Avances Técnicos Cenicafé 432

Junio de 2013
Gerencia Técnica /
Programa de Investigación Científica
Fondo Nacional del Café

ECOMILL®
Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café

La alta calidad del café colombiano es atribuible principalmente a las variedades cultivadas, al clima y los suelos de las zonas productoras, al manejo agronómico, la cosecha selectiva (principalmente frutos maduros) y al beneficio (húmedo) y secado, con aplicación de buenas prácticas.



El beneficio húmedo del café es un proceso en el cual se retiran dos estructuras que cubren las semillas, la pulpa y el mucílago, las cuales en la variedad Colombia representan el 43,58% y 14,85% del peso fresco del fruto, respectivamente (1). El mucílago se remueve utilizando procesos de degradación por fermentación natural, dejando el café despulpado en el tanque durante 14 a 20 h, o aplicando enzimas pectinolíticas (6), y lavándolo con agua limpia. Con fermentación natural, el volumen específico de agua empleado (VEA) varía de 4,17 a 20 $L.kg^{-1}$ de café pergamino seco (9, 12). Las aguas residuales de lavado (ARL), presentan alta carga orgánica, por lo cual se requiere tratarlas para disminuir el impacto ambiental.

Cenicafé

Ciencia, tecnología e innovación para la caficultura colombiana

Autores

Carlos E. Oliveros T.
Investigador Principal
Juan R. Sanz U.
Investigador Científico II
Cesar A. Ramírez G.
Investigador Científico I
Carlos A. Tibaduiza V.
Asistente de Investigación
Disciplina de Ingeniería Agrícola
Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé
Manizales, Caldas, Colombia

Edición:
Sandra Milena Marín López
Fotografías:
Archivo Cenicafé
Diagramación:
María del Rosario Rodríguez L.
Imprenta: Javergraf

ISSN - 0120 - 0178

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Manizales, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manizales
www.cenicafe.org

La remoción del mucílago también puede realizarse por medios mecánicos, empleando la tecnología desarrollada por Cenicafé denominada BECOLSUB (Beneficio ECOLógico con manejo de SUBproductos), empleando solamente de 0,7 a 1,0 $L.kg^{-1}$ de café pergamino seco (c.p.s.). En este caso las Aguas residuales del lavado - ARL se mezclan con la pulpa del café, logrando retener del 60% al 65% de volumen adicionado, y controlar del 90% al 91% de la contaminación generada en el proceso. Esta tecnología se utiliza exitosamente en Colombia y en otros países productores de café suaves lavados, siendo amigable con el medio ambiente.

Para atender las necesidades de caficultores que en Colombia utilizan el proceso de fermentación natural, así como los requerimientos de compradores de café en el exterior que exigen café procesado con fermentación natural, y los cambios en la legislación ambiental en Colombia (Decreto 3930 de 2010), que limita drásticamente los vertimientos puntuales permisibles de los efluentes de los beneficiaderos, Cenicafé desarrolló la tecnología ECOMILL®, en la cual se lava mecánicamente café con mucílago degradado en el proceso con fermentación natural o con aplicación de enzimas, con reducción notoria en el volumen específico de agua (VEA) hasta valores entre 0,3 y 0,5 $L.kg^{-1}$ de c.p.s. Debido al bajo VEA, las ARL altamente concentradas se pueden mezclar con la pulpa del café, reteniendo más del 95% del volumen adicionado y controlando hasta el 100% de la contaminación generada en el proceso. Actualmente, se tienen tres modelos con capacidad para 500, 1.500 y 3.000 $kg.h^{-1}$ de café lavado.

La tecnología ECOMILL® consiste básicamente de los siguientes elementos:

Tanque. Uno o varios tanques, según la necesidad, donde se deposita el café despulpado y lleva a cabo el proceso de fermentación natural, para degradar el mucílago, o con aplicación de enzima pectinolítica (6). Para los modelos ECOMILL®



Figura 1. Tanque utilizado para la fermentación del mucílago del café en la tecnología: **a.** ECOMILL® 500; **b.** ECOMILL® 1.500 y 3.000.

