

DISPOSITIVO HIDRÁULICO DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL PARA LIMPIEZA Y CLASIFICACIÓN DEL CAFÉ EN CEREZA

Carlos Eugenio Oliveros-Tascón*; Juan Rodrigo Sanz-Uribe**; Esther Cecilia Montoya-Restrepo***; Edilson León Moreno-Cárdenas****

RESUMEN

OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; MONTOYA R., E.C.; MORENO C., E.L. Dispositivo hidráulico de bajo impacto ambiental para limpieza y clasificación del café en cereza. Cenicafé 60 (3):229-238. 2009

El café que llega al beneficiadero contiene frutos, generalmente con densidad inferior a la del agua, que deben ser separados para evitar daños en la calidad del producto final, y materiales como piedras y objetos metálicos (objetos duros), entre otros, que también deben retirarse para evitar daños a las despulpadoras. En algunas fincas en Colombia se utilizan dispositivos hidráulicos, como el tanque sifón, con los cuales se logra eficacia de separación de flotes y de objetos duros de 88,9% y 49,3%, respectivamente, con consumo específico de agua de 4,7 L/kg de café pergamino seco (c.p.s.) que impide su empleo en la tecnología para el beneficio ecológico del café - BECOLSUB, desarrollada en Cenicafé, en la cual se utiliza menos de 1,0 L/kg de c.p.s. En esta investigación se obtuvo información sobre capacidad, potencia, consumo específico de agua y eficacia de separación de flotes y objetos duros de un Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo Sinfin (SHTS), con tres diámetros (88, 114 y 168 mm), tres ángulos de inclinación (40, 60 y 80°) y cuatro velocidades de rotación (100, 200, 300 y 400 rpm). Los resultados obtenidos permiten concluir que el SHTS es un complemento para la tecnología BECOLSUB.

Palabras clave: Separación hidráulica, beneficio ecológico, calidad, tornillo sinfin.

ABSTRACT

In the mass of raw coffee picked by hand, it is found low quality fruits, usually less dense than water, which must be removed to avoid quality deterioration of the product, as well as hard objects (HO) such as stones, metallic objects, and others, which must be removed to avoid damages of the pulping machine. In some Colombian farms are used hydraulic devices, such as the siphon tank, obtaining, according to Márquez (1987), mean efficacies of classification of floats and hard objects of 88,9% and 49,3%, respectively, with specific water consumption as high as 4,7 L/kg of dry parchment coffee (DPC), which disables this technology to work together with the environmentally friendly technology for wet coffee processing - BECOLSUB, with which less than 1,0 L/kg of DPC is required. This research consisted of obtaining information about the conveying capacity, power requirement, specific water consumption and efficacy of separation of floats and hard objects of a Hydraulic Separator of Hopper and Screw Conveyor with three different diameters (88, 114 and 168 mm), three inclination angles (40, 60 and 80°) and three rotation speeds (100, 200, 300 and 400 rpm). The results lead to the conclusion that the Hydraulic separator of hopper and screw conveyor is a good complement for the Becolsub technology.

Keywords. Hydraulic separation, coffee, ecological processing, quality, screw conveyor.

* Investigador Principal e Investigador Científico II, respectivamente. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Investigador Científico III. Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Ingeniero Agrícola. Profesional. Ingeniería Agrícola (hasta diciembre de 2008). Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La calidad física, en taza y el rendimiento en trilla del café pergamino seco obtenido durante el proceso de beneficio dependen en gran medida de la calidad de la materia prima utilizada, la tecnología empleada en cada etapa del beneficio, la operación, calibración y mantenimiento de los equipos y el entrenamiento recibido por los operarios. Con el café de buena calidad presente en la materia prima también se encuentran frutos afectados por enfermedades, frutos secos y brocados, entre otros, los cuales deben retirarse antes de la etapa del despulpado, para obtener un producto final de mejor calidad física y organoléptica. Además de presentar frutos defectuosos, la masa de café que llega al beneficiadero puede contener objetos como piedras, partes metálicas, entre otras, denominados objetos densos y duros (OD)¹, que deben ser separados para evitar daños en la camisa y el pechero de las despulpadoras.

