

# EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉCNICO Y AMBIENTAL DE UN DESMUCILAGINADOR DE CAFÉ CON ROTOR DE VARILLAS

Claudia A. Mejía-González<sup>\*</sup>; Carlos E. Oliveros-Tascón<sup>\*\*</sup>; Juan R. Sanz-Uribe<sup>\*\*</sup>;  
Edilson L. Moreno-Cárdenas<sup>\*\*</sup>; Luis A. Rodríguez-Hurtado<sup>\*\*\*</sup>

---

## RESUMEN

**MEJÍA G., C.A.; OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; MORENO C., E.L.; RODRÍGUEZ H., L.A.**  
**Evaluación del desempeño técnico y ambiental de un desmucilaginador de café con rotor de varillas.**  
**Cenicafé 58(2): 122-133. 2007.**

Se evaluó el desempeño del desmucilaginador de café con rotor de varillas para 1.000kg.h<sup>-1</sup> de café cereza (DRV-1.000) y como testigo se tuvo el desmucilaginador Cenicafé (DESLIM-1.000) de igual capacidad. En ambos equipos se midió el requerimiento de potencia en operación continua, la eficacia de remoción de mucilago, el porcentaje de daño mecánico y el factor de rendimiento en trilla. Además, para el DRV-1.000 se determinaron el consumo específico de agua, la demanda química de oxígeno, los sólidos totales, los sólidos suspendidos totales y el potencial de hidrógeno en el agua de lavado. Se registraron diferencias estadísticas en la remoción de mucilago, con valores superiores a 98% para DESLIM-1.000, y entre 79,2 y 82,4% para el DVR-1.000. El daño mecánico para el DRV-1.000 estuvo entre 0,3 y 0,4%, y para el DESLIM-1.000 entre 0,8 y 1,1%. El requerimiento de potencia de los equipos fue similar y varió entre 2,5 y 2,7kW y el rendimiento en trilla fue de 93,2 y 94,8 para el DRV-1.000 y el DESLIM-1.000, respectivamente. Se registraron consumos de agua con 2, 3 y 4 enjuagues de 3,32; 5,0 y 6,64L.kg<sup>-1</sup> de café pergamino seco (c.p.s), respectivamente.

**Palabras clave:** Desmucilaginado mecánico, café, beneficio ecológico, consumo específico de agua, potencia específica.

---

## ABSTRACT

The performance of the demucilaging machine with a rods rotor for 1,000kg.h<sup>-1</sup> of coffee berries (DRV-1.000) was evaluated and the Cenicafé demucilaging machine (DESLIM-1.000) with the same capacity was used as control. The power requirement in continuous operation, the efficiency of mucilage removal, the percentage of mechanical damage and the parchment to threshed ratio were measured in both machines. Besides, the specific water consumption, the chemical oxygen demand (COD), the total solids, the suspended total solids and the hydrogen potential of the waste waters were determined for the DRV-1.000. Statistical differences in the mucilage removal with values greater than 98% for the DESLIM-1.000 and between 79,2% and 82,4% for the DVR-1.000 were found. The mechanical damage for the DRV-1000 was between 0,3% and 0,4% and between 0,8% and 1,1% for the DESLIM-1.000. The power requirement of these machines was similar and varied between 2,5 and 2,7kW and the parchment to threshed ratios were 93,2 and 94,8 for the DRV-1.000 and the DESLIM-1.000, respectively. Water consumption rates with 2, 3 and 4 rinsings were 3,32; 5,0 and 6,64 L/kg of parchment coffee beans, respectively.

**Keywords:** Mechanical demucilaging, coffee, ecological coffee processing, power consumption, water consumption.

---

<sup>\*</sup> Ingeniera Agrícola. Universidad del Valle, Cali, Valle del Cauca, Colombia.

<sup>\*\*</sup> Investigador Principal, Investigador Científico II y Profesional, respectivamente. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

<sup>\*\*\*</sup> Ingeniero Mecánico. Ph. D. Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira

La recolección selectiva de frutos maduros y el beneficio de café por vía húmeda son dos factores clave para la obtención de cafés suaves de alta calidad. Durante el beneficio se retiran del fruto dos estructuras que recubren al grano; la pulpa y el mucílago, que en el proceso tradicional se logra en las etapas de despulpado y fermentación. Anteriormente, el despulpado se hacía con la adición de agua en las máquinas despulpadoras, pero actualmente se recomienda realizarlo sin agua para separar la pulpa de los granos y para transportarla a los sitios destinados para su descomposición.