1.500 y 3.000 (Figura 1b), el tanque presenta forma cilíndrica con fondo en forma de cono truncado invertido, con 60° de inclinación con la horizontal, para permitir el flujo del café por gravedad hasta la tolva del alimentador del lavador, colocada en su base. La capacidad del tanque puede llegar hasta 2.000 ó 3.000 kg de café despulpado en el modelo ECOMILL® 1.500, y hasta 6.000 kg de café despulpado en el modelo 3.000. De acuerdo con la capacidad requerida del equipo, pueden variar el número y los volúmenes de los tanques, pero conservando el ángulo de inclinación y el diámetro en la descarga.

Para el modelo ECOMILL® 500 (Figura 1a) se utiliza un tanque en forma de cono truncado invertido, con una capacidad que puede llegar hasta 1.000 ó 1.500 kg de café despulpado, con una compuerta deslizante en su fondo, para permitir el flujo del café al alimentador del lavador mecánico.

Alimentador de café. Su función es entregar el café con mucílago degradado a un lavador mecánico, en el rango de flujo requerido según el modelo, con bajo daño mecánico (Figura 2). Para su accionamiento se requiere baja potencia (< 100W) y bajo torque o par motor (< 50 N.m), por lo cual se utiliza el motor del lavador, con una transmisión de potencia que permite operarlo a baja velocidad de giro, 23 a 36 rpm, según el modelo.

Lavador. Diseñado a partir de los desmucilaginadores DESLIM 300, 1.000 y 2.500, con modificaciones en el rotor (Figura 3), para permitir el lavado del café con alta eficacia de remoción (>95%), bajo volumen específico de agua (< 0,6 $L.kg^{-1}$ de c.p.s.), bajo daño mecánico (< 0,5%) y baja potencia específica ($W.kg^{-1}$ de café procesado).

Manejo de los sub-productos. La tecnología ECOMILL® consiste no solamente de equipos para lavar café en proceso con fermentación natural o utilizando enzimas pectinolíticas, sino también de estrategias para manejar la pulpa y las aguas residuales de lavado (ARL) con alta carga orgánica, evitando la

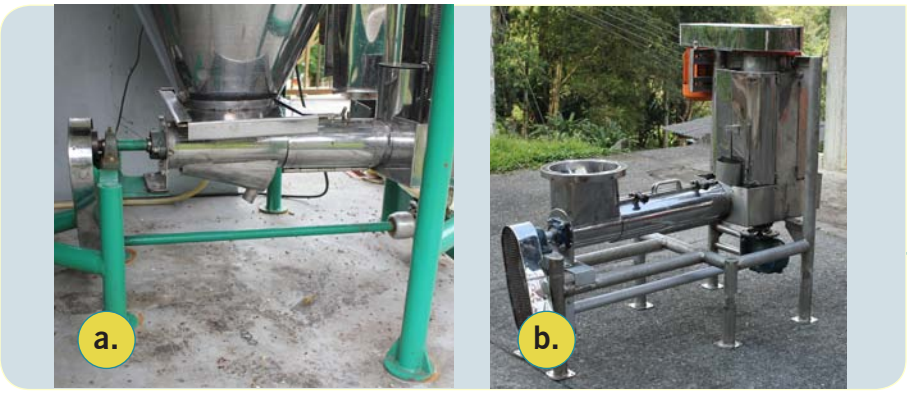

Figura 2. Alimentador de café para los modelos
a. ECOMILL® 500 (a);
b. ECOMILL® 1.500 y 3.000.

