

MANEJO DE LAS MIELES GENERADAS EN LA TECNOLOGÍA BECOLSUB PARA ELIMINAR EL IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO POR LOS LIXIVIADOS DE CAFÉ

Luis Hernando Narváez Morales¹; Cesar Augusto Ramírez Gómez² ;
Carlos Eugenio Oliveros Tascón³ y Fernando Alvarez Mejía⁴

RESUMEN

En CENICAFE se evaluó una alternativa para eliminar el impacto ambiental generado por los lixiviados producidos por el beneficio del café denominada BECOLSUB, la cual consistió de dos etapas: en la primera, se mezclan con la pulpa el 61,23% de los fluidos resultantes del proceso de desmucilaginado mecánico (básicamente mucilago, agua adicionada e impurezas) y en la segunda se retiran manualmente los insolubles presentes en el fluido no mezclado con la pulpa y se aumenta la concentración de sólidos, utilizando un evaporador rústico operado con energía térmica proveniente de una estufa campesina. Con el evaporador operado en las condiciones de trabajo de la estufa (15 h/d) se logra controlar el 100% de la contaminación generada por los lixiviados en una finca con producción anual de 240 de café pergamino seco por año (cps/año) (15.000 kg de café cereza (cc)) que utilice la tecnología BECOLSUB. La eficiencia térmica del evaporador y del sistema global fueron 57,01% y 20,74%, respectivamente. El fluido concentrado presentó 295.000 ppm de DQO y 164254 ppm de sólidos totales (ST), y 35% de grados brix.

Palabras claves: beneficio, contaminación, lixiviados, evaporador, *Coffea arabica*.

¹ Ingeniero Agrónomo. Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFE. Chinchiná, Colombia.

² Asistente de Investigación, Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones del Café, CENICAFE. Chinchiná, Colombia. <fccramg@cafedecolombia.com>

³ Ingeniero Agrícola. Investigador Principal. Ingeniería Agrícola Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE. Chinchiná, Colombia. <fccoli@cafedecolombia.com>

⁴ Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Apartado Aéreo 1799, Medellín, Colombia. <falvarez@unalmed.edu.co>

ABSTRACT

TREATMENT OF FLUIDS PRODUCED BY THE BECOLSUB TECHNOLOGY TO ELIMINATE THE ENVIRONMENTAL IMPACT CAUSE BY COFFEE LIXIVIATES.

At CENICAFE, an alternative was evaluated for eliminating the environmental impact produced by lixiviates generated by the ecological wet coffee process called BECOLSUB, which consists of two stages: in the first, the pulp is mixed with 61.23% of the fluids produced by the demucilage process (basically, mucilage, water added and impurities) and in the second stage, the suspended solids contained in the fluid not mixed with the pulp are manually removed and the concentration of solids is increased by using a rustic evaporator powered with thermal energy obtained from a farm stove. With the evaporator operating in the actual working conditions of the stove (15 h /d), it was possible to control 100% of the pollution generated by the lixiviates in a farm with an annual production of 240@cps/year (15,000 kg of cc) using the BECOLSUB technology. The thermal efficiencies of the evaporator and entire system were 57,01% and 20,74%, respectively. The concentrated fluid obtained contained 295.000 ppm of COD, 162.454 ppm of total solids, and 35 % of Brix degrees.

Key words: dehulling, contamination, lixiviates, evaporator, *Coffea arabica*.

INTRODUCCIÓN

El uso de la tecnología para el beneficio ecológico con manejo de subproductos (BECOLSUB), desarrollada en Cenicafé (1995, 1997, 1999), ha permitido disminuir drásticamente el consumo de agua en el beneficio de café, pasando de consumos mayores de 40 l/kg cps a menos de 1 l/kg cps. Adicionalmente, ha facilitado el manejo de uno de los subproductos resultantes del proceso, la pulpa, que al no entrar en contacto con el agua conserva todas sus propiedades físico-químicas, potenciando su uso como abono orgánico.

La contaminación controlada con el uso de la tecnología para el beneficio ecológico del café-BECOLSUB, desarrollada en

Cenicafé (Oliveros y Roa, 1995; Roa *et al.*, 1999), es del 90%, la contaminación remanente es producida por los lixiviados o drenados de la pulpa más mucílago no retenido, los cuales por su alta Demanda Química de Oxígeno (DQO) generan gran impacto ambiental en el ecosistema.