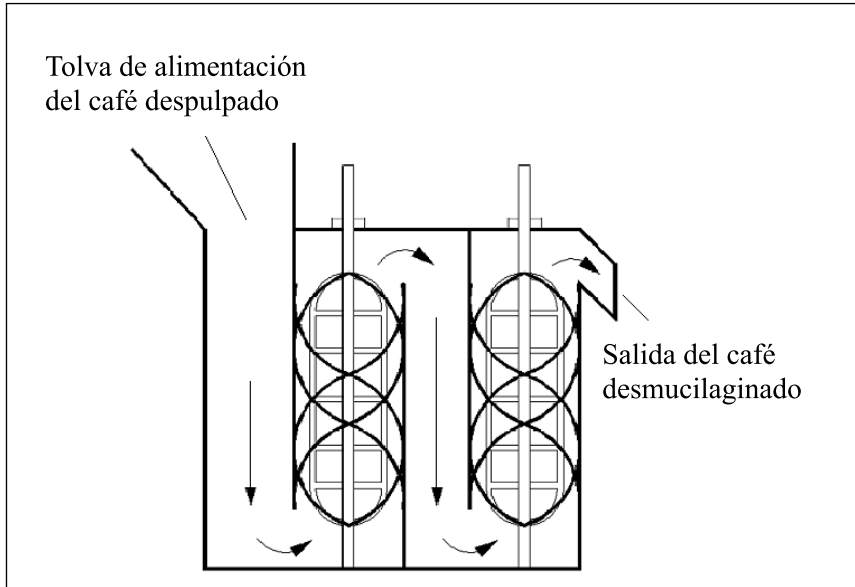
Tradicionalmente, la remoción del mucílago se realiza por fermentación natural, proceso que tarda entre 12 y 18 horas, dependiendo de factores como la temperatura, la cantidad de café para beneficiar y, la forma y el material del tanque (7). Una vez hidrolizado el mucílago, el café se lava y clasifica con consumos específicos de agua de  $40\text{L.kg}^{-1}$  de café pergamino seco (c.p.s.), aproximadamente. Según Zambrano e Isaza (8), la materia orgánica contenida en el agua resultante de estos procesos genera una contaminación de  $115,1\text{g}$  de DQO/kg de café cereza (c.c).

Con el fin de reducir la contaminación generada por los subproductos del beneficio húmedo y darles un valor agregado, Cenicafé desarrolló la tecnología BECOLSUB (Beneficio ECOLógico del café y manejo de los SUB productos), en la cual se despulpa el fruto sin utilizar agua, se retira mecánicamente el mucílago, se lavan y se limpian los granos con un consumo específico de agua inferior a  $1,0\text{L.kg}^{-1}$  de c.p.s., utilizando un equipo denominado DESLIM (Desmucilaginador, lavador y limpiador). Las mieles resultantes se mezclan con la pulpa por medio de un tornillo sinfín y de esta manera se logra retener hasta el 70% del líquido efluente y controlar el 90,8% de la contaminación potencial (1, 7). La pulpa mezclada con la

miel puede utilizarse como alimento para la lombriz roja californiana y así, obtener abono orgánico que puede ser empleado en la fertilización de almácigos de café y en otros cultivos sembrados en asocio con éste. Si el beneficio se realiza correctamente y la materia prima es de excelente calidad es posible obtener café de altas calidades física y en taza, iguales a las obtenidas en el proceso tradicional (6, 7).

El desprendimiento mecánico del mucílago que cubre los granos de café, se logra al agitarlos en una cámara con un dispositivo que al rotar genera esfuerzos cortantes en la masa y colisiones entre los granos. Según Oliveros y Sanz (3), a medida que se incrementa la velocidad de giro de un rotor dentro de una carcasa fija, los esfuerzos, principalmente cortantes, que actúan sobre la superficie de los granos de café, y la frecuencia de colisiones entre ellos aumentan y generan mayores tasas de desprendimiento del mucílago. Sin embargo, cuando la velocidad de rotación es muy alta los granos tienden a alinearse en la dirección principal del flujo (tangencial), por lo que disminuye la frecuencia de las colisiones y la tasa de desmucilaginado. Por tanto, para un determinado rotor y carcasa, la tasa de desmucilaginado es afectada por: la velocidad de giro del rotor, la forma, el diámetro y el tipo de rotor, la relación entre el diámetro del rotor y el de la carcasa, y por la viscosidad aparente de la suspensión, la cual a su vez depende de la concentración de partículas y de la tasa de corte.

