



AVANCES TÉCNICOS

280

Cenicafé

Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / Octubre de 2000

MANEJO Y TRATAMIENTO PRIMARIO DE LIXIVIADOS PRODUCIDOS EN LA TECNOLOGÍA BECOLSUB

Diego Antonio Zambrano-Franco*; Juanita Cárdenas-Cárdenas**

En Colombia el proceso de beneficio ecológico del café se ha realizado por vía húmeda, lo cual implica el uso del agua en algunas etapas del proceso.

En Cenicafé se han desarrollado diferentes tecnologías que permiten atenuar el impacto ambiental de los subproductos del proceso de beneficio. Son éstas: el despulpado sin agua (1), el lavado del café en tanques de fermentación (9, 13), el tratamiento de aguas residuales de lavado de café (14) y el beneficio ecológico del café con manejo de subproductos denominada Becolsub (8). La sola práctica de despulpar y transportar la pulpa sin agua elimina el 73,7% de la contaminación potencial de los subproductos del beneficio húmedo de café (12).



* Investigador Científico I. Química Industrial. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Ingeniera de Producción Agroindustrial. Universidad de La Sabana, Santafé de Bogotá, Colombia.

La tecnología Becolsub evaluada sobre un módulo Becolsub 600, permitió reducir la contaminación por kilogramo de café pergamino seco (cps), hasta un rango entre 50,83 y 70,32g de Demanda Química de Oxígeno (DQO), cuando el equipo se operó con un consumo de agua entre 0,6 y 1L/kg de cps, respectivamente. De estas operaciones se produjo un residuo líquido (lixiviado) cuya concentración promedio en términos de DQO fue 110.000ppm (4). De lo anterior se puede calcular, respecto al beneficio convencional de café, una reducción de contaminación estimada para aguas residuales entre el 77,5% y 83,8%, equivalente a una reducción de contaminación global estimada para pulpa y mucílago entre 87,2% y 90,8%.

Buscando reducir la contaminación producida por los lixiviados derivados del uso de la tecnología Becolsub, durante 1998 se realizaron observaciones preliminares en lo que se denominó "fosa ecológica" (10), la cual consistió en una infraestructura que operó con los mismos principios del sistema aquí descrito, diseñado y construido para la Subestación experimental de Cenicafé La Catalina, y denominado **STLB: Sistema para el Tratamiento de Lixiviados de pulpa y mucílago generados en la tecnología Becolsub**. Estos principios fundamentales son los siguientes: Efecto invernadero, compostaje, lecho de secado y reactor hidrolítico/acidogénico.

COMPONENTES DEL STLB (3)

Acondicionador de pulpa-AP. La Figura 1 muestra el acondicionador



Figura 1. Acondicionador de pulpa de café. Se observa el vuelo exterior de 1,50cm de ancho.

de pulpa construido en la subestación experimental La Catalina, el cual consiste en un recinto cerrado fabricado en guadua, estrialla, ladrillo y plástico, donde se deposita la mezcla de pulpa más mucílago subproducto del módulo Becolsub, utilizando para ello un tornillo sinfín de 6 metros de longitud fabricado en lámina galvanizada que permite el transporte de la mezcla desde el beneficiadero hasta este sitio.

Para su diseño se tuvieron en cuenta los ensayos preliminares realizados en la subestación La Catalina (10); los trabajos referentes a evaluaciones cualitativas y cuantitativas de los lixiviados (4) y la distribución de la cosecha de café en la subestación La Catalina para el año de 1998. Se estimó una producción anual de 8.000@ de cps/año, con semana pico y día pico de cosecha de 14,47% y 3,54%, respectivamente. Se

calculó un área total de 106m², necesaria para retener mínimo durante 2 días el subproducto pulpa más mucílago, utilizando capas de 20cm de espesor para facilitar la deshidratación y la descomposición de la mezcla, y efectuando semanalmente 3 retiros del material semidescompuesto, el cual se destinó para la alimentación de lombrices en la subestación. Para calcular el área requerida en el interior del acondicionador (AP) se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{AREAAP} : 0,0172 * P * \%SP / E$$

Donde:

P: Producción anual de café, en @ de cps.

% SP: Producción de café en la semana pico (%).

E: Espesor de capa de mezcla pulpa más mucílago (cm).