Matuk, Puerta y Rodríguez (1997), encontraron que los lixiviados en concentraciones superiores a 300 ppm inhiben en 23% el crecimiento del alga *Chlorella vulgaris*, y causan mortalidad del 42 y 64% de la población del microcrustáceo *Daphnia pulex* y el pez *Lebistes reticulatus* respectivamente.

En Cenicafé se han adelantado estudios en busca de alternativas que permitan el trata-

miento o la disminución de estos lixiviados. Esta investigación tuvo como objetivo, aportar alternativas que permitan incrementar el control de la contaminación generada con la tecnología Becolsub.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo se desarrolló en el beneficiadero para experimentación de la Disciplina de Ingeniería Agrícola del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, localizado en Chinchiná, Caldas, a 1400 msnm, con un promedio de temperatura de 20,8°C y precipitación anual de 2.656 mm.

Materiales. En el desarrollo de este experimento se utilizaron los siguientes materiales:

- Módulo BECOLSUB 100.
- Balanzas electrónicas, marca PRO 2000, con rango de sensibilidad de 0,01 kg.
- Cronómetro digital, marca CASSIO, sensibilidad de 0,01s.
- Probeta graduada de 2000 ml.
- Viales para DQO (HR)
- Papel filtro WHATMAN Ref. GF/C de 70 mm de diámetro.
- Guadua (basas y sobrebasas).
- Plástico Agroleno (transparente) ca libre 4.
- Estufa campesina modificada por Martínez (2000), con cuatro fogones, cenicero y chimenea.
- Cámara de video Panasonic

Para llevar a cabo este experimento se tomó como referencia una finca cafetera de tres hectáreas con producción media de 240@ de cps/año dado que, según el SICA (1997), el 88,43% de los caficultores poseen pre-

dios menores a tres hectáreas. Para la finca propuesta se diseñó y construyó en Cenicafé un beneficiadero, utilizando materiales de la propia finca como la guadua y un techo en forma parabólica con plástico transparente, que permite aprovechar la radiación difusa y directa del sol para crear un efecto invernadero al interior del beneficiadero que junto a la ventilación natural aumentan la tasa de evaporación de la mezcla de subproductos del beneficio de café ahí depositados.

El beneficiadero consta de cuatro compartimentos en forma lateral (o de almacenamiento definitivo) para depositar la pulpa; cada compartimento tiene 2 m de largo por 1 m de ancho por 1 m de alto; la capacidad de almacenamiento es de 6000 kg de pulpa; cuenta además, con una cama recolectora de lixiviados (o de almacenamiento temporal), de dimensiones 1,6m x 1,2m x 0,6 m (largo, ancho y alto respectivamente), para un volumen de 1,15 m³.

Metodología. Se realizaron un total de 20 pruebas y en cada una de ellas se benefició entre 50 y 225 kg de café cereza. La máxima cantidad de café procesada, 225 kg de café cereza, corresponde a la producción de café cereza en el día pico (1,5% de la cosecha) para la finca propuesta.

Para reducir el volumen de lixiviados, se mezcló con la pulpa un volumen de miel cercano al que esta es capaz de retener (65% de las mieles generadas), para lo cual se modificó el diseño original de la bandeja del módulo BECOLSUB, encargada de transportar las mieles hasta el tornillo sin-fín (Figura 1). Las mieles que no se mezclaron con la pulpa (35% del total) se co-

locaron en un tanque durante 18 horas para permitir la flotación de los sólidos suspendidos, los cuales fueron retirados manualmente. La bandeja modificada posee en su parte inferior un orificio de una pulgada de diámetro el cual permite la evacuación del fluido que cae en esta zona hacia el exterior.

