

Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles



Diego A. Zambrano Franco
Nelson Rodríguez Valencia
Uriel López Posada
Andrés J. Zambrano Giraldo



FoNC
Fondo Nacional
del Café

ISBN 978-958-8490-08-3



COMITÉ NACIONAL
Período 1° de enero 2007 - 31 de diciembre 2010

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
Darío James Maya Hoyos
Jaime García Parra
Héctor Falla Fuentes
Fernando Castrillón Muñoz
Javier Bohórquez Bohórquez
Crispín Villazón de Armas
Ramón Campo González
Jorge Cala Roballo
Hernán Román Calderón
Alfredo Yáñez Carvajal

Gerente General

LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

Gerente Administrativo

LUIS FELIPE ACERO LÓPEZ

Gerente Financiero

JULIÁN MEDINA MORA

Gerente Comercial

JUAN LUCAS RESTREPO IBIZA

Gerente de Comunicaciones y Mercadeo

LUIS FERNANDO SAMPER GARTNER

Gerente Técnico

RICARDO VILLAVECES PARDO

Director Programa de Investigación Científica
Director Centro Nacional de Investigaciones de Café
FERNANDO GAST HARDERS

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.

ZAMBRANO F., D.A.; RODRIGUEZ V., N.; LOPEZ P., U.; ZAMBRANO G., A.J. [Cd rom]. Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles. Chinchiná : Cenicafé, 2010. 35 p.

Subproductos, Aguas residuales, Tratamiento de aguas residuales, Digestión anaeróbica.

UNA PUBLICACIÓN DE CENICAFÉ

Editor: Sandra Milena Marín L., I.A.
Diseño y Diagramación: María del Rosario Rodríguez Lara
Fotografía: Diego A. Zambrano F.
Gonzalo Hoyos S.
Ilustraciones: Gonzalo Hoyos S.

Carátula: Finca La Lorena , municipio de Buenavista, Quindío

Editado en septiembre de 2010
3.500 ejemplares

©FNC- Cenicafé 2010

Chinchiná - Caldas - Colombia

Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles

Diego A. Zambrano Franco*; Nelson Rodríguez Valencia*;
Uriel López Posada*; Andrés J. Zambrano Giraldo**.

**GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ
"Pedro Uribe Mejía"

Cenicafé

* Investigador Científico II, Investigador Científico I, Auxiliar I de Investigación, respectivamente. Calidad y Manejo Ambiental. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Ingeniero de Saneamiento y Desarrollo Ambiental, Universidad Católica de Manizales.

Contenido

5	1. INTRODUCCIÓN Características de los SMTA Componentes de un SMTA
6	2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL SMTA Volumen de aguas mieles
19	3. INSTALACIÓN DEL SMTA
28	4. INOCULACIÓN, ARRANQUE Y OPERACIÓN DEL SMTA
31	5. RECOMENDACIONES
33	6. PROBLEMAS Y SOLUCIONES Problemas hidráulicos, causas y soluciones Problemas de acidificación, causas y soluciones
35	7. AGRADECIMIENTOS
35	8. LITERATURA CITADA



1

Introducción

Los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio **SMTA**, han sido desarrollados en Cenicafé para reducir más del 80% de la contaminación presente en las aguas residuales de lavado del grano o “mieles del café”, las cuales se originan en beneficiaderos que retiran el mucílago o baba del café por el método convencional de fermentación natural, alcanzando remociones de Demanda Bioquímica de Oxígeno **DBO₅** acordes con lo exigido por la legislación colombiana en el Decreto 1594 de 1984 (2).

La tecnología SMTA ha sido divulgada en los Boletines Técnicos de Cenicafé Números 20 y 29 (8, 10), y en el año 2008 fue merecedora del premio Aurelio Llano Posada en la Categoría de Investigación y Desarrollo (9).



Premio Fundación Aurelio Llano Posada. Categoría Investigación y Desarrollo - 2008.

Diferentes Comités Departamentales de Cafeteros han incorporado la tecnología SMTA en sus programas de certificación de cafetales y de producción de cafés especiales. Tal es el caso de los Comités Departamentales de Magdalena, Tolima, Cundinamarca y Nariño, que han recibido capacitación por parte de Cenicafé en diseño e instalación de los SMTA.

Esta publicación ilustra paso a paso, el proceso para el montaje, instalación, arranque y operación de un SMTA en una finca, respondiendo a las múltiples consultas realizadas por técnicos del Servicio de Extensión y Caficultores en proceso de certificación, quienes han expresado la necesidad de tener diseños detallados, que faciliten la instalación de un SMTA y que se ajusten a su producción. Por tal motivo, se presentan planos y materiales de construcción de nueve prototipos SMTA para fincas cafeteras, con producciones de café cereza en el día pico hasta de 1.710 kg, en las cuales **el proceso de beneficio se debe hacer utilizando el despulpado y transporte de la pulpa sin agua**, de acuerdo a las recomendaciones de Cenicafé presentadas en el Avance Técnico No. 164 (1) y, que además, se elimine el mucílago por fermentación natural y se **lave correctamente el café, utilizando la técnica de los cuatro enjuagues**, de acuerdo con las recomendaciones entregadas en el Avance Técnico No. 197 “Fermente y lave su café en el tanque tina” (6), lo que permite obtener en promedio entre 4 y 5 L de aguas residuales por kilogramo de café pergamino seco.

También se describen los accesorios que se han optimizado para mantener el buen funcionamiento del SMTA. Finalmente, a las



metodologías de inoculación y arranque de los SMTA, se incorporaron los resultados más recientes de las investigaciones realizadas en el campo, los cuales mantienen el buen desempeño de los sistemas y disminuyen los riesgos de sobrecargas orgánicas.

La tecnología SMTA es una contribución ambiental, económica y socialmente significativa, dado que permite minimizar el impacto ambiental que sobre el ecosistema cafetero tienen las aguas mieles, a unos costos bajos de depuración, cumpliendo con lo exigido en nuestra legislación ambiental y permitiendo que los productores alcancen la certificación de su grano.

Características de los SMTA

Los SMTA involucran una tecnología de tratamiento biológico con separación de fases hidrolítica-acidogénica de la metanogénica, apta para alcanzar altas eficiencias 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 con tapa y negras, que permiten elevar hasta 30°C la temperatura interna de los tanques y controlar la presencia de malos olores en los alrededores; utiliza microorganismos metanogénicos 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. Un SMTA durante su operación, no requiere adición de químicos para neutralizar la acidez de las aguas mieles, ni para el balance de nutrimentos.

Componentes de un SMTA

Un Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio está compuesta por:

- 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.
- Uno o varios tanques de polietileno (reactores hidrolíticos acidogénicos), en los cuales ocurre la solubilización del material orgánico suspendido.
- Una o más recámaras dosificadoras, que permiten la retención del material orgánico particulado no solubilizado y el control del caudal en el sistema.

- Uno o más tanques de polietileno (reactores metanogénicos), empacados con trozos de guadua o de botellas no retornables, en los cuales se establecen los microorganismos metanogénicos, 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. Adicionalmente, el SMTA consta de una excavación en tierra, la cual se llena con tallos de café, para disponer algún eventual excedente de aguas mieles generado.

2 Selección del tamaño del SMTA

El primer paso para seleccionar el tamaño de la planta consiste en determinar la cantidad 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 mucílago, de tal forma que el consumo de agua esté entre 4 y 5 L/kg de café pergamino seco (c.p.s.), para lo cual se recomienda utilizar la técnica de los cuatro

enjuagues como está establecido para el tanque tina, ya sea que el café se lave en tanques o en canal de correteo, lo que permite obtener el volumen y la concentración orgánica en las aguas mieles apropiados para el tratamiento en los SMTA.

Volumen de 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 o en canal de correteo, con un consumo de agua entre 4 y 5 L/kg de c.p.s.. Si este consumo es mayor, se requiere construir un SMTA de mayor capacidad, lo que incrementaría los costos del tratamiento de las aguas mieles; 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.

Si se tienen en cuenta estas recomendaciones, es alta la probabilidad de que el SMTA funcione adecuadamente.

En las Figuras 1 a la 9 se presentan los modelos de los SMTA recomendados para tratar las aguas mieles generadas en diferentes rangos de producción diaria de café en cereza (c.c.), así:

- $SMTA_{70}$ para fincas con una producción máxima día hasta de 72 kg de c.c.
- $SMTA_{120}$ para fincas con producciones entre 73 y 126 kg de c.c. por día.
- $SMTA_{180}$ para fincas con producciones entre 127 y 188 kg de c.c. por día.
- $SMTA_{300}$ para fincas con producciones entre 189 y 313 kg de c.c. por día.
- $SMTA_{400}$ para fincas con producciones entre 314 y 417 kg de c.c. por día.
- $SMTA_{600}$ para fincas con producciones entre 418 y 625 kg de c.c. por día.
- $SMTA_{800}$ para fincas con producciones entre 626 y 833 kg de c.c. por día.
- $SMTA_{1100}$ para fincas con producciones entre 834 y 1.110 kg de c.c. por día.
- $SMTA_{1700}$ para fincas con producciones entre 1.111 y 1.710 kg de c.c. por día.

En la Tabla 1 se presentan los valores sobre la capacidad que debe tener el tanque de lavado, correspondiente al modelo de SMTA recomendado. En la Tabla 2 se presenta el listado de los materiales necesarios para la construcción e instalación de cada uno de los prototipos presentados y en la Tabla 3 se registran los costos.

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

Para calcular el volumen necesario para los reactores hidrolíticos se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_{RHA} = 0,000405 * S_p * P_a$$

Donde:

V_{RHA} : Volumen total de la fase hidrolítica/acidogénica, en m^3 .