El piso se estableció directamente sobre la tierra, nivelándose el terreno con una pendiente del 1% hacia el centro y el frente del acondicionador, y se forró con plástico negro agrolene calibre 6 para evitar infiltraciones (Figura 2). El desnivel



Figura 2. Preparación del terreno en acondicionador de pulpa. Impermeabilización del piso con plástico agrolene

establecido permitió canalizar los líquidos lixiviados hacia una tubería de 6" de PVC sanitaria, que los condujo hacia la parte externa y que permitió, además, el acceso de aire frío y seco del ambiente exterior (Figura 3). Sobre el plástico se colocaron ladrillos sueltos fabricados con arcilla (7x14x28cm), ubicados a una distancia de 25cm entre hileras y 10cm entre ladrillos intercalados. Finalmente, sobre los ladrillos se colocaron dos tendidos de esterilla superpuestos y dispuestos perpendicularmente (Figura 4).

Las paredes del acondicionador de pulpa (AP) se construyeron en ladrillo y cemento, de 62cm de altura, cubierto con plástico agrolene transparente calibre 6, sostenido por columnas de guadua dispuestas a una distancia de 62cm. En la pared frontal y hacia la parte superior del techo se dejó un espacio de 30cm, que permitió la salida por convección natural del aire caliente y saturado de vapores de agua y de ácidos grasos volátiles producidos durante la descomposición de la materia orgánica (Figura 5). En uno de los lados se construyó una puerta que permitió la comunicación con el exterior.

Se hizo un techo en guadua con plástico, para el cual se estimaron dos años de vida útil. Para soportar el techo se utilizaron 5 guadas de 12 metros de longitud, espaciadas 2,5m y ubicadas en dirección posteroanterior (Figura 6), permitiendo un vuelo exterior de 1,5m (Figura 1), y 16 guadas de 10m de

longitud, espaciadas 0,65m y ubicadas paralelamente a la pared frontal del procesador.

Unidad de Control de Insolubles - UCI. Esta unidad la constituyó un tanque que se construyó en mampostería con las siguientes dimensiones: 2m de longitud, 1m de ancho y 1 m



Figura 4. Se colocaron las hileras sueltas de ladrillos de arcilla para soportar el piso de esterillas en tendido doble cruzado



Figura 5. Interior de AP. Techo y paredes en plástico para producir efecto invernadero.



Figura 3. Salida de lixiviados y entrada de aire seco a través de tubería PVC 6"



Figura 6. Guadua utilizada en la construcción del techo de AP.

de profundidad, recubierto en su interior por una mezcla arena-cemento que permitió el almacenamiento y la hidrólisis/acidificación de los líquidos lixiviados del Acondicionador de Pulpa, con el fin de aumentar el nivel de ácidos originados en los procesos fermentativos naturales del mucílago y retener el material insoluble proveniente de la mezcla de pulpa más mucílago.

En esta unidad se utilizó en la parte superior, una tapa construida en esterilla y plástico que impidió la entrada de aguas lluvias y material extraño al interior. Para controlar a voluntad la salida del líquido a través de las tuberías se instalaron en su parte externa 3 válvulas de paso ubicadas dentro de una recámara (Figura 7).

Esta unidad se diseñó y se construyó con dos salidas en tubería de



Figura 7. Unidad de Control de Insolubles. Desagües y válvulas para control de salida de fluidos.



Figura 8. Unidad de control de insolubles en operación

PVC de 1½", ubicadas hacia el fondo a una distancia entre salidas de 1m y de 50cm de las paredes, que permitieron acoplar 2 filtros sueltos para la retención de insolubles. Para acelerar los procesos metabólicos de hidrólisis y acidogénesis se introdujeron trozos de guadua de 15cm de longitud, que ofrecieron un área de transferencia de 48,2m²/m³ y 77,8% de porosidad en el medio empacado (11), con lo cual se aumentó el área de contacto entre los microorganismos y los lixiviados, buscando acelerar las velocidades de reacción durante las primeras etapas de descomposición anaerobia (Figura 8). Para el funcionamiento de la UCI se operó el sistema completamente inundado, ubicándose la salida del lixiviado acidificado por debajo del nivel del líquido median-



Figura 9. Unidad de Control de Insolubles. Filtros superior para retención de insolubles. Instalación de filtros de PVC y llenado con trozos de guadua.