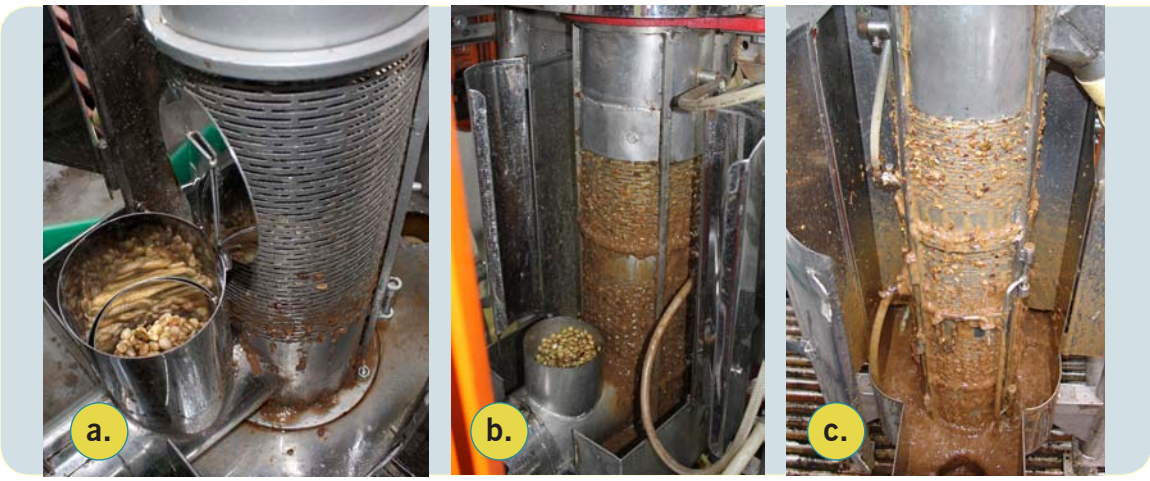

Figura 3. Lavadores de café de los equipos:
a. ECOMILL® 500;
b. ECOMILL® 1.500;
c. ECOMILL® 3.000.

contaminación de las fuentes de agua. La estrategia más sencilla, consiste en procesar la pulpa a través de compostaje, con sus propios microorganismos, para convertirla en materia orgánica aprovechable por las plantas, y secar las ARL en secadores solares con cubierta plástica transparente, de eficiente aprovechamiento de la energía solar y del aire, y bajo costo. El bajo volumen de lixiviados resultante de la pulpa en descomposición, puede disponerse nuevamente sobre ésta con menor humedad para lograr alta retención. Las ARL se pueden mezclar también con la pulpa y someterlas a compostaje y lombricompostaje, como en el Becolsub (9), con retenciones superiores al 90%; como en el caso anterior, los lixiviados se pueden adicionar a la pulpa con menor contenido de humedad o secar en equipos solares, de bajo costo. A partir de las aguas residuales del lavado se obtiene melazas, a través de procesos controlados, que pueden ser utilizadas para alimentación animal, o someterlas a secado hasta humedades cercanas al 15% b.h., empleando la energía solar y estructuras de cubierta plástica transparente, hasta obtener un residuo sólido, que al molerlo permite su empleo como fertilizante orgánico, con contenido importante de nutrientes, principalmente potasio.

Desarrollo de la tecnología ECOMILL®

Para ésta se adelantaron tres etapas. En la Etapa 1, realizada en el beneficiadero de Cenicafé (Manizales, Caldas), se determinó el flujo de café y el volumen específico de agua que permitió lavar el mayor flujo de café en cada uno de los equipos, con remoción de mucílago mínima de 95% (Tabla 1). En los ensayos se utilizó café Variedad Castillo®, con tiempo de fermentación de 16 h.

En la Etapa 2 se construyeron y evaluaron los equipos ECOMILL® 500, 1.500 y 3.000. Las evaluaciones se realizaron en Cenicafé, con café Variedad Castillo®, con tiempo de fermentación de 16 a 18 h (3, 4), los resultados se presentan en la Tabla 2. En cualquiera de los equipos, el promedio de la remoción de mucílago fue superior a 95%. Considerando también el mucílago que se degrada durante el proceso de fermentación y es evacuado del tanque antes del lavado, la remoción de mucílago total es superior al 98%. El aspecto del pergamino de los granos se observa en la Figura 4.

La tecnología ECOMILL® permite disminuir notoriamente el volumen específico de agua y la potencia específica con relación a tecnologías empleadas en Colombia para lavar café, como se observa en la Tabla 3, para el caso del equipo ECOMILL® 3.000.

Evaluación a escala comercial

Para la Etapa 3 se construyeron dos equipos ECOMILL®, modelos 1.500 y 3.000. El equipo ECOMILL® 1.500 fue utilizado en la finca Las Brisas (Pereira, Risaralda), en la cosecha del segundo semestre del 2012. El modelo ECOMILL® 3.000 se empleó para lavar café en proceso con fermentación natural en el beneficiadero de Cenicafé, durante el 2012.