En algunas fincas colombianas se utilizan medios hidráulicos, como el tanque sifón, para separar frutos de café de menor densidad que la del agua y objetos duros. Márquez (1), evaluó el desempeño del tanque sifón, con diferencia de nivel de 0,70 m y diámetro del tubo sifón de 114 mm (4"), obteniendo los siguientes resultados: Relación agua-frutos óptima igual a 0,94 L/kg, capacidad máxima de transporte de 6,1t.h⁻¹ de frutos, eficacia de clasificación de flotes y objetos duros de 88,9% y 49,3%, respectivamente. Márquez (2), también evaluó el canal semisumergido en la separación de flotes y objetos duros, obteniendo eficacias de separación del 100% de estos materiales, con consumo específico de agua de 6,5 L/kg de café seco. A pesar de los excelentes resultados en clasificación, esta tecnología no se considera adecuada

para el beneficio ecológico del café, debido a que el consumo específico es notoriamente superior al máximo esperado para todo el proceso (1,0 L/kg de c.p.s.).

Vargas y Lozano (5) evaluaron un dispositivo neumático para separar flotes y objetos duros, obteniendo con una columna de separación de 0,8 m y promedio de la velocidad del aire en la columna de extracción de 14,9 m/s, eficacia de separación de flotes y objetos duros del 61,0% y 100%, respectivamente, y rendimiento de 326,1 kg/h de café cereza.

En Cenicafé, Oliveros *et al.* (3, 4) construyeron un dispositivo para la clasificación de café en cereza para pequeños y medianos caficultores, denominado Separador Hidráulico de Tornillo Sinfin o SHTS, el cual permite retirar al inicio del proceso de beneficio frutos de inferior calidad (inmaduros, muy brocados, vanos y secos, entre otros) e impurezas livianas y pesadas, con empleo de bajo volumen de agua (menos de 80 L) y procesar hasta 1.000 kg de frutos de café por hora. El dispositivo tiene en su base un tornillo sinfin inclinado, comunicado con una tolva por medio de un ducto (Figura 1). El agua presente en la tolva permite que floten los frutos de inferior calidad, con menor densidad que el agua, facilitando su separación; los frutos maduros, con mayor densidad, se precipitan hasta la base de la tolva, donde son arrastrados hasta la boca de alimentación del tornillo sinfin inclinado, que los lleva hasta la despulpadora; entre tanto los objetos duros, que también se precipitan hasta el fondo de la tolva, son retenidos y separados en una cavidad inferior, formada entre la compuerta para el ingreso de frutos al tornillo y el fondo de la tolva. El despulpado se realiza sin agua ya que la inclinación del

¹ Objetos con mayor resistencia a la deformación bajo cargas de compresión y/o de cizallamiento que frutos de café; generalmente, piedras ígneas con resistencia a compresión superior a 50 MPa, dureza MOHS superior a 3 y densidad superior a 2,5 g/cm³.



Figura 1.
Vista general
del Separador
Hidráulico de
Tornillo Sinfin
(SHTS).

tornillo y el espacio entre éste y la carcasa permiten que el líquido retorne a la tolva. El dispositivo requiere baja potencia para su accionamiento, por lo cual se puede utilizar el motor de la despulpadora.

En esta investigación se obtuvo información de capacidad de transporte, potencia de accionamiento, consumo específico de agua y eficacia de separación de flotes y objetos duros del SHTS utilizando tres diámetros de tornillo sinfin (88, 114 y 168 mm), tres ángulos de elevación (40, 60 y 80°) y cuatro velocidades de rotación (100, 200, 300 y 400 rpm). Esta información se requiere para la selección y operación eficiente de estos dispositivos en diferentes condiciones de beneficiaderos (espacio y potencia disponibles, principalmente) y necesidades de procesamiento (kg/h).

