

COSECHA DE CAFÉ CON AIRE UTILIZANDO ASPIRACIÓN

Pablo Ignacio Campillo O.¹; Jairo Rafael Álvarez H²;
Carlos Eugenio Oliveros T³; Fernando Álvarez Mejía⁴

RESUMEN

*Las ventosas son utilizadas para sujetar y para transportar productos industriales, avícolas y agrícolas. Por su diseño, por los materiales utilizados en su fabricación y por la amplia gama de tamaños, las ventosas se adaptan a diferentes formas y rugosidades superficiales. Estos dispositivos pueden ser empleados para desprender frutos maduros en cosechadores operados por el hombre o en equipos robotizados. En este estudio 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 fue superior al 86 % para todas las ventosas estudiadas. La presión media de vacío varió entre valores de -57 kPa y -45 kPa para todas las*

¹ Joven Investigador. Convenio Cenicafe-Colciencias. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe, Chinchiná, Caldas, Colombia.

² Investigador Científico III. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe, Chinchiná, Caldas, Colombia.

³ Investigador Científico III. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe, Chinchiná, Caldas, Colombia.

⁴ Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779. Medellín. Colombia.

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 más adecuada, según los resultados obtenidos, para agarrar y desprender frutos maduros de café, fue la de tipo Multifuelle.

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

ABSTRACT

Suction pads are used to grip and transport industrial, birds-raising and agricultural products. For their design, for the materials used in their manufacture and for the wide gamma of sizes, the suction pads adapt to different forms and superficial rugosities. These dispositives can be used in man operated harvesters to detach ripe berries or in robotic equipment, to detach ripe berries. In this study, four types of suction pads (Bellow 1, Bellow 2, Multibellow and Profound) were evaluated in relation to gripping and the detachment of ripe coffee berries (*Coffea arabica* var. Colombia). 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). For all suction pads studied, gripping proportion was 100% and detachment proportion was above 86%. 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 system with suction pads depends on the type of suction pad and, is independent of the angle of application. 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.

En algunos productos agrícolas, los sistemas neumáticos de vacío se han estudiado para recolectar cosechas tales como pastos, cereales, leguminosas, nueces, fresas y cítricos, entre otros,

directamente de las plantas o en otros casos, de la superficie del suelo (Eschenwald y Hall, 1961; Hayans, Gómez, y García; Quackenbush, Stout y Ries, 1962). Liang y Kirschbawm (1982),

desarrollaron un cosechador - barredor comercial para nueces de macadamia, en el cual se empleó un sistema neumático que combinaba la impulsión y la succión, encontrándose 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 tienen un

Entre los dispositivos neumáticos diseñados para la cosecha de frutales se tiene: la recogedora neumática de café desarrollada en Brasil (Guía Rural, 1991), el transporte neumático del café en cereza (Hayans, Gómez y García, 1991), batidores mecánicos con fuente de potencia neumática (Centro Nacional de Investigaciones de café, 1999) y otros, donde se determinaron la velocidad de flotación o velocidad terminal del fruto de café en diferentes estados de madurez (Hayans, Gómez y García, 1991; Trujillo, 1998).

En las investigaciones realizadas en la Disciplina de Ingeniería Agrícola de Cenicafé, se han obtenido resultados importantes en cosecha manual asistida (Cenicafé, 1999; Ramírez, 1998; Vélez, Montoya y Oliveros, 1999). En el área de cosecha mecánica, también se han generado conocimientos importantes para el estudio y desarrollo de dispositivos para la cosecha mecanizada del café: en propiedades físico-mecánicas de estructuras del café y de los frutos; en el

efecto significativo en el desprendimiento de los frutos Abu-Gheida, 1962).

En los sistemas neumáticos la presión de vacío es la fuerza por unidad de área ejercida por el aire, inferior a la presión atmosférica, teniendo esta un valor promedio de 100 kPa (Marks, 1995).

desprendimiento de frutos con la aplicación al tallo de vibraciones circulares y multidireccionales; en cosecha con 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 (Cenicafé, 1999).