Figura 10. Unidad de Control de Insolubles. Filtros de fondo para retención de insolubles fabricado en PVC y malla mosquitera

te un primer filtro construido en tubería perforada de PVC de 1½", recubierto con 3 capas de malla mosquitera (anjeo en fibra de vidrio con 1mm de distancia entre fibras),(Figura 9). Se instaló además un segundo filtro similar al anterior, en el cual se ubicó la zona filtrante hacia el fondo (Figura 10), permitiendo la retención y descarga de insolubles del tanque hacia el lecho de secado al final de la cosecha de café.

Los lixiviados se canalizaron mediante una tubería de PVC de 1½" orientada hacia una esquina del fondo del tanque. Se estima que cada dos años se hace necesario revolver internamente la UCI, para efectos de contrarrestar el efecto producido por los ácidos de los lixiviados.

Lecho de Secado - LS. Para construir el lecho se hizo una excavación de 2m de longitud, 1m de ancho y 50cm de profundidad. Para evitar la infiltración se recubrió el fondo con el plástico transparente y se puso encima una capa de 30cm de grava de 2cm de diámetro nominal y se cubrió con malla mosquitera, igual a la utilizada en los filtros de la UCI. Hacia el fondo del lecho se instaló una tubería de PVC de 1½" que permitió la descarga del filtrado a través de una conexión establecida hacia el Filtro Preacidificador, buscando que el residuo remanente se deshidratara al exponerlo a la radiación solar y las corrientes de aire. Para demarcar el perímetro del lecho y fijar el plástico al suelo se utilizaron ladrillos de arcilla (Figura 11).

Para canalizar los materiales insolubles desde UCI hasta el lecho de secado se instaló una



Figura 11. Lecho de secado.



Figura 12. Lecho de Secado. Descarga de lodo proveniente de la Unidad de Control de Insolubles

válvula de paso de acero inoxidable. La Figura 12 muestra el material insoluble deshidratado el cual se retiró para utilizarlo en los lombricultivos de la subestación.

Filtro Preacidificador – FP. El filtro de preacidificación se construyó haciendo una excavación en el suelo de 5,5m de largo, por 1m de ancho y por 1m de profundidad. Para evitar la infiltración, el fondo se recubrió con Agrolene. La entrada y la salida del efluente filtrado se construyó en tubería de 6" (Figura 13). El medio filtrante de este componente se conformó utilizando una proporción volumétrica 4:1, de "piedra de mano" y piedra caliza de 5cm de diámetro nominal (Figura 14).

En la tubería de entrada se hicieron dos perforaciones laterales de 2", ubicadas en la parte inferior hacia el nivel del piso, que permitieran la conducción del líquido hacia el fondo; se llenó hasta la mitad de su altura con el mismo material utilizado para empacar el filtro, y hacia la entrada se le acondicionó una tapa en malla mosquitera que previniera la entrada de material extraño al interior del filtro (Figura 15).

La salida se construyó utilizando 2 tuberías concéntricas de PVC de 6"



Figura 13. Construcción del Filtro Preacidificador.



Figura 14. Empacado del filtro preacidificador con «piedra de mano» y piedra caliza de 5 cm de diámetro



Figura 15. Entrada de lixiviados sobre al FP.

y 1 1/2". A la tubería externa se le acondicionaron 2 agujeros de 2" ubicados al nivel del piso, y 2 agujeros de 2" ubicados a 75cm medidos desde el fondo; estos agujeros permitieron la entrada del líquido al interior. La tubería interna tuvo como función la evacuación del líquido preacidificado, por un agujero de 1" practicado a 85cm sobre

el nivel del piso, estableciéndose de esta manera el nivel de operación; este accesorio no se fijó con soldadura de PVC, para permitir la evacuación del filtro a voluntad al final de la cosecha (Figura 16).

OPERACIÓN DEL STLB

La Figura 17 muestra un esquema de instalación del STLB, en el cual se instalaron 3 válvulas de acero inoxidable de 1½" (V_1 , V_2 , V_3), que permitieron el control por gravedad de los lixiviados solubles y del material insoluble que se separa en la UCI. Al iniciar el beneficio en el módulo Becolsub la mezcla pulpa más mucílago llegó al acondicionador de pulpa (AP), presentándose un desprendimiento de los lixiviados que se recibieron en la UCI. Durante la cosecha de café la válvula V_3 permaneció abierta, las válvulas V_1 y V_2 permanecieron cerradas. El líquido que ingresó a FP a través de la tubería de entrada tuvo acceso al

mismo por el fondo, lo cual permitió incrementar el nivel de líquido hasta 85cm, donde se estableció su salida después de haber hecho su recorrido por el medio filtrante.