Al café en cereza utilizado en la evaluación de los equipos ECOMILL® 1.500 y ECOMILL® 3.000 se le retiraron los frutos de menor calidad (flotes) y los objetos duros, empleando un tanque sifón y un separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín (2), respectivamente. Para retirar gran parte de la pulpa y los frutos sin despulpar se utilizó una zaranda circular de varillas, con aberturas de 7 mm.

En la Figura 5 se presentan los detalles de la instalación del equipo ECOMILL® 1.500 en la finca Las Brisas y del café lavado.

Tabla 1. Flujos de café lavado y volumen específico de agua requeridos para obtener mejor desempeño de los lavadores de los equipos ECOMILL®.

Lavador	Flujo de café lavado	Volumen específico de agua	Remoción de mucílago	Potencia	Daño mecánico
	$kg.h^{-1}$	$L.kg^{-1}$ de c.p.s.	%	W	%
ECOMILL® 500	436,1	0,31	95,0	800	0,30
ECOMILL® 1.500	1.750,0	0,50	95,1	1.780	0,51
ECOMILL® 3.000	3.000,0	0,50	96,5	1.643	0,40

Tabla 2. Desempeño de los equipos ECOMILL®.

Equipo	Capacidad	Volumen específico de agua	Potencia instalada	Daño mecánico
	kg.h^{-1}	L.kg^{-1} de c.p.s.	hp	%
ECOMILL® 500	435 - 495	0,32 - 0,37	1,6	0,10 - 0,34
ECOMILL® 1.500	1.507 - 1.565	0,40 - 0,43	3,6	0,10 - 0,56
ECOMILL® 3.000	2.599 - 2.817	0,49 - 0,53	4,0	0,24 - 0,47



Figura 4. Fotografías de granos de café pergamino. **a.** Con aplicación de enzima pectinolítica y lavado en el canal de correteo con un volumen específico de agua empleado de 20 L.kg^{-1} de c.p.s.; **b.** Con el lavador del equipo ECOMILL® 1.500 con un volumen específico de agua de 0,3 L.kg^{-1} de c.p.s.

Tabla 3. Volumen específico de agua y potencia específica en el lavado del café.

Tecnología	Volumen específico de agua		Potencia específica	
	L.kg^{-1} de c.p.s.	Reducción con ECOMILL® 3.000 (%)	W.h.kg^{-1} café lavado	Reducción con ECOMILL® 3.000 (%)
Lavado en tanque tina con agitación manual	4,17	88,0	-	-
Lavado en tanque con bomba sumergible de 2 HP	6,0	91,7	1,00	42,0
Becolsub 2.500	1,0	50,0	6,22	90,7
ECOMILL® 1.500	0,4	-25,0	1,00	42,0
ECOMILL® 3.000	0,5	-	0,58	-

En la Tabla 4 se presentan resultados obtenidos en la evaluación de los equipos ECOMILL® 1.500 y 3.000. El promedio de la capacidad obtenida con ECOMILL® 1.500 fue, descriptivamente, superior a la observada en Cenicafé, posiblemente debido a la mejor calidad del café procesado en Las Brisas. El volumen específico de agua utilizado también fue superior al esperado, atribuible al mayor flujo de café lavado, que alcanzó hasta 1.819 kg.h^{-1}, y al lavado del café con solamente 13 h de proceso de fermentación, por solicitud del propietario de la finca, que pertenece a una asociación de productores de café de alta calidad. Los lotes procesados con la nueva tecnología presentaron calificación superior a 77,0 y algunos clasificaron como especiales (> 80,0), empleando la escala de la Asociación Americana de Cafés Especiales (SCAA). El promedio del daño mecánico causado al café por el lavador fue bajo (0,26%), similar al obtenido en Cenicafé.

Los resultados obtenidos con el equipo ECOMILL 3.000 son similares a los observados en Cenicafé, en etapas anteriores de la investigación (4).

