

Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café.

Diego A. Zambrano-Franco
Nelson Rodríguez-Valencia
Uriel López-Posada
Paula Andrea Orozco R
Andrés J. Zambrano-Giraldo.



GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ
"Pedro Uribe Mejía"

Cenicafé
Chinchiná - Caldas - Colombia

Boletín Técnico

Nº 29

2006



FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

COMITÉ NACIONAL

Período: 1 de enero de 2003 a 31 de diciembre de 2006

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Ministro de Comercio, Industria y Turismo
Director del Departamento Nacional de Planeación

Juan Camilo Restrepo Salazar
Mario Gómez Estrada
Carlos Alberto Gómez Buendía
Carlos Roberto Ramírez Montoya
César Eladio Campos Arana
César Augusto Echeverry Castaño
Jaime García Parra
Floresmiro Azuero Ramírez
Fernando Castrillón Muñoz
Javier Bohórquez Bohórquez

Gerente General

GABRIEL SILVA LUJÁN

Gerente Administrativo

LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

Gerente Financiero

CATALINA CRANE ARANGO

Gerente Comercial

ROBERTO VÉLEZ VALLEJO

Gerente Técnico

ÉDGAR ECHEVERRI GÓMEZ

Director Programa de Investigación Científica
Director Centro Nacional de Investigaciones de Café
GABRIEL CADENA GÓMEZ

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.

UNA PUBLICACIÓN DE CENICAFÉ

Editores: Héctor Fabio Ospina Ospina, I.A., MSc.

Diseño y

Diagramación: María del Rosario Rodríguez Lara.

Fotografía: Gonzalo Hoyos Salazar.
María del Rosario Rodríguez Lara.
Diego A. Zambrano Franco.
Manuel Matta Vargas.

Editado en julio de 2006
3.500 ejemplares



FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ
"Pedro Uribe Mejía"

Cenicafé

TRATAMIENTO ANAEROBIO DE LAS AGUAS MIELES DEL CAFÉ

*Diego A. Zambrano-Franco**,
*Nelson Rodríguez-Valencia**,
*Uriel López-Posada**,
*Paula Andrea Orozco R***,
*Andrés J. Zambrano-Giraldo****.

* Investigador Científico II, Investigador Científico I, Auxiliar I de Investigación, respectivamente. Química Industrial. Cenicafé.

**Ing. Química Universidad Nacional.

***Ing. de Saneamiento y Desarrollo Ambiental Universidad Católica.

CONTENIDO ■

INTRODUCCIÓN.....	5
EL NUEVO SMTA.....	6
COMPONENTES DEL SMTA.....	7
Reactores Hidrolíticos-Acidogénicos - RHA	9
Recámara de dosificación - RD.....	11
Reactores metanogénicos - RM	12
PUESTA EN MARCHA DE UN SMTA	14
Inoculación de los reactores metanogénicos	14
Aclimatación y arranque de los reactores metanogénicos	15
Operación de un SMTA	17
Acidificación de los reactores metanogénicos	18
ESCALAMIENTO DE UN SMTA	21
COSTOS	25
AGRADECIMIENTOS	27
LITERATURA CITADA	28

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA), fueron diseñados en Cenicafé para descontaminar las aguas residuales generadas en el lavado del café y originadas en beneficiaderos húmedos donde se retira el mucílago o baba del café por el método de fermentación natural.

Adicionalmente el despulpado y transporte de café en baba y pulpa debe realizarse por gravedad o mecánicamente a las fosas o al tanque de fermentación, respectivamente.

Presentamos una manera fácil y más económica de construir un SMTA con el fin de obtener eficiencias acordes con lo exigido por la legislación colombiana en el Decreto 1594 de 1984 (6).

Este documento reúne en esencia el Boletín Técnico N°. 20, titulado "Tratamiento de aguas residuales del lavado del café", publicado por CENICAFÉ en 1999, referido a los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio **SMTA**. Para esta nueva publicación, se tuvo en cuenta y se mantuvo

toda la base científica de la publicación inicial, y se recomienda el cambio a materiales de construcción más económicos en los componentes del sistema, evaluados en investigaciones durante el período 2002 - 2003 (9), como es el caso de la utilización de tanques negros de polietileno, en reemplazo de la plastilona IKL, la fibra de vidrio y la mampostería, lo mismo que la utilización de botellas plásticas no retornables (**BPNR**), utilizadas en el envasado de bebidas refrescantes, como medio de soporte para los microorganismos (9) en reemplazo de la guadua utilizada en la propuesta de construcción de los SMTA (10).

La tecnología SMTA continúa recomendándose para remover la contaminación presente en las aguas residuales del lavado del mucílago fermentado del café, generada en canalones de clasificación y correteo operados con recirculación de agua, o la resultante del lavado en los tanques de fermentación, como es el caso de la tecnología denominada

tanque tina (14), en los cuales se consumen entre 4,0 y 5,0 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco.

El pH de estos residuos oscila entre 4,0 y 4,5 unidades y la Demanda Química de Oxígeno, DQO, la cual expresa el déficit de oxígeno ocasionado por la contaminación presente en el agua, y que tiene un valor cercano a 27.400 mg/L (10).

Para optimizar los costos del SMTA se evaluaron tanques de polietileno que sirvieran de reactores metanogénicos, y se les realizó monitoreo de temperatura, por medio de una termocupla que permitió lecturas a lo largo y ancho del reactor.

La temperatura promedio en este tipo de reactor durante el día fue de 26°C y en horas de la tarde alcanzó 31°C. Lo anterior permitió hacer más funcional la operación y el mantenimiento de esta nueva propuesta de construcción del SMTA, contemplada para una finca con una producción anual de 1.500@cps, y reducir el 54,2% de los costos unitarios de inversión, desde \$ 3.004/@ cps hasta \$ 1.376/@ cps (3).

EL NUEVO SMTA

El Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio fue desarrollado inicialmente en Cenicafé en la década de los 90s (10).

Esta nueva versión del SMTA es más económica, y sigue siendo efectiva para el tratamiento anaerobio de las aguas mieles o aguas residuales del lavado del mucílago fermentado del café, **ARL**, que se generan en una finca cuya producción anual es de 1.500 arrobas de café pergamino seco (@ de cps), y posibilita el escalamiento de cada una de las unidades que lo componen, para fincas con producciones mayores o menores de café. Además de la

adopción del despulpado y el transporte de la pulpa sin agua (1), que evita el 73,7% de la contaminación que producen los subproductos del proceso convencional (13), para su diseño se continúa teniendo en cuenta la distribución anual de la cosecha de café registrada por Uribe y Laverde (8), para la zona rural de Chinchiná en la semana de máxima producción, equivalente al 8,3% de la cosecha anual.

