad del aire supersónica¹ y una presión de vacío de aproximadamente -90kPa, lo cual requiere de un alto suministro de energía mecánica.

Considerando los resultados obtenidos anteriormente (17), se realizaron en Cenicafé pruebas con equipos generadores de corrientes de aire de uso doméstico e industrial como aspiradoras, compresores y bombas de vacío, con el fin de desprender selectivamente frutos maduros de café y medir experimentalmente los promedios de los valores de las velocidades del aire con las cuales ocurrió desprendimiento. En los ensayos realizados no hubo desprendimiento de frutos maduros, por tanto, se consideró esta alternativa no viable técnicamente (3).

Como complemento al empleo del vacío se han desarrollado las ventosas; estas son peque-

¹ supersónicos corresponden a valores superiores a la velocidad del sonido en el aire que es aproximadamente 330 m/s.

ños accesorios fabricados en diversos materiales y que permiten manipular y transportar objetos y productos utilizando aire, mediante la aplicación de presión de vacío, considerando las características superficiales de los objetos por manipular (12, 13). Algunas ventajas de las ventosas radican en su excelente resistencia al desgaste, sus conexiones de rosca para cambios fáciles, un extenso surtido en el mercado, usan diferentes materiales, resisten temperaturas hasta de 200°C y permiten manipular objetos de múltiples formas. Teniendo en cuenta las características de las ventosas y su posible utilidad para el desarrollo de dispositivos para asistir la recolección manual y para la cosecha mecanizada de café se exploró el empleo de ventosas para el desprendimiento selectivo de frutos de café en laboratorio. Para el efecto, se ensambló un sistema neumático de vacío conformado por válvulas, acoples, mangueras, manómetros, cilindro neumático y ventosas, para identificar las ventosas de mejor desempeño en la sujeción y el desprendimiento de frutos maduros de café.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Servoneumática del SENA - Regional Caldas, localizado en el Municipio de Manizales, con una altitud de 2.100m, temperatura promedio de 17 °C y humedad relativa promedio de 80%. El efecto del tipo de ventosa

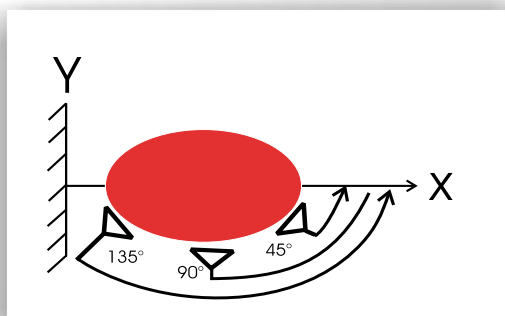
(Fuelle 1, Fuelle 2, Multifuelle y Profunda) y el ángulo de contacto (135°, 90° y 45°), sobre el desprendimiento del fruto maduro se evaluó mediante un diseño experimental completamente aleatorio, en arreglo factorial 4*3 (cuatro tipos de ventosas y tres ángulos de contacto) a través de las variables proporción de agarre, proporción de desprendimiento, fuerza media de desprendimiento (N) y presión media de vacío (kPa). Se tomó como unidad experimental la rama de café de la variedad Colombia roja con frutos maduros.

Para cada ventosa y cada ángulo se utilizaron 10 unidades experimentales, teniendo como unidad mínima de observación el fruto maduro. Se realizaron las siguientes mediciones para cada unidad experimental, ventosa y ángulo: número de frutos maduros, número de frutos maduros que sujetaba la ventosa, número de frutos maduros que desprendía la ventosa, la presión de vacío por fruto (kPa) y la fuerza de desprendimiento por fruto (N).

En la Figura 1 se observan los diferentes ángulos medidos en sentido antihorario con respecto al eje x (135°, 90° y 45°) en los que actuaron las ventosas para sujetar y desprender los frutos maduros. Se utilizaron los siguientes materiales y equipos para realizar el montaje del sistema neumático:

- Acople rápido, N 4000 ¼ NPT, ref. 94340, de acero inoxidable, presión máxima 150 psi (10bar).

Figura 1.
Ángulos de aplicación de las ventosas para agarrar y desprender frutos maduros



- Cilindro de doble efecto, D.ER-DGLL-25-70-P-A, ref. 014560, de acero inoxidable, doble vástago, hueco, con antigiro, diámetro 25mm y carrera de 74mm.