En observaciones preliminares desarrolladas en Cenicafé para observar la viabilidad técnica de desprender frutos utilizando aspiración neumática (Sanz, 1995), se diseñó un montaje conformado por: una bomba de vacío, un tanque acumulador de 500 L, para mantener la presión constante durante las pruebas, tubería galvanizada de succión de 2" (50,8 mm) de diámetro y un tanque ciclón para separar los frutos. Con este sistema de aspiración se obtuvo en una rama de café el desprendimiento de 100% de los frutos maduros, 30% de frutos pintones y no se presentó desprendimiento de frutos verdes. Sin embargo, para lograr esta

selectividad, el autor (Sanz, 1995) encontró que se requería una velocidad del aire supersónica⁵ y una presión de vacío

de aproximadamente -90 kPa, lo que requiere de un alto suministro de energía mecánica.

⁵ Supersónicos corresponden a valores superiores a

Considerando los resultados obtenidos anteriormente (Sanz, 1995), 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 valores promedios de las velocidades del aire a las cuales se presentaba el desprendimiento. En los ensayos realizados no se logró el desprendi-

d

e

l

s

o

n

i

d

o

e

n

e

l

a

i

r

e

q

u

e

e

s

a

p

r

o

x

i

m

a

d

a

m

e

n

t

e

3

3

0

m

/

s

.

miento de frutos maduros, por lo tanto se consideró esta alternativa no viable

Como complemento al empleo del vacío han sido desarrolladas las ventosas, estas son pequeños accesorios fabricados en diversos materiales, los cuales permiten manipular y transportar objetos y productos utilizando aire, mediante la aplicación de presión de vacío, considerando las características superficiales de los objetos a manipular (Neumática Festo, Piab,). Algunas ventajas de las ventosas son su excelente resistencia al desgaste, conexiones de rosca para cambios fáciles, extenso surtido en el mercado, diferentes materiales, resistencia a temperaturas de hasta 200°C y manipulación de 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 a nivel de 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

técnicamente (Campillo, 1998).

Laboratorio de Servoneumática del SENA - Regional Caldas, localizado en el Municipio de Manizales, con una altitud de 2.100 m, 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 fue evaluado 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 variedad Colombia roja con frutos maduros. Para cada ventosa y 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 agarraba 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 an-

tihorario con respecto al eje x (135° , 90° y 45°) en los que actuaron las ventosas para agarrar y desprender los frutos maduros.

Se utilizaron los siguientes materiales y equipos para realizar el montaje del sistema neumático:

- Acople rápido, N 4000 $\frac{1}{4}$ NPT, ref. 94340, de acero inoxidable, presión máxima 150 psi (10 bar).
- Cilindro de doble efecto, D.ER-DGLL-25-70-P-A, ref. 014560, de acero inoxidable, doble vástago, hue-co, con anti giro, diámetro 25 mm y carrera de 74mm.
- Cilindro de doble efecto, D.ER-DGLL-25-70-P-A, ref. 014560, de acero inoxidable, doble vástago, hueco, con anti giro, diámetro 25mm y carrera de 74 mm.

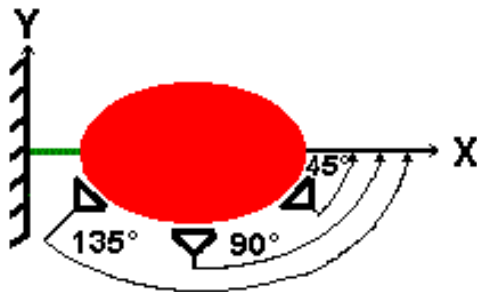


Figura 1. Angulos de aplicación de las ventosas para agarrar y desprender frutos maduros.

- 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 1200 kPa (0 a 12 bares), indicación de 0 a 1600 kPa (0 a 16 bares).
- Sensor de presión, tensión admisible de funcionamiento 30 V, salida de 10 V.
- Servoválvula 4/3 vías.

- Tobera de aspiración/Ventosa de sujeción, D.ER-VAD-1/8, ref. 014576, gama de presión de 150 a 1000 kPa (1,5 a 10 bares), vacío a 600 kPa (-0,7 bares).

- Tubo de plástico, PU-4 BLAU, ref. 006204, diámetro interior de 4 mm y exterior de 6 mm, radio de curvatura mínimo de 20 mm.
- 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 permitieran obtener una presión promedio de vacío, y que garantizara una fuerza mínima de 10 N 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, el cual consistió de un plano del sistema neumático para realizar luego el montaje y verificar el funcionamiento del sistema (Figura 2).