Las aguas residuales del lavado (ARL) resultantes del equipo ECOMILL® 1.500, para cada día de operación, se depositaron en un tanque con capacidad para 1,0 m^3. De acuerdo con los resultados obtenidos en Cenicafé (11), aproximadamente el 80% de las ARL se mezclaron con la pulpa fresca (210 L/1.000 kg de café cereza), empleando un tornillo sinfín, que adicionalmente transportó el producto hasta la fosa. Las ARL que no se adicionaron a la pulpa se depositaron en equipos tipo túnel solar, de fácil construcción, operación y bajo costo ($ 8.900/m^2) con el fin de secarlas o deshidratarlas (Figura 6). La pulpa con mucílago adicionado después de un mes de compostaje presentó el aspecto que se observa en la Figura 6c, que permitió utilizarla como fertilizante orgánico en la finca Las Brisas. Al secar las mieles también se obtiene un producto que se puede utilizar como fertilizante, con la composición química que se presenta en la Tabla 5.



Figura 5. a. Equipo ECOMILL® 1.500 instalado en la finca Las Brisas. **b.** Café lavado con la nueva tecnología.

Tabla 4. Resultados obtenidos en la evaluación a escala semi-comercial de los equipos ECOMILL 1500 y 3000.

Equipo	Café cereza	Capacidad	Volumen específico de agua	Daño Mecánico
	kg	kg.h^{-1} de café lavado	L.kg^{-1} de c.p.s.	%
ECOMILL® 1.500 (Finca Las Brisas)	19.430	1.619,3	0,79	0,26
ECOMILL® 3.000 (Cenicafé)	17.808	2.767,9	0,57	0,45

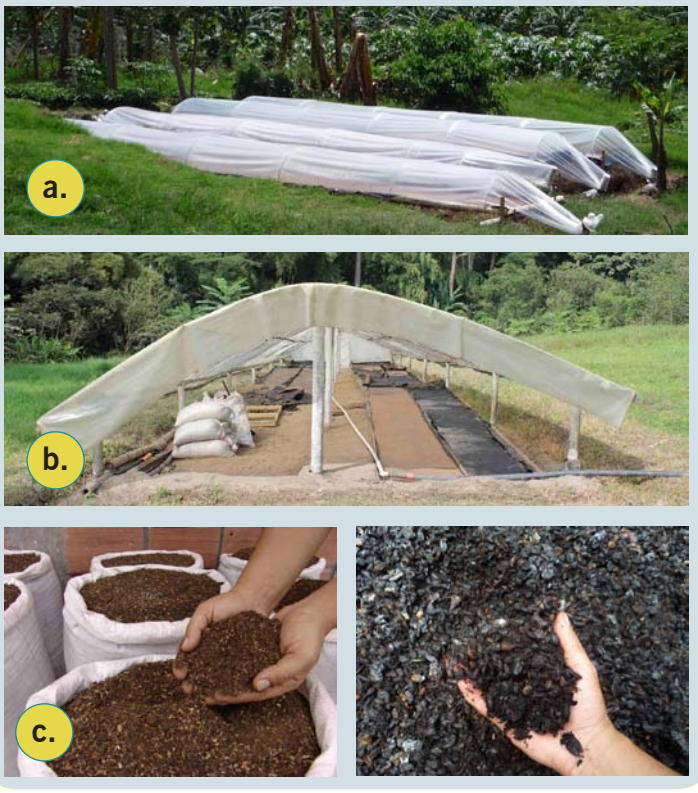

Figura 6. a y **b.** Secadores solares tipo túnel diseñados para el secado de mieles del lavado del café obtenidas con la tecnología ECOMILL®; **c.** Mucílago seco y pulpa descompuesta.

