

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA –
COMITÉ DEPARTAMENTAL DE CAFETEROS DE SANTANDER



IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DEL CAFÉ EN EL DEPARTAMENTO DE
SANTANDER

BUCARAMANGA, JUNIO DE 2017

Las Investigaciones de Cenicafé sobre el Manejo Integral del Agua.

A partir de 1984 y hasta la fecha, las investigaciones de Cenicafé, se intensificaron en el manejo integral del agua utilizada en el proceso de beneficio, lo que involucro el diagnostico de la contaminación generada en el proceso (Zambrano y Zuluaga, 1993), el balance de materia en términos de contaminación orgánica, en el proceso de beneficio húmedo del café, la racionalización del agua limpia utilizada en el proceso (Álvarez, 1991, Zambrano, 1993, Roa et al., 1999), el tratamiento primario, secundario (Zambrano et al., 1999; 2006; 2010) y postratamiento de las aguas residuales generadas (Rodríguez, 2009) y la utilización integral de los subproductos para generar productos de valor agregado (Dávila, Ramírez, 1996; Rodríguez y Jaramillo, 2005).

Cenicafé ha desarrollado diferentes tecnologías que permiten atenuar el impacto ambiental de los subproductos en el proceso de beneficio. Son éstas:

1) Racionalización del agua en el despulpado y transporte de café en baba y la pulpa del café.

La factibilidad técnico económica para la implementación de sistemas de tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café, depende en gran medida de la simplicidad y confiabilidad del sistema, así como del volumen y la carga orgánica del residuo a tratar. En consecuencia, la no utilización de agua para transportar pulpa y la racionalización del consumo de agua en la operación de lavado, permiten reducir la contaminación y el volumen de agua que es necesario tratar.

La sola practica de despulpar y transportar la pulpa sin agua elimina el 73,7 % de la contaminación potencial de los subproductos del beneficio húmedo de café.

Se debe eliminar el uso del agua para despulpar, para el transporte hidráulico de la pulpa a las fosas y el transporte de café en baba a los tanques de fermentación.

2) Racionalización del agua en lavado y clasificación del café

Cuando la eliminación del mucilago se realiza por fermentación natural del café en baba, transportando al tanque de fermentación, sin agua, el uso eficiente y racional del agua durante el lavado del café permite reducir el 80% del consumo de la misma frente al lavado convencional (Zambrano e Isaza, 1994).

Para efectuar dicho control se implemento la práctica de realizar cuatro enjuagues para lavar el café dentro de los tanques de fermentación, a los cuales se les redondearon las aristas con el fin de optimizar el método y la infraestructura, denominado tanque tina (Zambrano, 1993) con ella el

consumo de agua promedio de esta etapa se reduce a 4,13 L/Kg de c.p.s.
(Zambrano e Izasa, 1994)



Figura 1. Tanques Tina en mamposteria. Sin aristas, sin vértices, con desagues grandes y eficientes.

Fuente. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Cenicafé sede Chinchina.

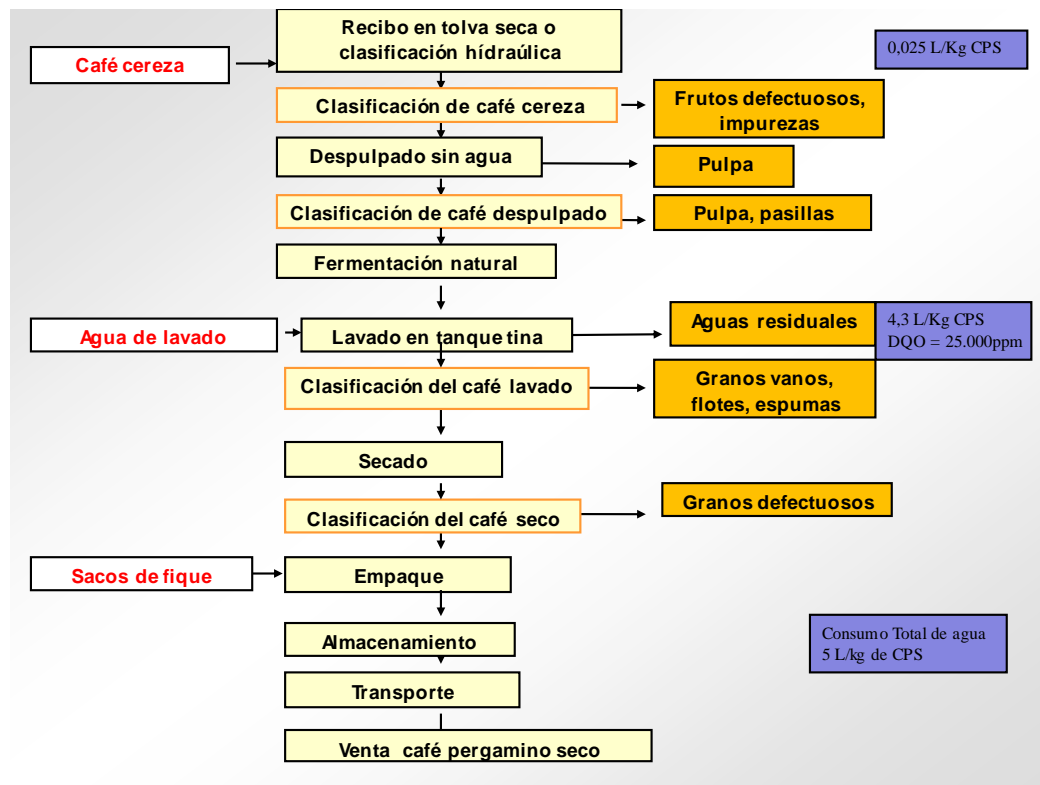


Figura 2: Tanques tina plásticos elaborados con la técnica del rotomoldeo.
Fuente Catalogo de productos de Rotoplast.

Se debe eliminar los canales de correteo los cuales tienen consumos de 20 a 25 L/Kg de c.p.s.

Una vez retirado el mucilago fermentado del café con este lavado, se obtienen las aguas mieles o aguas residuales del lavado del café, las cuales por su característica de alta concentración de contaminación orgánica soluble (25 g/l) se hace necesario tratarlas mediante la digestión anaeróbica, la cual consiste en una fermentación en ausencia de oxígeno, realizada por varios tipos de microorganismos, entre los que se destacan las bacterias metanogénicas, que utilizan los ácidos como sustrato para producir gas metano.

Figura 3: Flujo del proceso de Beneficio Ecológico en tanques de fermentación tipo tina, que utiliza 5 L/Kg de CPS, que genera una contaminación entre 10,6 y 30 g DQO por Kilo de Fruto.



3) La Tecnología Becolsub (Beneficio Ecológico del café y aprovechamiento de subproductos).