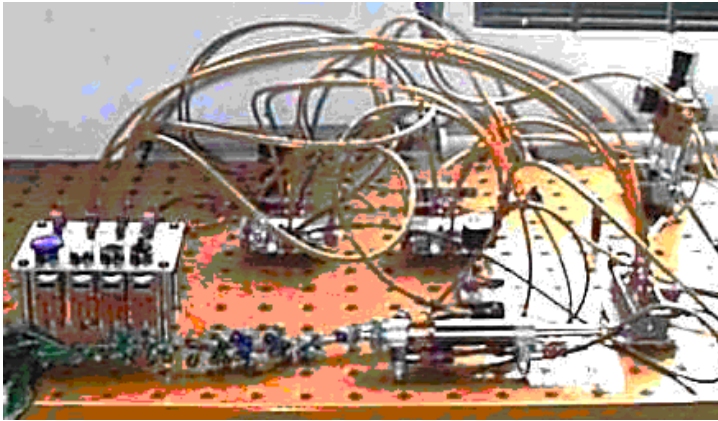


Figura 2. Sistema neumático de vacío para cosechar café utilizando ventosas.

Para seleccionar las ventosas a 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.

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 frutos solos como 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:

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

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

$$\begin{aligned}V \text{sen } \theta + F_s \text{cos } \theta &= m * a \\ x \\ -V \text{cos } \theta + F_s \text{sen } \theta &= mg + m * a \\ y \\ V * R + M &= I * \alpha\end{aligned}$$

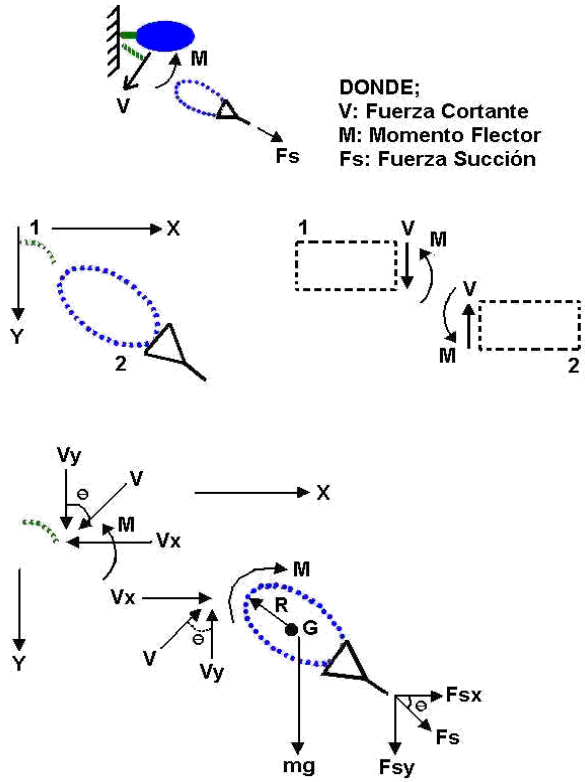


Figura 3. Diagrama de cuerpo libre del fruto maduro de café en el momento del desprendimiento con la ventosa

Donde;

V: Fuerza cortante (kg)

M: Momento flector (N*m)

F_s : Fuerza de succión (N)

θ : Ángulo en que actúa la ventosa ($^\circ$)

m: Masa del fruto (kg)

g: Gravedad (m/s^2)

a: Aceleración del fruto (m/s^2)

I: Momento de inercia ($kg*m^2$)

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 10 mm, y presiones de vacío del sistema de alrededor de -60 kPa, obteniéndose fuerzas teóricas entre 8,0 y 12,0 N. De acuerdo con Álvarez (1998), las fuerzas necesarias para desprender frutos maduros a tracción pura son de alrededor de 10 N, 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 10 mm. Conociendo lo anterior se

seleccionaron de catálogos ventosas tipo

Fuelle 1, Fuelle 2, Multifuelle y Profun-da (Piab, s.f.), (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 ligeramente curvas) y el tamaño de los frutos (32 a 34 semanas) (Salazar, *et al.*,1993). Las especificaciones técnicas de las ventosas se presentan en la Tabla 1.