- Controlador PID FESTO 24 V de alimentación con tolerancia del 10%.

- Emisor de señal sin contacto, D.ER-SMPO-1-H-B, ref. 034002.

- Tarjeta de introducción de señales, D.ER-4xSV-/-22-PK-4, ref. 009714.

- Racor en "T", FCS-3-PK-4-KU, ref. 006831.

- Regulador de presión con manómetro, D.ER-LR-1/8-S, ref. 011757, regulación de 0 a 1200kPa (0 a 12 bares), indicación de 0 a 1600 kPa (0 a 16 bares).

- Sensor de presión, tensión admisible de funcionamiento 30V, salida de 10V.

- Servoválvula 4/3 vías.

- Tobera de aspiración/Ventosa de sujeción, D.ER-VAD-1/8, ref. 014576, gama de presión de 150 a 1000kPa (1,5 a 10 bares), vacío de 70kPa (-0.7 bares).

-Tubo de plástico, PU-4 BLAU, ref. 006204, diámetro interior de 4mm y exterior de 6mm, radio de curvatura mínimo de 20mm.

-Unidad de mantenimiento, D.ER-FRC-1/8-S.

-Válvula de 5/2 vías, doble pilotaje, D.ER-JH-5-1/8.

Con los anteriores materiales se realizó el montaje del sistema neumático, considerando las especificaciones técnicas de los equipos que permitieron obtener una presión promedio de vacío, y que garantizara una fuerza mínima de 10N para desprender los frutos maduros de café.

Posteriormente, siguiendo la metodología propuesta en la literatura para el desarrollo de sistemas neumáticos (11), se elaboró el esquema de distribución que constaba de un plano del sistema neumático para realizar luego el montaje y verificar el funcionamiento del sistema (Figura 2).

Para seleccionar las ventosas por explorar, se realizó a partir de un diagrama de cuerpo libre un modelo matemático para determinar las fuerzas que actúan en el desprendimiento del fruto y se calculó el área efectiva de contacto para cada ventosa.

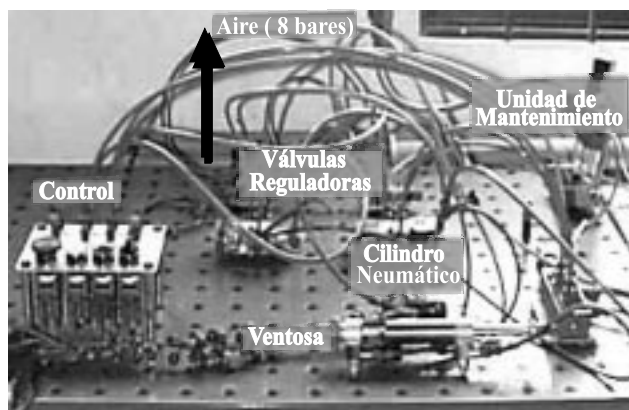


Figura 2. Sistema neumático de vacío para cosechar café utilizando ventosas.

En la Figura 3 se presenta el diagrama de cuerpo libre desarrollado para el análisis dinámico del sistema fruto-pedúnculo, cuando actúa una fuerza de succión a través de una ventosa. Se consideró dentro del modelo la posición de la ventosa y las situaciones en las cuales no se obtuvo desprendimiento del fruto, y en las que se obtuvo desprendimiento, tanto de los frutos solos como de aquellos con pedúnculo.

Al realizar la sumatoria de fuerzas que actúan en el desprendimiento del fruto maduro cuando se utiliza una ventosa se obtuvieron las siguientes ecuaciones generales, considerando dos situaciones:

a) La fuerza aplicada a velocidad constante (sin aceleración), se tiene:

$$\begin{aligned} V \sin \theta + F_s \cos \theta &= 0 \\ -V \cos \theta + F_s \sin \theta &= -mg \\ V * R + M &= 0 \end{aligned}$$

b) La fuerza aplicada a velocidad variable (con aceleración), se tiene:

$$\begin{aligned} V \sin \theta + F_s \cos \theta &= m * a_x \\ -V \cos \theta + F_s \sin \theta &= -mg + m * a_y \\ V * R + M &= I * \alpha \end{aligned}$$

Donde;