El primer desmucilaginador mecánico de flujo vertical ascendente para café del cual se tienen reportes fue desarrollado por Fukunaga (2). Éste consta de dos cámaras verticales de 15cm de diámetro, comunicadas entre sí, y en el centro de cada una de ellas se encuentra un rotor construido en barras de acero de 6,35mm de diámetro (Figura 1). Con el fin de incrementar la agitación y



**Figura 1.** Esquema del desmucilagador mecánico para café diseñado por Fukunaga (2).

producir el flujo ascendente del café en cada una de las cámaras se utilizaron varillas de acero de 9,5mm de diámetro en la superficie externa de los agitadores.

Inicialmente, la velocidad de rotación de los agitadores en la primera cámara fue de 860 r.p.m. y en la segunda de 1.000 r.p.m. El café procesado en este dispositivo presentó bajo porcentaje de daño mecánico, con un consumo específico de agua de  $0,42\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}$  de c.p.s., sin incluir el agua requerida para el lavado del café, y una potencia específica instalada de  $2,44\text{W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$  de c.p.s.

La tecnología BECOLSUB, en los cinco modelos desarrollados (100, 300, 600, 1.200 y  $2.500\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$  de café cereza), ha sido adoptada exitosamente por los caficultores colombianos desde su lanzamiento en 1995. Sin embargo, en los últimos años algunos fabricantes de equipos para el beneficio del café, en los departamentos de Antioquia y

Quindío, han empleado rotores con varillas similares al diseñado en Hawaii por Fukunaga (2), en lugar del rotor con agitadores tipo Colmecano utilizado en el desmucilagador DESLIM. Según los fabricantes, al utilizar los rotores de varillas logran una disminución importante en el requerimiento de potencia y en el daño mecánico ocasionado a los granos, en relación con los obtenidos con el DESLIM. Estas iniciativas fueron planteadas en la Reunión para Unificación de Criterios en Beneficio Ecológico de Café, realizada en Cenicafé en el 2004, donde los miembros del Servicio de Extensión de la Federación, dedicados al beneficio de café, recomendaron a Cenicafé realizar investigaciones tendientes a responder las dudas sobre el desempeño del equipo desmucilagador de varillas. En esta investigación se evaluó y comparó el desempeño técnico y ambiental del proceso de desmucilagado mecánico del café realizado con un equipo DESLIM y con un equipo con rotor de varillas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** La investigación se desarrolló en el beneficiadero experimental del Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, localizado en Chinchiná (Caldas), a una altitud de 1.310m, con un promedio de temperatura de 21,5°C, humedad relativa de 79,5% y precipitación de 2.662mm.

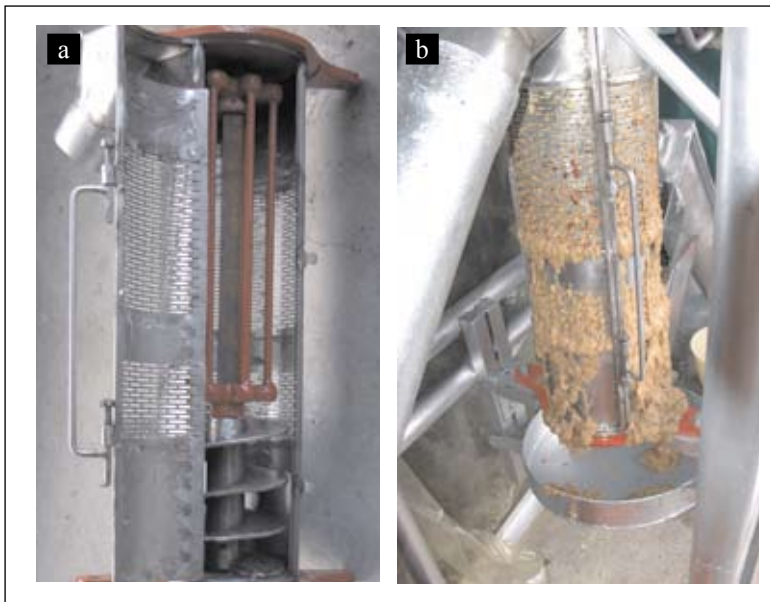
**Diseño.** Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio con dos tratamientos: desmucilaginado con rotor de varillas con capacidad para procesar 1.000kg.h<sup>-1</sup> de c.c. (DRV-1.000, Figura 2) y desmucilaginado con rotor DESLIM (DESLIM-1.000, Figura 3), como testigo. La unidad experimental estuvo conformada por la cantidad (kilogramos) de café maduro de la variedad Colombia necesaria para operar el equipo durante 15 minutos. El material fue suministrado por la Estación Central Naranjal y contó con un máximo de 2% de frutos inmaduros y 2% de frutos secos.