MATERIALES Y MÉTODOS

El separador hidráulico de tolva y tornillo sinfin (SHTS) consta de un tornillo sinfin con hélice fabricada en acero inoxidable, que gira en el interior de un canal en U, para facilitar la limpieza. El tornillo sinfin está acoplado al fondo de una tolva sedimentadora en forma de tronco de pirámide invertida, con dimensiones en su parte superior de 90 x 90

cm, altura de 90 cm y volumen aproximado de 0,25 m³. El motor eléctrico para accionar el tornillo sinfin (trifásico de 1,3 kW), se acopló directamente al eje del sinfin de 88 mm (3”), mientras que para los tornillos de 114 mm (4”) y 168 mm (6”) de diámetro se utilizó una transmisión de piñones y cadena, de 13 dientes en el eje del motor y 48 en el eje del sinfin. El motor se montó sobre dos rodamientos redundantes, en los extremos de su eje, para permitir el uso de una celda que mide el par (“torque”) reactivo (referencia TQ101-500, rango 0 – 56,5 N.m), al fijar la carcasa del motor a una estructura por medio de bridas. Para modificar la velocidad de rotación del motor se utilizó un variador de frecuencia marca Allen Bradley, referencia 160 AA18NSF1P1 IP 20.

El separador SHTS se evaluó considerando tres diámetros, 88, 114 y 168 mm; tres ángulos de elevación, 40°, 60° y 80°; y cuatro velocidades de giro 100, 200, 300 y 400 rpm. Cada combinación de diámetro, ángulo y velocidad (tratamientos), se evaluó cinco veces. En la evaluación de cada tratamiento, se obtuvo la masa de café transportada por el tornillo sinfin por unidad de tiempo (capacidad, en kg/h) y el promedio del par (“torque”). Adicionalmente, se registró el contenido de flotes y de objetos duros antes

y después de cada tratamiento, así como el volumen de agua utilizado (60 L).

Para determinar el porcentaje inicial de flotes del café utilizado en cada evaluación, se tomó una muestra compuesta de 5 kg, se adicionó agua hasta cubrirla con una lámina de mínimo 5 cm, luego se agitó manualmente el café y se retiraron y pesaron los flotes en una balanza digital con rango de 0 a 300 g y resolución de 0,1 g. El porcentaje de flotes se determinó a partir de la relación entre el peso de los flotes y el peso inicial de la muestra.

Para cada condición de operación del tornillo sinfin se ajustó su velocidad de rotación al valor deseado (100, 200, 300 y 400 rpm), utilizando un variador de frecuencia y un tacómetro marca METEK modelo 1716 con rango de 0 a 10.000 rpm.

El flujo de café requerido para los ensayos se obtuvo utilizando un dosificador volumétrico, compuesto por una tolva con un tornillo sinfin horizontal en la base, al cual también se le ajustó su velocidad de rotación por medio de un variador de frecuencia. Los objetos duros (piedras, tuercas, tornillos, arandelas metálicas y puntillas, ver Figura 2), se depositaron en la tolva del dosificador a medida que se descargaba café en la tolva receptora del Separador Hidráulico de Tornillo Sinfin (SHTS), la cual contenía aproximadamente 60 L de agua limpia.

El café descargado por el tornillo sinfin del SHTS, se recogió en recipientes plásticos con capacidad máxima de 60 kg y se pesó, utilizando una báscula con lectura digital, rango 0 a 500 kg y resolución de 1 kg. En cada evaluación, se determinó la capacidad de transporte, pesando el café cereza transportado en tiempos de 2 minutos (2 veces) y 1 minuto (una vez).

Del café clasificado en el SHTS se extrajo una muestra compuesta de 5 kg y se siguió el procedimiento mencionado anteriormente para determinar el porcentaje de flotes. A partir de la diferencia relativa entre los porcentajes iniciales y finales de flotes, se obtuvo el porcentaje de separación de flotes, variable asociada al indicador de eficacia del separador.

Al final de cada evaluación se descargó la tolva y se recuperaron los objetos duros presentes. A partir de la relación entre objetos duros finales e iniciales se obtuvo el porcentaje de separación de objetos duros, como variable asociada al indicador de eficacia de separación.