- V: Fuerza cortante (kg)
- M: Momento flector (N*m)
- F_s: Fuerza de succión (N)
- θ: Ángulo en que actúa la ventosa (°)
- m: Masa del fruto (kg)
- g: Gravedad (m/s²)
- a: Aceleración del fruto (m/s²)
- I: Momento de inercia (kg*m²)
- α: Aceleración angular (s⁻²)
- R: Radio característico (m)

El modelo permitió realizar un análisis matemático para determinar teóricamente las fuerzas de succión de ventosas con diferentes diámetros, es decir, se asumieron para efectos de cálculos teóricos radios entre 5 y 10mm y presiones de vacío del sistema de alrededor de -60kPa, obteniéndose fuerzas teóricas entre 8,0 y 12,0N. De acuerdo con Álvarez (2), las fuerzas necesarias para desprender frutos maduros mediante tracción pura están alrededor de 10N, corroborándose que al utilizar las ventosas para agarrar y desprender frutos maduros de café, existía una amplia posibilidad de lograr el desprendimiento con tipos de ventosas que se aplicaran a superficies curvas y radios entre 5,0 y 10mm. Conociendo lo anterior, se seleccionaron de diferentes catálogos ventosas tipo Fuelle 1, Fuelle 2, Multifuelle y Profunda (13), (Figura 4). Además del modelo, estas ventosas se seleccionaron considerando sus especificaciones técnicas como: tipo, diámetro del fuelle (mm), material (silicona, nitrilo), fuerza teórica de aspiración (N), presión máxima de vacío (kPa), aplicación (superficies curvas y ligera-

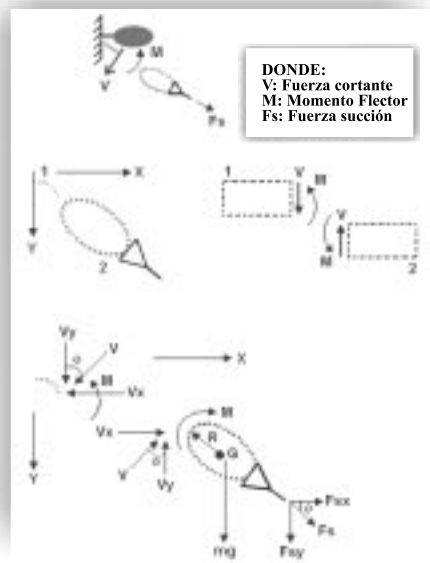


Figura 3. Diagrama de cuerpo libre del fruto maduro de café en el momento del desprendimiento con la ventosa

mente curvas) y el tamaño de los frutos (32 a 34 semanas) (16). Las especificaciones técnicas de las ventosas se presentan en la Tabla 1.

El área efectiva (m²) de contacto para cada ventosa se determinó conociendo las propiedades físico-mecánicas del fruto maduro de café (2, 10). Asumiendo el fruto como una esfera, utilizando la ecuación <<1>> del cálculo diferencial para el área de una superficie cualquiera y considerando que cuando la ventosa sujeta el fruto, el área proyectada sobre la superficie de este es un círculo de radio conocido (9).

$$A = \iint_S \sqrt{1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} dx dy$$

<< 1 >>

La ecuación para la esfera es:

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = R^2$$

<< 2 >>

Si se deriva parcialmente Z con respecto a X y Y en <<2>>; se reemplaza en la ecuación <<1>>, y se integra con respecto a Y se obtiene:

$$A = 2R \int_{-a}^a \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{a^2 - x^2}}{\sqrt{R^2 - x^2}} \right) dx$$

<< 3 >>

Donde;

a : Radio de la ventosa (mm)

R : Radio característico del fruto (mm)

X y Y: Coordenadas del plano cartesiano

XY

Mediante el programa de computador Matlab® y la ecuación <<3>>, se calculó el

Figura 4.
Ventosas exploradas para agarrar y desprender frutos maduros de café



FUELLE 1

FUELLE 2

MULTIFUELLE

PROFUNDA

Tabla 1. Especificaciones técnicas de las ventosas seleccionadas para cosechar frutos de café mediante aspiración

Tipo de ventosa	Diámetro (mm)	Material de elevacion (N)	Fuerza teórica	Presión max. de vacio (kPa)	Aplicacion en Superficies
Fuelle1	20	Silicona	8,0	-80	Curvas
Fuelle2	15	Silicona	10,0	-80	Curvas
Multifuelle	20	Silicona	30,0	-80	Curvas
Profunda	15	Nitrilo	7,0	-80	Curvas