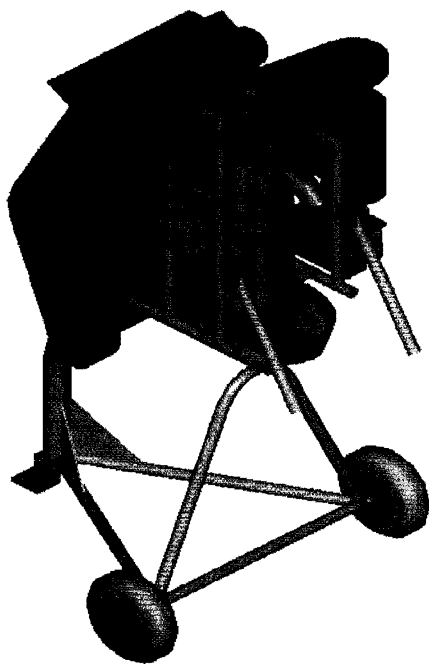


Figura 1. Zona de recolección de mieles en el módulo Becolsub 100.

La metodología utilizada se dividió en tres etapas:

Etapas A

La estructura utilizada para depositar la mezcla mieles-pulpa de café, con capacidad para almacenar hasta 500 kg, se cons-

truyó en guadua (Figura 2); en su base se colocó un filtro fabricado con 3 mallas plásticas superpuestas, conocidas comercialmente como mosquiteras, con el fin de disminuir la cantidad de sólidos suspendidos presentes en los drenados. En la base de la estructura se colocó una tolva para recoger los lixiviados. El tiempo de permanencia de la mezcla en la estructura fue 5 días.

Se registró diariamente el volumen de los drenados producidos después de 120 horas de haber sido colocada la mezcla pulpa-mucilago en la fosa. Después de este tiempo se pasó la pulpa a las fosas laterales donde se realizaron volteos quincenales para acelerar su descomposición.

Etapas B

Las mieles que no se mezclaron con la pulpa se depositaron en un recipiente por un tiempo mayor a 18 horas, donde debido a procesos de fermentación y flotación se produce una separación de fases, un sobrenadante (o nata), constituido por sólidos insolubles de mayor tamaño y un líquido clarificado en la parte inferior. Con la ayuda de un colador, se retiró manualmente el sobrenadante el cual se adicionó posteriormente a la pulpa.

Etapas C

Los líquidos desnatados resultantes de la Etapa B, fueron concentrados utilizando un evaporador rústico, el cual aprovecha parte de la energía térmica no utilizada en las estufas campesinas que se entrega al ambiente con los gases de combustión. El sistema evaporador está compuesto por una estufa campesina modificada por Martínez

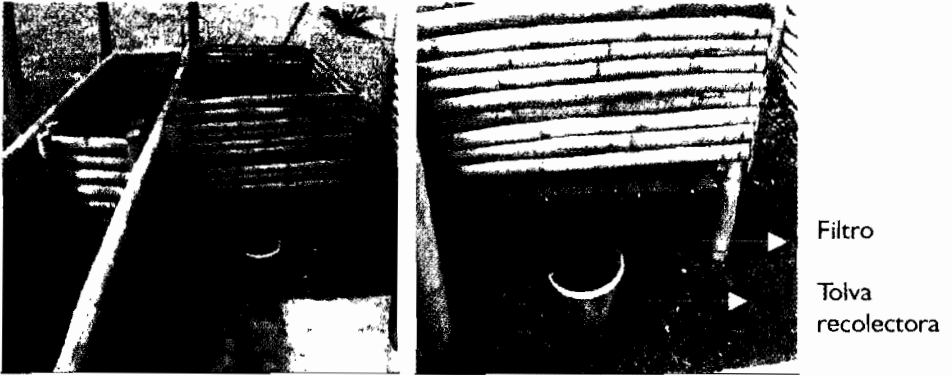


Figura 2. Fosas y recolección de drenados del café.

(2000) con su respectiva chimenea, la cual utiliza leña de café como fuente de combustible y un recipiente (evaporador) don-

de se colocan los líquidos desnatados (Figura 3).