Al terminar el período de cosecha se abrió la válvula V_1 para permitir el paso del filtrado hacia FP. Terminada la operación de evacuación de líquido filtrado hacia FP, la UCI quedó con un volumen reducido de lixiviado enriquecido en material insoluble, procedente de la mezcla pulpa-mucílago y de los fenómenos de precipitación ocasionados por el descenso del pH. Para evacuar el material insoluble se cerró V_3 y se abrió V_2 , y se retiraron los filtros desde la base para permitir la salida del insoluble concentrado hacia LS.

Nota: Para garantizar que el material insoluble saliera en su totalidad, se retiraron temporalmente los anillos de guadua, para facilitar la evacuación total del lodo utilizando un poco de agua limpia, teniendo en

cuenta no comprometer la capacidad de recibo en LS. Después de lo anterior la UCI se llenó nuevamente con los anillos de guadua, sin someterlos a ningún tipo de limpieza, a la espera de la próxima cosecha. Para llevar a cabo esta operación de "limpieza" se requirió de mano de obra equivalente a 1 jornal/año.

Para favorecer la operación del STLB aprovechando la fuerza de la gravedad, se tuvo en cuenta la ubicación de sus componentes en orden descendente así: Acondicionador de pulpa, unidad de control de insolubles, lecho de secado y filtro preacidificador.

OBSERVACIONES

Durante el período de cosecha de 1999 se realizó la evaluación del STLB, tiempo en el cual se beneficiaron 78.830kg de café en cereza (3) y se pudo observar que:

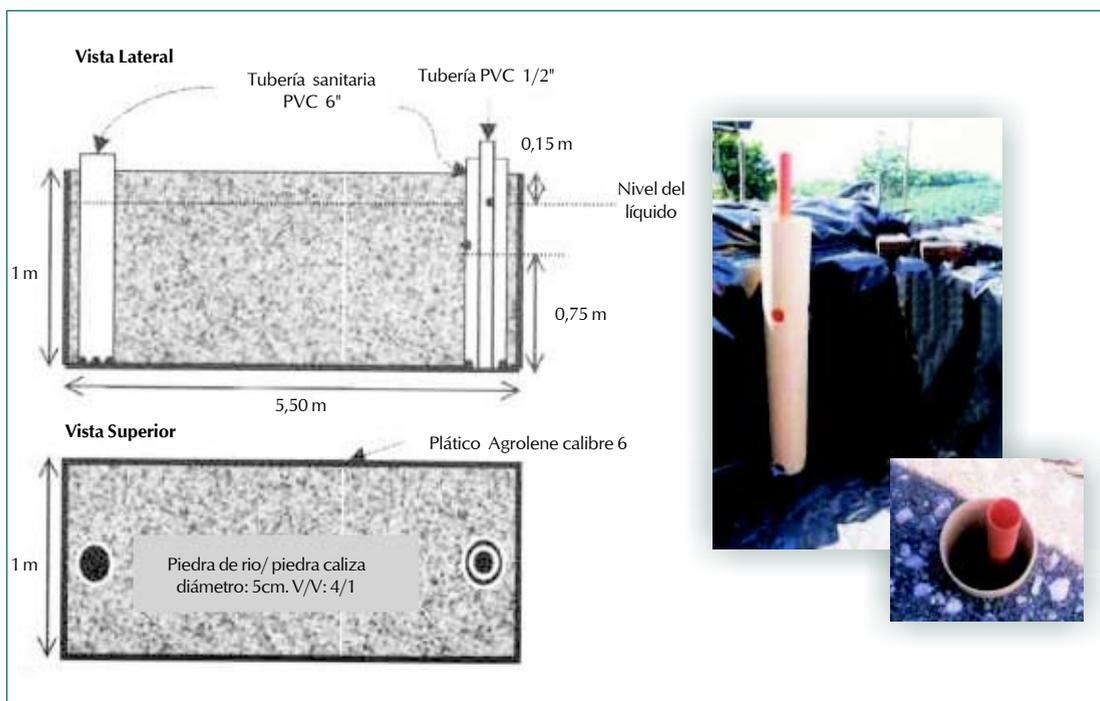


Figura 16. Tuberías concéntricas que establecen la salida de lixiviados acidificados, en FP.