S_p : Porcentaje de café cereza beneficiado en la semana pico respecto a la cosecha anual (%).

P_a : Producción anual de café pergamino seco, en arrobas (@) de c.p.s.

El volumen obtenido, mediante la aplicación de la fórmula, se puede dividir por dos para calcular el número de tanques de 2 m^3 que se necesitan, o por cinco si se desean utilizar tanques de 5 m^3 .

Para calcular el volumen de reactores metanogénicos, se emplea la siguiente fórmula:

$$V_{RM} = 0,000338 * S_p * P_a$$

Donde:

V_{RM} : Volumen total de la fase metanogénica, en m^3 .

El volumen obtenido se puede dividir por dos para calcular el número de tanques de 2 m^3 que se necesitan, que es el máximo tamaño de los tanques recomendado para esta fase.

Para la recámara 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 metanogénicos.

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.

*Una finca que tiene una producción diaria máxima de café cereza de 313 kg, y donde se fermenta y lava el café en tanque **con cuatro enjuagues**, requiere de: a) un tanque tina de 325 L, 228 L para el café en baba, y 97 L libres para revolver el café durante el lavado; y b) un SMTA300 para el tratamiento de las mieles que se generan durante el lavado del café.*

Tabla 1. Prototipos de SMTA y estimativo de capacidad de los tanques para fermentar y lavar, de acuerdo con la cantidad máxima de café en cereza beneficiado en un día.

SMTA	Máxima cantidad de café cereza beneficiado (kg/d)	Volumen estimado para lavado* (L)
SMTA 70	72	75
SMTA 120	126	131
SMTA 180	188	187
SMTA 300	313	325
SMTA 400	417	433
SMTA 600	625	649
SMTA 800	833	864
SMTA 1100	1.110	1.152
SMTA 1700	1.710	1.774

*El 70% del volumen corresponde al ocupado por el café en baba y el 30% restante al volumen libre para hacer el lavado.

SMTA 70

Capacidad máxima
72 kg de café cereza por día

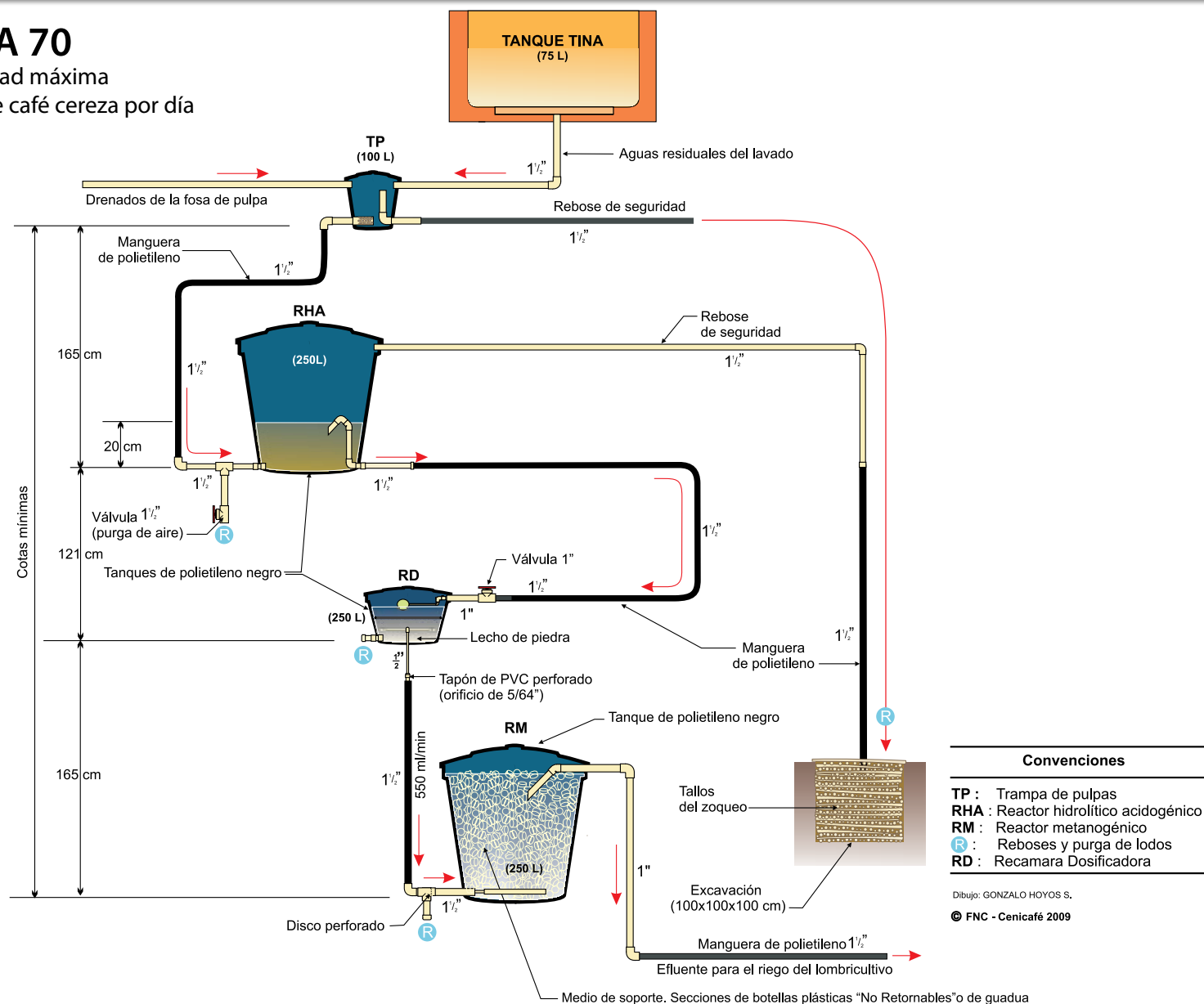
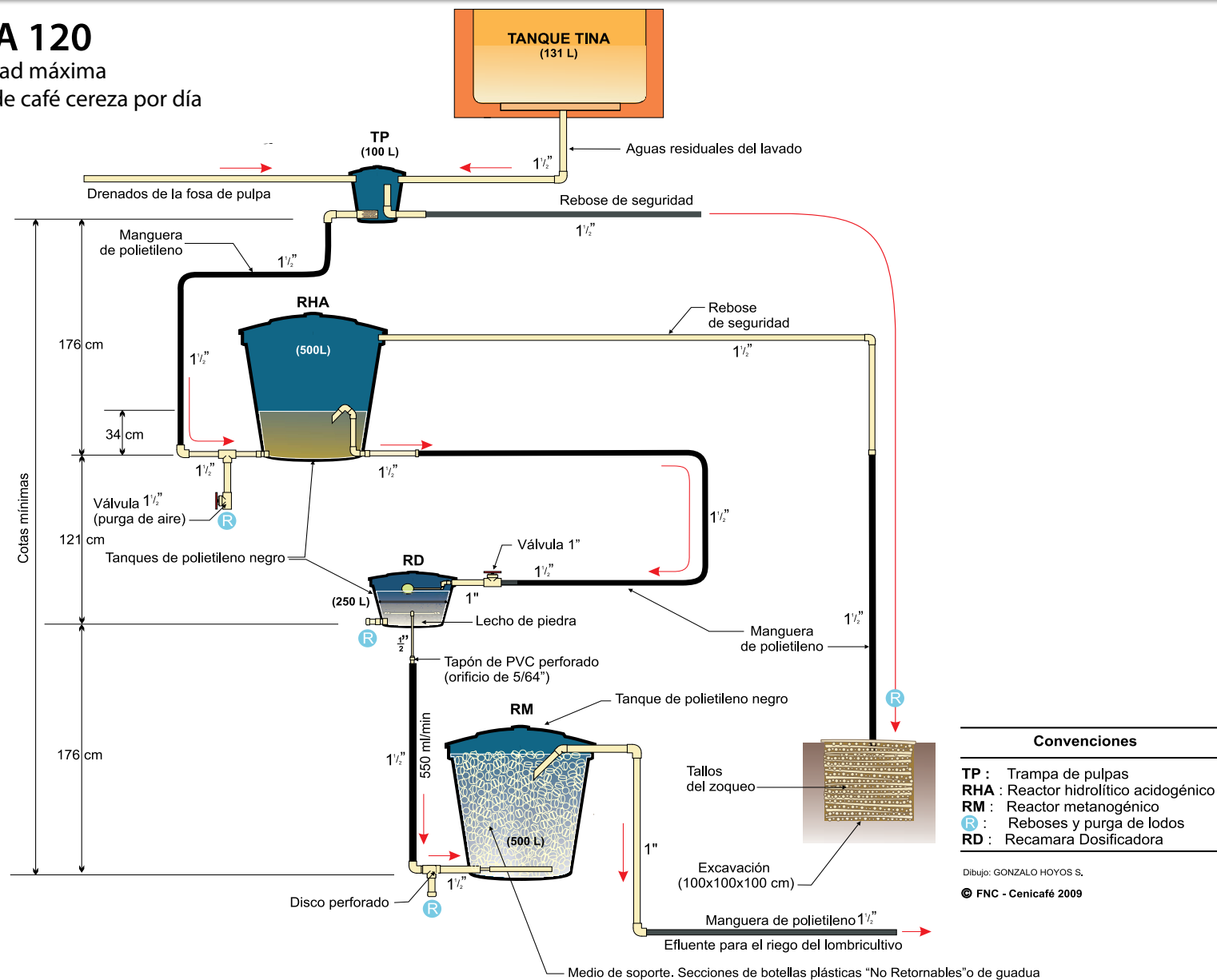


Figura 1. Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico recomendado para productores con días máximos de cosecha de hasta 72 kg de café cereza.