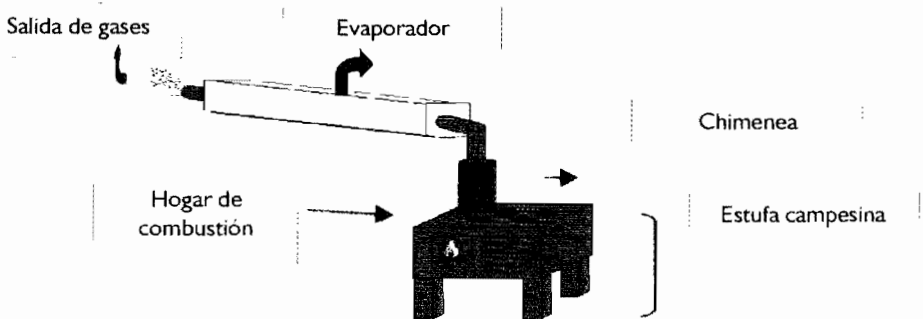


Figura 3. Sistema evaporador de mieles de café.

En el diseño del evaporador se tuvo en cuenta el volumen de líquidos desnatados resultantes en el día pico de la finca propuesta. Para facilitar la transferencia de calor por convección al evaporador, este se construyó en forma de canal, con la chimenea dispuesta longitudinalmente.

Durante las pruebas se colocaron los líquidos desnatados en el canal evaporador y se registraron las temperaturas de los gases tanto a la entrada como a la salida de este, la temperatura del ducto de la chimenea y del agua almacenada, utilizando termocuplas tipo J y un datalogger

EXTECH®. Adicionalmente se midió el volumen de líquido desnatado al inicio y al final en el evaporador y el tiempo de operación, teniendo en cuenta que 15 horas al día es el tiempo máximo de uso, tiempo durante el cual permanece encendida una estufa campesina (Martínez, 2000). El líquido concentrado se adicionó a la pulpa depositada en las fosas de almacenamiento definitivo, de él se tomó una muestra para la determinación de DQO, ST y pH.

Con la información obtenida se determinó la eficiencia térmica del evaporador y la eficiencia térmica global del sistema. Para determinar la eficiencia del evaporador se utilizó la siguiente expresión:

$$\eta_i = \frac{q_{\text{evaporación}}}{q_{\text{cpg}}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

η_i	Eficiencia térmica del evaporador (%)
$q_{\text{evaporación}}$	Energía de vaporización en kJ
q_{cpg}	Energía transportada por los gases en kJ

Para determinar la eficiencia global del sistema se utilizó la siguiente expresión.

$$\eta_{\text{sistema}} = \frac{q_{\text{evaporación}}}{q_{\text{dis}}} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

η_{sistema}	Eficiencia térmica del sistema (%)
$q_{\text{evaporación}}$	Energía de vaporización, kJ
q_{dis}	Energía disponible en el aire caliente, kJ

En las expresiones anteriores se requiere conocer el caudal de los gases de combustión en la chimenea, el cual se obtuvo a partir de la velocidad de los gases y el área del ducto de la chimenea.

La velocidad de los gases se determinó a partir del tiempo utilizado por estos para recorrer una distancia de 1,0m del ducto

de la chimenea. La extensión en tubo de PVC de 6" de diámetro utilizada, posee dos miras en acrílico que permiten observar el paso de los gases. Para observar el avance de los gases a lo largo del ducto de medición se utilizó una cámara de video, una tarjeta digitalizadora de video y software para el procesamiento de imágenes.

La cámara de video se ubicó en un punto fijo; se adicionó ACPM a la cámara de combustión creando un contraste entre el color casi transparente del CO₂ producido por la combustión de la madera y el humo intenso de color negro producido por el ACPM. Se filmó 20 veces el paso de los gases de combustión por las miras de acrílico en la extensión del ducto. Luego con la ayuda del editor de vídeo (a una velocidad de 30 cuadros por segundo) se obtuvo el tiempo que tardan los gases en recorrer la extensión de la chimenea (1 m), con estos valores se calculó la velocidad promedio de los gases de combustión, los cuales se relacionaron con el tiempo de residencia de los gases desde la adición de ACPM al hogar de combustión hasta la salida de estos por la chimenea.

Mediante análisis de regresión lineal se determinó una expresión que relaciona la velocidad de los gases a partir del tiempo de residencia de los mismos.

Debido al opacamiento de las miras de acrílico por la acción de los gases de combustión del ACPM, fue necesario reemplazar una sección de la mira por lámina de acetato, la cual se cambiaba cada vez que se opacaba, facilitando la observación y filmación de los gases.