Igualmente, esta versión de SMTA está compuesta por unidades que permiten la separación de las fases Hidrolítica-Acidogénica (RHA) de la Metanogénica

LOGROS

Entre los años 2003 y el 2004, se trataron las aguas residuales generadas durante el lavado del café, utilizando esta nueva propuesta de SMTA ubicado en la sede principal del Centro Nacional de Investigaciones de Café Cenicafé. La aclimatación y el arranque del reactor se llevaron a cabo durante 256 días y se aplicaron cargas entre 0,3 y 8,75 kg DQO/m³d. Como inóculo se utilizó estiércol de ganado vacuno, siguiendo las metodologías desarrolladas y propuestas por Cenicafé en sus estudios sobre el SMTA. Se encontró que las botellas plásticas no retornables BPNR presentan una porosidad de 98,7% y un área específica de contacto de 51,7 m²/m³ reactor. Las eficiencias de remoción promedio para el estado estable del reactor metanogénico fueron 80, 83,4, 45,99 y 74,3% para la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), los Sólidos Totales (ST) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), respectivamente.

(RM), lo que ha permitido el incremento de carga orgánica por día desde 1,5 hasta 10 kg de DQO por metro cúbico de reactor metanogénico, manteniendo una remoción de contaminación superior al 80%, expresada como DQO (3).

En esta propuesta actualizada de SMTA, se contempla el uso de cal y orina humana

o animal, para neutralizar el pH y ajustar el nitrógeno en las aguas residuales de lavado respectivamente, a falta de NaOH y urea utilizados convencionalmente, además de ajustarse a los requisitos en certificación orgánica del café producido.

Tanques de polietileno donados por la empresa Colombit de la ciudad de Manizales, se

adaptaron como reactores Hidrolíticos Acidogénicos y Metanogénicos, en el desarrollo de la investigación, cuyo material negro permitió aumentar la temperatura interna de los reactores a un valor cercano a los 30°C (3) como ocurre con los tanques fabricados en fibra de vidrio de los reactores metanogénicos propuestos inicialmente (10).

COMPONENTES DEL SMTA

(Zambrano *et al.*, (10)).

Son componentes esenciales de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio SMTA: los Reactores Hidrolíticos-Acidogénicos RHA, la recámara de dosificación RD y el Reactor Metanogénico RM.

La Figura 1 muestra un esquema del nuevo SMTA, diseñado para una finca con una producción de 1.500 @ de café pergamino seco y una semana pico de 8,3%, donde pueden observarse las diferencias o cotas de nivel que deben tenerse en cuenta al seleccionar el terreno para su instalación y garantizar el flujo libre del líquido por gravedad. Al final se detalla la lista de los materiales para su construcción. Todos los componentes están conectados con mangueras de polietileno reciclado de 1½", de baja densidad (0,925 g/cm³), de bajo costo y de fácil

consecución en el mercado. A la salida del tanque de lavado en el beneficiadero se debe instalar un tanque cilíndrico de 105 litros de polietileno, o construir una recámara en mampostería de 40 cm de altura y lados de 50x50 cm, que permita recibir las aguas residuales del lavado y los drenados de la fosa de pulpas (Figura 2). Esta recámara contiene en su interior un codo de PVC, provisto de un tramo de tubo de PVC de 20 cm con tapón y con perforaciones de 7/32", que evita el ingreso de granos y pulpa al interior de la primera unidad o reactor hidrolítico/acidogénico. Sobre una "T" se instala un tapón roscado o una válvula de 1½" a un lado del RHA₁, para purgar el gas que se genera y el aire que se acumula en el interior de la manguera de 1½" que comunica el SMTA con el beneficiadero (Figura 3).

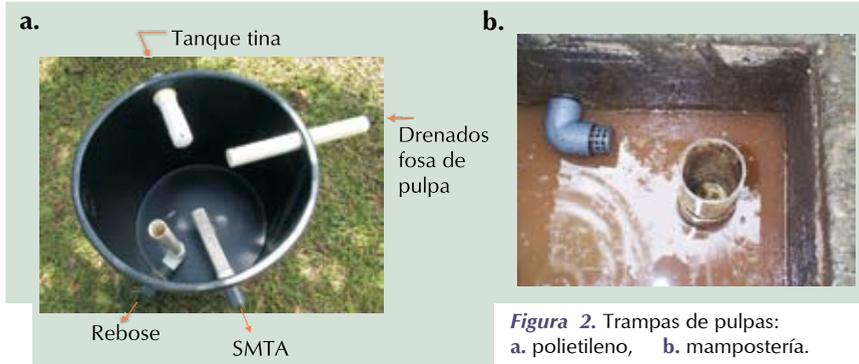


Figura 2. Trampas de pulpas: a. polietileno, b. mampostería.



Figura 3. Válvula para purga de aire o gas.

REACTORES HIDROLÍTICOS-ACIDOGÉNICOS - RHA

Dentro del concepto de biodegradabilidad anaerobia de residuos, los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio contemplan la separación de las fases Hidrolítica-Acidogénica y Metanogénica. Por tal razón, en los tanques que conforman los reactores para dichas fases, se experimentan reacciones bioquímicas diferentes.

Para llevar a cabo la fase Hidrolítica-Acidogénica de

las aguas mieles para la finca del caso de estudio, se estableció en serie una batería de reactores RHA₁, RHA₂, RHA₃, utilizando tres tanques de polietileno negro en tronco de cono, Multisus Acuaviva Colombit u otro con características iguales, de 2 m³ de capacidad cada uno, con una altura de 156 cm (sin tapa), un diámetro superior de 146 cm y un diámetro inferior de 115 cm (Figura 4). Las aguas residuales procedentes del lavado del mucílago fermentado del café entran

al RHA₁ por el fondo y salen a través de un dispositivo de 52 cm de altura total, ensamblado sin utilizar pegante de PVC en las uniones entre los tramos de tubería y los codos de 1 1/2", con una perforación en la parte superior de 3/8", que evita que se suspenda eventualmente el flujo líquido por acumulación de gas (Figura 5). Las aguas continúan su recorrido a través de los dos reactores restantes, en igual forma como se explica para el RHA₁ y con los mismos dispositivos internos de salida del líquido.



Figura 4. Reactores Hidrolíticos-Acidogénicos en tanques de polietileno.

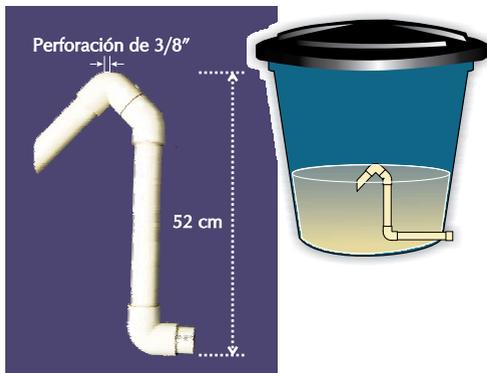


Figura 5. Accesorio de fondo para fijar nivel a 52 cm.