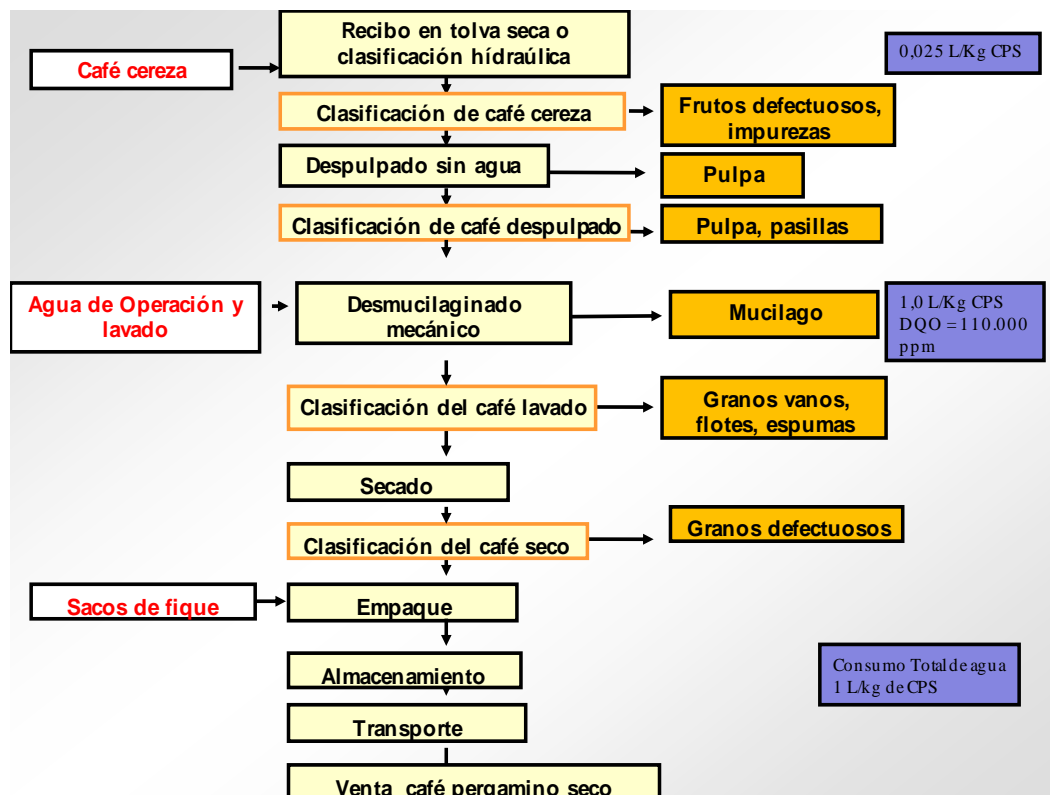
Esta tecnología involucra la utilización de una máquina desmucilagadora y lavadora mecánica, que mezcla en una de sus salidas la pulpa y el mucílago concentrado que se desprende del café en baba, mezcla que en las siguientes horas drena un lixiviado, cuya contaminación global equivale a la mitad de la contaminación que produce el mucilago fermentado y que requiere de un tratamiento anaeróbico.

Por medio de investigaciones desarrolladas en Cenicafé en el campo del beneficio, la utilización y la disposición de subproductos, se ha logrado controlar en parte esta contaminación y reducir el consumo de agua por medio de los desmucilagadores mecánicos, hasta 1 litro de agua por cada kilogramo de café pergamino procesado. En este proceso se obtiene un producto viscoso con alto contenido de sólidos (96 g/l de mucilago), el cual es también altamente contaminante debido a su carga orgánica, la cual equivale a aproximadamente 110.000 ppm de Demanda Química de Oxígeno (DQO); pero al mismo tiempo facilita su aprovechamiento y conversión a nivel agrícola, industrial y pecuario. El mucilago o mesocarpio del fruto de café es la capa que se localiza entre la pulpa y el pergamino, constituida por tejidos hialinos que no contienen cafeína ni taninos ricos en azúcares y pectinas. Representa el 20% el fruto en base húmeda y alrededor del 5% en base seca. El contenido de agua en el mucílago de café varía entre 85 y 90%. La mayor parte de la materia seca está representada por carbohidratos, en particular compuestos pépticos y azúcares reductores y no reductores. El mucilago representa valores del 0,95% de proteínas, 0,08 % de grasas y 0,45 % de cenizas. En mayor proporción se encuentran los elementos K, Ca, Mg y P. El poder calórico del mucilago es bajo, del orden de 500 Kcal/kg y está dado principalmente por el contenido de carbohidratos.

(Adriana Garavito Rozo y Gloria Inés Puerta Quintero, 1998)

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

Figura 4: Flujo del proceso de Beneficio Ecológico con Becolsub que genera una contaminación cercana a 115 g DQO por Kg de fruto.



4) La Tecnología Ecomill.

Recientemente para atender las necesidades de caficultores que en Colombia utilizan el proceso de fermentación natural, así como los requerimientos de compradores de café en el exterior que exigen café procesado con fermentación natural, y los cambios en la legislación ambiental en Colombia (Decreto 3930 de 2010), que limita drásticamente los vertimientos puntuales permisibles de los efluentes de los beneficiaderos, Cenicafé desarrolló la tecnología ECOMILL®, en la cual se lava mecánicamente café con mucílago degradado en el proceso con fermentación natural o con aplicación de enzimas, con reducción notoria en el volumen específico de agua (VEA) hasta valores entre 0,3 y 0,5 L.kg-1 de c.p.s. Debido al bajo VEA, las ARL altamente concentradas se pueden mezclar con la pulpa del café, reteniendo más del 95% del volumen adicionado y controlando hasta el 100% de la contaminación generada en el proceso. Actualmente, se tienen tres modelos con capacidad para 500, 1.500 y 3.000 kg.h-1 de café lavado. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2013)

Figura 5. Modelo Ecomill 500.

Conformado por tanque en acero inoxidable para la fermentación del café y lavador poco agresivo para remover la miel del café con un consumo de agua de 0,3 litros de agua por cada kilo de café.



Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Chinchina Caldas.

5) Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales del café

El café colombiano lleva implícita una característica de calidad, que se asocia al proceso húmedo de los frutos, donde inevitablemente se requiere de la utilización de agua, que lo enmarca dentro de la categoría conocida como “Cafés suaves lavados”.

Las propuestas de Cenicafé para el tratamiento de aguas residuales son:

Fosas modificadas tipo invernadero

El despulpado y transporte de la pulpa sin agua a fosas techadas, indudablemente se constituye en la acción preventiva más importante, ya que esta sola práctica evita el 72% de la contaminación potencial hacia las fuentes de agua, dándose la posibilidad de transformar la pulpa en abono orgánico de alto valor agregado.

Se modifican las fosas o procesadores tradicionales, cambiando su piso, techo y sus paredes con cubiertas de plástico tipo agroleno, para