Fuelle 1

Fuelle 2
Profunda

Multifuelle

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

Tabla 1. Especificaciones técnicas de las ventosas seleccionadas

Tipo de Ventosa	Diámetro (mm)	Material	Fuerza teorica de Elevación (n)	Presion max. de vacío (kpa)	Aplicación en superficies
Fuelle1	20	Silicona	8,0	-80	Curvas
Fuelle 2	15	Silicona	10,0	-80	Curvas
Multifuelle	20	Silicona	30,0	-80	Curvas
Profunda	15	Nitrilo	7,0	-80	Curvas

El área efectiva (m^2) de contacto para cada ventosa, se determinó conociendo las propiedades físico-mecánicas del fruto maduro de café (Alvarez, 1998; Mohsenin, 1972). 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 agarra el fruto, el área proyectada sobre la superficie de este es

un círculo de radio conocido (Marks,

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

1995).

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

La ecuación para la esfera es:

Derivando parcialmente Z con respecto a X y Y en [2]; reemplazando en la ecuación [1] e integrando con respecto a Y se obtiene:

¡Error!

Donde;

a: Radio de la ventosa (mm)

R: Radio característico del fruto (mm)

Utilizando la ecuación [3], se calculó el 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:

$$F_d = P_v * A$$

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 promedio 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 la ventosa Multifuelle presentó 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.

Comentario [COMMENT1]: [LEst] Los diseños no se mencionan en los resultados!! Es parte de la metodología

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

VENTOSA	PVAC (kPa)		PDES (%)	
		CV (%)		CV (%)
Fuelle 1	-54,30 b*	4,19	100,00 a	0,00
Fuelle2	-52,00 c	6,48	86,0 b	6,69
Multifuelle	-57,00 a	0,00	100,00 a	0,00
Profunda	-45,30 d	6,51	81,80 b	9,78

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 esta la mas deseable, mientras que las mayores fuerzas de desprendimiento corresponde a la ventosa Multifuelle en ángulo de 45° (Figura 5).

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

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, si proporciona el máximo vacío en el sistema, por lo tanto, es la más adecuada para agarrar y des -

prender el fruto maduro. En las Tablas 4,5 y 6 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 cada uno de los tratamientos evaluados, es simétrica.

Tabla 4. Promedios y variación para la presión de vacío (kPa)

VENTOSA	MIN	MAX	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	-50,00	-45,30	-46,00	97

EE: error estándar

Tabla 5. Promedios y variación para la proporción de desprendimiento

VENTOSA	MIN	MAX	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	146

EE: error estándar

Tabla 6. Promedios y variación para la fuerza de desprendimiento (N)

ANGULO	VENTOSA	MIN	MAX	MEDIA	MEDIANA	EE
45°	Fuelle 1	6,71	7,52	7,29	7,45	0,18
	Fuelle2	2,85	3,46	3,22	3,30	0,08
	Multifuelle	8,62	11,87	9,88	9,90	0,32
	Profunda	7,77	9,25	8,38	8,51	0,31
90°	Fuelle 1	5,89	6,59	6,39	6,53	0,09
	Fuelle2	2,74	3,33	3,09	3,10	0,07
	Multifuelle	8,14	8,99	8,63	8,81	0,10
	Profunda	6,47	7,7	6,93	7,09	0,24
135°	Fuelle 1	5,30	5,93	5,75	5,88	0,09
	Fuelle2	2,64	3,22	2,99	2,97	0,15
	Multifuelle	7,56	8,09	7,87	7,89	0,65
	Profunda	5,59	6,66	6,03	6,13	0,15

EE: error estándar

Como se puede observar, para desprender frutos maduros de café utilizando ventosas, se requiere una potencia aproximada de 9,7 W (0,013 HP) (9, 11), mientras que para cosechar café por succión neumática utilizando un equipo generador de corrientes de aire (turbina de succión) se requieren potencias alrededor de 18,78 kW (25 HP) (3). 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 se presentan 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 (9,83 N), fue observado en la ventosa Multifuelle con el ángulo de 45° y el mínimo valor (2,99 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 despren-

dimiento en función del ángulo, el máximo valor (100 %) fue observado para las ventosas Fuelle 1 y Multifuelle y el mínimo valor (80,8 %) para la ventosa Profunda. Al igual que para la fuerza de

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, independiente 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 -57 kPa y fuerza media de desprendimiento de $8,99$ N, la ventosa Multifuelle fue seleccionada como la más adecuada para cosechar frutos maduros de café.