SMTA 120

Capacidad máxima

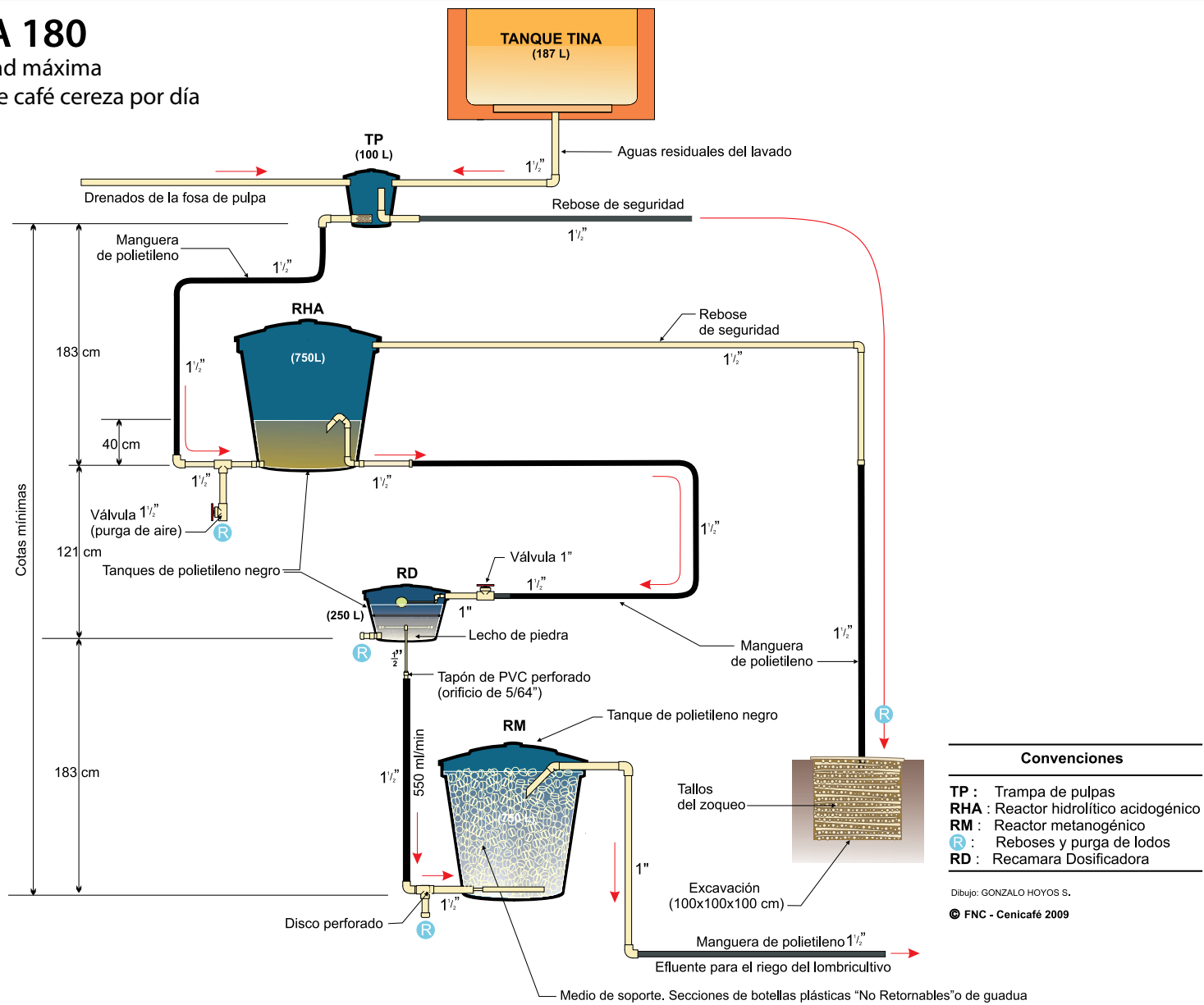
126 kg de café cereza por día

**Figura 2.** Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico recomendado para productores con días máximos de cosecha entre 73 y 126 kg de café cereza.

SMTA 180

Capacidad máxima

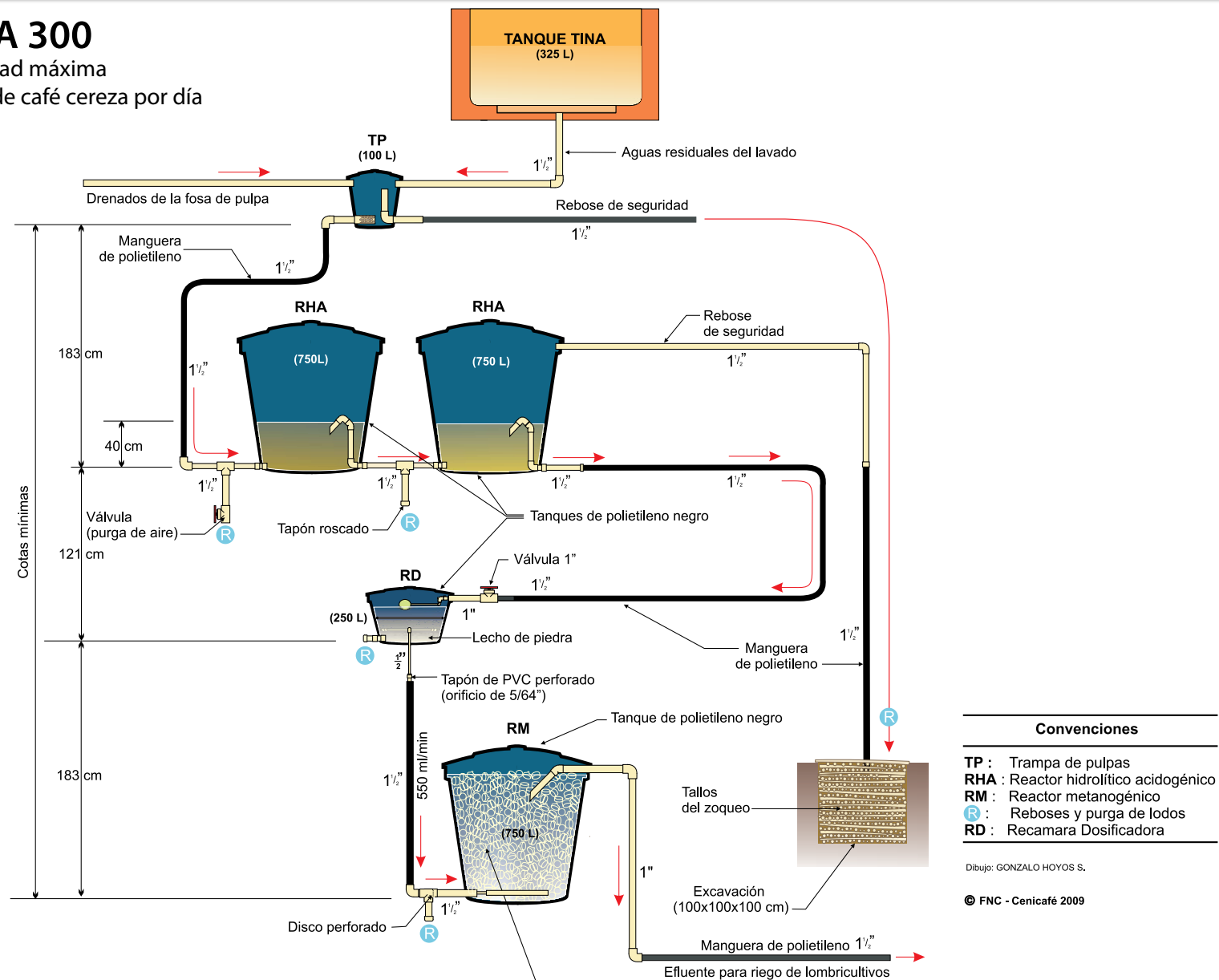
188 kg de café cereza por día

**Figura 3.** Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico recomendado para productores con días máximos de cosecha entre 127 y 188 kg de café cereza.