área efectiva de contacto sobre la que actuaba la ventosa (A) para diferentes radios de ventosa y del fruto. La fuerza de desprendimiento del fruto maduro se calculó para cada tipo de ventosa y para cada ángulo utilizando la siguiente expresión:

$$F_d = P_v * A \quad \ll 4 \gg$$

Donde:

F_d : Fuerza media de desprendimiento (N)

P_v : Presión media de vacío (kPa)

A: Área efectiva de contacto ventosa-fruto (m²)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la variable proporción de agarre, los resultados obtenidos fueron del 100% para las cuatro ventosas y los tres ángulos probados, es decir, que el fruto maduro de café se adhiere en cualquier ángulo y con cualquiera de las ventosas exploradas para las presiones promedias de vacío medidas en el sistema neumático utilizado.

El análisis de varianza al 5% no mostró efecto de la interacción ventosa por ángulo pero si mostró efecto del tipo de ventosa por separado para las variables PVAC (presión de vacío) y PDES (proporción de desprendimiento) y la prueba de comparación de promedios de Duncan al 5%, mostró que con la ventosa Multifuelle se obtuvo la máxima presión de vacío y una proporción de desprendimiento del 100%, resultado promisorio para la selección de la ventosa asociada al sistema neumático de succión.

En la Tabla 2 se muestran los valores promedios y coeficientes de variación de estas variables por cada ventosa. El análisis de varianza para la variable fuerza de desprendimiento mostró

efecto de la interacción ventosa por ángulo, lo cual implica que la fuerza de desprendimiento depende de la combinación ventosa ángulo, y en este caso, a través de los contrastes ortogonales se obtuvo que la combinación ventosa-ángulo que presenta la mínima fuerza de desprendimiento corresponde a la ventosa Fuelle2 en ángulo de 135°, siendo ésta la más deseable, mientras que las mayores fuerzas de desprendimiento corresponden a la ventosa Multifuelle en ángulo de 45° (Figura 5).

Igualmente, el efecto de la interacción, como se ilustra en la Figura 5, muestra que se requiere mayor fuerza para desprender el fruto cuando la ventosa actúa cerca al extremo opuesto al pedúnculo u “ombbligo” del fruto (ángulo de 45°) y menor fuerza cuando se está cerca al pedúnculo (ángulo de 135°). Ante los resultados para las variables estudiadas, si bien es cierto que la Multifuelle no tiene la mínima fuerza de desprendimiento, sí proporciona el máximo vacío en el sistema; por tanto, es la más adecuada para sujetar y desprender el fruto maduro.

En las Tablas 3,4 y 5 se muestran los valores mínimos, máximos, la media, la mediana y el error estándar para las variables PVAC (presión de vacío), PDES (proporción de desprendimiento) y FDES (fuerza de desprendimiento), respectivamente. En general, las medidas de tendencia central principalmente la media y la mediana, tienen estimaciones muy cercanas descriptivamente, lo cual puede estar indicando que la distribución de las variables analizadas en

Tabla 2. Promedios y variación por ventosa, de las variables PVAC y PDES

VENTOSA	PVAC (kPa)		PDES(%)	
	\bar{X}	CV(%)	\bar{X}	CV(%)
Fuelle 1	-54,30b*	4,19	100,00a	0,00
Fuelle 2	-52,00c	6,48	86,0b	6,69
Multifuelle	-57,00a	0,00	100,00a	0,00
Profunda	-45,30d	6,51	81,80b	9,78

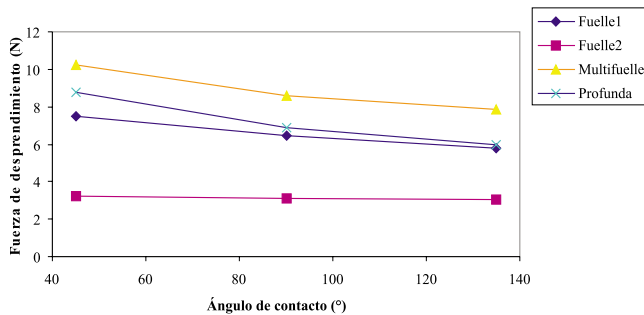


Figura 5. Interacción ventosa por ángulo para la variable fuerza de desprendimiento

cada uno de los tratamientos evaluados es simétrica.