Las aguas residuales del lavado resultantes de la tecnología ECOMILL® 3.000, en su proceso de deshidratación, se llevaron hasta contenido de humedad del 10% al 12% (base húmeda), utilizando un secador solar de 6 m de ancho por 50 m de largo, tipo parabólico (7), con carga de 15 L.m^{-2}, requiriendo de 7 a 10 días, según las condiciones climáticas. El promedio de la tasa de secado de mieles de lavado con ECOMILL®, en Cenicafé (Manizales, Caldas), en secadores con cubierta plástica, fue determinada experimentalmente por Ramírez (8), obteniendo 1,57 kg.día^{-1}-m^{-2}. Por cada tonelada de café cereza procesado con ECOMIL® 3.000, con consumo específico de agua de 0,55 L.kg^{-1} de c.p.s. se obtendrán 26,5 kg de producto con humedad del 11% (base húmeda). Con esta alternativa de manejo se pueden convertir los efluentes líquidos, con alta carga contaminante, en residuos sólidos que se pueden almacenar y posteriormente utilizar en diferentes aplicaciones, entre ellas fertilizante orgánico, permitiendo controlar el 100% de la contaminación generada por las aguas residuales del lavado con el equipo ECOMILL® 3.000.

Operación de los equipos ECOMILL®

Determinación del punto de lavado del café. Los mejores resultados con la tecnología ECOMILL® se obtienen con café en "punto" de lavado. Para determinarlo correctamente en Cenicafé se diseñó y evaluó un método (5) basado en los cambios de densidad aparente entre el café despulpado y el café lavado. El método ha

Tabla 5. Composición química de mieles de café deshidratadas obtenidas con la tecnología ECOMILL® 1.500, con lavador mecánico DESLIM 1.000.

Referencia		
N lab	N	12
%	Humedad	6,6
pH		4,9
$g.ml^{-1}$	D real	0,65
$mS.cm^{-1}$	CE	6,68
%	Cenizas	8,7
%	Pérdidas por volatilización	91,3
%	Retención de agua*	186,8
%	N total	2,55
%	C.O.ox	33,1
%	P	0,29
%	K	4,52
%	Ca	1,02
%	Mg	0,33
mg/kg	Fe	971
mg/kg	Mn	89
mg/kg	Zn	142
mg/kg	Cu	46

Métodos: pH: pasta saturada; Humedad: 70°C/24h; Nt: Semi microkjeldahl; K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu: Espectrofotometría de absorción atómica; P: Colorímetro con molibdovanato de amonio; CE: Conductivímetro
Coox: Walkley Black. Cenizas: 475 °C/4h. **Nota**: Resultados expresados en base seca.
*retención en base húmeda.

demostrado ser eficaz y confiable para determinar correctamente el momento exacto para empezar la etapa de lavado.

Para remover el mucílago del café también se pueden utilizar enzimas pectinolíticas, que dependiendo de la dosis empleada, permite lavar el café después de 2 a 3 horas de aplicación (6), con mejor aprovechamiento de la infraestructura, mejor control de los procesos y aumento en la capacidad de café procesado por día. La aplicación de enzimas para remover el mucílago no tiene efecto sobre la calidad física y sensorial del café (6).

Dosificación de café en "punto" de lavado. Los equipos disponen de dosificadores que entregan el flujo de café en "punto" de lavado en el rango requerido en cada modelo, para las capacidades de café lavado ($kg.h^{-1}$) presentadas en la Tabla 2. Cada dosificador consta de una tolva, un tornillo sinfín y una columna de alivio de presiones, que permite reducir notoriamente el daño mecánico al café. Todas las partes del dosificador están construidas en acero inoxidable. La carcasa del tornillo sinfín se puede abrir para lavarlo completamente una vez utilizado el equipo.

Regulación del caudal de agua. Cada módulo dispone de dispositivos para asegurar el flujo de agua en el rango mencionado en la Tabla 2. En el lavador del módulo ECOMILL® 500 se dispone de una sola entrada de agua, en la parte superior, la cual se suministra utilizando un recipiente de almacenamiento de agua, una bomba de acuario de 5 W y un flotador para el control del nivel de agua, conectada como lo recomiendan Sanz *et al*. (10). En los equipos ECOMILL® 1.500 y 3.000 se dispone de dos y tres entradas de agua, respectivamente. El caudal requerido para cada uno se regula utilizando válvulas de cierre rápido, una para cada entrada de agua. Se recomienda usar los mismos dispositivos (rotámetros) recomendados por Sanz *et al*. (10), en el Avance Técnico de Cenicafé No. 405, para determinar con aceptable exactitud el caudal de agua que se está entregando a la masa de café en el lavador y ajustar el caudal de agua, en caso que esté fuera del rango definido (Tabla 1).