SMTA 300

Capacidad máxima

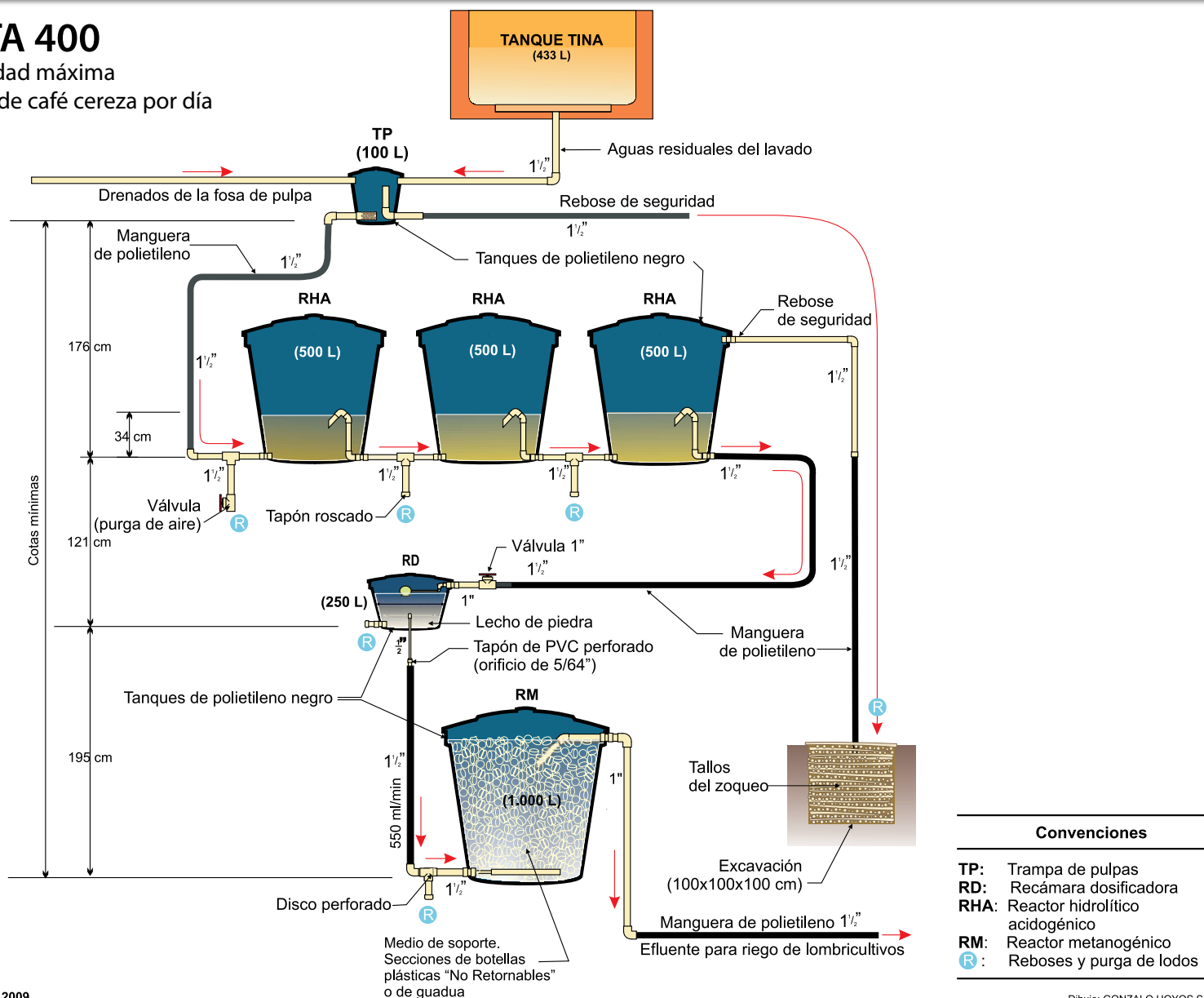
313 kg de café cereza por día

**Figura 4.** Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico recomendado para productores con días máximos de cosecha entre 189 y 313 kg de café cereza.

SMTA 400

Capacidad máxima

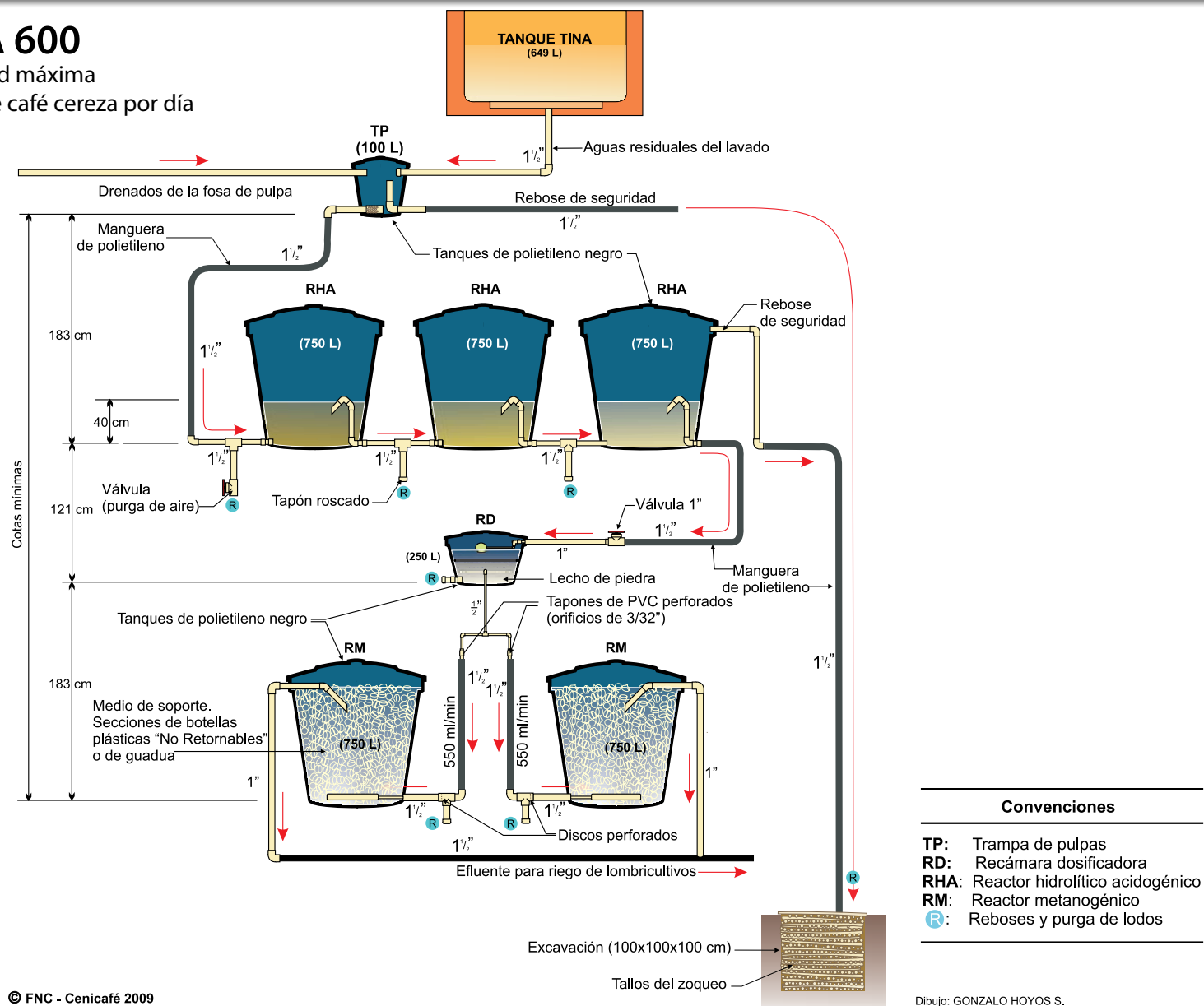
417 kg de café cereza por día

**Figura 5.** Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico recomendado para productores con días máximos de cosecha entre 314 y 417 kg de café cereza.

SMTA 600

Capacidad máxima

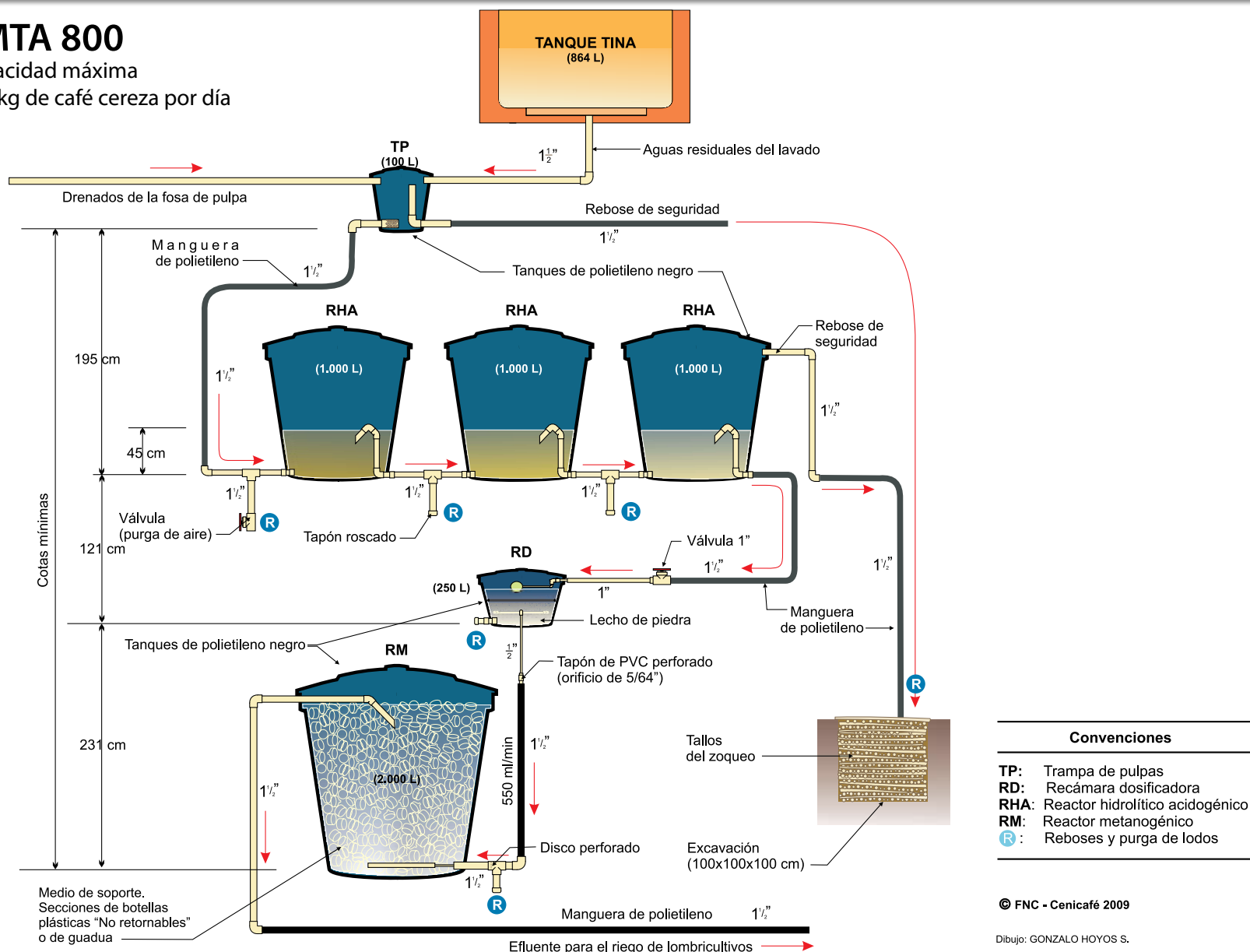
625 kg de café cereza por día

**Figura 6.** Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico recomendado para productores con días máximos de cosecha entre 418 y 625 kg de café cereza.