RESULTADOS Y DISCUSION

Operación general del sistema

De la información presentada en la Tabla 1, teniendo en cuenta una conversión de cc a cps de 5:1, el consumo específico de

agua (CEA) en las pruebas fue 1,21 l/kg cps, valor superior a los recomendados por Pascuas (1996) y Cárdenas (1999), para disminuir el impacto ambiental ocasionado por los lixiviados con la tecnología BECOLSUB. Este CEA, es superior a los obtenidos en módulos de mayor capacidad.

Tabla 1. Condiciones promedias de operación del módulo BECOLSUB-100 utilizado en la investigación.

Café cereza (kg)	Agua suministrada (l/min)	Tiempo de operación (min)	Rendimiento (kg/h)
152,55	0,38	96,57	96,10

Como se indica en la Tabla 2, el café utilizado en las pruebas fue de baja calidad, principalmente por el alto porcentaje de flo-

tes (frutos con densidad inferior a la del agua).

Tabla 2. Caracterización del café cereza utilizado en las pruebas.

Verde %	Pintón %	Maduro %	Sobremaduro %	Guayaba y media cara %	Impurezas %	Flotes %
0,72	2,39	41,60	9,70	5,92	0,16	39,51

Parte A

En la Tabla 3 se observa que la bandeja modificada permite mezclar con la pulpa un 61,78% de las mieles generadas, obteniéndose una retención del 88,32% de ellas, produciendo únicamente 2,35 litros de drenados por cada 100 kg de café cere-

za (cc) beneficiados, que representan un 84% menos del volumen del que se obtiene al mezclar el total de mieles a la pulpa (14 a 15 l). Como el volumen de lixiviados fue bajo se utilizó para humedecer la pulpa deshidratada depositada en las fosas laterales del beneficiadero.

Tabla 3. Retención de mieles de café mezcladas con la pulpa.

Mieles mezcladas a la pulpa (%)	Mieles desviadas (%)	Retención por la pulpa (%)
61,78	38,22	88,33

La retención obtenida fue superior a la encontrada en pruebas preliminares empleando la misma metodología con el uso del módulo BECOLSUB 300, este aumento podría deberse a que la mezcla pulpa-mieles obtenida diariamente se depositó en forma sucesiva en la fosa construida para medir lixiviados, en capas con espesor no mayor a 20 cm, facilitando la deshidratación de la mezcla fresca por efecto principalmente de la circulación del aire.

Parte B

Las mieles no mezcladas con la pulpa (38,22%), se sometieron al proceso de desnatado indicado anteriormente. En la

Tabla 4 se presentan los porcentajes de nata y líquido desnatado obtenidos. El sobrenadante o nata representa el 41,27% del volumen total, posee alta viscosidad y está constituido principalmente por sólidos insolubles, lo cual permite adicionarlo a la pulpa sin que se presenten procesos de lixiviación.

El líquido desnatado representa el restante 58,73%, es ligeramente amarillento, con alta acidez y, como se señala en la Tabla 6, posee el contenido más bajo de ST y DQO de los fluidos generados, característica que puede aprovecharse para su concentración mediante procesos de evaporación.

Tabla 4. Separación de sólidos suspendidos en las mieles de café no mezcladas con la pulpa.

Mieles parte B litros	Natas litros	%	Líquido desnatado litros	%
20,275	8,053	41,27	11,345	58,73

Parte C

Se determinó en algunas de las pruebas de evaporación el suministro promedio de combustible a la estufa, 5,2 kg de zoca/hora; la temperatura de los gases de combustión estuvo alrededor de 300°C durante el tiempo de operación, permitiendo que el ducto de la chimenea alcanzara temperaturas superiores a los 100°C. La Tabla 5 presenta las condiciones generales de operación del sistema evaporador, determinadas a partir de la información recolectada durante 16 días de operación del evaporador. Con la información recolectada se comprobó que los gases de combus-

ión producidos por la combustión de la zoca de café, entregan la energía suficiente para realizar los procesos de evaporación.