La tecnología ECOMILL® se adapta fácilmente a la infraestructura existente en la finca, disminuyendo la inversión en equipos, es de fácil manejo y muy resistente a las difíciles condiciones que existen en los beneficiaderos de café. Adicionalmente, está diseñada para permitir el lavado diario de sus partes, con gran economía de agua y tiempo del operario.

ECOMILL® representa un gran avance tecnológico para apoyar las labores de beneficio en la producción de café, empleando la fermentación natural, que cada vez exigen más los compradores en el exterior, con el menor volumen específico de agua empleado en la actualidad, menor requerimiento de potencia por tonelada de café procesado, menor daño mecánico causado a los granos y la posibilidad de controlar el 100% de la contaminación generada en el proceso, permitiendo la valoración de los coproductos del proceso (mieles y pulpa) y la obtención de nuevos productos de importancia comercial.

Agradecimientos

A la Federación Nacional de Cafeteros, al caficultor Ingeniero Juan Guillermo Londoño, por el apoyo recibido para la evaluación de la tecnología ECOMILL® 1.500 en su finca, y a Colciencias por el apoyo económico aportado para la realización de esta investigación.

Literatura citada

1.MONTILLA P., J.; ARCILA P., J.; ARISTIZÁBAL L., M.; MONTOYA R., E.C.; PUERTA Q., G.I.; OLIVEROS T., C.E.; CADENA G., G. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. Cenicafé 59(2):120-142. 2008.

2.OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A.; MEJÍA G., C.A. Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 8p. (Avances Técnicos No. 360).

3.OLIVEROS T., C. E.; SANZ U., J. R.; MONTOYA R., E.C.; RAMÍREZ G., C.A. Equipo para el lavado ecológico del café con mucílago degradado con fermentación natural. Revista de ingeniería Universidad de los Andes 33:61-67. 2011.

4.OLIVEROS T., C.E. Determinación del consumo específico de agua para el lavado del café con tecnología DESLIM, en proceso con fermentación natural p. 2-21. En: CENICAFÉ. Informe anual de actividades 2012. Chinchiná : CENICAFÉ, 2012. 34 p.

5.PABÓN U., J. P.; PEÑUELA M., A. E.; SANZ U., J. R., OLIVEROS T. C.E. Evaluación de una metodología para determinar el punto final de la fermentación del mucílago del café. En: CENICAFÉ. Investigación participativa. Informe final. Chinchiná : CENICAFÉ, 2013. 20 p.

6.PEÑUELA M., A.E.; PABÓN U., J.P.; RODRÍGUEZ V., N.; OLIVEROS T., C.E. Evaluación de una enzima pectinolítica para el desmucilaginado del café. Cenicafé. 61(3): 241-251. 2010.

7.RAMÍREZ, C.A.; OLIVEROS T., C.E.; ROA, M. G. Construya el secador solar parabólico. Chinchiná : CENICAFÉ, 2003. 8 p. (Avances Técnicos No. 305).

8.RAMÍREZ, C.A. Evaluación de la deshidratación de las mieles resultantes del lavado del café. p. 3-14. En: CENICAFÉ. Informe anual de actividades 2012. Chinchiná : CENICAFÉ, 2012. 33 p.

9.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. 300 p.

10.SANZ U., J. R., OLIVEROS T., C. E.; RAMÍREZ G., C. A.; LÓPEZ P., U.; VELÁSQUEZ H., J. Controle los flujos de café y agua en el módulo Becolsub. Chinchiná : CENICAFÉ, 2011. 8 p. (Avances Técnicos No. 405).

11.TIBADUIZA V., C.A. Evaluación de alternativas para el manejo de mieles del proceso de beneficio de café generadas con la tecnología ECOMILL®. En: CENICAFÉ. Informe anual de actividades 2011. Chinchiná : CENICAFÉ, 2011. 25 p.

12.ZAMBRANO F., D.A. Fermente y lave su café en el tanque tina. Chinchiná : CENICAFÉ, 1993. 8 p. (Avances Técnicos No. 197).



©FNC-Cenicafé