En cada evaluación se determinó la potencia, a través de la Ecuación 1, donde el par (“torque”) T se midió utilizando el torquímetro de reacción y la velocidad angular N con el tacómetro. Para la adquisición automática de datos se utilizó un computador portátil con tarjeta electrónica National Instruments referencia DAQCARD 1200 y software para adquisición de datos desarrollado en



Figura 2. Objetos adicionados al café en cereza en la evaluación del SHTS.

LabView. La frecuencia de muestreo fue de 100 datos/s cada minuto y 10 datos/s cada 15 segundos. La calibración de la celda fue realizada por Mejía *et al.* (2).

$$P = \frac{\pi T N}{30} \quad \ll<1>>$$

donde:

P: potencia en W.

T: par (“torque”) en N.m.

N: velocidad de giro en rpm.

Las variables de respuesta consideradas fueron potencia y capacidad de transporte. Como variables complementarias se tuvieron el porcentaje de separación de flotes y el consumo específico de agua. Para cada diámetro y ángulo de elevación de cada tornillo sinfín del Separador Hidráulico se

obtuvo la expresión que mejor describió la capacidad de transporte y la potencia por unidad de longitud en función de la velocidad de rotación. Los criterios para seleccionar la mejor función fueron: Coeficiente de regresión diferente de 0 según prueba de t al 5%, coeficiente de determinación > 70% y menor error de estimación o menor cuadrado medio del error. Para las variables de respuesta y complementarias se estimaron los promedios y la variación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los promedios para la variable de interés capacidad de transporte. Para cada diámetro y velocidad de rotación del tornillo sinfín la mayor capacidad de transporte se alcanza con el

Tabla 1. Promedios de la capacidad de transporte (kg.h⁻¹) de frutos de café obtenidos con el SHTS y su error estándar (E.E.), para tres diámetros, tres ángulos de elevación y cuatro velocidades de rotación

Diámetro mm (pulg.)	Ángulo (°)	Velocidad de giro (rpm)							
		100		200		300		400	
		Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.	Media	E.E.
88 (3")	40	373,9A	11,0	435,4A	10,3	653,3A	4,0	1.005,1A	13,6
	60	86,2B	22,5	315,8B	10,9	538,6B	22,6	493,4B	50,6
	80	118,6B	6,9	285,1B	6,7	545,3B	11,7	588,5B	23,6
114 (4")	40	781,4A	14,5	1.371,8A	30,8	2.066,9A	38,3	3.232,1A	108,0
	60	501,6B	6,6	872,6B	39,7	1.071,8B	32,6	1.264,4B	27,0
	80	493,7B	18,9	796,3B	48,9	1.035,8B	50,2	1.407,4B	22,1
168 (6")	40	1.644,0A	32,0	2.982,0A	182,2	3.086,4A	32,6	4.330,2A	406,8
	60	879,8B	45,9	1.147,2B	71,3	1.473,0B	89,0	2.218,8B	45,2
	80	403,7C	43,9	668,2C	80,7	767,5C	125,9	2.021,8B	109,6

Para cada diámetro y velocidad, letras no comunes implican diferencia entre ángulos en el promedio de capacidad, según prueba de Tukey al 5%.

ángulo de elevación de 40°. Para los diámetros del tornillo sinfin de 88 mm (3'') y 114 mm (4''), en cada una de las velocidades, en los ángulos de elevación 60° y 80°, el promedio de la capacidad de transporte es el mismo, según prueba de Tukey al 5%. Para el diámetro del tornillo sinfin de 168 mm (6''), en todas la velocidades, excluyendo la velocidad 400 rpm, a mayor ángulo, menor capacidad de transporte (Tabla 1).

Para cada diámetro y ángulo de elevación, la capacidad de transporte presentó diferentes tendencias, en función de las velocidades, siendo la más común la tendencia cúbica. En la Tabla 2 se presenta la expresión para cada diámetro y ángulo, de tal manera que los coeficientes de regresión son diferentes de cero, según prueba t al 5%, y con coeficientes de determinación (r^2) mayores de 0,96.