En la Figura 4 se muestra el montaje experimental para evaluar los tratamientos.

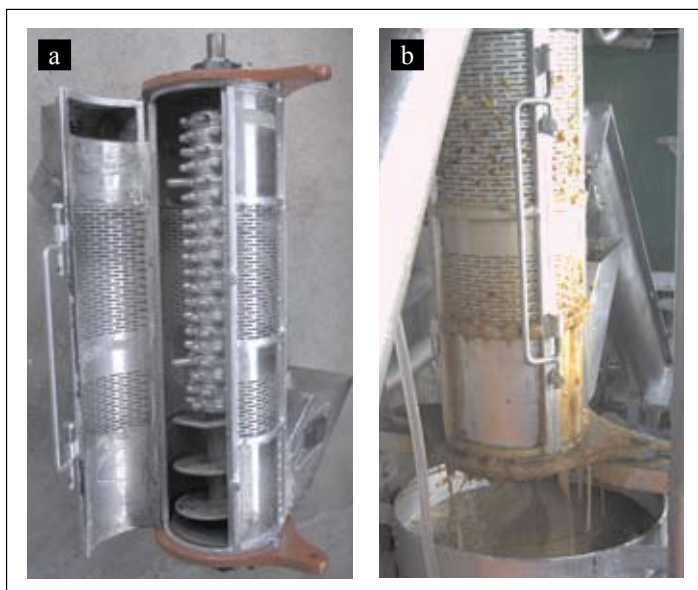
A continuación se describen las etapas comunes previas al desmucilaginado mecánico:

**Separación hidráulica.** Por medio de un separador hidráulico de tornillo sinfín, de bajo consumo específico de agua diseñado en Cenicafé por Oliveros *et al.* (4), se extrajo de la masa de café cereza el material con densidad menor que la del agua (frutos ‘brocados’, vanos e impurezas, entre otros), así como materiales extraños de mayor densidad que el café de mejor calidad, principalmente objetos metálicos y piedras. El café de mejor calidad fue transportado por medio de un tornillo sinfín hasta la máquina despulpadora.

**Despulpado en seco.** Se empleó una despulpadora de cilindro horizontal con capacidad para 1.200kg.h<sup>-1</sup> de c.c.



**Figura 2.**  
Desmucilaginado  
DRV-1.000. a)  
Rotor de varillas; b)  
Desmucilaginator  
en funcionamiento.



**Figura 3.**  
 a) Desmucilaginador  
 DESLIM-1.000;  
 b) Desmucilaginador  
 en funcionamiento.



**Figura 4.**  
 Montaje experimental  
 construido en Cenicafé  
 para aplicar los  
 tratamientos.

**Clasificación del café despulpado.** Se utilizó una zaranda cilíndrica de varillas con aberturas de 8mm, que giró a 45 r.p.m., para retirar frutos de café sin despulpar, generalmente inmaduros, secos y atacados por mancha de hierro. Adicionalmente, la zaranda permitió retirar un alto porcentaje de la pulpa presente en el café despulpado.

**Dosificación del café despulpado.** Se utilizó un tornillo sinfín para suministrar  $600\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$  de café despulpado ( $\pm 10\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) requerido en los desmucilaginadores.

Luego de las etapas comunes se procedió a aplicar cada tratamiento de la forma siguiente:

**Tratamiento DRV-1.000.** Se ejecutó sin suministro de agua durante el proceso de desmucilaginado, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

**Tratamiento DESLIM-1.000.** Se suministró agua al interior del equipo con un consumo específico equivalente a 0,8L.kg<sup>-1</sup> de c.p.s, de acuerdo con los valores definidos por Oliveros *et al.* (4).

En la evaluación de los tratamientos se cuantificaron las siguientes variables:

**Remoción del mucílago.** Para obtener la remoción de mucílago con los equipos utilizados inicialmente, se determinó experimentalmente el contenido inicial de mucílago presente en tres muestras, cada una de un kilogramo de café recién despulpado, con la aplicación de una enzima pectinolítica durante una hora, su lavado posterior, y la eliminación de la película de agua que cubre a los granos, antes de pesarlos. El contenido inicial de mucílago se obtuvo por medio de la ecuación <<1>>.

$$M = \frac{m_{cd} - m_{sm}}{m_{sm}} \quad \text{<<1>>$$

Donde:

$M$ : contenido inicial de mucílago (decimal)