SMTA 800

Capacidad máxima

833 kg de café cereza por día

**Figura 7.** Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico recomendado para productores con días máximos de cosecha entre 626 y 833 kg de café cereza.

SMTA 1100

Capacidad máxima

1.110 kg de café cereza por día

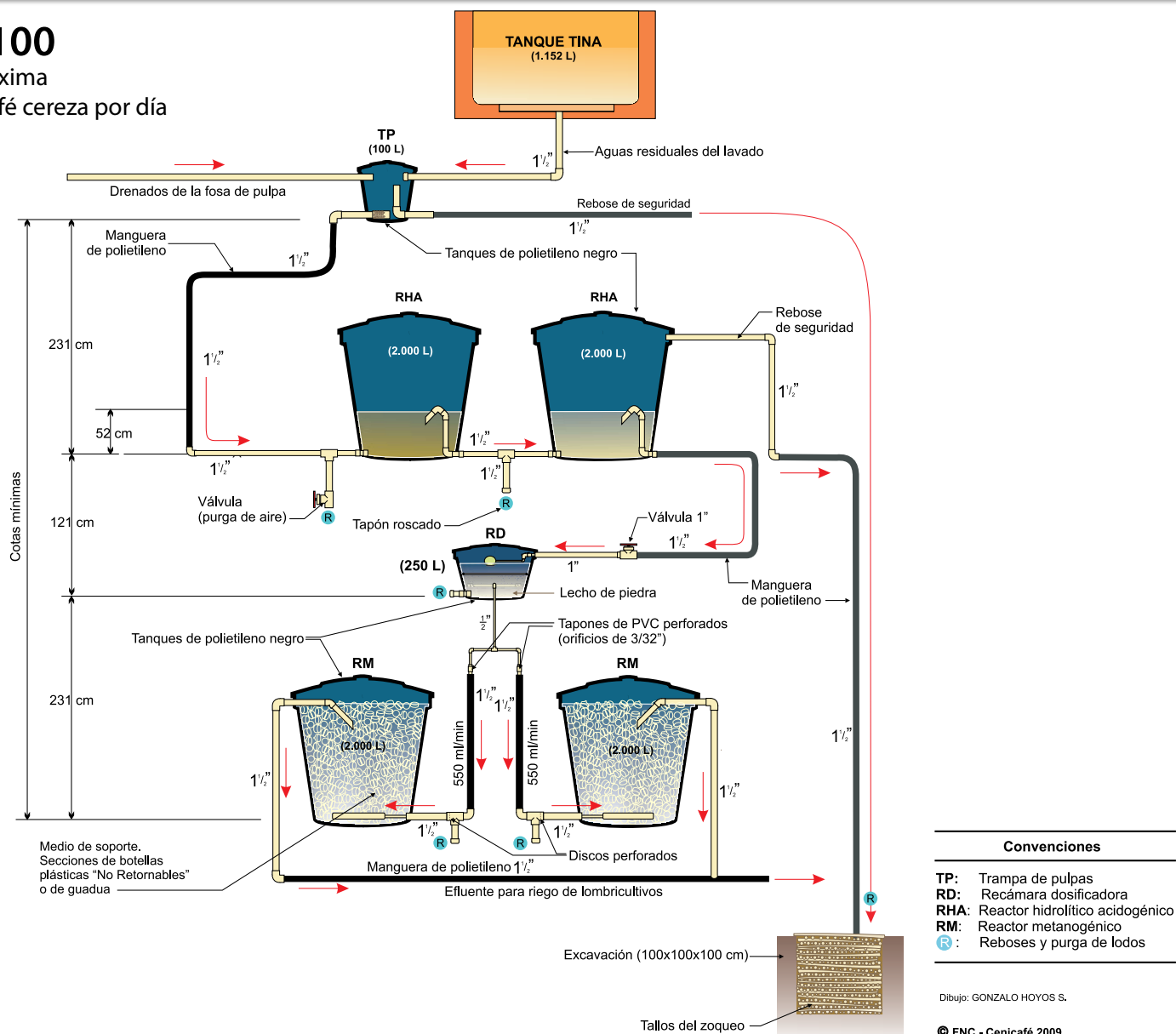


Figura 8. Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico recomendado para productores con días máximos de cosecha entre 834 y 1.110 kg de café cereza.

SMTA 1700

Capacidad máxima

1.710 kg de café cereza por día

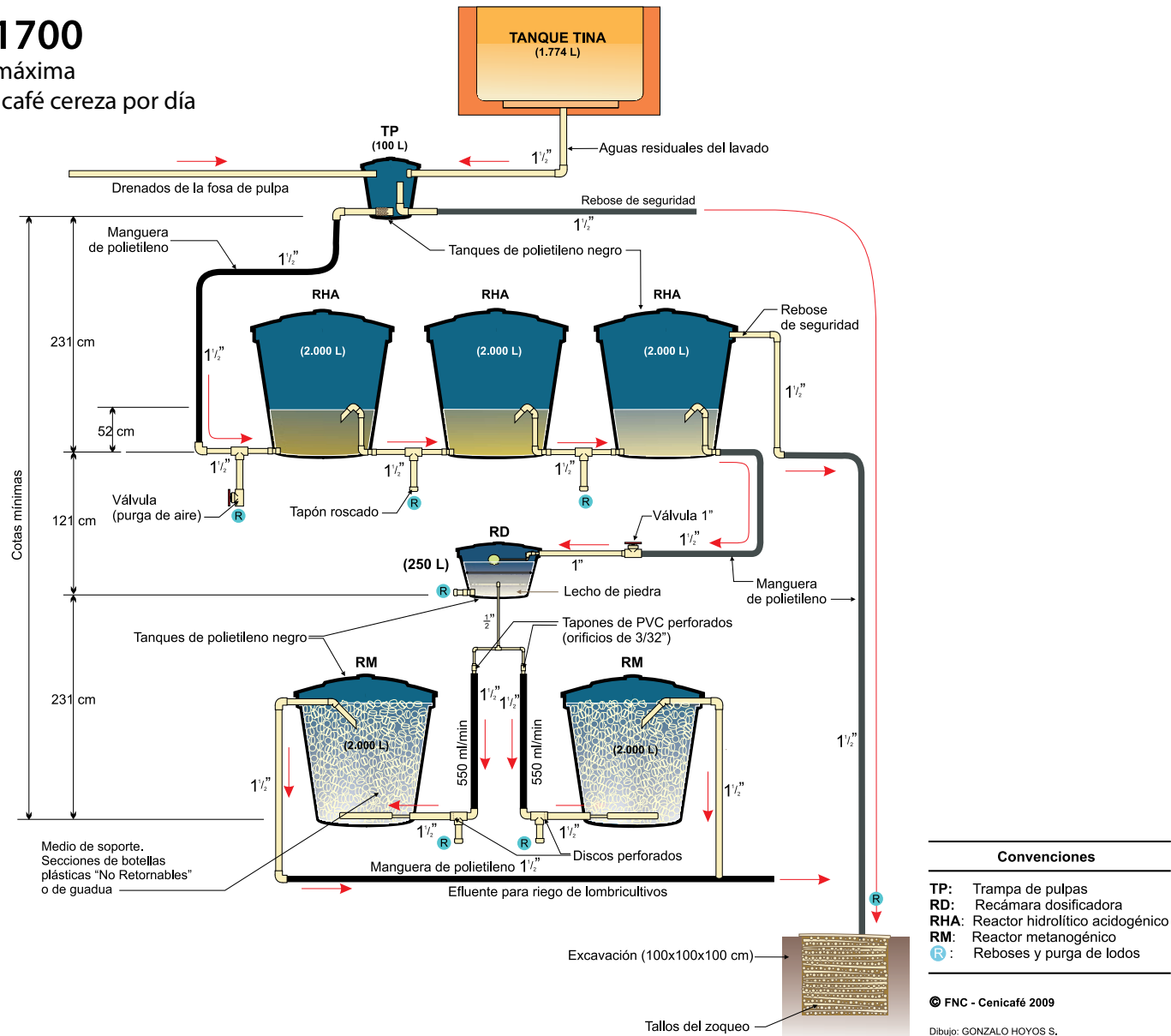


Figura 9. Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico recomendado para productores con días máximos de cosecha entre 1111 y 1.710 kg de café cereza.

Tabla 2. Listado de materiales necesarios para la instalación de los diferentes prototipos.