Entre las ventajas del sistema neumático utilizado para explo-

desprendimiento, esta variación en la proporción de desprendimiento se debe a las características técnicas de cada ventosa.

rar 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, 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 7 se presentan 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.

Tabla 7. Valores estimados del consumo de energía mecánica para la cosecha de café

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	1,9

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 3,0 N, comparado con el valor determinado de 10 N para desprender a tracción pura un fruto maduro de café (Alvarez, 1998).

Los resultados de este estudio, brindan conocimientos e información básica para

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus agradecimientos a la Federación Nacional de Cafeteros de 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 por todos sus aportes.

BIBLIOGRAFÍA

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.

ALVAREZ T., E. Estudio de las propiedades físico - mecánicas del sistema fruto - pedúnculo del café variedad Colombia. Medellín. 1998, 110p. Tesis (Ingeniero Agrícola).Universidad

el diseño de nuevas herramientas y dispositivos, los cuales en un futuro, aportarán al 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.

Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

CAMPILLO O., P.I. Cosecha de café con aire utilizando aspiración. Chinchiná: Cenicafé, 1998. 21p. (Experimento ING - 0108, primer informe científico a Colciencias).

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola 1998-1999. Chinchiná: Cenicafé, 1999.

ESCHENWALD, A.; HALL, C.W. Air-flotation, pneumatic conveying velocities, and air flow relationships for coffee fruits and coffee bean. *En: Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico.* Vol. 45 (1961); p.319-332.

GUIA Rural. Os seis sistemas passo a passo. Río de Janeiro: Abril, 1991. 22p.

HAYANS, J.T.; GÓMEZ A., M.V.; GARCÍA DE LA R.M. Investigación sobre la selección de los frutos y separación de las impurezas por medios neumáticos en el café. *En: Revista Chapingo: Ingeniería Agrícola.* Vol. 1, No.2 (1991); p.15-20.

LIANG, T.; KIRSCHBAUM, W. A new nut harvesting principle. *Err.* Transactions of the ASAE. Vol. 1, No. 80 (1982); p.1495-1498.

MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico. Tomo I. México: Mc Graw Hill, 1995. 203p.

MOHSENIN, N. Mechanical properties of fruits and vegetables review of a decade of research applications and future needs. *Err.* Transactions of the ASAE. Vol. 15 (1972), p. 1064-1069. (Guía Rural, 1991):

NEUMATICA. Manual de Estudio – Nivel Básico. Manizales, SENA – Centro de Automatización Industrial, s.f. 230p.

RAMÍREZ A., M., I. Desarrollo de dispositivos que asistan la recolección manual de café cereza. Neiva, 1998. 101p. Tesis (Ingeniero Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería.

SALAZAR, G.; Melva Ruth *et al.* Crecimiento y desarrollo del fruto de café y su relación con la broca. *Err.* Avances técnicos Cenicafé. No.194 (1993); p.1-4.

SANZ, J.R. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola 1994-1995. Chinchiná: Cenicafé, 1995.

NEUMATICA - FESTO. Pinzas y ventosas para manipulación de piezas.

PIAB. Ventosas; Manipulación segura y fiable con las ventosas. Santafé de Bogotá, PIAB Latin America, s.f. 4p.

QUACKENBUSH H. E.; STOUT B. A.; RIES S. K. Pneumatic tree-fruit harvesting. *Err.* Agricultural Engineering. (July 1962); p.388-393.

TRUJILLO G., C.M. Desarrollo de un dispositivo neumático para agilizar la recolección de café cereza. Neiva, 1998. Tesis (Ingeniero Agrícola). Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería.

VÉLEZ Z., J.C.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E. Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café. *Err.* Boletín Técnico Cenicafé (Colombia). No.21 (1999); p.1-91.