La ventosa Multifuelle mantiene una presión de vacío estable en los diferentes ángulos evaluados (135°, 90°, 45°), lo que puede indicar que al emplear esta ventosa no ocurren pérdidas de presión en el sistema neumático utilizado, garantizándose de esta manera una presión de vacío que permita a la ventosa agarrar y desprender el fruto maduro de café.

Para la variable FDES, el máximo valor (10,21N), se observó en la ventosa Multifuelle con el ángulo de 45° y el mínimo valor (3,06 N) en la ventosa de Fuelle 2 con el ángulo de 135°.

Esta variación en la fuerza de desprendimiento mostrado por los frutos maduros se debe a las características técnicas de cada ventosa, ya que el área efectiva de contacto sobre la superficie del fruto maduro depende de su diámetro.

Respecto a la proporción de desprendimiento en función del ángulo, el máximo valor (100%) se observó para las ventosas Fuelle 1 y Multifuelle y el mínimo valor (80,8%) para la ventosa Profunda. Al igual que para la fuerza de desprendimiento, esta variación en la proporción de desprendimiento se debe a las características técnicas de cada ventosa. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede concluir que para desprender frutos maduros de café variedad Colombia roja mediante un sistema neumático de vacío con ventosas lo más importante es el tipo de ventosa utilizada, independientemente del ángulo en que actúe y de la presión de vacío en el sistema. Teniendo en cuenta el comportamiento de las variables proporción de agarre del 100%, proporción de desprendimiento del 100%, presión media de vacío de -57kPa y fuerza media de desprendimiento de $8,89\text{N}$, la ventosa

Tabla 3. Promedios y variación para la presión de vacío (kPa)

VENTOSA	Mínima	Máxima	MEDIA	MEDIANA	EE
Fuelle 1	-50,00	-56,00	-54,30	-55,50	0,75
Fuelle2	-46,00	-56,00	-52,00	-52,00	1,11
Multifuelle	-57,00	-57,00	-57,00	-57,00	0,00
Profunda	-42,00	-5<<0,00	-45,30	-46,00	0,97

EE: error estándar

Tabla 4. Promedios y variación para la proporción de desprendimiento

VENTOSA	Mínima	Máxima	MEDIA	MEDIANA	EE
Fuelle 1	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
Fuelle2	75,00	95,00	86,00	88,97	1,05
Multifuelle	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
Profunda	65,00	96,00	81,80	81,40	1,46

EE: error estándar

Tabla 5. Promedios y variación para la fuerza de desprendimiento (N)

Ángulo	Ventosa	Mínima	Máxima	MEDIA	MEDIANA	EE
45°	Fuelle 1	6,36	8,25	7,47	7,38	0,19
	Fuelle2	2,84	3,51	3,24	3,29	0,08
	Multifuelle	8,95	12,20	10,21	10,23	0,34
	Profunda	7,39	10,05	8,78	8,82	0,33
90°	Fuelle 1	5,78	6,74	6,44	6,48	0,10
	Fuelle2	2,71	3,35	3,08	3,09	0,07
	Multifuelle	8,09	8,94	8,58	8,83	0,10
	Profunda	6,07	11,59	6,90	6,62	0,24
135°	Fuelle 1	5,25	6,10	5,80	5,87	0,09
	Fuelle2	2,63	4,29	3,06	2,97	0,15
	Multifuelle	7,57	8,10	7,88	7,90	0,65
	Profunda	5,34	6,51	5,98	6,09	0,15

EE: error estándar

Multifuelle se seleccionó como la más adecuada para cosechar frutos maduros de café. Entre las ventajas del sistema neumático utilizado para explorar el desempeño de las ventosas en el agarre y desprendimiento del fruto maduro de café se encuentran: la flexibilidad, es decir, a este sistema se le pueden dar múltiples aplicaciones. Además, su montaje y operación son sencillos y el consumo de energía mecánica para desprender un fruto maduro por este sistema es 1.900 veces menor que utilizando arrastre aerodinámico.

En la Tabla 6 se consignan valores estimados del consumo de energía mecánica para desprender un fruto utilizando otros principios, por ejemplo: vibración de las ramas, del follaje, batidores mecánicos y vibradores del tallo. Mediante la exploración de este principio fue posible determinar diferentes fuerzas de desprendimiento para frutos maduros de café, encontrándose una disminución considerable en

el valor necesario para desprender un fruto maduro al utilizar la ventosa tipo Fuelle 2, alrededor de 3,0N, comparado con el valor determinado de 10N para desprender a tracción pura un fruto maduro de café (2).