Materiales		Modelos de SMTA								
		70	120	180	300	400	600	800	1.100	1700
Café cereza máximo beneficiado (kg/d)		72	126	188	313	417	625	833	1.110	1.710
Tanques										
Tanque polietileno negro de 250 L con tapa (H 65cm)	Und	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tanque polietileno negro de 250 L con tapa (H 99cm)	Und	2								
Tanque polietileno negro de 100 L	Und	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tanque polietileno negro de 500 L	Und		2			3				
Tanque polietileno negro de 750 L	Und			2	3		5			
Tanque polietileno negro de 1.000 L	Und					1		3		
Tanque polietileno negro de 2.000 L	Und							1	4	5
Tuberías y accesorios										
Abrazadera de correa de 2" metálica	Und	5	5	5	5	5	6	5	6	6
Acoples machos de polietileno de 1 ½" a 1 ½"	Und	5	5	5	5	5	6	5	6	5
Adaptador macho PVC presión de ½"	Und	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Adaptador macho PVC presión de 1"	Und	2	2	2	2	2	3	1	1	1
Adaptador macho PVC presión de 1 ½"	Und	10	10	10	13	16	18	17	17	20
Adaptador hembra PVC presión de ½"	Und	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Adaptador hembra PVC presión de 1"	Und	1	1	1	1	1	2			
Adaptador hembra PVC presión de 1 ½"	Und	11	11	11	15	17	19	18	19	21
Arandelas de ½" en Neolay No 5	Und	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Arandelas de 1" en Neolay No 5	Und	4	4	4	4	4	6	2	2	2
Arandelas de 1 ½" en Neolay No 5	Und	14	14	14	20	24	26	26	26	30
Codos PVC presión de ½"	Und	4	4	4	4	4	6	4	6	6
Codos PVC presión de 1"	Und	7	7	7	7	7	13	5	9	9
Codos PVC presión de 1 ½"	Und	14	14	14	16	18	21	20	19	22
Disco en PVC de 1 ½" con 38 perforaciones de 7/32" o disco en malla Secafex 4x4.	Und	1	1	1	1	1	2	1	2	2
Limpiador PVC	1/16	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Malla mosquitera (150 cm de ancho)	m	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Manguera de polietileno ½"	m	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Manguera de polietileno según el terreno 1 ½" *	m	30	30	30	50	50	50	50	50	50
Pegante PVC	1/16.	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Reducciones PVC presión de 1 ½" a 1"	Und	2	2	2	2	2	3	2	3	3
Rollos de cinta teflón	Und	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Semicodo PVC presión de 1"	Und	1	1	1	1	1	2			
Semicodo PVC presión de 1 ½"	Und	1	1	1	2	3	3	4	6	7
Tapón copa PVC presión de ½"	Und	1	1	1	1	1	2	1	2	2
Tapón roscado PVC presión de 1 ½"	Und	2	2	2	3	4	5	4	4	5

Continúa...

... Continuación

Materiales		Modelos de SMTA								
		70	120	180	300	400	600	800	1100	1700
Tee PVC presión de ½"	Und	1	1	1	1	1	2	1	2	2
Tee PVC presión de 1"	Und	1	1	1	1	1	2	1	2	2
Tee PVC presión de 1 ½"	Und	2	2	2	3	4	5	4	4	5
Tubo PVC presión de ½"	m	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tubo PVC presión de 1"	m	4	4	4	4	4	6	3	4	4
Tubos PVC Sanitaria de 1 ½"	m	7	7	7	10	12	14	16	17	18
Válvula de bola en PVC de 1"	Und	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Válvula de bola en PVC de 1 ½"	Und	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Válvula flotador de 1" construida en PVC	Und	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Otros elementos										
Botellas Plásticas No Retornables (BPNR) X 2,5 L	Und	62	123	186	186	245	372	490	980	980
Cal masilla	kg	0,50	1,00	1,50	1,50	2,00	3,00	4,00	8,00	8,00
Estiércol de ganado vacuno	kg	30	60	90	90	120	180	240	480	480
Guadua	m	22	43	66	66	85	132	170	340	340
Piedra caliza o gravilla de río	m³	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

* La cantidad de este material depende del beneficiadero en particular y la ubicación del SMTA. Para el caso del SMTA de Cenicafé se utilizaron 70 m, por lo que se coloca un valor estimativo. Para todos los sistemas es opcional el uso de guadua o Botellas Plásticas No Retornables (BPNR).

Tabla 3. Costos de los materiales e instalación de los diferentes prototipos.

SMTA	Volumen empacado (L)	Costos de materiales		Distribución de Costos		Mano de obra para el montaje (jornales)	Costos * mano de obra	Costos totales	
		Con guadua	Con botellas	Tanques	Tuberías y accesorios			Con guadua	Con botellas
SMTA 70	250	\$ 621.723	\$ 615.423	45	55	2	\$ 50.000	\$ 671.723	\$ 665.423
SMTA 120	500	\$ 756.623	\$ 743.523	52	48	2	\$ 50.000	\$ 806.623	\$ 793.523
SMTA 180	750	\$ 823.583	\$ 803.583	54	46	2	\$ 50.000	\$ 873.583	\$ 853.583
SMTA 300	750	\$ 1.047.275	\$ 1.033.675	55	45	3	\$ 75.000	\$ 1.122.275	\$ 1.108.675
SMTA 400	1.000	\$ 1.282.762	\$ 1.264.762	59	41	3	\$ 75.000	\$ 1.357.762	\$ 1.339.762
SMTA 600	2.000	\$ 1.633.318	\$ 1.597.618	61	39	3	\$ 75.000	\$ 1.708.318	\$ 1.672.618
SMTA 800	2.000	\$ 1.899.342	\$ 1.863.342	67	33	3	\$ 75.000	\$ 1.974.342	\$ 1.938.342
SMTA 1100	4.000	\$ 2.455.478	\$ 2.383.478	71	29	4	\$ 100.000	\$ 2.555.478	\$ 2.483.478
SMTA 1700	4.000	\$ 2.905.478	\$ 2.833.478	75	25	4	\$ 100.000	\$ 3.005.478	\$ 2.933.478

* Se asume el costo demandado por un ayudante práctico.

3

Instalación del SMTA

El paso previo a la instalación de un SMTA es contar con un tanque de fermentación y lavado con capacidad para procesar el café generado en el día pico, y en el cual se utilice la metodología de lavado mediante cuatro enjuagues, tal como se realiza en el tanque tina. En la Figura 10 se muestran los tanques de fermentación y lavado.

En la Figura 11 se muestra un dispositivo de evacuación para retirar las aguas mieles del beneficio del café, el cual puede instalarse de forma centralizada en el fondo del tanque de lavado, conservando una distancia mínima de 20 cm respecto a las paredes interiores, y que puede construirse utilizando un tramo de 50cm



Figura 10. Tanques tina para el lavado del café.



Figura 11. Dispositivo de evacuación de las aguas mieles, instalado en los tanques de lavado.

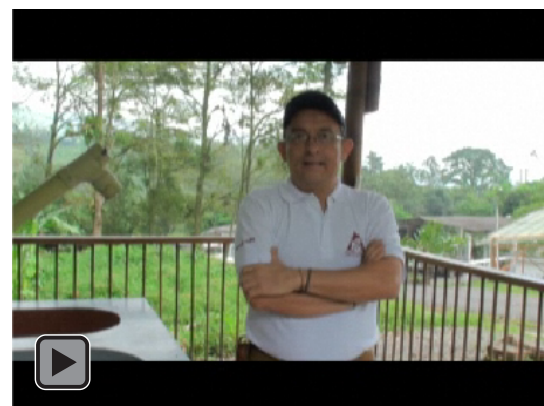
de bajante cuadrado para aguas lluvias de PVC, al cual se le realizan perforaciones de 3/16" espaciadas a 1 cm.

El agua residual generada en la etapa de lavado se debe conducir a una trampa de pulpas. En la Figura 12 se muestran las diferentes conexiones de este dispositivo.

Los drenados de pulpa mencionados en la Figura 12 se refieren a los líquidos generados, de forma natural, por la disposición de la pulpa en



Figura 12. Aspecto de la trampa de pulpas.



Lavado en el tanque tina



Herramientas necesarias para el montaje del SMTA

la fosa de descomposición y son diferentes a los lixiviados generados por la acción de mezclar el mucílago de café con la pulpa fresca. Para estos lixiviados es necesario hacer un tratamiento primario antes de tratarlos en un SMTA dada su alta contaminación orgánica. (7).

En la Figura 13 se presenta la válvula de entrada a la trampa o de descarga de mieles provenientes del tanque de lavado, y los materiales necesarios para su construcción.

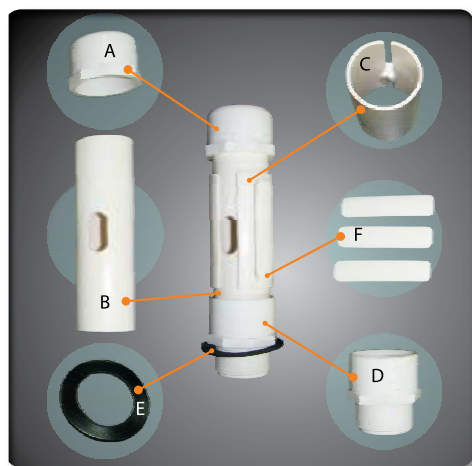


Figura 13. Válvula de entrada de las aguas mieles.

Para la construcción de dicha válvula se utiliza un adaptador macho (D), un niple de 16 cm (B) y un tapón copa (A), todos en PVC-P (Presión) de 1½". Al niple se le hacen dos perforaciones contiguas de 5/8", las cuales se unen para formar un óvalo que permita la descarga inferior de las aguas mieles. Para sellar la entrada se utiliza un segundo niple (C) de 9,5 cm, el cual se abre a lo largo para ajustarlo a presión sobre el primero, de forma que se pueda girar para cerrar la descarga. Para facilitar el agarre en húmedo se le pegan tres placas de 8 x 2 cm de tubo PVC-P de 1½" (F) al niple que sirve de tapa (C). Finalmente, para permitir el sello con las paredes del tanque se utiliza una arandela de neolite "neolay" No.5 (E).

La Figura 14 muestra la entrada de las aguas mieles a la trampa de pulpas a través de la válvula de descarga, la cual se instala a 7 cm del borde superior del tanque.