Eficiencia Térmica del Evaporador

Determinación de la velocidad de salida de los gases de combustión

El análisis de regresión lineal efectuado para calcular la velocidad de los gases de combustión en función del tiempo cronometrado entre la adición de ACPM y la salida de los gases negros por la chimenea, dió como resultado la siguiente expresión:

$$Y = 4.4573 - 0.9701X \quad R^2 = 0,9153 \quad (3)$$

Donde:

Y= Velocidad de los gases de combustión (m/s)

X= Tiempo cronometrado (s)

R² Coeficiente de determinación

Tabla 5. Condiciones promedio de operación del evaporador diseñado para evaporar mieles resultantes del beneficio del café con la tecnología BECOLSUB.

Temperatura de entrada al evaporador (c)	Temperatura de salida del evaporador (c)	Temperatura de la pared de la chimenea (c)	Tiempo de operación (h)	Peso inicial de las mieles (kg)	Peso final de las mieles (kg)	Tasa de evaporación (kg/h)
288,60	193,38	104,80	8,11	14,68	2,05	1,59

Eficiencia del evaporador y global del sistema

A partir de la información presentada en la Tabla 5 y utilizando la ecuación (3), se

obtuvo las eficiencias promedio del evaporador (57,01%) y global del sistema (20,74%), como se presenta en la Figura 4.

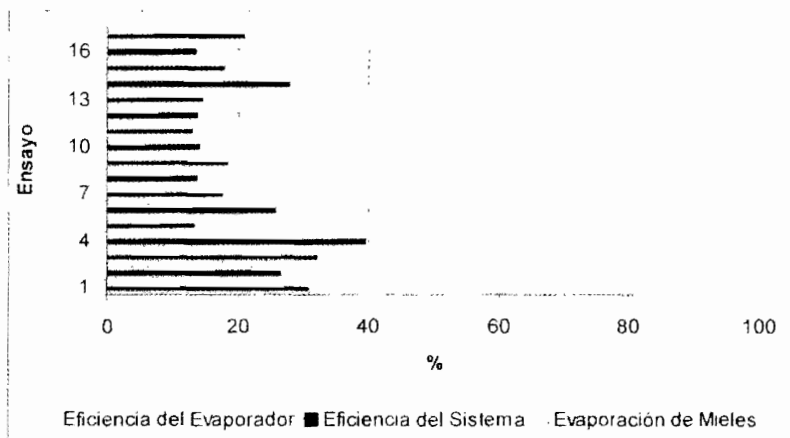


Figura 4. Eficiencias térmicas del evaporador y del sistema diseñado para evaporar líquidos desnatados resultantes del Beneficio Ecológico del Café– BECOLSUB y evaporación de mieles.

Los mayores valores de eficiencia térmica del evaporador y del sistema se lograron cuando se llenó al máximo el recipiente, lo cual permitió cubrir completamente el ducto de la chimenea, aprovechar mejor el área de transferencia de calor y alcanzar mayores tasas de evaporación.

En general, la evaporación de líquidos alcanzada, 72% a 91,3%, es alta, por lo cual se considera que el dispositivo rústico diseñado es adecuado para controlar la contaminación generada en el proceso de beneficio ecológico del café en una finca con producción anual de 240@ de café

pergamino seco/año utilizando la tecnología propuesta en esta investigación.

Caracterización de los efluentes del beneficio

En la Tabla 6 se presenta la caracterización de los fluidos resultantes en las etapas A y B de este experimento. Se observa que el contenido de sólidos totales (ST) y demanda química de oxígeno (DQO) en las muestras analizadas es mayor a los encontrados siguiendo la misma metodología en las pruebas preliminares empleando el módulo BECOLSUB 300.

Tabla 6. Caracterización de los efluentes resultantes del beneficio ecológico del café.

Efluente	pH		D.Q.O (mg/l)		S.T. (mg/l)	
	Media	C.V.%	Media	C.V. %	Media	C.V. %
Mieles	4,13	2,3	118,483,4	13,5	95,553,2	10,0
Líquidos desnatados	3,74	4,8	103,019,3	16,8	66,717,6	18,5
Natas	3,69	3,9	125,970,6	16,5	132,572,0	11,6
Drenados (lixiviados)	4,02	7,5	131,811,8	17,7	104,217,2	15,5
Residuo evaporación	4,01	3,9	246,260,0	17,3	182,295,4	35,8

El aumento en los valores de ST y DQO posiblemente se debe a la calidad del café cereza beneficiada (inferior al promedio) y al secado que se presenta en el interior del beneficiadero construido para los ensayos.