Los resultados de este estudio brindan conocimientos e información básica para el diseño de nuevas herramientas y dispositivos, que en un futuro, integrarán el desarrollo de sistemas de cosecha mecanizada y robotizada de café en Colombia. La información obtenida también es importante para adaptar nuevas tecnologías con las cuales se pueda disminuir el costo de la recolección de café en Colombia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus agradecimientos a la Federación Nacional de Cafeteros de

Tabla 6. Valores estimados del consumo de energía mecánica para la cosecha de café según diferentes sistemas

PRINCIPIO DE COSECHA	Consumo de energía (W/fruto)	Número de veces
Sistema neumático (ventosas)	0,32	—
Vibrador multidireccional	7,7	24
Impacto a la rama	9,95	31
Vibrador circular	13,93	44
Vibrador del follaje	17,9	56
Arrastre aerodinámico	620	1.900

Colombia, al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, “Francisco José de Caldas” - Colciencias, a los doctores Gonzalo Roa Mejía y Esther Cecilia Montoya Restrepo asesores de este trabajo, al Centro de Automatización del SENA - Regional Caldas por la asesoría y el préstamo de sus laboratorios y equipos, y al personal técnico de la Disciplina de Ingeniería Agrícola de Cenicafé.

LITERATURA CITADA

1. ABU-GHEIDA, O.M.; STOUT, B.A.; RIES, S. K. Pneumatic tree-fruit harvesting utilizing a pulsating air stream. Chicago, Agricultural Engineering, 1962. p. 458-467.
2. 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. 110p. (Tesis: Ingeniero Agrícola).
3. CAMPILLO O., P.I. Cosecha de café con aire utilizando aspiración. Chinchiná, Cenicafé, 1998. 21p. (Experimento ING-0108, primer informe científico a Colciencias).
4. CENTRONACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola 1998-1999. Chinchiná, Cenicafé, 1999.
5. ESCHENWALD, A.; HALL, C.W. Air-flotation, pneumatic conveying velocities, and air flow relationships for coffee fruits and coffee bean. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 45(4): 319-332. 1961.
6. GUIA Rural. Os seis sistemas passo a passo. Río de Janeiro, Editora Abril, 1991. 22p.
7. HAYANS, J.T.; GÓMEZA, M.V.; GARCÍA DEL R.M. Investigación sobre la selección de los frutos y separación de las impurezas por medios neumáticos en el café. Revista Chapingo: Ingeniería Agrícola 1(2): 15-20.
8. LIANG, T.; KIRSCHBAUM, W. A new nut harvesting principle. Transactions of the ASAE 1(80): 1495-1498. 1982.
9. MARKS. Manual del ingeniero mecánico. Tomo I. México, McGraw Hill, 1995. 203p.
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. NEUMATICA. Manual de Estudio-Nivel Básico. Manizales, SENA-Centro de Automatización Industrial, s.f. 230p.
12. NEUMATICA - FESTO. Pinzas y ventosas para manipulación de piezas.
13. PIAB. Ventosas; Manipulación segura y fiable con las ventosas. Santafé de Bogotá, PIAB Latin América, s.f. 4p.
14. QUACKENBUSH, H. E.; STOUT B. A.; RIES S. K. Pneumatic tree-fruit harvesting. Agricultural Engineering 43(7): 388-393. 1962
15. RAMÍREZ A., M.I. Desarrollo de dispositivos que asistan la recolección manual de café cereza. Neiva, Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería, 1998. 101 p. (Tesis: Ingeniero Agrícola).
16. SALAZAR G., M.R.; ARCILA P., J.; RIAÑO H., N.M.; BUSTILLO P., A.E. Crecimiento y desarrollo del fruto de café y su relación con la broca. Avances Técnicos Cenicafé No 194: 1-4. 1993
17. SANZ, J.R. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola 1994-1995. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 21p.
18. TRUJILLO G., C.M. Desarrollo de un dispositivo neumático para agilizar la recolección de café cereza. Neiva, Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería, 1998. (Tesis: Ingeniero Agrícola).
19. VÉLEZZ, J.C.; MONTOYAR, E.C.; OLIVEROST, C.E. Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café. Boletín Técnico Cenicafé No 21: 1-91. 1999.