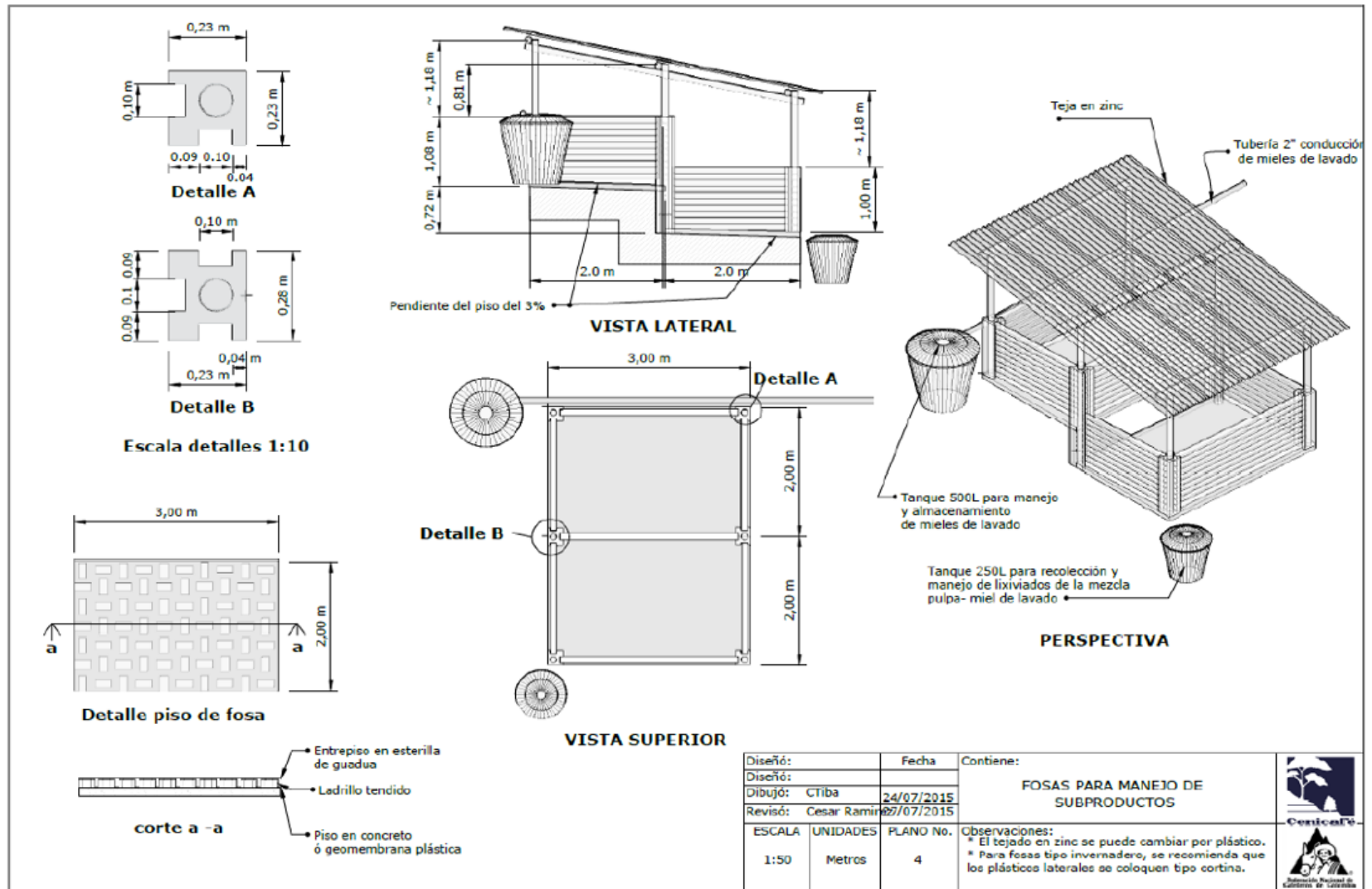
aprovechar el efecto invernadero para secar rápidamente pulpas mezcladas con aguas mieles o con mucilagos.



- Foto: Fosas con cubierta plástica en sus techos y/o paredes para secado rápido de la pulpa.

Fuente: Documento Protocolo para el diseño, construcción y funcionamiento de fosas de pulpa tipo invernadero para reúso de las aguas residuales del café

El reúso de las aguas residuales del café en la producción de abono orgánico permite acelerar los procesos de descomposición de los materiales orgánicos y la generación de un abono orgánico enriquecido con los nutrimentos de las aguas residuales, para ser aprovechado en la producción agrícola de la finca. Adicionalmente, se evitarían los costos relacionados con el tratamiento de aguas residuales como son: 1. El permiso de vertimientos (cuyo costo es cercano a los \$80.000 cada 5 años), 2. Las caracterizaciones anuales (exámenes de aguas) de los vertimientos (costo cercano a los \$ 200.000), 3. El pago de la visita anual de funcionarios de la Corporación Autónoma Regional (costo cercano a los \$ 200.000), 4. El pago de la tasa retributiva, 5. La inversión en la planta de tratamiento de aguas residuales y 7. Los gastos de mantenimiento de la planta.



ssalslsI

Las fosas tienen adicionalmente dos tanques uno para acumular las aguas de lavado para riego sobre la pulpa y otro para recoger los lixiviados de la mezcla pulpa y mieles.

Un Modelo de riego de las aguas mieles a la pulpa de café ha sido desarrollado por Cenicafé, el cual consiste en un tanque receptor y un sistema de flujo lento del agua hacia una estructura de pvc en forma de espina de pescado perforada que permita un riego bien distribuido sobre la primera fosa. Es necesario adicionalmente utilizar un material orgánico secante como la hojarasca de guamos muy abundante en la zona cafetera de Santander.





Foto Sistema de Riego de aguas mieles o lixiviados a la pulpa.

SMTA: Sistemas Modular de Tratamiento Anaeróbico.

El 28% restante de la contaminación la genera el mucilago, y su disposición se orienta hacia el tratamiento utilizando Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico (SMTA), en pequeñas y medianas fincas cafeteras, que remueven el mucilago por fermentación natural y utilizando el tanque tina para lavar el grano, con consumos de agua entre 4 y 5 L/kg de c.p.s. (Zambrano, et al., 2010) esta práctica ha de acompañarse con un postratamiento, que permita atenuar el impacto ambiental sobre los organismos acuáticos e incrementar las eficiencias de remoción de la contaminación orgánica del agua residual (Rodríguez, 2009) desde el 80% con solo SMTA, hasta cerca del 95% utilizando humedales artificiales con macrófitas acuáticas.

Los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico han sido desarrollados por Cenicafé para reducir más del 80% de la contaminación presente en las aguas residuales de lavado o “mieles del café”, las cuales se originan en beneficiaderos que retiran el mucilago o la baba del café por el método de fermentación natural alcanzando remociones de carga orgánica que permiten cumplir la legislación colombiana en el decreto 1594 de 1984 y el el decreto 3930 de 2010. Además de esta manera es posible reducir el pago de las Tasas Retributivas, por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, consignados en los Decretos 901 de 1997 (MinAmbiente, 1997) y 2667 de 2012 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

La tecnología SMTA representa una contribución ambiental, económica y social a la caficultura colombiana, dado que permite minimizar el impacto ambiental que sobre el ecosistema cafetero tienen las aguas mieles.

Los SMTA involucran una tecnología de tratamiento biológico con separación de fases hidrolítica - acidogénica en la remoción de carga orgánica; no utiliza energía eléctrica para bombeo del agua residual, el flujo se hace por gravedad, aprovechando la topografía de la zona cafetera colombiana; utiliza unidades prefabricadas de polietileno negro con tapa, que permite elevar la temperatura hasta 30°C al interior de los tanques, favoreciendo los procesos biológicos y controlando la presencia de malos olores en los alrededores; utiliza microorganismos metano génicos presentes en el estiércol vacuno o porcino, responsables de la etapa principal del tratamiento de las aguas mieles, y trozos de guadua o de botellas plásticas no retornables que favorecen la permanencia de los microorganismos en el sistema (Orozco, 2003).

En los SMTA los costos operativos son bajos, porque solo requieren de inspección y retiro de insolubles para garantizar el flujo libre, desde una recamara de dosificación de liquido por gravedad que el sistema posee.

Componentes de los SMTA

Un Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico está compuesta por Figura. No.