Los residuos del proceso de evaporación presentaron una alta carga orgánica, con una concentración superior a 250,000 ppm de DQO y un pH ácido, posiblemente debido a que provienen de sólidos solubles y suspendidos presentes en los líquidos desnatados, los que aportan a DQO del fluido. Los residuos se adicionaron a las fosas de almacenamiento de pulpa.

En un intento por conocer la carga contaminante de los fluidos evaporados con el

equipo diseñado, al nivel de laboratorio se realizó un montaje que permitió condensar los vapores liberados al ambiente. El valor obtenido fue 3,970 ppm de DQO.

Balance de masa

Teniendo en cuenta el contenido de ST de las muestras analizadas se realizó un balance de masa tomando como base el beneficio de 100 kg de café cereza. Se utilizaron 22,8 l de agua para el beneficio de 100 kg de cc en el módulo BECOLSUB 100. Los subproductos resultantes fueron 40 kg de pulpa y 34,85 l de mieles, con un contenido promedio de 95.553,2 ppm de ST. Con la bandeja modificada se dividió las mieles generadas en dos partes: 21,6 l se

mezclaron con la pulpa (parte A), y 13,25 l, se separaron y sometieron al proceso de desnatado (parte B).

La pulpa, la cual actúa como lecho filtrante, retiene el 88,19% de los ST. En volumen retiene un 88,32% de las mieles, drenando únicamente 2,34 l.

Durante el tiempo que se dejó en reposo las mieles para permitir la separación de las natas (sobrenadante) de las mieles se pierde aproximadamente un 6% del contenido de los ST, debido al proceso de fermentación del mucílago y a la consecuente liberación de CO₂. En el proceso de evaporación del agua residual se volatilizan el 58,22% de los ST presentes en el líquido desnatado, posiblemente estos forman parte de ácidos y alcoholes de menor punto de ebullición que el agua.

Sobre la base del balance de masa realizado y teniendo en cuenta que un kg de café en cereza posee un potencial contaminante de 115,1 g DQO y 96 g ST (Zambrano, 1999), se obtuvo un control del 97,32% y 97,46% de DQO y ST, respectivamente. La contaminación remanente correspondió a los drenados ó lixiviados, los cuales se recogieron y utilizaron para humedecer la pulpa semidescompuesta depositada en las fosas laterales. Con este procedimiento se evitó completamente el vertimiento de fluidos producidos por el PBHC a las fuentes naturales de agua.

Variación de la metodología

Con el fin de facilitar la implementación de la anterior metodología en las fincas cafeteras y mejorar el aprovechamiento del evaporador, se mezcló la totalidad de las

mieles generadas durante el proceso de beneficio ecológico con la pulpa, superponiendo las capas que resultaran diariamente. Se observó un incremento en la retención de las mieles en la pulpa con relación a valores obtenidos en esta investigación y en otros trabajos realizados en Cenicafé (Pascuas, 1996; Roa *et al.*, 1999), alcanzando valores de hasta el 79%.

Se realizaron 4 pruebas utilizando un promedio de 176,5 kg de cc y se tomaron muestras de los efluentes para su caracterización. A partir de los análisis de las muestras, se realizó un balance de masa tomando como base el beneficio de 100 kg de café cereza.

Para el beneficio de los 100 kg de cc en el módulo BECOLSUB 100 se utilizó 22,8 l de agua. Los subproductos resultantes fueron: 40 kg de pulpa y 31.95 l de mieles con un contenido promedio de 88,062,6 ppm de ST. La totalidad de las mieles resultantes se mezclaron con la pulpa lográndose una retención del 79% de ellas.

Cuando la mezcla pulpa-mieles es colocada diariamente en la fosa, superponiendo las capas, parte de los drenajes ó lixiviados pueden ser retenidos en la pulpa más descompuesta, la cual ha sido deshidratada al entrar contacto con el aire pasa a través de ella. Adicionalmente el lecho de pulpa actúa como filtrante, reteniendo el 78,79% de los ST

A partir del balance de materia realizado y teniendo en cuenta la contaminación potencial de un kg de cc (115,1 g DQO y 96 g ST), se obtuvo un control del 91,36% y 93,79% de DQO y ST, respectivamente, sin utilizar el proceso de evaporación.