Figura 6. Conector de fondos y descarga de lodos de RHA.

Además de la posibilidad de almacenar agua residual del lavado por encima del nivel de salida (> 52 cm), durante la mayor parte del año queda establecido como mínimo un tiempo de retención hidráulico de dos días, por debajo del nivel de operación del líquido, buscando la máxima formación de ácidos posibles en esta etapa, para favorecer posteriormente las reacciones que hacen parte de la metanogénesis.

Para intercomunicar los tanques RHA se perfora y se instala tubería de diámetro de 1 1/2" a 7 cm del fondo (Figura 6).

El tanque RHA₃ se perfora a 7 cm del borde superior, (Figura 7), para efectos de canalizar los posibles excedentes de

agua residual de lavado que se puedan presentar, a través de un codo interno en PVC de 1 1/2" y hacia una excavación de 1 m x 1 m x 1 m, a la cual se le adiciona en el fondo 40 litros de estiércol (vacuno, caballar, porcino) para facilitar la descomposición de los residuos allí dispuestos y se llena con trozos intercalados de tallos de café de un metro de longitud provenientes de zoqueo (Figura 8).



Figura 7. Tubería de seguridad para rebose de ARL.



Figura 8. Excavación para rebose de ARL.

RECÁMARA DE DOSIFICACIÓN - RD

El sistema de dosificación de las aguas residuales del lavado de café por gravedad, se estudió mediante el acondicionamiento de un tanque de polietileno Multiusos, Acuaviva Junior x 250 litros con tapa, altura de 65 cm; fabricado por la empresa Colombit de Manizales (Figura 9). Dentro del mismo se estableció un flujo constante mediante el uso de una

válvula de flotador, y orificios de diámetro predeterminado practicado en las tuberías de salida, que permiten garantizar un caudal uniforme a través de una cabeza hidrostática permanente (Figura 10).

En el fondo se instaló un marco colector de 50,5 x 35,5 cm, fabricado en tubería de PVC de 1/2", el cual va acoplado al tubo de salida del tanque. Este tubo de salida está provisto con dos tapones de PVC con un orificio de 5/64", que permiten la salida del

líquido por gravedad con un caudal previamente ajustado a 550 ml/min por tapón correspondiente a cada RM (Figura 10e). En todos los lados del marco colector se hacen orificios inferiores de 5/32", espaciados a una distancia de 1 cm, lo que equivale a realizar alrededor de 124 agujeros que permiten la salida del líquido por el fondo del tanque. Para facilitar una eventual limpieza del marco colector, se deben ensamblar sus componentes sin utilizar pegante de PVC en las uniones; sólo se fija el tubo que comunica con el exterior, utilizando un adaptador macho, un adaptador hembra dos arandelas de PVC y dos arandelas de neumático.

Después de instalar el tanque de dosificación se debe establecer el lecho filtrante, ubicando piedras de unos 10 cm de diámetro cerca a los orificios de salida, para impedir el contacto entre el material del lecho y los orificios del marco.



Figura 9. Recámara de dosificación en polietileno y 250 litros de capacidad.

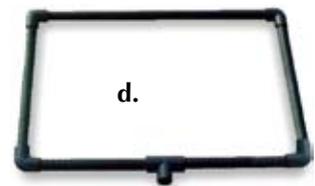


Figura 10. Componentes de la recámara de dosificación: a. aro en manguera de polietileno de 1/2", b. válvula flotador en PVC, c. malla mosquitera, d. marco colector de líquido hacia RM, e. tapones reguladores de caudal.

Luego se termina de llenar el interior con gravilla de río o piedra caliza (diámetro 2,5 cm) hasta una altura de 20 cm del fondo. Sobre la parte superior del lecho se ubica una malla plástica mosquitera de 1 mm de distancia entre fibras, cuyos extremos se pisan con un aro en manguera de polietileno de 1/2".

Para instalar la válvula de flotador se perfora el borde superior del tanque y se coloca un adaptador macho PVC presión con diámetro de 1", a 6 cm. Para el drenaje del tanque de dosificación se instala una tubería de 1 1/2" a 7 cm del fondo, a la cual se le acondiciona un tapón roscado para evitar la salida del líquido (Figuras 11 y 12).

Antes de la recámara de dosificación se conecta una válvula de 1" en PVC, que permite suspender el flujo de agua residual, en caso que se necesite atender cualquier eventualidad durante la operación del SMTA, tal como puede ser la obstrucción de la tubería por lodo y otros elementos extraños o para su respectivo mantenimiento.

Se recomienda instalar una recámara dosificadora de 250 litros por cada 5 reactores metanogénicos de 2 m³.

NOTA: la capacidad de cada recámara dosificadora debe ser siempre de 250 litros.



Figura 11. Acondicionamiento interior de la recámara de dosificación.



Figura 12. Llenado de la recámara de dosificación.

REACTORES METANOGENICOS-RM (Orozco (3)).

Durante las evaluaciones para la nueva propuesta de SMTA, para la finca, caso de estudio, los reactores metanogénicos se acondicionaron utilizando dos tanques Multiusos Acuaviva Colombit de polietileno negro, en tronco de cono de 2 m³ de capacidad, con una altura neta de 156 cm, un diámetro superior de 146 cm y un diámetro inferior de 115 cm (Figura 13). El polietileno negro



Figura 13. Tanque de polietileno utilizado como reactor metanogénico.



Figura 14 . Botellas plásticas no retornables (BPNR) para soporte de microorganismos anaerobios.

permite que se alcancen temperaturas promedio en el día entre 24 y 26°C a lo largo y ancho del reactor .

Los RM de la tecnología SMTA propuesta, están constituidos por filtros anaeróbicos de flujo ascendente empacados al azar con relleno inerte reciclado de botellas plásticas.

Como soporte para los microorganismos se llena al azar su interior con trozos de botellas plásticas no retornables de 2 y 3 litros de capacidad, obtenidos mediante el corte transversal de la botella en tres partes: a) *base de la botella* equivalente a un cilindro con tapa al que se le hace un agujero en el centro o se le quita la base, b) *parte central* equivalente a un cilindro sin tapas, y c) *parte superior* o cono de botella. Se requieren trozos provenientes de 980 botellas para llenar los 2 RM (4 metros cúbicos) (Figura 14). No obstante la guadua puede continuar utilizándose en este tipo de componentes. El costo del material de empaque en los 4 m³ de reactor con botellas,

asciende a \$ 114.000, de los cuales el 84% corresponden al valor de las botellas y el 16% a la mano de obra para cortar el material.