En la Figura 15 se presenta el dispositivo de evacuación de las aguas mieles de la trampa de pulpas, el cual se fabrica utilizando un niple PVC-S (Sanitaria) de 1½", sellado en uno de los extremos, con una longitud de 25 cm, y al cual se le hacen perforaciones de 7/32", como se detalla en la figura.

La salida de aguas mieles al primer tanque o reactor hidrolítico, se ubica a 10 cm del fondo de la trampa de pulpas, y el rebose de seguridad por debajo de la entrada de aguas mieles y drenados de la pulpa en caso que ocurra un taponamiento del dispositivo de salida a los reactores hidrolíticos, por la presencia de pulpa, de gases o aire en la tubería que conecta la trampa de pulpas con el reactor hidrolítico. Este rebose se fabrica en tubería PVC-S de 1½".



Figura 14. Entrada de las aguas mieles a la trampa de pulpa.



Figura 15. Dispositivo de salida de las aguas mieles de la trampa de pulpas.



Descripción de los componentes del SMTA



Fabricación de la válvula para el tanque tina

La descarga del rebose de seguridad se conduce, mediante manguera de polietileno de 1½", a una excavación de 1 m x 1 m x 1 m, la cual se llena completamente con tallos provenientes del zoqueo de café (Figura 16).

La entrada de los drenados de la fosa de pulpa se realiza a 7 cm del borde superior del tanque.



Figura 16. Excavación llena con tallos de café, para manejar sobrecargas hidráulicas o taponamientos en el sistema.

En la Figura 17 se muestran las arandelas de "neolay" No.5, que se utilizan siempre que deban incorporarse dispositivos internos o externos, las cuales se ubican entre la pared interna o externa de los tanques y los dispositivos instalados, con el fin de evitar fugas de agua a través de las paredes.

En la Figura 18 se muestra el detalle correspondiente a un acople entre accesorios



Figura 17. Ubicación de las arandelas de "neolay" entre las paredes del tanque y los dispositivos instalados.



Figura 18. Acople entre los accesorios de PVC y la manguera de polietileno.

de PVC y la manguera de polietileno reciclado de baja densidad.

Para permitir el flujo por gravedad de las aguas mieles desde la trampa de pulpas hasta las unidades hidrolíticas, recámaras dosificadoras y reactores metanogénicos, y evitar la instalación de sistemas de bombeo, es necesario cumplir con las cotas mínimas (diferencias de nivel del terreno) que se detallan en cada uno de los prototipos de las Figuras 1 a la 9.

La Figura 19 muestra la tubería de entrada al primer tanque hidrolítico, con su correspondiente válvula para purga de aire o de gases, en PVC y de 1½", ubicada en el extremo de un tubo de PVC-S de 1½" y 1 m de longitud, conectado a la línea de entrada mediante un codo y una Tee en PVC-P de 1½".

La Figura 20 muestra el aspecto del dispositivo instalado en el fondo de los reactores hidrolíticos, el cual permite retener las aguas



Figura 19. Entrada del agua miel al reactor hidrolítico y válvula de purga de gases.

mieles durante el tiempo necesario para facilitar el buen desempeño del sistema.

En la Figura 21 se detallan los materiales necesarios para la construcción del dispositivo y sus medidas, dependiendo del volumen de las unidades hidrolíticas.



Figura 20. Aspecto del dispositivo de salida de los reactores hidrolíticos.

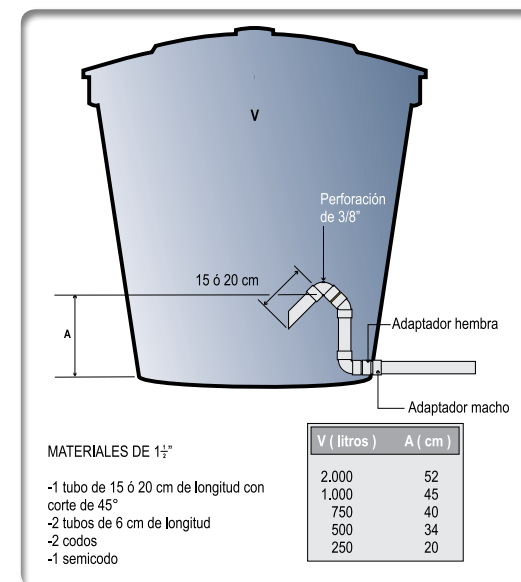


Figura 21. Dimensiones del dispositivo interior de salida del Reactor Hidrolítico Acidogénico, de acuerdo con el volumen de los tanques.

La Figura 22 muestra la tubería que conecta los fondos de los reactores hidrolíticos-acidogénicos y su descarga de lodos, para los prototipos en los cuales se utilizan varios reactores, así como las protecciones de las tuberías con el fin de evitar daños o accidentes.

La descarga de lodos se realiza mediante una tubería PVC-S de 1½" y 1 m de longitud, en cuyo extremo se acopla un adaptador macho y un tapón roscado, ambos en PVC-P de 1½". El tubo se acopla, mediante un codo y una Tee en PVC-P de 1½", a la tubería de conexión entre reactores, la cual debe permitir que la distancia mínima sea de 50 cm entre los bordes superiores de los tanques.

En la Figura 23 se detallan las salidas del reactor hidrolítico, correspondientes al rebose de seguridad y la salida a la recámara dosificadora.

El rebose de seguridad se tiene en el imprevisto que se genere un volumen de agua miel superior a la capacidad del SMTA instalado (por



Figura 22. Conexión entre reactores hidrolíticos, tubería de descarga de lodos y protección de las tuberías.

Figura 23.

Tuberías de salida del reactor hidrolítico.



utilizar un consumo de agua mayor a 5 L/kg de c.p.s.). La descarga del rebose de seguridad se conduce mediante una manguera de polietileno reciclado de baja densidad hacia la excavación con tallos de café.

En la Figura 24 se muestra un detalle del sello entre la tapa y el tanque en los reactores hidrolíticos-acidogénicos y metanogénicos, para evitar la proliferación de mosquitos que utilizan el agua residual para ovipositar y que pueden convertirse en una molestia para las personas que habitan en las cercanías al sistema de tratamiento. Este sello se puede hacer utilizando (A) tiras anchas de espuma y (B) costales de fibra enrollados.

En la Figura 25 se muestran los detalles de las diferentes conexiones y elementos de la recámara dosificadora. El agua proveniente del reactor hidrolítico acidogénico ingresa a través de una válvula de bola de 1" (A), que permite suspender el flujo de agua residual, en caso

de que se deba atender alguna eventualidad durante la operación del sistema o para el mantenimiento de la recámara, a esta válvula va ensamblada una válvula flotador (B), que mantiene el nivel de agua residual en la recámara buscando mantener una cabeza de presión constante, la cual se instala 6 cm por debajo del borde superior del tanque.

La recámara también cuenta con una salida para descargar lodos, cuando sea necesario hacer mantenimiento. La salida está ubicada a 7 cm del fondo del tanque y consta de un tubo PVC-S

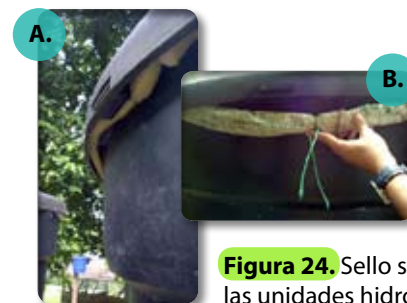


Figura 24. Sello superior de las unidades hidrolíticas y metanogénicas.



Figura 25. Conexiones en la recámara dosificadora.

de 1½" y 1 m de longitud, en cuyo extremo se acopla un adaptador macho PVC-P y un tapón roscado PVC-P de 1½" (C), y de un dispositivo de regulación del caudal de salida (D), ubicado a 10 cm del fondo, consistente en un tubo PVC-P de 1½" y entre 8 y 10 cm de longitud, provisto de un tapón copa al cual se le hace una perforación de 5/64", la cual se lima o desvasta, cuando se alimenta un solo reactor metanogénico. Mediante la ubicación de "Tees" y codos se pueden adecuar hasta cinco dispositivos de salida por recámara dosificadora, para alimentar sus respectivos reactores metanogénicos. En este caso se debe calibrar el diámetro de las perforaciones de forma que el caudal de salida, en cada una de ellas, esté entre 550 y 600 mL/min.

En la Figura 26 se muestran los dispositivos internos de la recámara dosificadora, sobre los cuales se adiciona la grava y se ubica la malla mosquitera, la cual se asienta sobre la grava utilizando un aro fabricado en manguera de



Figura 26. Dispositivos internos de la recámara dosificadora.

polietileno reciclado, de baja densidad de ½", para pisar la malla.

En la Figura 27 se muestra el marco de recolección interno de la recámara dosificadora, con las medidas y materiales necesarios para su elaboración, para la salida de las aguas mieles acidificadas y filtradas hacia la unidad metanogénica.

En las Figuras 28 y 29 se detallan los elementos y pasos necesarios para el montaje de la válvula flotador de la recámara dosificadora, la cual debe construirse en PVC, debido a que la acidez de las aguas mieles corroe los elementos metálicos.