Al utilizar el evaporador de aguas residuales para concentrar los drenados se produce una pérdida del 10% de ST, representados por sólidos volátiles presentes en estos, con lo cual se evita el vertimiento de fluidos a las fuentes de agua, ya que el residuo obtenido de este proceso se vierte sobre la pulpa semidescompuesta sin que se registren procesos de lixiviación.

Con la anterior metodología se consigue controlar el 99,5% de la contaminación producida por el beneficio húmedo de café.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaporación de residuos líquidos provenientes del beneficio ecológico del café es posible realizarla utilizando la energía térmica no aprovechada en las estufas campesinas o en secadores que utilicen carbón o leña como combustible, ya que los gases de combustión resultantes poseen suficiente energía para este proceso. Con lo anterior se puede controlar hasta el 99,5% de la contaminación producida en el beneficio ecológico del café-BECOLSUB, desarrollado en Cenicafé.

Agradecimientos

Los autores agradecen los aportes de las personas de las disciplinas de Ingeniería Agrícola, Química Industrial y Biometría de Cenicafé.

BIBLIOGRAFÍA

CARDENAS C., J. Evaluación de un sistema para el tratamiento de los lixiviados de pulpa y mucílago producidos en la tecnología Becolsub, STLB. *En*: Centro Nacional de Investigaciones De Café. CENICAFE. Informe Anual de Actividades de la Disciplina de Química Industrial, Octubre 1998 – Septiembre 1999. Chinchiná, Cenicafé, 1999. p. 1-19. (Proyecto QIN - 0150).

DAVILA A., M.T. y RAMIREZ G., C.A. Lombricultura en pulpa de café. *En*: Avances Técnicos Cenicafé. No.225 (1996); p.1-11.

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. FEDERACAFE. Sistema de Información Cafetera: encuesta nacional cafetera SICA, estadísticas cafeteras. Santafé de Bogotá: FEDERACAFE, 1997. 178 p.

MARTINEZ T., D.G. Aprovechamiento de la energía calórica no utilizada en las estufas campesinas, para el secado mecánico del café. *En*: Centro Nacional de Investigaciones de Café. CENICAFE Informe anual de actividades de la disciplina de ingeniería agrícola, octubre 1998 – septiembre 1999. Chinchiná: Cenicafé, 2000. 53 p. (Proyecto ING - 0816).

MATUK, V., V.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. *En*: Cenicafé. Vol. 48, No.4 (1997); p. 234-252.

OLIVEROS, C.E. Desarrollo de la tecnología DESLIM. Chinchiná: Cenicafé, 1997. 1 p.

- _____. *et al*. El BECOLSUB 100: beneficio ecológico para pequeños caficultores. *En*: Avances Técnicos Cenicafé. No. 261 (1999); p.1-4.
- OLIVEROS, C.C. y ROA M., G. El desmucilaginado mecánico del café. *En*: Avances Técnicos Cenicafé. No. 216 (1995); p. 1-4.
- PASCUAS L., R.T. Estudio de la retención en la pulpa del afluyente líquido sólido resultante de beneficio ecológico de café. Neiva, 1996. 92 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Sur Colombiana. Facultad de Ingeniería.
- _____. *et al*. Desarrollo de la tecnología BECOLSUB para el beneficio ecológico del café. *En*: Avances Técnicos Cenicafé. No. 238 (1997); p. 1-6.
- ROA, M. G; *et al*. Beneficio ecológico del café. Chinchiná: Cenicafé, 1999. 300 p.
- ZAMBRANO F., D. A. Evaluación de un sistema para el tratamiento de los lixiviados de pulpa y mucílago producidos en la tecnología becolsub, STLB. *En*: Centro Nacional de Investigaciones de Café. CENICAFE. Informe anual de actividades de la disciplina de química industrial, octubre 1998 – septiembre 1999. Chinchiná: Cenicafé, 1999. p. 1-19 (Proyecto QIN - 0150).
- _____. *et al*. Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. *En*: Boletín Técnico. No. 20 (1999); 26 p.