Cada tanque viene provisto de una tapa con sistema de cerrado que involucra guías y topes que permiten mantenerlo cubierto. La tubería de entrada del agua residual al reactor está provista de una "T" con tramo de tubería y tapón roscado de PVC de 1½", la cual permite que se retire para limpiar internamente la tubería en caso de obstrucción.

Inmediatamente antes de la entrada a los reactores y sobre la "T", que comunica además el tapón roscado y

la tubería de acceso de agua residual, se instala un disco previamente construido en PVC y perforado con 38 orificios de 7/32" (Figura 15). Internamente la entrada del agua residual se realiza en el fondo por medio de un dispositivo cuadrado de 45 cm de lado, construido en tubería de PVC de 1" y perforado lateralmente con 4 orificios de 7/32", uno en el centro de cada lado (Figura 16a).

La salida del efluente se realiza en forma axial, utilizando una tubería de PVC de 1½" y 20 cm con un corte transversal de 45°, conectada por medio de un semicodo a una tubería PVC de 50 cm que comunica con el exterior (Figura 16b).



Figura 15 . Disco perforado para prevenir el paso de insolubles a RM.



Figura 16. a. Dispositivo distribuidor de entrada de aguas residuales al reactor metanogénico, b. tubería de salida del efluente.

PUESTA EN MARCHA DE UN SMTA

Para iniciar el sistema de tratamiento de las aguas residuales del lavado del café, una vez construido el SMTA, se realizan los siguientes pasos:

INOCULACIÓN DE LOS REACTORES METANOGENICOS

A diferencia de los Reactores Hidrolíticos-Acidogénicos, es necesario inocular los reactores metanogénicos con bacterias anaeróbicas que se obtienen del estiércol de ganado vacuno. Para llevar a cabo la inoculación de cada uno de los reactores de 2 m³ de capacidad durante las primeras tres semanas se realizan los siguientes pasos:

- Prepare 700 litros de inóculo metanogénico por cada reactor de 2 m³ así: Mezcle estiércol de ganado

vacuno y agua corriente en proporción 3:1 (tres baldes de agua por un balde de estiércol). La mezcla se almacena en canecas plásticas y se deja reposar durante una semana. Filtre luego, utilizando un costal de fibra plástica (o de fertilizante) o un cedazo de malla mosquitera, similar al utilizado en la recámara de dosificación, con el fin de retirar la mayor cantidad de material grueso e insoluble. Así, se deja pasar sólo la fase líquida que se desprende del estiércol y que constituye el inóculo metanogénico.

- Simultáneamente con lo anterior, adicione a cada reactor metanogénico, 1.100 litros de aguas residuales procedentes del tercero y cuarto enjuague del lavado del café en el tanque de fermentación y 1,5 kg de cal masilla blanca. Mezcle bien.

- Adicione a cada reactor 15 litros de orina animal o humana ó 250 g de urea previamente disuelta en 1 litro de agua corriente, y 300 litros del inóculo. De esta forma los reactores quedan inoculados con una proporción aproximada de 2 kg de sólidos suspendidos volátiles por m³ de reactor, y una relación cercana a 1,33 g DQO/g de sólidos suspendidos volátiles. (Figuras 17a y 17b).

NOTA: debe tenerse en cuenta guardar las proporciones de ARL, orina, urea y cal, para reactores de capacidad inferior a 2.000 litros. Por ninguna razón los tanques que constituyen los RM deben sobrepasar los 2.000 litros de capacidad.

- Establezca el medio de soporte para las bacterias metanogénicas, llenando cada reactor metanogénico con los pedazos de botellas.

de lo anterior es necesario dejar llenar los RHA con las aguas residuales de lavado del café procedentes de los cuatro enjuagues realizados en el tanque tina. De esta manera queda lista una “solución de aclimatación”. Adicionalmente y **sin agitar**, debe adicionarse un kilogramo de “cal masilla blanca” en el interior de cada uno de los RHA, la cual se deposita en el fondo de los tanques.



- Adicione agua corriente hasta cubrir totalmente los trozos de BPNR. Los reactores han quedado inoculados, y dos semanas después se procede a la aclimatación, arranque y operación del SMTA (Figura 17c).

ACLIMATACIÓN Y ARRANQUE DE LOS REACTORES METANOGENICOS

Parainiciar con la aclimatación de los microorganismos, el día 1 se debe abrir la llave de paso instalada a la entrada de la recámara de dosificación, e inundarla con la “solución de aclimatación” que sale a través de la válvula de flotador, hasta que alcance su nivel máximo (Figura 12).

- Durante el período de inoculación, en cada RHA deben adicionarse 500 litros de agua corriente, mezclados con 4 litros de orina animal o humana, ó 60 g de urea. Después



*Figura 17: inoculación
a. preparación del inóculo,
b. adición del inóculo,
c. reactor inoculado.*

- Verifique el asentamiento de la malla mosquitera mediante el desalojo de la aire que queda atrapado sobre el lecho de la recámara.
- Verifique que el caudal en cada uno de los tapones sea de 550 ml/min.
- Se debe conservar un caudal de alimentación entre 500 y 600 ml/min para cualquier RM, ya que por debajo de este valor fácilmente ocurre obstrucción del orificio en el tapón. En el estado estable del sistema se deben tener en cuenta las proporciones cuando los RM tienen dimensiones diferentes a 2.000 litros. Abrir la válvula de paso de agua residual hacia la recámara de distribución, así: 24 horas para tanques de 2.000 litros, 12 horas para tanques de 1.000 litros y 6 horas para tanques de 500 litros; de esta manera se obtiene una alimentación de

0,4 m³ARL/m³ RM. Existen en el mercado tanques de polietileno negro de 5.000 litros, que pueden ser utilizados como RHA, pero de los cuales no se conoce su respuesta como RM.

- Comunique la recámara de dosificación con los reactores metanogénicos, introduciendo libremente una manguera de polietileno en el tubo de PVC (mirilla) que sale del tanque. En este punto la presión es igual a la presión atmosférica. No olvide que los tapones perforados no deben soldarse con pegante de PVC, para que se facilite su limpieza enjuagándolos con el mismo líquido que fluye del tanque (Figura 18).
- Operar la válvula de paso de ARL en la recámara de dosificación, para reactores metanogénicos de 2.000 litros en el siguiente orden¹:

- 1) Día 1 a 14. Abrir válvula 52 minutos diarios.
- 2) Día 15 a 22. Abrir válvula 2 horas diarias.
- 3) Día 23 a 30. Abrir válvula 4 horas y 40 minutos diarios.
- 4) Día 31 a 44. Abrir válvula 8 horas diarias.
- 5) Día 45 a 59. Abrir válvula 12 horas diarias.
- 6) Día 60 en adelante, para este caso del RM de 2.000 litros abrir indefinidamente la válvula todo el día.