El comportamiento de la variable de respuesta capacidad de transporte, para diámetros del tornillo sinfin de 88 mm (3''), 114 mm (4'') y 168 mm (6'') con ángulo de

elevación de 60° se ilustra en la Figura 3. Se observa que para el tornillo sinfin de 88 mm (3'') de diámetro, la capacidad máxima se alcanza a 300 rpm, mientras que para los restantes la capacidad tiende a aumentar a más de 400 rpm. Sin embargo, no conviene operarlo por encima de 300 rpm ya que las condiciones de llenado del tornillo sinfin del SHTS se tornan inestables y se generan vibraciones que pueden afectar al equipo y a otras estructuras del beneficiadero.

Los promedios de potencia por unidad de longitud (W/m), obtenidos con el SHTS para cada diámetro, ángulo y velocidad de giro del tornillo sinfin se presentan en la Tabla 3. En general, en algunos diámetros y en determinadas velocidades, a mayor ángulo mayor potencia y en otros se observó el efecto contrario, es decir, a menor ángulo mayor potencia. Por lo tanto, se deben tener en cuenta los valores presentados en la Tabla 3, para cada caso de diámetro, ángulo de elevación y velocidad de rotación.

Tabla 2. Expresiones para estimar la capacidad de transporte del SHTS ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) en función de la velocidad de giro, en el rango 0-400 rpm, para cada diámetro y ángulo de elevación evaluado.

Diámetro mm (pulg.)	Ángulo (°)	Expresión	r^2
88 (3'')	40	$m= 8,094N - 0,062N^2 + 2,01 \times 10^{-4} N^3 - 2 \times 10^{-7} N^4$	0,999
	60	$m= -0,715N + 0,0185N^2 - 3,42 \times 10^{-5} N^3$	0,977
	80	$m= 1,988N - 0,016N^2 + 9,664 \times 10^{-5} N^3 - 1,5 \times 10^{-7} N^4$	0,996
114 (4'')	40	$m= 9,981N - 0,027N^2 + 5,502 \times 10^{-5} N^3$	0,997
	60	$m= 5,437N - 6 \times 10^{-3} N^2$	0,996
	80	$m= 6,536N - 0,018N^2 + 2,684 \times 10^{-5} N^3$	0,994
168 (6'')	40	$m= 11,396N$	0,958
	60	$m= 13,096N - 0,053N^2 + 8,641 \times 10^{-5} N^3$	0,992
	80	$m= 9,003N - 0,052N^2 + 1,062 \times 10^{-4} N^3$	0,968

Para cada diámetro y ángulo de elevación, la potencia por unidad de longitud también presentó tendencias diferentes, en función de las velocidades, siendo la tendencia lineal la más común. En la Tabla 4, se ilustra la expresión para cada diámetro y ángulo, de tal manera que los coeficientes de regresión son diferentes de cero, según prueba t al 5%, con coeficientes de determinación (r^2) mayores de 0,90.

En un tornillo sinfín la potencia para accionarlo depende del par (“torque”), a su vez afectado por el flujo másico y la fricción del producto con la carcasa, y de su velocidad angular. El tornillo sinfín del SHTS está unido a la tolva de sedimentación por medio de ductos de sección rectangular y longitud menor a 30 cm (Figura 1). Al girar el tornillo sinfín genera succión y turbulencia que influyen en la entrada de café al dispositivo afectando el flujo másico.

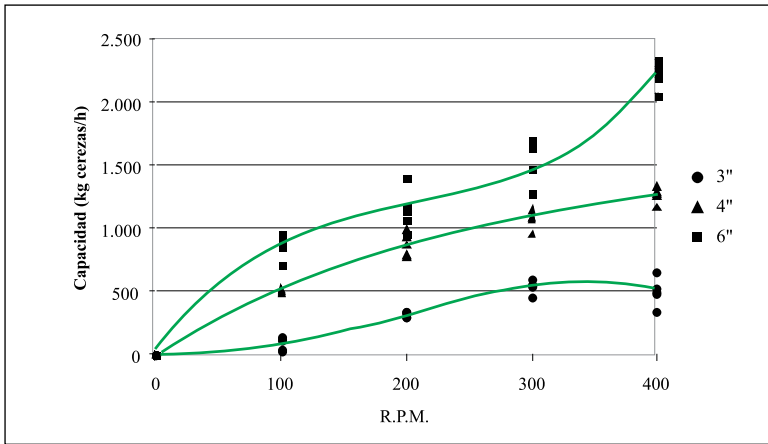


Figura 3. Comportamiento de la capacidad de transporte, en función de las velocidades, con tornillo sinfín de 88 mm (3''), 114 mm (4'') y 168 mm (6''), con ángulo de elevación de 60°.