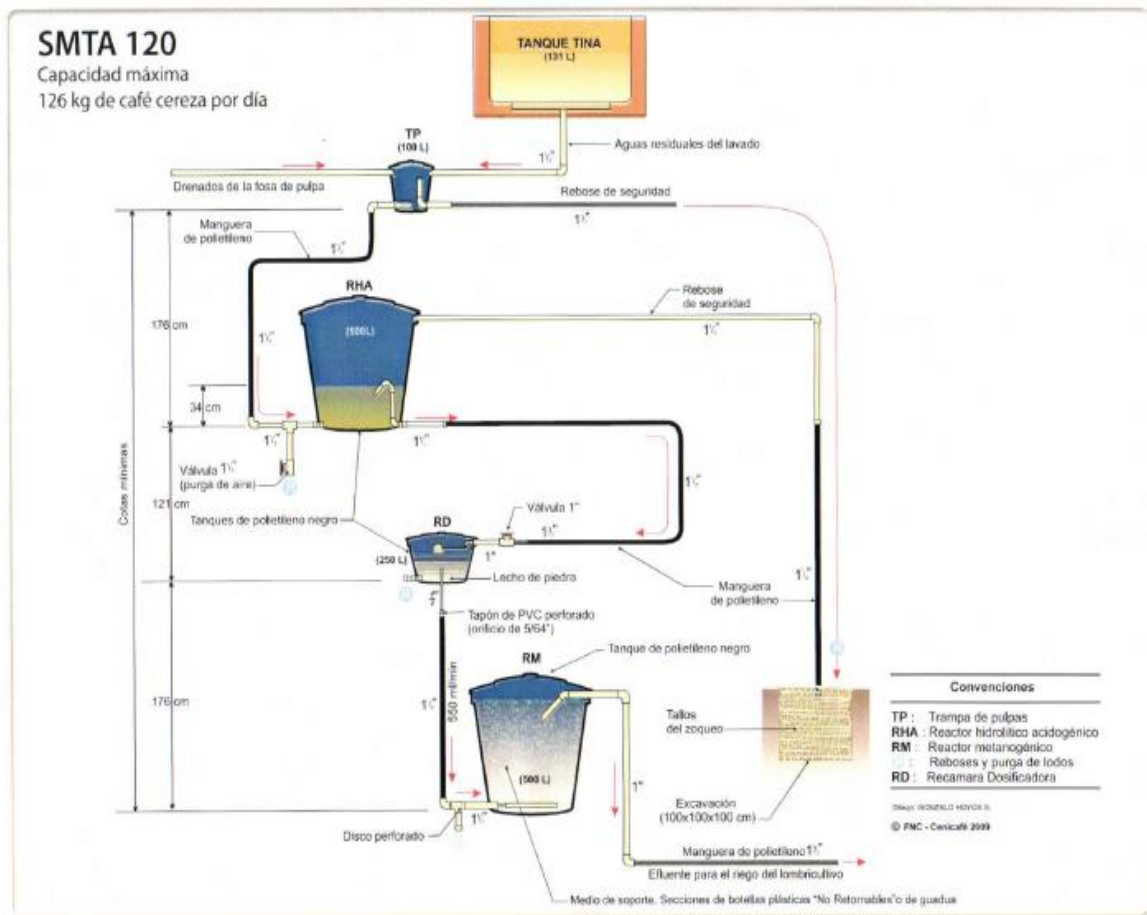


Figura. SMTA capacidad 120 para fincas con día pico entre 73 y 126 kilos de café.

- Una trampa de pulpas, que evita la entrada de material suspendido con tamaños de partícula superiores a 5 mm y cuya acumulación puede ocasionar taponamiento de tuberías.
- Reactores Hidrolíticos Acidogénicos (Uno o varios tanques), en los cuales ocurre la solubilización del material orgánico suspendido.
- Cámara dosificadora, (uno o más tanques) que permiten la retención del material orgánico particulado no solubilizado y el control del caudal del sistema.
- Reactores metano génicos (uno o más tanques), llenos con trozos de guadua o de botellas no retornables (sin puntas y fondos) en los cuales se establecen los microorganismos metano génicos, que transforman la contaminación orgánica soluble en biogás, permitiendo eliminar de esta forma más del 80% de la contaminación orgánica presente en las aguas mieles que llegan al sistema.

Selección del Tamaño del SMTA

El primer paso consiste en determinar la coantidad de café cereza recolectado en el día de máxima producción. El segundo paso es adoptar el despulpado y transporte de la pulpa sin agua. El tercero, medir y ajustar, si es necesario la cantidad de agua para lavar el café proveniente de la fermentación del mucilago, de tal forma que el consumo de agua esté entre 4 y 5 L/Kg c.p.s., para lo cual se recomienda utilizar la técnica de los cuatro enjuagues como está establecido para el tanque tina, lo que permite obtener el volumen y la concentración orgánica en las aguas mieles, apropiados para el tratamiento de los SMTA.

Volumen de las aguas mieles.

Para que un SMTA opere correctamente, es necesario que el café procedente del proceso de fermentación del mucílago, se lave en el tanque de fermentación (4 lavados) o en canal de correteo, con un consumo de agua entre 4 y 5 l/Kg cps. Si este consumo es mayor se requiere construir un SMTA de mayor capacidad, lo que incrementaría los costos del tratamiento de las aguas mieles pero si es menor, se tendría una sobrecarga orgánica que afectaría negativamente el proceso biológico del tratamiento. Lo anterior, es la causa principal y más frecuente del mal funcionamiento de un SMTA.

Instalación de los SMTA

El agua residual generada en la etapa de lavado y los lixiviados de la pulpa se debe conducir a una trampa de pulpas. Una salida con las aguas

mieles, a 10 cm del fondo de la trampa de pulpas, se conduce al primer tanque o reactor hidrolítico, una segunda salida es un rebose de seguridad, por debajo del nivel de entrada de aguas mieles y drenados de la pulpa, que tiene los sólidos suspendidos. La descarga del rebose de seguridad, se conduce mediante manguera de polietileno de 1 1/2" a una excavación de 1 m x 1 m x 1 m lleno de trozos de tallos de zoqueo de café para su infiltración.

Para permitir el flujo por gravedad de las aguas mieles desde la trampa de pulpas hasta las unidades hidrolíticas, recamaras dosificadoras y reactores metano génicas, es necesario cumplir con las cotas mínimas las cuales son 75 cm de diferencia de menor altura desde el fondo del tanque anterior a la tapa del siguiente tanque.

Con la producción diaria de máxima cosecha, en kilogramos de café cereza, en la tabla 1 se selecciona el prototipo de SMTA, según el rango de cobertura, lo mismo que el tamaño del tanque de fermentación/lavado correspondiente a ese prototipo.

Para las fincas con producciones diarias de café superiores a 1.710 Kg de café cereza (cc) se mantienen los mismos tamaños de la trampa de pulpas y la excavación con tallos de café.

Para calcular el volumen necesario de los reactores hidrolíticos se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{RHA} = 0,000405 \times Sp \times Pa.$$

Donde:

V_{RHA} = Volumen total de la fase hidrolítica/ácido génica, en m³.

SP: porcentaje de café cereza beneficiado en la semana pico respecto a la cosecha anual.

Pa: Producción anual de café pergamino seco, en arrobas de c.p.s.

El volumen obtenido, mediante la aplicación de la Ecuación, se puede dividir por dos para calcular el número de tanques de 2 m³ que se necesitan, o por cinco si se desean utilizar tanques de 5 m³ o por diez si se desean usar tanques de 10 m³.

Para la recamara dosificadora se siguen utilizando tanques de polietileno de 250 L de capacidad y 65 cm de altura. Para calcular el número de tanques, se debe tener presente que una recámara dosificadora permite alimentar hasta cinco reactores metano génicos.

Inoculación y arranque del SMTA

Una vez instalado el SMTA es necesario adecuar el reactor metano génico, el cual es la unidad más importante del sistema de tratamiento, para permitir el apropiado desempeño de los microorganismos

depuradores. En este componente ocurre la etapa final de la digestión anaerobia, en donde la contaminación soluble en forma de ácidos es transformada en biogás, por la acción de los microorganismos metano génicos.