Hay que tener en cuenta que al lavar el café en el tanque tina, los cuatro enjuagues producen cerca de 0,9 litros de aguas residuales por cada kilogramo de café en cereza (Figura 19).

Después de realizar los pasos anteriores de arranque, el sistema inicia una fase de estabilización que se caracteriza por alcanzar eficiencias de remoción de DBO₅ superiores al 80% y no requiere productos químicos para balancear o neutralizar las ARL.

El buen desempeño del sistema se manifiesta, de manera práctica, por un olor característico a estiércol vacuno en el líquido tratado en esta unidad.



Figura 18 . Acoples de salida de la recámara de dosificación.

¹Recomendación de operación del SMTA ubicado en Cenicafé - La granja en funcionamiento durante los años 1999 al 2005



Figura 19 . Aguas residuales del lavado o mieles de café producidas en el tanque tina mediante cuatro enjuagues y consumos entre 4 y 5 litros de agua/kg cps.

OPERACIÓN DE UN SMTA

(Zambrano *et al.*, (10)).

Para efectos de operar a bajo costo y correctamente un SMTA tenga en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Instale su SMTA lo más lejano de fuentes de agua limpia. En términos generales, el efluente de un sistema de tratamiento de aguas residuales cualquiera, no es apto para consumo humano y requiere para ello postratamiento.
- Evite acumulación de pulpa y granos dentro de la trampa de pulpa, lo cual podría ocasionar obstrucciones, derrames y olores muy desagradables en los alrededores.
- Revise diariamente el interior y el tapón de salida de la recámara de dosificación durante la cosecha de café, con el fin de garantizar un flujo estable y continuo.
- Retire, después de terminada la cosecha de café, los tapones laterales de los RHA₂ y RHA₃, y abra la válvula de purga de aire del RHA₁, para descargar los lodos acumulados en el interior de cada uno de ellos y conducirlos a través de una manguera de polietileno de 2" hasta la excavación que recibe el exceso de líquidos de los RHA. Adicione finalmente agua corriente para favorecer la salida de insolubles y el enjuague interno de esta unidad.
- En caso de obstrucción en las tuberías de los RHA, retire del fondo los tapones acoplados a las "T" que comunican entre sí los RHA, con el fin de permitir la descarga y limpieza interior y realice la conducción de esta descarga de la misma forma que se explicó en el párrafo anterior.
- Inspeccione y retire los insolubles que quedan retenidos en la malla mosquitera que se encuentra dentro de la recámara de dosificación y que impiden el paso de líquido hacia el reactor metanogénico.
- Suspense el paso del líquido mediante el cierre de la válvula que precede a la recámara de dosificación. Espere que descienda el nivel del líquido y que baje el contenido de humedad, lo cual permite retirar la "torta de insolubles" de la malla.
- Retire la malla mosquitera para que se seque y coloque otra malla. La malla seca facilita el desprendimiento por sí mismo del material insoluble adherido (Figuras 20a y 20b).
- Mezcle la torta o material insoluble retenido en la malla con la pulpa que se encuentra en las fosas de manejo, y utilice esta

mezcla como sustrato en los lombricultivos (2).

- Cuando el tapón de salida de la recámara dosificadora, que conduce el agua residual hacia el reactor metanogénico se obstruya con frecuencia, se debe lavar el lecho filtrante y conducir el agua proveniente de este lavado hacia la excavación que contiene los tallos de zoca.



Figura 20. a. Material insoluble retenido en la recámara dosificadora, b. Disposición.

ACIDIFICACIÓN DE LOS REACTORES METANOGENICOS

La correcta inoculación, aclimatación y arranque de un SMTA permiten mantener un buen funcionamiento del sistema. No obstante durante su operación pueden ocurrir períodos de funcionamiento deficiente o “acidificación” en la fase metanogénica, caracterizados porque el líquido de salida alcanza un valor de pH menor que 5, y desprende un olor a «cebolla picante» o a “queso rancio”. Entre las causas conocidas más comunes que lo pueden acidificar están:

- Que al RHA esté llegando otro tipo de residuos, tales como detergentes, jabones o insecticidas procedentes del lavado de las máquinas fumigadoras dentro del tanque de fermentación del café. No hay que olvidar que en los tanques de fermentación o en el canal de correteo sólo se debe lavar café.

TECNOLOGÍA SMTA

a. SIN QUÍMICOS

El SMTA no requiere la adición de reactivos químicos para neutralizar ni para balancear la composición química de las aguas residuales.

El pH del líquido a la entrada y salida del reactor presenta valores cercanos a 4,5 y 6,5 respectivamente. La carga máxima se alcanzó después de 7,5 meses de la inoculación, equivale a 8,75 kgDQO/m³d y una eficiencia de remoción del 77% en términos de la DQO.

b. SIN BOMBAS

El flujo del líquido ocurre por gravedad y no se requieren sistemas de bombeo.

c. SIN CALENTAMIENTO

Las aguas residuales a ser tratadas no requieren calentamiento adicional, ya que el material negro de sus unidades y la alta concentración de las aguas residuales conllevan al uso de bajos caudales, que permiten a la energía solar incrementar la temperatura desde 23 hasta 30-32°C. Por otro lado no consumen energía eléctrica y las unidades que conforman el sistema son cerradas, lo que permite reducir drásticamente los malos olores. Su operación se limita a la inspección y eventual limpieza de los dosificadores (10).

- Que el flujo del agua residual de la recámara de dosificación hacia uno de los RM esté por encima del valor establecido, lo que hace necesario cambiar el tapón por otro con un orificio de diámetro menor que permita ajustar el flujo al caudal de operación de 500 a 600ml/min.
 - Que se estén adicionando sólo los dos o tres primeros enjuagues del lavado del café y esto ocasiona una reducción en volumen pero un incremento en la concentración de las aguas residuales, lo que se traduce en una sobrecarga orgánica en la fase metanogénica. Hay que tener en cuenta que la tecnología de lavado en los tanques de fermentación se efectúa utilizando cuatro enjuagues que permiten tener una concentración global de 27.400 ppm de DQO (concentración de diseño).
 - Que se esté beneficiando diariamente una cantidad superior a 1.700 kg de café en cereza, que corresponden a un día pico del 1,9% de la cosecha anual. Para efectos de cálculo, antes de determinar las características de la construcción de un SMTA, es necesario tener en cuenta si se beneficia café de fincas vecinas con el fin de dimensionar adecuadamente las unidades del sistema.
- Cuando la acidificación del RM es leve (pH entre 5 y 5,9 y moderado mal olor), su recuperación se consigue con sólo suspender el paso de las aguas residuales durante 24 horas o también, dejando pasar agua limpia durante este mismo tiempo.
- Cuando la acidificación del RM es crítica (pH entre 4 y 4,9 y un olor picante y rancio fuerte, mal olor), es necesario suspender el flujo del líquido, cerrando la válvula de paso instalada antes de la recámara de dosificación y luego «lavar los ácidos» pasando lentamente 1 m³ de solución de orina animal o humana (50 litros/m³) ó 1 m³ de solución de urea al 0,1% (1 kg de urea/m³), a través de la manguera que comunica la recámara dosificadora y el reactor metanogénico.
- Después de esta operación se debe interrumpir el paso de aguas hasta el día siguiente, cuando se verifique que el pH del líquido presenta valores por encima de 6 unidades, momento en el cual debe restablecerse el flujo. Si esto no ocurre, es necesario esperar más tiempo para su recuperación.
- La tecnología SMTA ha permitido reducir 34 veces, la capacidad requerida para el tratamiento con respecto a un beneficiadero tradicional, donde se consumen entre 40 y 50 litros de agua/kg cps