$m_{cd}$  : masa de café despulpado (g)

$m_{sm}$  : masa de café sin mucílago (g)

Las muestras de café desmucilaginado también se dejaron durante una hora en contacto con la enzima pectinolítica y se siguió el procedimiento citado anteriormente. Por medio de la ecuación <<2>> se determinó la remoción de mucílago:

$$r = \left( 1 - \frac{m_{mr}}{m_{mi}} \right) \quad \text{<<2>>$$

Donde:

$r$ : remoción de mucílago (decimal)

$m_{mr}$ : masa del mucílago remanente en la muestra (g)

$m_{mi}$ : masa del mucílago inicial en la muestra (g)

Para estimar el mucílago remanente se utilizó la ecuación <<3>>.

$$m_{mr} = m_{ae} - m_{de} \quad \text{<<3>>}$$

Donde:

$m_{ae}$ : masa del café antes de aplicar la enzima (g)

$m_{de}$ : masa de café después de aplicar la enzima (g)

Para estimar la masa de mucílago inicial se usó la relación de  $M$  previamente obtenida (ecuación <<1>>) como se indica en la ecuación <<4>>.

$$m_{mi} = M m_{de} \quad \text{<<4>>}$$

Al reemplazar las ecuaciones <<3>> y <<4>> en la ecuación <<2>> se tiene que la remoción de mucílago está entonces dada por la ecuación <<5>>.

$$r = \left( 1 - \frac{m_{ae} - m_{de}}{M m_{de}} \right) 100 \% \quad \text{<<5>>}$$

Para obtener las masas que se necesitan en las ecuaciones anteriores, se tomaron muestras de 1,0kg de café a los 2, 5, 10 y 15 minutos después de haber iniciado los tratamientos, con tres repeticiones.

**Daño mecánico.** Para cuantificar esta variable se tomaron muestras de 1,0kg de café a la salida de la despulpadora y de los desmucilaginadores a los 2, 5, 10 y 15

minutos de iniciados los tratamientos. A todas las muestras se les realizó una inspección visual para identificar los granos trillados, aplastados, mordidos o con rasgos visibles de daño mecánico, los cuales se separaron y pesaron. El daño mecánico atribuible al desmucilaginador se obtuvo a partir de la diferencia entre el daño acumulado en el desmucilaginador y el ocasionado por la despulpadora, de acuerdo con las ecuaciones <<6>>, <<7>> y <<8>>.

$$DM_d = \frac{m_{Dd}}{m_{tm}} \quad \ll 6 \gg$$

$$DM_{SD} = \frac{m_{DsD}}{m_{tm}} \quad \ll 7 \gg$$

$$DM_D = DM_{SD} - DM_d \quad \ll 8 \gg$$

Donde:

$DM_D$ : Daño mecánico generado por el desmucilaginador (%)

$DM_d$ : daño mecánico debido a la despulpadora (%)

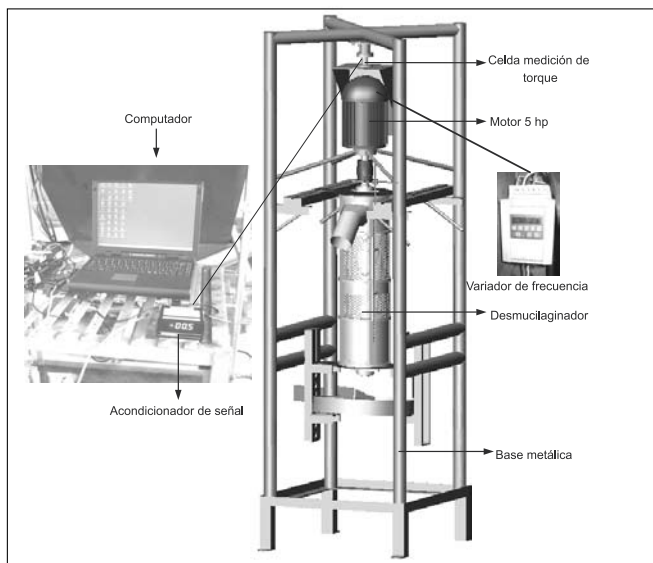
$DM_{SD}$ : daño mecánico causado por el desmucilaginador y la despulpadora (%)

$m_{Dd}$ : masa de los granos dañados por la despulpadora (g)

$m_{tm}$ : masa total de la muestra (1.000g)

$m_{DsD}$ : masa de los granos dañados mecánicamente a la salida del desmucilaginador (g)