Una vez realizadas todas las conexiones en el reactor metano génico se procede a llenar su interior con tercios de botellas retornables o trozos de guadua, cortados en cilindros de 15 cm, de forma que sirvan de medio de soporte para las bacterias metano génicas, para que no sean arrastradas con el agua tratada que sale del reactor, lo que haría que se perdiera la eficiencia en el proceso de depuración.. En la tabla se presentan las cantidades de medio de soporte que se requieren para los diferentes tamaños de las unidades metano génicas que forman parte de los diferentes prototipos.

El siguiente paso consiste en la preparación del inóculo denominado “caldo microbiano metano génico”, el cual puede prepararse en un tanque aparte, para facilitar su homogenización. En la preparación del inóculo se utilizan los ingredientes y cantidades indicadas en la tabla 3, de acuerdo con la capacidad del tanque metano génico.

El inóculo consta de una fuente de microorganismos metanogénicos, para ellos se debe utilizar estiércol fresco, vacuno o porcino, el cual se disuelve en agua en relación 1:1, acompañado de una agitación fuerte y constante, que permita homogenizar la mezcla, la cual se adiciona al reactor metano génico.



Figura- preparación de un Tanque Reactor Metano génico.

Para favorecer el crecimiento de los microorganismos metano génicos, solamente durante la instalación del SMTA, se recomienda adicionar una

fuelle de carbono, una fuente de nitrógeno para equilibrar la relación C/N y un neutralizante que permita obtener un pH cercano a 7.

La adición de las fuentes se realiza una sola vez a través de la recámara dosificadora.

Si es necesario se adiciona agua hasta cubrir por completo el material de empaque del reactor metano génico. Finalmente, se debe tapar el reactor metano génico durante 3 semanas, al cabo de las cuales inicia con la etapa de arranque del sistema de tratamiento.

La etapa de arranque tiene como propósito permitir el crecimiento y la adaptación de los microorganismos metano génicos provenientes del estiércol de cerdo a vacuno, a las aguas mieles del café sin necesidad de neutralizarlas, por lo que es imprescindible respetar las recomendaciones relacionadas con la alimentación del sistema, según el tamaño de los reactores. El proceso de arranque tiene una duración de 10 semanas. En la tabla se presentan los tiempos que debe operar la planta, con el agua residual generada durante la etapa de lavado, entre los días 1 a 70, después de este tiempo mantener constante la alimentación del sistema.

STLB Sistemas de tratamiento Primario para lixiviados provenientes del Becolsub.

Para productores cafeteros grandes que utilizan el desmucilaginado mecánico y la mezcla del mucílago con la pulpa en las fosas modificadas con cubiertas plásticas bajo los principios fundamentales efecto invernadero para secado rápido de la pulpa, compostaje, lecho de secado y reactor hidrolítico/acidogénico (Zambrano y Cárdenas 2000), que permiten disminuir la carga orgánica de las aguas residuales hasta valores que permitan su tratamiento posterior, utilizando el SMTA como tratamiento secundario (Zambrano, 2006) y un postratamiento en serie con macrófitas acuáticas en humedales artificiales (Rodríguez, 2009).

Ecomill y Fosas tipo invernadero.

Ahora la mejor alternativa ecológica, bajo uso de agua y más económico tratamiento de aguas residuales es el Ecomill en la cual se lava mecánicamente café con mucílago degradado en el proceso con fermentación natural o con aplicación de enzimas, con reducción notoria en el volumen específico de agua hasta valores entre 0,3 y 0,5 L.kg⁻¹ de c.p.s. Debido al bajo volumen, las aguas residuales del lavado altamente concentradas se pueden mezclar con la pulpa del café, reteniendo más del 95% del volumen adicionado y controlando hasta el 100% de la contaminación generada en el proceso o secándolas en laminas o bandejas plásticas en marquesinas solares.



Foto de agua miel resultante del ecomill.



Fotos Vertidos de Efluentes del Ecomill mezclado con pulpa en las fosas.



Fotos secado del efluente del Ecomill en secaderos de agroleno.

Humedales.

En los estudios de ecotoxicidad de los efluentes de los SMTA en el campo, se encontró en términos de DQO, una concentración efectiva de carga orgánica a la cual se muere el 50% de las algas (CE_{50}), de 890 ppm, para el alga *Chlorella vulgaris*, una concentración letal a la cual se muere el 50% dde los individuos (CL_{50}), de 700 ppm, para el microcrustaceo *Daphnia pulex*, y de 490 ppm para el pez *Lebistes reticulatus*, siendo este el indicador más sensible (Matuk et al. 1997).

En el postratamiento se busca la eliminación de la materia orgánica, sólidos suspendidos y remoción de nutrientes que no se han conseguido en el sistema modular de tratamiento anaeróbico SMTA, teniendo en consideración aspectos como la versatilidad del sistema, su facilidad de operación y economía del mismo.

En Cenicafé se realizaron estudios de campo, empleando humedales de 500 L, utilizando macrofitas flotantes y emergentes, presentes en la zona cafetera, con el propósito de disminuir la concentración de la carga

orgánica y de N, P, K presentes en los efluentes del SMTA, y evitar impactar negativamente los recursos suelo y agua presentes en la zona cafetera. Los resultados mostraron que se presentó efecto de la concentración de los efluentes del SMTA, sobre la variable porcentaje de la remoción de la DBO en las cuatro especies acuáticas evaluadas: Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), oreja de agua (*Salvinia auriculata*) y caña de agua (*Typha angustifolia*) (Rodríguez, 2009)

Entre las plantas flotantes, el Jacinto y la lechuga de agua mostraron las mayores eficiencias de remoción de DBO_5 en el estado estable. El mayor valor de carga orgánica aplicada fue para el Jacinto, con un valor de DBO_5 72,21 kg ha año (Rodríguez, 2009).

En la eliminación del N, P, K no se presentaron diferencias entre las tres especies flotantes, las cuales siempre presentaron remociones mayores y diferentes a su control, y la especie emergente, excepto en la variable K con la especie emergente.

Las ecuaciones de regresión obtenidas permiten predecir que se presenta inhibición del crecimiento de *E. crassipes* a concentraciones de DQO de 1.281 ppm; para *P. stratiotes* a una concentración de DQO de 1.222 ppm; para *S. auriculata* a concentraciones de DQO de 903 ppm y para el *T. angustifolia* se presenta inhibición en el incremento del número de plantas a una concentración de DQO de 508 ppm.





Fotos de lagunas con plantas acuáticas absorbentes de contaminantes orgánicos.

Considerando el desempeño de la cuatro especies acuáticas en la remoción (medida como mg. M²-d¹) de los parámetros DQO₅, sólidos solubles totales SST, nitrógeno total N, fosforo total P, y K en efluentes del SMTA, la mejor especie para el postratamiento de las guas mieles de café es la especie flotante *E. crassipes*, seguida de la especie flotante *P. stratiotes*, de la especie emergente *T. angustifolia* y de la especie flotante *S. auriculata*.