SMTA Y LEGISLACIÓN

Durante el período enero y marzo de 2003, el líquido efluente del reactor metanogénico del SMTA, objeto de estudio, presentó una DQO promedio de 3.662 ppm (DBO₅: 1.933ppm). Con este valor puede calcularse para el SMTA una eficiencia de remoción del 86,6% en términos de la DQO (87,8% para DBO₅), teniendo en cuenta que las aguas residuales del lavado del café presentan en promedio una concentración inicial de 27.400ppm. Estas remociones y sus pH de salida superiores a 5 unidades, están acordes con lo exigido en el decreto 1594 de 1984, del Ministerio de Salud (6). De la remoción total, el 61,11% se efectuó en el reactor metanogénico y el 38,89 % restante en el reactor hidrolítico acidogénico y el tanque de dosificación. Tales remociones reducen en igual proporción el pago de tasas retributivas contemplado en el decreto 3440/2004 del Ministerio del Medio Ambiente (4).



DIFUSIÓN DE TECNOLOGÍA

Desde el mes de Septiembre del año 2004 CENICAFÉ participa en el programa SEMBRADORES DE PAZ, el cual es patrocinado y organizado por la AGENCIA ESPAÑOLA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL, la Fundación para el Análisis y los Estudios Sociales, la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y el Comité Departamental de Cafeteros del Magdalena. Este programa es ejemplo de la adopción masiva de las tecnologías Tanque Tina y SMTA, durante el cual se dio capacitación en diseño y operación de los SMTA, tanto para maestros de obra como para Extensionistas del Comité, con el fin de atender las necesidades tecnológicas de 574 productores de café orgánico de la Sierra Nevada de Santa Marta (Figura 21).

IMPACTO

Un análisis realizado sobre el impacto de esta adopción tecnológica en la Sierra Nevada de Santa Marta, permite concluir que los SMTA a instalar en las 574 fincas de esta zona, economizarán alrededor de \$ 21.300 millones de pesos a este parte del sector cafetero, frente al uso de las tecnologías convencionales de tratamiento de estos residuos, utilizadas en otros países que producen cafés suaves lavados. Igualmente, con una producción cafetera anual estimada para esta zona en 2'821.641 kg cps (0,38% de la cosecha nacional), la economía anual de agua por la tecnología de lavado de café en los Tanques Tina, será del orden de 56,4 millones de litros de agua limpia, que permiten suplir las necesidades diarias de agua en una ciudad de 378 mil habitantes.

para despulpar, transportar la pulpa, lavar y clasificar el café. En un beneficiadero con despulpado y transporte de pulpa sin agua y con un consumo de agua de lavado entre 20 y 25 litros de agua/kg cps, se necesitaría aumentar 13 veces más la capacidad de tratamiento concebida para los SMTA.

Se calculó que el efecto erosivo de las aguas efluentes del SMTA, a causa de la descarga por aspersión sobre un área específica, equivaldría a la aplicación de una precipitación de lluvia diaria de 0,015 mm sobre 5 ha de cafetal. Para el cálculo se tomaron para el día pico 750 litros de



Figura 21. Cursos de capacitación en SMTA. Programa SEMBRADORES DE PAZ Sierra Nevada de Santa Marta. Abril de 2005.

efluente tratado por día en el SMTA. Dicha “precipitación” resultaría equivalente entre 130 y 325 veces menor que la tasa de evapotranspiración dentro del cafetal, que para las condiciones de Chinchiná, se estima entre 2 y 5 mm en días sombreados y soleados, respectivamente (10).



VERSATILIDAD DE LOS MONTAJES

Con la tecnología SMTA planteada aquí y la planteada en el Boletín Técnico N° 20, para el Tratamiento de las aguas residuales del lavado del café, se obtienen eficiencias de remoción de contaminación acordes con lo exigido en la Legislación Colombiana, independientemente si se emplean todos los reactores construidos en polietileno (RHA/RM: 6 m³/4 m³), o construidos en plastilona y fibra de vidrio (RHA/RM: 8 m³/2 m³), o construidos en plastilona y polietileno (RHA/RM: 8 m³/2 m³).

ESCALAMIENTO DE UN SMTA

Esta publicación corresponde a un diseño modular escalable de SMTA, para una finca con producción anual de 1.500 arrobas (18.750 kg) de café pergamino seco y semana pico del 8,3% de la cosecha anual. Para otras producciones anuales y períodos de cosecha, es necesario ajustar correctamente en cada una de las fases los volúmenes del RHA y el RM. Como guía se puede tener en cuenta lo siguiente:

a. Para fincas con producciones mayores a 1.500 @cps/año.

El volumen total de la fase Hidrolítica/acidogénica **VRHA** (m³) se puede calcular mediante la expresión:

$$VRHA = 0,000405 * Sp * Pa$$

Donde:

Sp es producción en la semana pico (%).

Pa la producción anual de café pergamino seco (@ cps).

Se debe tener en cuenta que aproximadamente las dos terceras partes de esta capacidad se destinan a la bioquímica de la Hidrólisis/acidogénesis de las aguas mieles, y la tercera parte restante al almacenamiento del agua residual producida en el día pico, obtenida con un consumo entre 4 y 5 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco. Para el caso de estudio, el tubo del interior de los RHA, cuya altura es de 52 cm, es el que permite tener esas proporciones de capacidades bioquímicas y

de almacenamiento en todos los RHA (Figuras 1 y 5). A su vez la fase metanogénica **requerirá como mínimo** un volumen de reactores **VRM** (m³) calculado de acuerdo con la expresión:

$$VRM (m^3) = 0,000296 * Sp * Pa$$

b. Para fincas con producciones menores a 1.500 @cps/año.

En la Tabla 1 se muestran los volúmenes de los tanques que se deben usar para el montaje de un SMTA en fincas con producciones menores a 1.500@cps/año. Está referida a un intervalo máximo de café cereza beneficiado por día.