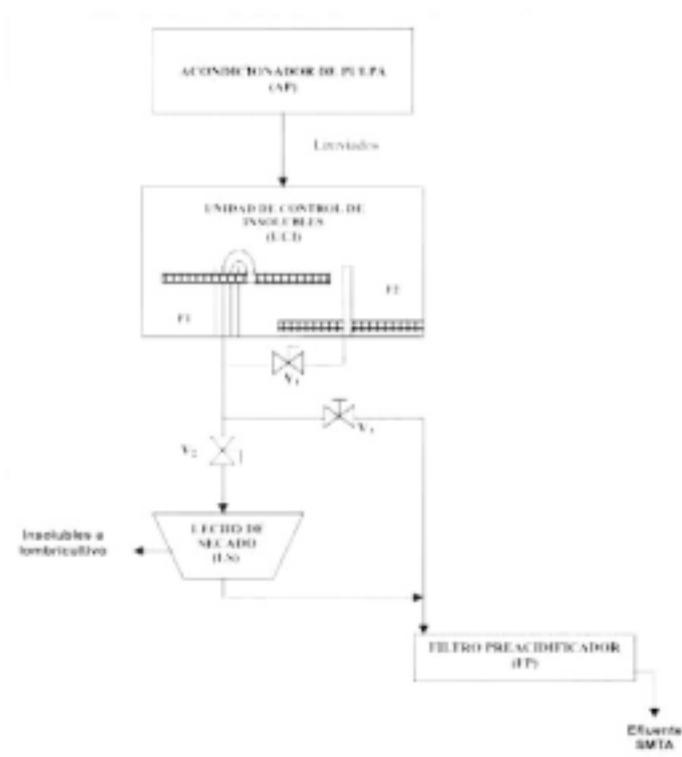


Figura 17.
Diagrama de operación del STBL

La mezcla pulpa mucílago que llega a AP se deshidrató rápidamente, lo cual causó, en ocasiones, resequedad del subproducto, cuando se trabajó con capas inferiores a 20cm de espesor.

Los lixiviados que se desprendieron y pasaron por el fondo del AP, no cambiaron su concentración, que se mantuvo cercana a su valor original: DQO 110.000ppm (4); durante este estudio se encontraron valores de DQO promedio de 101.200ppm (2) lo cual se pudo haber originado en la alta concentración de los lixiviados que origina baja transferencia de masa entre el oxígeno y la materia orgánica.

La lluvia jugó un papel importante en la dilución de los lixiviados, cuando el techo de AP presentó perforaciones que permitieron el acceso de la misma al interior.

Entre agosto 2 y septiembre 27 de 1999 se beneficiaron en el módulo Becolsub 33.484kg de café en cereza, cuyos lixiviados fueron «filtrados» en UCI donde se retuvo 74 litros de lodo rico en material insoluble (50g SST/L) (2).

CONCLUSIONES

El STLB permitió llevar a cabo las reacciones bioquímicas de hidrólisis y acidificación de los lixiviados producidos en la tecnología Becolsub.

Durante su recorrido por el STLB, la DQO de los lixiviados se redujo desde 110.000 ppm hasta 36.200 ppm, concentración apta para tratamiento secundario y terciario utilizando un Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio SMTA, desarrollado en Cenicafé

para el tratamiento de las aguas residuales del lavado del café (14).

Los lixiviados tratados con el STLB mostraron un pH mayor de 5 y ausencia de insolubles (SST), acorde con lo exigido en el Decreto 1594/84 del Minsalud (5).

Con la operación correcta del STLB se consiguió un efluente que no contenía Sólidos Suspendidos Totales, lo que exime el pago de tasas retributivas, consignado para este parámetro en el Decreto 901/97 del Ministerio del Medio Ambiente (6,7).

En términos de contaminación, el STLB redujo el 67,04% de la DQO (73,24% de DBO₅) de los cuales el 54,8% correspondió a la Unidad de Control de Insolubles y el 45,2 % al Filtro Preacidificador. A junio del año 2000, esto correspondió a reducir el pago de tasa retributiva por arroba de café pergamino seco desde \$17,56 Col hasta \$ 4,70 Col.

Para efectos de reducir la contaminación utilizando un STLB, solo se hace necesario la construcción de FP con una longitud de 1,24m, equivalente a la del punto 3, lo que corresponde a un volumen de 1,24m³ para este componente.