Los humedales deben tener una relación longitud: ancho entre 2:1 a 4:1 una profundidad de 0,6 m, una pendiente del 1% y un tiempo de detención hidráulica ente 2 y 5 días para remover la carga orgánica. Las excavaciones se deben forrar en plástico o geomembrana, para evitar la infiltración de las aguas, si se utilizan plantas flotantes, estas deben cubrir el 75% del espejo de agua y se deben cosechar cada 15 días. Si se desea sembrar plantas emergentes como juncos, platanillas o heliconias, las lagunas se deben llenar con grava de tamaño entre 13 y 18 mm y las plantas se deben sembrar con una densidad cercana a 30 plantas/m²,

Para una finca que produzca 1000 @ de cps al año el área de humedades para el postratamiento de las aguas mieles debe ser cercana a 30 m².
(Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Cenicafé, 2013)

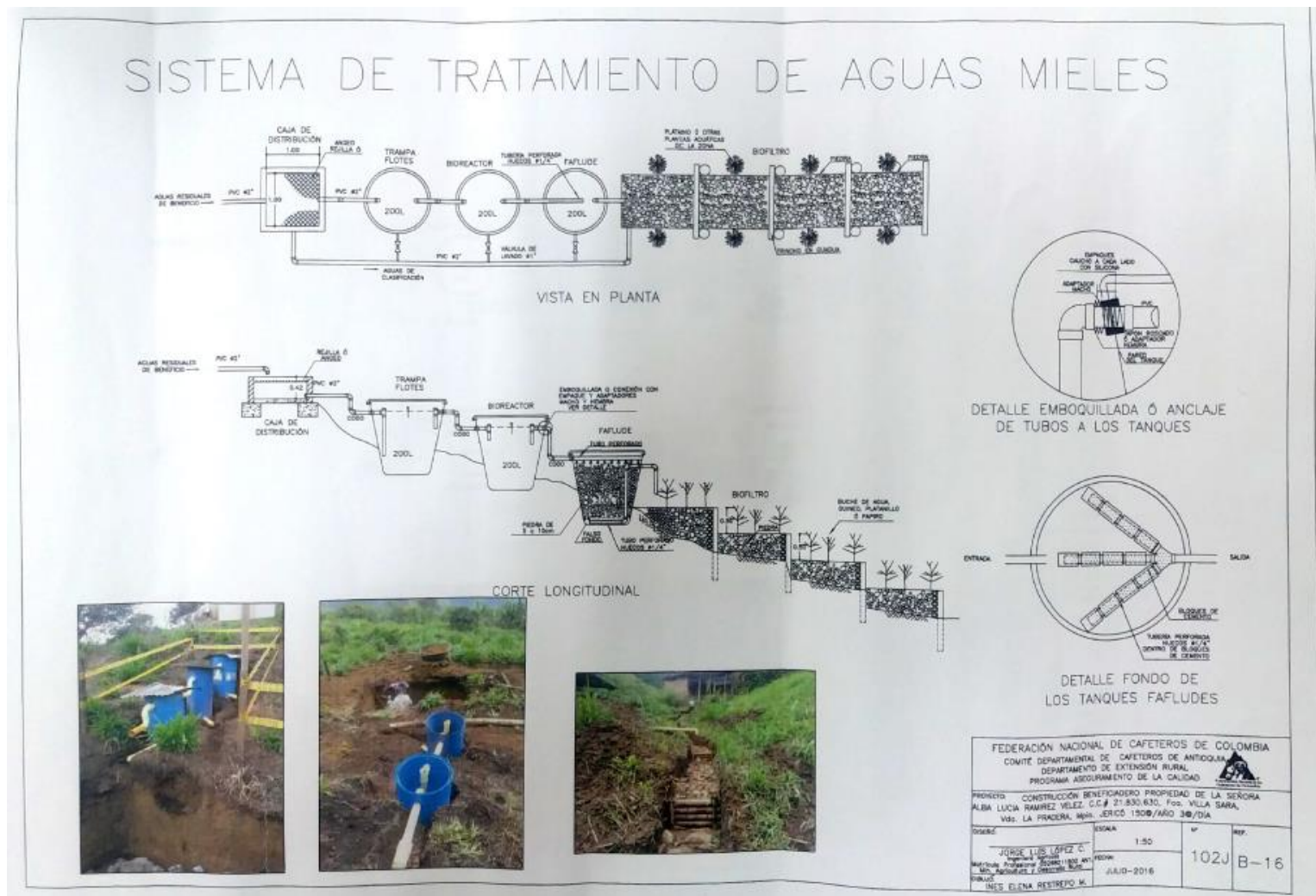


Figura . Planos de sistemas modulares de tratamiento anaeróbico y canales en tierra piedra con plantas acuáticas.

Fuente: FNC Comité Departamental de Antioquia.



Figura . Planos de sistemas modulares de tratamiento anaeróbico y canales en tierra piedra con plantas acuáticas.

Fuente: FNC Comité Departamental de Antioquia.

Sistema de tratamiento en tanques de lonas para grandes productores.

(Iniciativa desarrollada en el Comité de Antioquia)

Se aplican los mismos conceptos del SMTA pero en grandes tanques de geomembrana.



Fotos de sistema de tratamiento de aguas residuales en lonas tipo geomembrana, bajo techo para evitar la entrada de agua lluvia al sistema.

Fuente: FNC Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia.