Se muestra su equivalente anual en términos de @ de cps calculadas para un día pico de 1,9% de la cosecha anual.

Las recámaras de dosificación para los sistemas derivados de esta tabla continuarán construyéndose sólo con tanques plásticos de 250 litros.



MINERALIZACIÓN DE LAS MIELES DEL CAFÉ

Durante la biodigestión anaerobia se presenta una mineralización del nitrógeno y fósforo orgánico, elementos que en esta forma son asimilados directamente por las plantas, y que hacen posible la utilización de los lodos anaerobios como fertilizantes. En investigaciones realizadas en Cenicafé se ha encontrado en los efluentes del SMTA, una relación N/DQO y PO₄/DQO de 0,18 y 0,013, respectivamente, y se observó un excelente desarrollo en plantas cuando el efluente de los SMTA fue utilizado como única fuente de nutrición vegetal, en especies tales como el jacinto acuático o buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), el repollito de agua (*Pistia stratiotes*), la enea (*Typha angustifolia*), la salvinia (*Salvinia auriculata*) y la azolla (*Azolla filiculoides*)(7).

Tabla1. Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio para productores de menos de 1.500 @cps/año

Café beneficiado Día pico (kg cc/día)	Producción equivalente Anual (@cps) ***	RHA	RM**
		Nº de tanques	Nº de tanques
* 1.710 - 1.251	1.500 - 1.101*	3 de 2.000 L	2 de 2.000 L
1.250 - 834	1.100 - 751	3 de 2.000 L	3 de 1.000 L
833 - 626	750 - 551	3 de 1.000 L	1 de 2.000 L
625 - 418	550 - 401	3 de 750 L	2 de 750 L
417 - 314	400 - 301	3 de 500 L	1 de 1.000 L
313 - 209	300 - 201	2 de 750 L	1 de 750 L
208 - 105	200 - 101	1 de 1.000 L	1 de 500 L
104 ó menos	<100	1 de 500 L	1 de 250 L

* SMTA objeto de estudio (1.500 @cps/año)

** En el mercado se encuentran disponibles tanques negros de polietileno para fabricar los RM de un SMTA, con capacidades de 2.000, 1.000, 750, 500 y 250 litros.

*** Producción calculada a partir de un día pico del 1,9%



INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCIÓN DE COSECHA

Para el caso de estudio realizado en Cenicafé, con semana pico de 8,3% de la cosecha anual y producción de 1.500 @cps/año, los volúmenes de RHA y RM se incrementan o disminuyen proporcionalmente al cambio porcentual de la semana pico. Por ejemplo, para una semana pico del 10% los volúmenes de los reactores se incrementan en un 20% y para una semana pico del 6% se disminuye en un 27,7%.



MÍNIMA EMISIÓN DE GASES

Durante el tratamiento de las aguas mieles del café con los SMTA se genera biogás combustible compuesto principalmente por metano (65 -75%). Para el módulo de tratamiento SMTA objeto de estudio, en una finca con una producción anual de 1.500 @ de café pergamino seco, se estima que la cantidad de metano que se genera a partir de las aguas mieles en este módulo, es casi la cantidad (0,9 veces) de metano que se produce anualmente a partir de las excretas de **una sola** cabeza de ganado vacuno.



EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO

¿ Qué capacidades deben tener los componentes de un SMTA, y cuántos tanques de polietileno se necesitan para construirlo, en fincas con producciones anual es de 4.800 @ cps (60.000 kg cps) y semana pico o de máxima producción de 9,9% sobre la cosecha total?

$$\begin{aligned} \text{VRHA (m}^3\text{)} &= 0,000405 * \text{Sp (\%)} * \text{Pa (@cps)} \\ &= 0,000405 * 9,9 * 4.800 \\ &= 19,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{VRM (m}^3\text{)} &= 0,000296 * \text{Sp (\%)} * \text{Pa (@cps)} \\ &= 0,000296 * 9,9 * 4.800 \\ &= 14,1 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

R : Se necesitarán 4 tanques de 5.000 litros para el RHA y 7 tanques de 2.000 litros para el RM.



RECUERDE

- Antes de instalar un sistema modular de tratamiento anaerobio (SMTA) debe revisar el recorrido del agua, paso a paso, dentro del beneficiadero para evitar un uso irracional o innecesario dentro de las etapas del proceso:
 - a. Verifique que el despulpado y transporte de la pulpa y del café en baba se realice sin agua.
 - b. Verifique y ajuste, si es necesario, que el consumo de agua para lavar el café esté en el rango de 4 a 5 litros de agua/kg cps.
- La trampa de pulpas juega un papel muy importante en el buen desempeño hidráulico del SMTA. Verifique permanentemente su perfecto funcionamiento.
- Al construir el SMTA inicie con los reactores metanogénicos, a fin de aprovechar los tanques de los reactores Hidrolíticos-Acidogénicos para preparar los inóculos correspondientes.
- La vida útil de la excavación rellena con tallos de zoca, a donde se conducen los reboses y las purgas de lodos, depende de las propiedades físicas del suelo. Una vez se presente obstrucción total de la misma, clausúrela cubriéndola con tierra y reemplácela por otra.
- Los SMTA han sido diseñados para el tratamiento exclusivo de las aguas residuales del lavado o mieles del café. **Por ningún motivo** permita que ingresen a él aguas provenientes del lavado de máquinas, lavado de tanques, lavado del beneficiadero, entre otras. Canalice estos lavados hacia la excavación construida para la disposición de los reboses y purgas de lodos.
- La economía de tratar aguas residuales del lavado o mieles del café radica, en gran parte, en la operación correcta de estos sistemas.
- Los tanques de polietileno que constituyen los componentes del SMTA deben permanecer tapados correctamente. Taparlos inadecuadamente reduce drásticamente la vida útil de las tapas, creando problemas de deformación de las mismas y de la parte superior de los tanques.
- Para prevenir la proliferación de insectos en el interior de los tanques, se recomienda pegar una banda de espuma de 2 cm de ancho y 1 cm de espesor a lo largo del borde superior del tanque que entra en contacto con la tapa, bloqueando el intercambio gaseoso y la entrada y salida de insectos.
- Para calibrar el caudal en los SMTA puede utilizarse un envase plástico de gaseosa de 600 ml, hasta que en 1 minuto se recolecte un volumen que esté 5 cm por debajo del cuello de la botella.

COSTOS

En la Tabla 2 se presentan los costos a enero de 2006, de cada uno de los componentes del SMTA, operando con reactores metanogénicos fabricados en fibra de vidrio y reactores Hidrolíticos-Acidogénicos en plastilona (10), y con reactores hidrolíticos-Acidogénicos y metanogénicos fabricados en polietileno.