**Potencia en operación continua.** Se instaló un medidor de torque Omega TQ 101-500, con rango de 0 - 56,63N.m, con el fin de medir el torque reactivo cuando el desmucilaginador está en funcionamiento. Durante el proceso de desmucilaginado, el motor (Figura 5) tiende a rotar en sentido contrario al movimiento de su eje, generando un torque reactivo el cual depende de varios factores entre ellos la velocidad de rotación, el flujo de café, la viscosidad de la suspensión, la forma y dimensiones de los álabes. En esta investigación estos factores se mantuvieron constantes. El torque generó una pequeña deformación angular en el eje, la cual fue medida con dispositivos que varían su resistencia con



**Figura 5.** Equipos utilizados para tomar los datos de requerimiento de potencia de los desmucilaginadores.

la deformación y entregan un voltaje entre 0 y 5V de corriente directa (estandarizado), proporcional a la deformación y al torque. La señal (voltaje DC entre 0 y 5V) fue enviada a un sistema de lectura digital (*display*) y a un computador personal donde por medio de un software diseñado para tal fin, se registró el valor del torque. La lectura se realizó cada tres minutos durante un segundo, con una frecuencia de muestreo de 100 datos por segundo. Para ajustar la velocidad angular para ambos rotores a 870 r.p.m. se empleó un variador de frecuencia Allen – Bradley.

La potencia se determinó mediante la ecuación

$$P = T \cdot \omega$$

Donde:

*P*: potencia (W)

*T*: par o torque (N.M)

$\omega$ : Velocidad angular (rad/s<sup>-1</sup>)

**Consumo específico de agua.** Para determinar el consumo específico de agua en el DRV-1.000, se tomaron muestras homogéneas de 1,0kg de café a la salida del equipo, las cuales se lavaron siguiendo la metodología de cuatro enjuagues propuesta por Zambrano para el lavado en tanques de fermentación (9). El volumen de agua utilizado por enjuague fue de 0,8L.

**Contaminación.** En cada uno de los enjuagues resultantes del lavado anterior se determinó la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los Sólidos Suspendidos Totales (SST), los Sólidos Totales (ST) y el pH.

**Factor de rendimiento en trilla.** Este factor fue determinado con muestras de 0,6kg de café lavado secadas al sol. Cuando la humedad de las muestras alcanzó entre el 10 y el 12%, se tomaron submuestras de 250g y se les retiró el pergamino (proceso de trillado). A las almendras resultantes se

les retiraron todos los defectos y luego se pasaron por una malla 14 (con aberturas de 14/64”) para obtener el café excelso.

El factor de rendimiento en trilla (*FR*) se obtuvo como:

$$FR = \frac{250g}{m_e} - 70kg$$

Donde:

*m<sub>e</sub>*: Peso de café excelso obtenida de la submuestra (g).

En cada tratamiento se realizaron nueve repeticiones. Las variables se evaluaron mediante el análisis de varianza y la prueba t con nivel significancia del 95%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Porcentaje de remoción del mucílago.** El análisis de varianza para esta variable mostró efecto de los tratamientos en los cuatro tiempos evaluados. La mayor remoción se observó en el DESLIM-1.000 respecto al tratamiento DRV-1.000. La remoción para el DESLIM-1.000 osciló entre 98,1% y 98,2%, mientras que para el DRV-1.000 estuvo entre 79,2 y 82,4%. Adicionalmente, el comportamiento del DESLIM-1.000 fue más estable que el DRV-1.000, como lo indican los menores coeficientes de variación (Tabla 1).

Aunque en todas las pruebas se tuvieron condiciones controladas de alimentación para los dos equipos, el desmucilaginador DRV-1.000 mostró un comportamiento inestable que se reflejó en las variaciones en la remoción de mucílago.

**Daño mecánico en los granos por desmucilaginado.** Ambos desmucilaginadores presentaron promedios de daño mecánico muy por debajo del máximo aceptado, los menores



**Tabla 1.** Promedios de la remoción de mucílago para los tratamientos evaluados.

Tiempo (min)	Tratamiento	Promedio (%)	C.V. (%)
2	DRV - 1.000	82,4 B	13,8
	DESLIM - 1.000	98,2 A	1,7
5	DRV - 1.000	79,2 B	7,6
	DESLIM - 1.000	98,2 A	1,5
10	DRV - 1.000	79,9 B	7,7
	DESLIM - 1.000	98,1 A	1,5
15	DRV - 1.000	80,8 B	4,1
	DESLIM - 1.000	98,2 A	1,5

Letras distintas indican diferencia estadística según la prueba de t al 5%.