Tabla 3. Promedios de potencia por unidad de longitud ($W.m^{-1}$) requerida para accionar el tornillo sinfín del SHTS con frutos de café, en cada diámetro, ángulo y velocidad evaluada

Diámetro mm (pulg.)	Ángulo (°)	Velocidad angular (rpm)			
		100	200	300	400
88 (3'')	40	5,3 b	20,3 b	30,4 a	30,4 a
	60	6,1 b	10,6 c	14,5 b	18,6 b
	80	20,8 a	37,9 a	18,0 ab	14,9 b
114 (4'')	40	54,3 b	119,4 b	240,6 a	273,0 a
	60	227,4 a	352,9 a	189,9 b	295,3 a
	80	24,4 c	42,1 c	91,9 c	125,2 b
168 (6'')	40	151,3 a	240,0 a	319,9 a	317,2 a
	60	39,7 b	62,2 c	121,0 b	335,5 a
	80	80,6 b	181,5 b	268,0 a	267,5 a

Para cada velocidad y diámetro letras no comunes implican diferencia en el promedio de la potencia entre ángulos.

Tabla 4. Expresiones para estimar la potencia por unidad de longitud ($W.m^{-1}$) para el accionamiento del tornillo sinfín del SHTS, en función de la velocidad de giro, en el rango 0-400 rpm, para cada diámetro y ángulo evaluado.

Diámetro mm (pulg.)	Ángulo (°)	Expresión	r ²
88 (3")	40	$\frac{P}{L} = -0,0139N + 8,88 \times 10^{-4}N^2 - 1,66 \times 10^{-6}N^3$	0,974
	60	$\frac{P}{L} = -0,0139N$	0,991
	80	$\frac{P}{L} = -0,0139N + 5,49 \times 10^{-3}N^2 - 2,739 \times 10^{-5}N^3 + 3,64 \times 10^{-8}N^4$	0,942
114 (4")	40	$\frac{P}{L} = 1,116N - 0,010N^2 + 5,512 \times 10^{-5}N^3 - 7,9 \times 10^{-8}N^4$	0,996
	60	$\frac{P}{L} = 0,3001N + 0,038N^2 - 2,171 \times 10^{-4}N^3 + 3,1 \times 10^{-7}N^4$	0,991
	80	$\frac{P}{L} = 0,295N$	0,969
168 (6")	40	$\frac{P}{L} = 0,953N$	0,908
	60	$\frac{P}{L} = 0,875N - 5,83 \times 10^{-3}N^2 + 1,434 \times 10^{-5}N^3$	0,974
	80	$\frac{P}{L} = 0,772N$	0,939

En el tornillo sinfín de diámetro de 88 mm (3") y ángulo de 60°, se observa que la potencia aumenta linealmente conforme aumenta la velocidad de giro del tornillo sinfín, en el rango considerado. Un comportamiento similar se observa para el diámetro de 114 mm (4") y ángulo de 80° y para el tornillo de 168 mm (6") y los ángulos de 40° y 80° (Tabla 4). Para los tornillos de 88 mm (3") a 40° y 168 mm (6") de diámetro y 60° de elevación se observó un comportamiento cúbico.

El promedio del porcentaje de separación de flotes, considerando todos los tratamientos, fue 96,7%, la mediana 97,1% y la moda 98,6%. El máximo valor observado fue 98,8% y el mínimo 91%, resultados descriptivamente

superiores a los obtenidos por Márquez (1) para el tanque sifón (88,9%). No se observó efecto de la velocidad de rotación del tornillo sinfín para la variable porcentaje de separación de flotes, en los tres diámetros estudiados.