La adopción de los tanques de polietileno en la construcción de reactores Hidrolíticos-Acidogénicos y Metanogénicos, permite reducir 54,1% de los costos de inversión de los SMTA. Si para el SMTA se asume una vida útil de 10 años, podemos calcular la remoción de un kilogramo

de DQO en \$110 pesos colombianos.

En la Tabla 3 se desglosa detalladamente la lista de materiales necesarios para la construcción de un SMTA, para el caso de estudio, una finca con una producción anual de 1.500 @cps y semana pico del 8,3%.

Tabla 2. Costos de un Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA) para aguas residuales del lavado o mieles de café*

	SMTA Convencional Fibra de vidrio –Plastilona IKL (\$ colombianos)	SMTA Polietileno (\$ colombianos)
Reactor Hidrolítico Acidogénico		
Plastilona IKL-500	760.000	-
Tubería y accesorios	75.300	321.650
Mano de obra (2 jornales)	40.000	40.000
3 Tanques de polietileno x 2m ³	-	673.008
Recámara dosificadora		
Materiales de construcción	283.930	140.210
Mano de obra	60.000	60.000
Tanque de polietileno x 250 L	-	58.113
Reactor Metanogénico		
Tubería y accesorios	102.594	212.450
Botellas plásticas	-	49.000
Mano de obra	60.000	40.000
Tanque fibra vidrio 2 m ³ +IVA	3'039.000	
2 Tanques de polietileno x 2m ³	-	448.672
Manguera polietileno reciclado 1½" X 50 m	70.000	70.000
TOTAL	\$ 4'604.480	\$ 2'113.103

*Costos estimados a enero del 2006

Tabla 3. Materiales de construcción necesarios para el montaje de un SMTA para una finca cafetera con producción anual de 1.500 @cps en la zona de Chinchiná, Caldas.

6	Abrazaderas de correa de 1½"
5	Acoples machos de polietileno de 1½" a 1½"
1	Adaptador hembra PVC presión de ½"
1	Adaptador macho PVC presión de ½"
17	Adaptadores hembra de PVC presión de 1½"
18	Adaptadores machos de PVC presión de 1½"
1	Adaptadores machos PVC presión de 1"
2	Arandelas de ½" en neumático
2	Arandelas de ½" en PVC
26	Arandelas de 1½" en neumático
26	Arandelas de 1½" en PVC
2	Arandelas de 1" en neumático
2	Arandelas de 1" en PVC
980	Botellas plásticas no retornables X 2,5 litros
6	Codos PVC presión de ½"
21	Codos PVC presión de 1½"
9	Codos PVC presión de 1"
1/8	De limpiador PVC
1/8	De pegante PVC
2	Discos en PVC de 1½" con 38 perforaciones de 7/32"
2	Kilos de cal masilla
800	Litros de estiércol del ganado vacuno
0,2	m³ de piedra caliza o gravilla de río
2	Metros de malla mosquitera
XXX	Metros de manguera de polietileno de 1½" según el terreno
3	Reducciones PVC presión de 1½" a 1"
3	Rollos de cinta teflón
7	Semicodo PVC presión de 1½"
1	Tanque multiusos Acuaviva Colombit X 250 litros con tapa (H 65cm)

1	Tanque polietileno x 105 litros (opcional a mampostería)
5	Tanques multiusos Acuaviva Colombit de 2.000 litros
2	Tapones copa PVC presión de 1/2"
5	Tapones roscados PVC presión de 1 1/2"
1	Tee PVC presión de 1/2"
5	Tee PVC presión de 1 1/2"
2	Tee PVC presión de 1"
1	Tubo PVC presión de 1/2" de 2 metros de largo
1	Tubo PVC presión de 1" de 2 metros de largo
3	Tubos PVC presión de 1 1/2" de 6 metros de largo
1	Válvula de bola de 1" PVC
1	Válvula flotador de 1" construido en PVC
1	Válvula de bola de 1 1/2" PVC
3	metros de manguera de polietileno de 1/2"

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Colombit S.A. de Manizales y a su gerente, Dr. Felipe Montes Trujillo por la donación de los tanques de polietileno, que se adaptaron como reactores anaeróbicos para llevar a cabo este estudio.

A los auxiliares Gloria Piedad Alzate Palacio y Nelson Cardona Patiño de la cooperativa Cootraserva de Chinchiná, por su colaboración durante la ejecución de esta investigación.

LITERATURA CITADA

1. ÁLVAREZ G., J. Despulpado de café sin agua. Avances Técnicos Cenicafé N° 164: 1-6. 1991.
2. DÁVILA A., M. T.; RAMÍREZ G., C. A. Lombricultura en pulpa de café. Avances Técnicos Cenicafé N° 225: 1-11. 1996.
3. OROZCO R., P. A. Arranque y puesta en marcha de un reactor metanogénico tipo UAF para el tratamiento de las aguas residuales del lavado de café. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. (Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Química). Cenicafé. Disciplina de Química Industrial. 2003. 93 p.
4. REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto Número 3440. Bogotá (Colombia). 2004. 4 p.
5. REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ministerio del Medio Ambiente. Decreto Número 901. Santafé de Bogotá (Colombia). 1997. 14 p.
6. REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de Salud. Decreto Número 1594. Santafé de Bogotá (Colombia). 1984. 48 p.
7. RODRÍGUEZ V., N. Tratamiento de residuos líquidos y sólidos de los procesos del café. Diseño y evaluación de un sistema de depuración de las aguas residuales del beneficio del café, con base en postratamientos con plantas acuáticas de aguas tratadas anaerobiamente. In: Resumen del Informe anual de Actividades. Cenicafé 2004-2005, p 157-158. Chinchiná (Colombia). 2005. 183 p.
8. URIBE, A.; LAVERDE, B. Distribución anual de la cosecha de café. Avances Técnicos Cenicafé N° 16: 1-4. 1972.
9. ZAMBRANO F., D. A. Tratamiento de aguas residuales. Utilización de botellas no retornables en los reactores metanogénico de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio, SMTA. In: Resumen del Informe anual de Actividades. Cenicafé 2002-2003, p 118-119. Chinchiná (Colombia). 2003. 173 p.
10. ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U. Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Boletín Técnico Cenicafé No. 20: 1-26. 1999.
11. ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., 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.
12. ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D. Lavado del café en los tanques de fermentación. Revista Cenicafé (Colombia) 45(3):106-118. 1994.
13. ZAMBRANO F., D. A.; ZULUAGA V., J. Balance de materia en un proceso de beneficio húmedo del café. Cenicafé 44(2): 45-55. 1993.
14. ZAMBRANO F., D. A. Fermente y lave su café en el tanque tina. Avances Técnicos Cenicafé No 197: 1-8. 1993.