AGRADECIMIENTOS

Al investigador Hernando Duque O. de la Disciplina de Economía de Cenicafé, por el análisis económico realizado al STLB. Al Ing. Agrónomo Javier García y al auxiliar Josué Fernando Vargas y a todo el personal de la Subestación La Catalina.

COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL STLB.

El STLB instalado en la subestación La Catalina tuvo un costo de inversión US\$ 1.492. Según el análisis económico realizado para el STLB por la Disciplina de Economía de Cenicafé, la inversión es viable económicamente. El tiempo de recuperación de la inversión, cuando el valor presente de los ingresos es igual a la inversión, se alcanza entre el 6° y 7° año.

Si tenemos en cuenta una producción anual de 8.000@ de cps para la Subestación La Catalina, se calcula una inversión de US\$ 0,19/@ cps. Se pueden calcular costos unitarios de construcción de US\$ 9,3/m² para AP, US\$ 66,4/m³ para UCI, US\$ 80/m³ para LS, y US\$ 63/m³ para FP.

Literatura Citada

1. ALVAREZ G., J. Despulpado del café sin agua. Avances Técnicos Cenicafé No. 164: 1-6. 1991.
2. CÁRDENAS C., J. Evaluación de un sistema para el tratamiento de los lixiviados de pulpa y mucílago, producidos en la tecnología Becolsub, STLB. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial, Octubre 1998-Septiembre 1999. Chinchiná, CENICAFÉ, 1999. 18 p. (Proyecto QIN 0150).
3. CÁRDENAS C., J. Evaluación de un sistema para el tratamiento de lixiviados de pulpa y mucílago producidos en la tecnología Becolsub, STLB. Santafé de Bogotá, Universidad de la Sabana. Facultad de Ingeniería de Producción Agroindustrial, 2000. 79p. (Tesis: Ingeniera de Producción Agroindustrial)
4. CARDENAS C., J. Evaluación preliminar de una estrategia para la reducción de los lixiviados del BECOLSUB. Santafé de Bogotá, Universidad de La Sabana. Facultad de Ingeniería, 1998. 76p. (Práctica: Ingeniería de Producción Agroindustrial).
5. MINISTERIO DE SALUD. BOGOTÁ. Decreto número 1594 de 1984. Bogotá, 1984. 48p.
6. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. BOGOTÁ. Decreto número 901 de 1997. Bogotá, 1997. 9p.
7. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. BOGOTÁ. Resolución 0273 de 1997. Santafé de Bogotá, 1997. 2p.
8. ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; ALVAREZ G., J.; RAMIREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; DAVILA A., M.T.; ALVAREZ H., J.R.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G. I. ; RODRIGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1999. 300p.
9. ZAMBRANO F., D. A. Fermente y lave su café en tanque tina. Avances Técnicos Cenicafé N° 197: 1-8. 1993.
10. ZAMBRANO F., D. A. Propuesta de una STLB para manejo de lixiviados tipo Becolsub. Subestación La Catalina. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial, Octubre 1997 - Septiembre 1998. Chinchiná, Cenicafé, 1998. 41 p. (Proyecto QIN 0103).
11. ZAMBRANO F., D. A.. Prototipos de plantas de tratamiento de aguas residuales del lavado del café. In: Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Química Industrial, Octubre 1995 - Septiembre 1996, Chinchiná, Cenicafé, 1996. 54 p.
12. ZAMBRANO F., D. A; ISAZA H, J.D. Demanda química de oxígeno y nitrógeno total de los subproductos de un proceso tradicional de beneficio húmedo de Café. Cenicafé 49(4): 279-289. 1998.
13. ZAMBRANO F., D. A., ISAZA H, J. D.. Lavado de café en los tanques de fermentación. Cenicafé 45(3): 106-118. 1994.
14. ZAMBRANO F., D. A., ISAZA H., J. D., RODRIGUEZ V. N., LÓPEZ P. J. U. Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Chinchiná, Cenicafé, 1999. 26 p. (Boletín Técnico No. 20).

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.

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café
"Pedro Uribe Mejía"

Chinchiná, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manizales
cenicafe@cafedecolombia.com

Edición: Héctor Fabio Ospina Ospina
Fotografía: Gonzalo Hoyos Salazar
Diagramación: Carmenza Bacca Ramírez