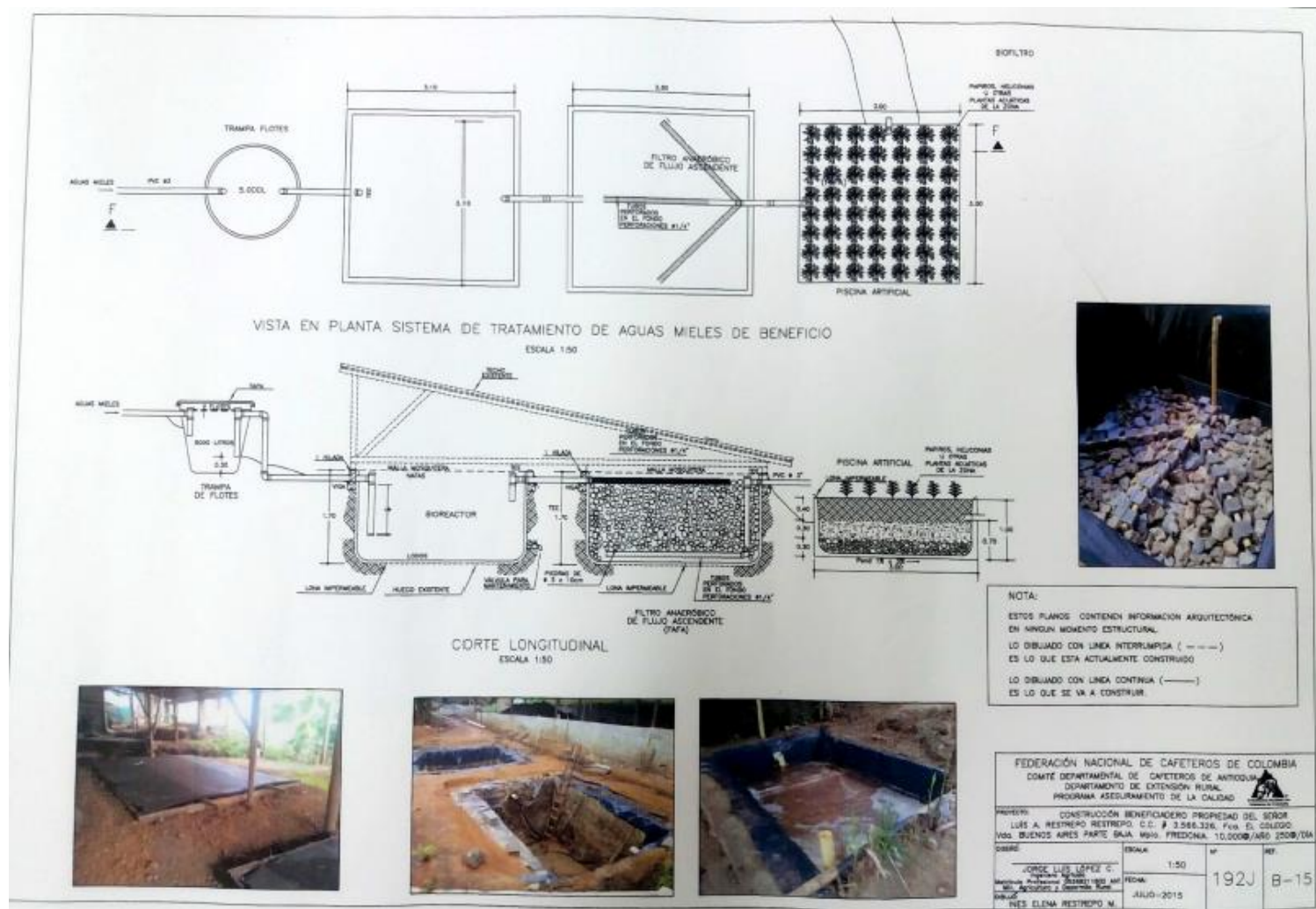


Figura . Planos de sistemas de tratamiento anaeróbico con tanques de geomembrana.
Fuente: FNC Comité Departamental de Antioquia.

Nuevas alternativas de Tratamientos de Aguas residuales con Químicos y Biológicos.

Tratamientos con Cal. La adición de hidróxido de calcio (cal apagada o cal hidratada) en dosis de 3 gramos por litro de agua residual del café, proveniente de los tanques de fermentación, permite remover cerca del 50% de la carga orgánica inicial expresada como DQO, de las aguas mieles del café, este tratamiento se considera primario dado que para cumplir con la norma ambiental es necesario realizar tratamientos posteriores. Envío de estas aguas a un SMTA o reuso en riego de pulpas en descomposición.



Foto del estado del agua residual tratada con hidróxido de calcio.
Fuente: laboratorio de Cenicafé Chinchina Caldas



Foto Tanque al lado de la fosa donde se aplico hidróxido de calcio y se da separación de fases, los sólidos extraídos se mezclan con la pulpa de café.

Tratamiento con Coagulantes químicos.

Después del tratamiento con cal se realiza un tratamiento secundario con la adición de sulfato de aluminio o cloruro de aluminio en una cantidad de 1,5 a 2 gramos por litro de agua residual del café o con PAC Sal Palimera de policloruro de aluminio en una cantidad de 500 gramos por metro cúbico de agua residual. Esto permite remover el 35% más de la carga orgánica inicial, expresada como DQO, de las aguas mieles del café. La unión del tratamiento primario y el tratamiento secundario permite remover más del 80% de la carga orgánica.



Foto de la separación de las fases del agua miel tratada con sulfato de aluminio.

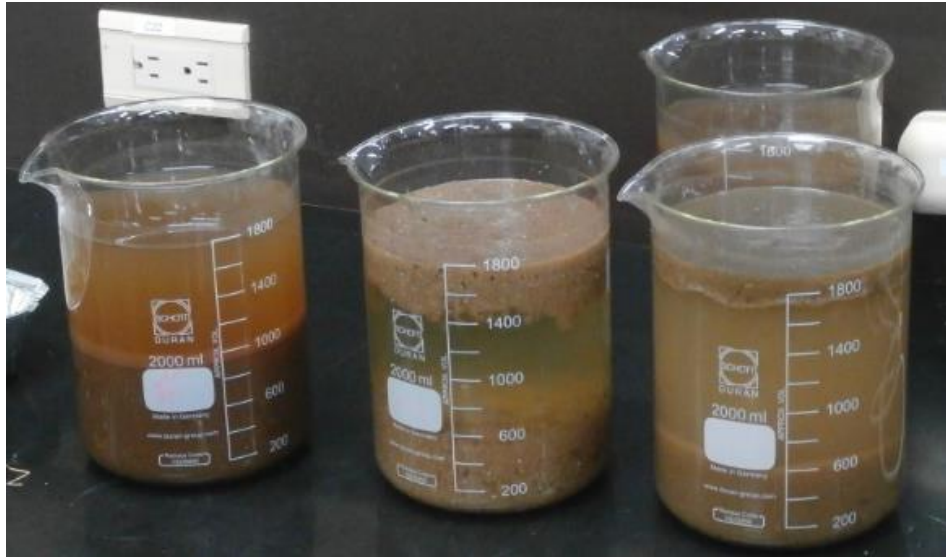
Fuente: laboratorio de Cenicafé Chinchina Caldas

Tratamientos Naturales

Con semilla molida de *Jatropha*

El extracto de la semilla de *Jatropha curcas* en dosis de 1,5 a 2 gramos por litro de agua residual del café a pH original permite remover cerca del 70% de la carga orgánica inicial expresada como DQO.





Fotos de agua residual tratada con *Jatropha curcas*.
Fuente: laboratorio de Cenicafé Chinchina Caldas

Con *Moringa oleifera*

El extrato de la semilla de *Moringa oleifera* a una dosis de 4 gramos por litro de agua residual del café permite remover cerca del 30% de la carga orgánica inicial, expresada como DQO.



Foto de agua tratada con *Moringa*
Fuente: laboratorio de Cenicafé Chinchina Caldas

Otros tratamientos

Biodigestores Mixtos de aguas residuales de cerdos o bovinos y mieles del café



Foto Proceso de construcción de un Biodigestor donde se combinan aguas mieles y agua estiércol de cerdos o bovinos.

Alternativas de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales propuestas por Cenicafé.

En las siguientes tablas se presentan las alternativas para cada grupo de fincas:

propuestas indicadas por la disciplina de xxx del Centro Nacional de Investigaciones del Café Cenicafe en Chinchina Caldas el día 20 de abril de 2017 al Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Alternativas de tratamiento de las aguas residuales del café									
Finca de has Café 2	Producción: @cps/ha/año			140					
	Producción finca: @cps/año			280					
	Día pico: @cps (3%)			8,4					
	Uso de agua del Tanque Tina: 5 L/Kg cps			5					
	Agua residual generada día pico: L			525					
	DQO del agua residual: ppm			25.000					
									Costos
									Aproximados
	1	1 y 2 cabeza de lavado a la fosa	+	3 y 4 cabeza de lavado a humedal	+	Disposición al suelo			\$450+1000/@cps
	2	1 y 2 cabeza de lavado a la fosa	+	3 y 4 cabeza de lavado a humedal	+	Riego por goteo			\$450+MO+RG/@cps
Opciones de	3	Todas las cabezas de lavado a la fosa	+	Materiales secos orgánicos, sin lixiviados					\$350+MO/@cps
Tratamiento	4	SMTA	+	Disposición al suelo					\$500+1000/@cps
	5	SMTA	+	Humedal	+	Disposición al suelo			\$550+1000/@cps
	6	SMTA	+	Humedal	+	Riego por goteo			\$550+RG/@cps
	7	SMTA		Ca(OH)2	+	Disposición al suelo			\$900+1000/@cps
	8	Tratamiento Químico	+	Disposición al Suelo					\$1200+1000/@cps

Tabla No. Alternativas de tratamiento de aguas residuales para fincas muy pequeñas.