Los flotes separados en el SHTS consistieron básicamente de frutos atacados por la broca, con deficiencias de llenado durante su desarrollo y con otros problemas fitosanitarios (mancha de hierro y mal rosado, entre otros). En la Figura 4 se presentan el café de mejor calidad y el material retirado (flotes).

Al considerar todos los tratamientos, el promedio del porcentaje de separación de objetos duros fue 88,2%, la mediana 89,4%



Figura 4. Café cereza clasificado en el SHTS sedimentado (a) y flotes (b).

y la moda 100%. El valor mínimo (52,5%) se obtuvo operando el SHTS con tornillo de 114 mm (4"), 400 rpm y ángulo de elevación de 40°. Los valores obtenidos para esta variable fueron mayores al promedio reportado por Márquez (1) para el tanque sifón (49,3%).

En el SHTS la mayor parte del agua transportada por el tornillo sinfín con el café cereza retorna al tanque de sedimentación por efecto de la gravedad, a través del espacio libre que existe entre el tornillo y la carcasa. A mayores ángulos de elevación el volumen de agua que retorna a la tolva es mayor. Con los diámetros evaluados y los ángulos de 60° y 80° el volumen de agua transportada con el café es muy pequeño, reduciéndose a la película adherida a los frutos. Con tornillo de 168 mm (6"), 40° de elevación, a 200 rpm, el volumen de agua por kilogramo de cereza transportado también es muy pequeño (0,025 L.kg⁻¹ c.p.s.).

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que el separador hidráulico de tornillo sinfín (SHTS) desarrollado en Cenicafé es una alternativa apropiada para complementar a la tecnología para el beneficio ecológico del café (BECOLSUB). Con su

empleo se logra separar frutos de menor densidad que la del agua (frutos vanos, muy atacados por la broca y secos, entre otros) y objetos como piedras y partes metálicas con promedio de eficacia de 96,7% y 88,2%, respectivamente, superiores a las reportadas por Márquez (1) para el tanque sifón, 88,9% y 49,3%, respectivamente. A medida que aumenta el ángulo de elevación del tornillo sinfín, a una determinada velocidad de giro, disminuyen su capacidad de transporte y el consumo específico de agua (L.kg⁻¹ de cereza), obteniéndose los mejores resultados con un ángulo de 60° y 200 a 300 rpm, en capacidad de transporte, consumo específico de agua < 0,01 L.kg⁻¹ de cereza y eficacia de separación de flotes y objetos duros. La potencia por unidad de longitud requerida para accionar el tornillo sinfín del SHTS en los diámetros (88, 114 y 168 mm) y velocidades (100 a 400 rpm) considerados es relativamente baja, por lo cual se pueden utilizar fuentes disponibles en la finca, como el motor de la despulpadora o del módulo BECOLSUB.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los colaboradores de la disciplina de Ingeniería Agrícola

de Cenicafé, en especial a las Ingenieras Claudia A. Mejía G. y Julieth Jurado Ch. por su colaboración en el desarrollo de la etapa experimental.

LITERATURA CITADA

1. MÁRQUEZ G., S. M. Evaluación y optimización de la operación del tanque sifón para el clasificado del café cereza. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, 1987. 117 p. Trabajo de grado: Ingeniero agrícola.
2. MÁRQUEZ G., S. M. Canal semisumergido para la clasificación del café cereza y pergamino húmedo. Informe científico. Chinchiná, Cenicafé, 1988.32p.
3. OLIVEROS T., C.E.; GONZÁLEZ R., F.O. Separador hidráulico con recirculación para café cereza. En: Cenicafé. Informe anual de actividades 2002-2003. Chinchiná: Cenicafé, 2003.
4. OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; BUENAVENTURA A., J.D. Evaluación de un separador hidráulico con tornillo sinfín y recuperador de agua para café cereza. En: Cenicafé. Informe anual de actividades 2003-2004. Chinchiná: Cenicafé, 2004.
5. VARGASA., L.A.; LOZANO D., N. Diseño y evaluación de un clasificador neumático para café cereza. Cali: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería, 1990. 85 p. Trabajo de grado: Ingeniero agrícola.