**Tabla 2.** Promedios de daño mecánico para los dos desmucilaginosos mecánicos evaluados.

Tiempo (min)	Tratamiento	Promedio (%)	C.V. (%)
2	DRV - 1.000	0,3 B	122,2
	DESLIM - 1.000	0,9 A	21,8
5	DRV - 1.000	0,4 B	79,5
	DESLIM - 1.000	0,8 A	40,4
10	DRV - 1.000	0,4 B	58,2
	DESLIM - 1.000	1,1 A	28,5
15	DRV - 1.000	0,4 B	71,4
	DESLIM - 1.000	0,9 A	30,6

Letras distintas indican diferencia estadística según la prueba de t al 5%.

valores se obtuvieron con el DRV-1.000 (Tabla 2). Aunque los porcentajes de daño mecánico obtenidos con el DESLIM-1.000 fueron mayores que los reportados por Oliveros y Sanz (3), se espera que no afecten los ingresos del usuario por ser menores del 1% y porque una fracción importante de éstos son granos trillados, sin lesiones visibles en el endospermo, que en el proceso de comercialización se aceptan como sanos cuando no presentan decoloraciones.

**Potencia en operación continua.** Se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos sólo a los 12 minutos de operación de los equipos, y se obtuvo el menor valor con el DESLIM-1.000 (2,5kW). Este resultado desvirtúa afirmaciones que indican que con el rotor de varillas operado en la forma planteada en esta investigación se requiere menor potencia que con el DESLIM, para una similar capacidad de procesamiento. A diferencia de los resultados obtenidos para la

**Tabla 3.** Promedios de potencia en operación continua en los tratamientos evaluados.

Tiempo (min)	Tratamiento	Promedio (kW)	C.V. (%)
0	DRV – 1.000	2,6 A	5,0
	DESLIM – 1.000	2,6 A	5,4
3	DRV – 1.000	2,7 A	6,2
	DESLIM – 1.000	2,6 A	6,1
6	DRV – 1.000	2,7 A	3,5
	DESLIM – 1.000	2,6 A	5,2
9	DRV – 1.000	2,7 A	5,3
	DESLIM – 1.000	2,5 A	4,9
12	DRV – 1.000	2,7 A	4,6
	DESLIM – 1.000	2,6 B	4,6
15	DRV – 1.000	2,7 A	4,3
	DESLIM – 1.000	2,6 A	5,9

Letras distintas indican diferencia estadística según la prueba de t al 5%.

remoción de mucílago y los granos dañados mecánicamente, en esta variable los coeficientes de variación fueron estadísticamente bajos y similares para ambos tratamientos en todos los tiempos evaluados (Tabla 3).

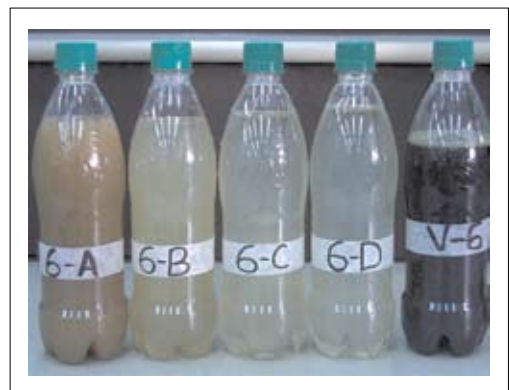
La selección de un motor debe realizarse de acuerdo con los requerimientos máximos de potencia, que para el caso del DRV-1.000 fue de 2,72kW y para el DESLIM-1.000 de 2,61kW; por tanto, para accionar cualquiera de los dos equipos debe emplearse un motor de 2,7kW (3,6HP).

**Consumo específico de agua.** El consumo específico de agua obtenido con las muestras procesadas en el DRV-1.000, con 1 a 4 enjuagues, se presenta en la Tabla 4. De acuerdo al valor obtenido con el DESLIM-1.000 (0,8L/kg de c.p.s.) y un mínimo de 2 enjuagues realizados al café proveniente del DRV-1.000, el consumo específico de agua con este desmucilagador se incrementó en un 315% con respecto al DESLIM-1.000.

## Contaminación

### Demanda Química de Oxígeno (DQO).

En la Figura 6 se observan las muestras de los fluidos obtenidos en cada uno de los enjuagues de acuerdo con la aplicación del tratamiento DRV-1.000.



**Figura 6.** Fluidos obtenidos de los cuatro enjuagues para la sexta repetición, tratamiento DRV-1000 (Primer enjuague 6-A, segundo enjuague 6-B, tercer enjuague 6-C, cuarto enjuague 6-D y lixiviados V-6).