Alternativas de tratamiento de las aguas residuales del café							
Finca de has Café 5	Producción: @cps/ha/año		140				
	Producción finca: @cps/año		700				
	Dia pico: @cps (3%)		21,0				
	Uso de agua del Tanque Tina: 5 L/Kg cps		5				
	Agua residual generada día pico: L		1312,5				
	DQO del agua residual: ppm		25.000				
						Costos	
						Aproximados	
Opciones de Tratamiento	1	1 y 2 cabeza de lavado a la fosa	+	3 y 4 cabeza de lavado a humedal	+	Disposición al suelo	\$450+2000/@cps
	2	1 y 2 cabeza de lavado a la fosa	+	3 y 4 cabeza de lavado a humedal	+	Riego por goteo	\$450+MO+RG/@cps
	3	Todas las cabezas de lavado a la fosa	+	Materiales secos orgánicos, sin lixiviados			\$350+MO/@cps
	4	SMTA	+	Disposición al suelo			\$550+2000/@cps
	5	SMTA	+	Humedal	+	Disposición al suelo	\$620+2000/@cps
	6	SMTA	+	Humedal	+	Riego por goteo	\$620+RG/@cps
	7	SMTA	+	Ca(OH)2	+	Disposición al suelo	\$900+2000/@cps
	8	Tratamiento Quimico	+	Disposición al Suelo			\$1200+2000/@cps

Tabla No. Alternativas de tratamiento de aguas residuales para fincas pequeñas.

Alternativas de tratamiento de las aguas residuales del café					
Finca de has Café 10	Producción: @cps/ha/año		140		
	Producción finca: @cps/año		1400		
	Día pico: @cps (3%)		42,0		
	Uso de agua del Becolsub: L/kg cps		2		
	Agua residual generada día pico: L		1050		
	DQO del agua residual: ppm		62.500		
Opciones de Tratamiento	1	Mezcla pulpa + mucilago	+	Recirculación permanente de lixiviados	
	2	Mezcla pulpa + mucilago	+	Secado de los lixiviados	
	3	Mezcla pulpa + mucilago	+	STLB/SMTA	+ Disposición al suelo
	4	Mezcla pulpa + mucilago	+	STLB/SMTA/ Humedal	+ Disposición al suelo
	5	Mezcla pulpa + mucilago	+	STLB/SMTA/ Humedal	+ Riego por goteo
	6	SMTA	+	Humedal	+ Disposición al suelo
	7	SMTA	+	Ca(OH)2	+ Disposición al suelo
	8	Tratamiento Químico	+	Disposición al Suelo	
SLTB: Sistema de tratamiento de lixiviados de pulpa y mucilago generados en la tecnología becolsub					

Tabla No. Alternativas de tratamiento de aguas residuales para fincas medianas.

Alternativas de tratamiento de las aguas residuales del café					
Finca de has Café 20	Producción: @cps/ha/año		140		
	Producción finca: @cps/año		2800		
	Día pico: @cps (3%)		84,0		
	Uso de agua del Ecomill: L/Kg cps		0,5		
	Agua residual generada día pico: L		525		
	DQO del agua residual: ppm		250.000		
Opciones de Tratamiento	1	Mezcla pulpa + mieles	+	Recirculación permanente de lixiviados	
	2	Mezcla pulpa + mieles	+	Secado de los lixiviados	
	3	Secado de mieles			
	4	Biodigestores	+	Disposición al Suelo	
	5	Biodigestores	+	Humedal	+ Disposición al suelo
	6	Biodigestores	+	Humedal	+ Riego por goteo

Tabla No. Alternativas de tratamiento de aguas residuales para fincas grandes.

Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales para las fincas cafeteras de Santander.

Cuáles son, características técnicas.

Categoría de Caficultores	Tamaño de los Cafetales	Alternativas	Componentes	costo Unitario Total	Kilos de referencia producidos	Valor de la inversión por Kilo de Café Pergamino Seco
Muy pequeños	de 0,1 a 3 Has	1 y 2 cabeza de lavado a la fosa, 3 y 4 cabeza de lavado a humedal, Riego por goteo	Fosa tipo invernadero, Humedal, tanque de almacenamiento, manguera para riego	1.600.000	5000	320
		Todas las cabezas de lavado a la fosa, Materiales secos orgánicos, sin lixiviados	Fosa tipo invernadero, Recolección de Hojarazca	1.150.000	5000	230
Pequeños	3,1 a 7 has	1 y 2 cabeza de lavado a la fosa, 3 y 4 cabeza de lavado a humedal, Riego por goteo	Fosa tipo invernadero, Humedal, tanque de almacenamiento, manguera para riego	4.275.000	12500	342
		Todas las cabezas de lavado a la fosa, Materiales secos orgánicos, sin lixiviados	Fosa tipo invernadero, Recolección de Hojarazca	3.525.000	12500	282
		SMTA, Humedal, Riego por goteo	SMTA, Fosa, Humedal, tanque de almacenamiento y manguera para riego.	5.775.000	12500	462
		SMTA, Ca(OH) ₂ , Humedal, Riego por goteo	SMTA, Hidroxido de Calcio, humedal, tanque de almacenamiento y manguera para riego.	6.025.000	12500	482
Medianos	De 7,1 a 19,9 has	Becolsub, Mezcla pulpa + mucílago, Recirculación permanente de lixiviados	Fosa tipo invernadero, tanques de almacenamiento a la entrada y salida.	32.800.000	30000	1.093
		Becolsub, Mezcla pulpa + mucílago, Secado de los lixiviados	Fosa tipo invernadero y marquesina de secado	33.500.000	30000	1.117
		Becolsub, Mezcla pulpa + mucílago, STLB/SMTA, Humedal, Riego por goteo	Fosa tipo invernadero, SMTA, Humedal y Riego por goteo.	34.840.000	30000	1.161
		SMTA, Ca(OH) ₂ , Riego por goteo	SMTA, Hidroxido de Calcio, humedal, tanque de almacenamiento y manguera para riego.	34.825.000	30000	1.161
Grandes	De 20 has y más	Mezcla pulpa + mieles, Recirculación permanente de lixiviados	Ecomill, Fosa tipo invernadero, tanques de almacenamiento a la entrada y salida.	43.200.000	100000	432
		Mezcla pulpa + mieles, Secado de los lixiviados	Ecomill, Fosa tipo invernadero y marquesina de secado	44.200.000	100000	442
		Secado de mieles	Ecomill, Marquesina de secado	43.500.000	100000	435

Costos de Referencia de los componentes

Componentes	Costo Unitario
Ecomill 1500	30.000.000
Fosa Tipo Invernadero de 2 x 4 m, piso en concreto, paredes en ladrillo, techo en cubierta plastica	1.000.000
Fosa Tipo Invernadero de 3 x 9 m, piso en concreto, paredes en ladrillo, techo en cubierta plastica	3.375.000
Fosa Tipo Invernadero de 4 x 15 m, piso en concreto, paredes en ladrillo, techo en cubierta plastica	7.500.000
Fosa Tipo Invernadero de 5 x 20 m, piso en concreto, paredes en ladrillo, techo en cubierta plastica	12.500.000
Humedal de 0,5 m x 2,0 m	100.000
Humedal de 1,0 x 4 m	400.000
Humedal de 1,0 x 8 m	800.000
Manguera para riego por goteo	50.000
Marquesina de secado de 5 m x 10 m	1.000.000
SMTA 1100	2.500.000
SMTA 600	1.800.000
Tanque de 250 litros	150.000
Tanque de 500 litros	200.000
Tanque de 1000 litros	350.000
Tanque de 2000 litros	650.000
Tanques en Geomembrana de 4 x 3 x 1 en plastilona 500 k	600.000