El valor promedio de la contaminación generada por las aguas de lavado al aplicar el tratamiento DRV-1.000 fue 5,19g de DQO por kilogramo de café cereza (c.c.), sin tener en cuenta los lixiviados de los subproductos generados en este tratamiento (Tabla 6). El valor de control de la contaminación para el proceso BECOLSUB, reportado por Cárdenas (1) cuando se utilizan 0,6L/kg de c.p.s. en el DESLIM es de 90,8%, es decir, 10,59g de DQO/kg de c.c.

**Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Totales (ST) y potencial de hidrógeno (pH):**

Los resultados muestran que los fluidos resultantes del lavado son ácidos, con un promedio del pH de 4,2. Los sólidos en suspensión son notoriamente superiores en los fluidos del lavado, atribuible probablemente al efecto filtrante del lecho de pulpa, observado por Pascuas (5).

**Factor de rendimiento en trilla.** Para esta variable no hubo efecto de los tratamientos, lo cual significa que a pesar de haber obtenido diferencias en el daño mecánico entre los tratamientos, con un mayor valor promedio para el DESLIM-1.000 (Tabla 6), los valores registrados en esta variable no incidieron de forma significativa ni en la calidad física del café ni en el rendimiento en trilla para este tratamiento. Cabe resaltar que este resultado es muy importante, debido a que el rendimiento en trilla tiene un efecto directo en el precio del café y en los ingresos del productor.

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que con el equipo DESLIM-1.000, con rotor con agitadores tipo Colmecano, se logra una mayor remoción de mucilago de los granos que con el rotor de varillas (DRV-1.000), con igual requerimiento

**Tabla 4.** Consumos específicos de agua en el tratamiento DRV-1.000.

Número de enjuagues	L.kg <sup>-1</sup> de c.p.s.
4	6,64
3	5,00
2	3,32
1	1,66

**Tabla 5.** Promedios para las variables potencial de hidrógeno (pH), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos totales (ST) obtenidos con el DRV-1.000.

Variables	Promedio
pH	4,2
SST (g de ST/kg de c.c.)	3,7
ST (g de SS/kg de c.c.)	0,9

**Tabla 6.** Factor de rendimiento en trilla.

Tratamiento	Promedio	C.V. (%)
DRV - 1.000	93,25	3,75
DESLIM - 1.000	94,79	4,07

de potencia, menor consumo específico de agua y con un ligero mayor daño mecánico a los granos, sin afectar el factor de rendimiento en trilla ni los ingresos del productor.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los mecánicos del taller de la Disciplina de Ingeniería Agrícola, al Arquitecto César Ramírez, a la empresa JM. Estrada, al personal de Biodigestión de Cenicafé, a la doctora Esther Cecilia Montoya de la Disciplina de Biometría y al Ing. Juan Carlos García, jefe de la Estación Central Naranjal.

## LITERATURA CITADA

1. CÁRDENASC., J. Evaluación preliminar de una estrategia para la reducción de los lixiviados del BECOLSUB. Chinchiná, Cenicafé, 1998. 76 p.
2. FUKUNAGA, E. T. A new mechanical coffee demucilaging machine. Hawaii, Agricultural Experiment Station, 1957. 18 p. (Bulletin No. 115)
3. OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R. Desmucilaginado mecánico, lavado y limpieza del café. Equipo DESLIM. In: Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1999. p. 77-101.
4. OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R. RAMÍREZ G., C.A.; ROA M., G. Separador de tolva con tornillo sinfín (STT - 600) y recirculación de agua para café en cereza. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola 2003-2004. Chinchiná, Cenicafé, 2004. 4 p.
5. PASCUAS L., R.T. Estudio de la retención en pulpa del efluente líquido - sólido resultante del beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1997. 1 p. (Seminario Junio 20, 1997).
6. PUERTA Q., G.I. El beneficio y la calidad del café. Chinchiná, Cenicafé, 1995. 45 p.
7. ROA M., G.; OLIVEROS T., C. E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C. A.; SANZ U., J. R.; ÁLVAREZ H., J. R.; DÁVILA A., M. T.; ZAMBRANO F., D. A.; PUERTA Q., G. I.; RODRÍGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1999. 273 p.
8. ZAMBRANOF., D.A.; ISAZAH., J. D. Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. Cenicafé 49(4):279-289. 1998.
9. ZAMBRANO F., D.A. Fermente y lave su café en el tanque tina. Avances Técnicos Cenicafé No. 197:1-8. 1993.