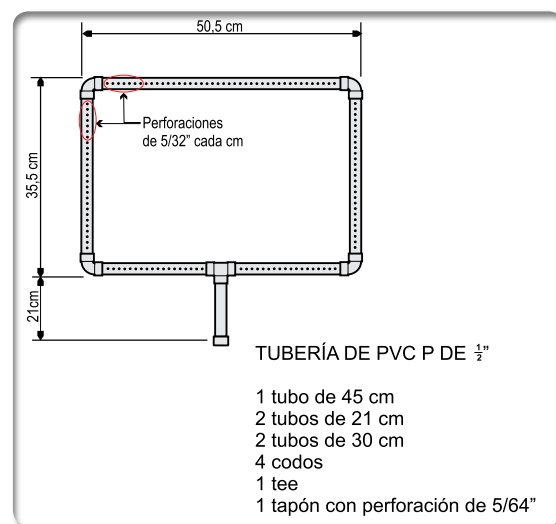


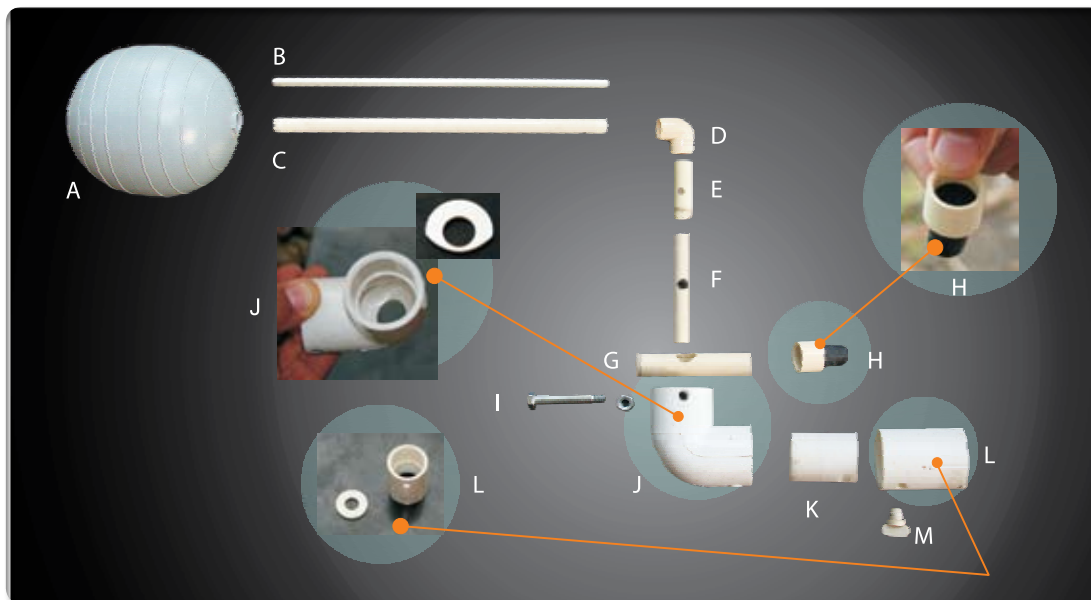
Figura 27. Dispositivo de distribución de flujo en la recámara dosificadora.



Materiales para la construcción de la válvula flotador



Montaje de la válvula flotador



Para la fabricación de la válvula flotador se requieren los siguientes elementos:

- A. Una pera plástica con un agujero de 5/8" en la parte superior.
- B. Una varilla en aluminio de 7/16" de diámetro y una longitud de 357 mm.
- C. Un niple de tubería CPVC de 1/2" y longitud de 350 mm, con uno de los extremos sellados con un tapón plano PVC-P.
- D. Un codo CPVC de 1/2".
- E. Un niple CPVC de 1/2" y longitud de 55 mm, con una perforación de 1/4" a 25 mm de uno de sus extremos, al cual se le hace un corte transversal a 35°.
- F. Una varilla de aluminio de 7/16" de diámetro y 75 mm de longitud, con una perforación de 1/4" a 40 mm de uno de sus extremos.
- G. Un niple CPVC de 1/2" y una longitud de 75 mm, sellado en uno de los extremos con un tapón plano PVC-P y con un agujero de 15/32" a 30 mm del extremo sellado con el tapón.

- H. Una unión CPVC de 1/2", cortada después del tope, a la cual se le acopla un tapón de caucho número cero, el cual se ajusta a la unión introduciendo el extremo más angosto del tapón por el extremo liso de la unión y se hace presión hasta alcanzar el mayor ajuste.
- I. Un tornillo con tuerca en acero inoxidable de 1/4" x 2".
- J. Un codo PVC-P de 1", al cual se le adiciona un niple de 1" y 25 mm de longitud, y luego se le hace un agujero de 16,5 mm en el dorsal y otro de 1/4" que lo transpase, con el fin de acoplar el tornillo de acero inoxidable, ubicado a 7 mm de la base. En este codo va ubicada una arandela en PVC-P de 33,3 mm de diámetro y una perforación central de 16,5 mm, a la cual se le hace un corte en media luna por encima del orificio central. En este codo también se ubica un niple de 1" y 25 mm de longitud.
- K. Un niple PVC-P de 1" con una longitud de 43 mm, al cual se le hace un agujero a 13 mm de uno de los extremos, para ingresar un tornillo plástico de 5/16".
- L. Un adaptador hembra PVC-P de 1", al cual se le hace un agujero a 13 mm del extremo parte lisa, para un tornillo plástico de 5/16"; en este agujero va ubicada una arandela en PVC-P de 33,3 mm de diámetro y una perforación central de 9/16".
- M. Un tornillo plástico de 5/16".

Figura 28. Materiales para la construcción de la válvula flotador de la recámara dosificadora.



1.



2.



3.



4.

Paso 1. Introduzca la arandela en el adaptador hembra y pegue con pegante PVC.

Paso 2. Introduzca la arandela cortada en media luna en el codo PVC-P de 1", de tal forma que el corte en media luna quede orientado hacia la parte inferior y pegue con pegante PVC.

Paso 3. Introduzca el niple (G), por el extremo abierto, en la unión con el tapón de caucho (H) y pegue con pegante PVC.

Paso 4. Introduzca el niple (K) en el codo que contiene la arandela en media luna (accesorio del Paso 2) y péguelo, teniendo en cuenta que el agujero del niple quede en la parte saliente del mismo y alineado en la parte superior. Introduzca, sin pegar, el accesorio obtenido en el Paso 3, de forma que el orificio quede alineado hacia la parte inferior.

Paso 5. Introduzca, sin pegar, el accesorio resultante del Paso 1 en el accesorio resultante del Paso 4, de forma que los agujeros se superpongan.

Paso 6. Asegure el accesorio resultante del paso 5 mediante el tornillo plástico de 5/16".

Paso 7. Introduzca la varilla de aluminio (F) a partir del extremo más alejado del orificio dentro del niple (E) a partir del borde liso (sin corte). Es decir, que el extremo con el corte quede en la parte superior y alinee los agujeros.



5.



6.



7.

Continúa...

Figura 29. Montaje de la válvula flotador de la recámara dosificadora.

Continuación ...



8.



9.



10.



11.

Paso 8. Introduzca el accesorio resultante del Paso 7 en el accesorio resultante del Paso 6, de tal forma que acople en el agujero inferior y que el corte del niple (E) quede hacia la parte anterior del codo.

Paso 9. Alinee los agujeros de todos los accesorios.

Paso 10. Asegure con el tornillo en acero y coloque la tuerca.

Paso 11. Introduzca el codo (D) en el accesorio resultante del Paso 10.

Paso 12. Introduzca la varilla en aluminio (B) en el niple (C).

Paso 13. a. Introduzca el accesorio resultante del Paso 12, por el extremo sellado, en la pera plástica (A), hasta el fondo, y pegue utilizando pegante instantáneo y un anillo de Quimident en la unión entre el tubo y la pera. **b.** Otra alternativa es utilizar el niple (C) con los 2 extremos abiertos, calentar uno de los extremos y acoplarlo al émbolo con el que originalmente viene la pera. Posteriormente se perfora el extremo del tubo unido al émbolo con un agujero de 1/8" y se introduce en el mismo un pasador de aluminio de 1/8" y se remacha.

Paso 14. Finalmente introduzca el tubo del accesorio resultante en el Paso 13 en el codo del accesorio resultante en el Paso 11.



12.



13a.



13b.



14.

En las Figuras 30 y 31 se presenta un detalle de la tubería de entrada al reactor metanogénico y del disco ubicado entre la Tee, y la entrada al tanque, para prevenir el paso de material insoluble y el taponamiento del distribuidor (disco perforado o malla Secafex 4x4).

Igualmente, en la Figura 30 se muestra el tapón roscado del reactor metanogénico, que permite el mantenimiento del disco perforado y la descarga de lodos del reactor. Se fabrica con un tubo PVC-S de 1½" de 1 m de longitud, al cual se le acopla un adaptador macho y un tapón roscado PVC-P de 1½".

La Figura 32 muestra el disco perforado que se instala para la retención de partículas, en la Tee de entrada a los reactores metanogénicos.



Figura 30. Dispositivo de entrada al reactor metanogénico.

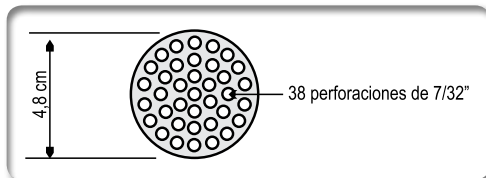


Figura 32. Disco perforado para la retención de material particulado.

En la Figura 33 se muestra un detalle del dispositivo de distribución de flujo en el interior del reactor metanogénico y el tubo de salida del mismo.

En la Figura 34 se presentan los materiales necesarios para la construcción del dispositivo de distribución de flujo en el reactor metanogénico. Las dimensiones del marco en PVC-P son para tanques con capacidades de

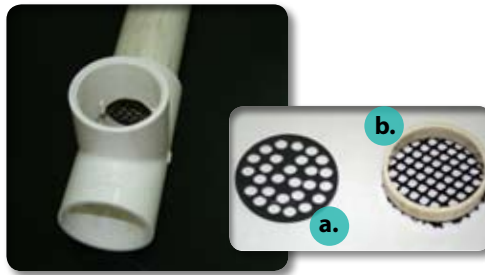


Figura 31. Dispositivos para la retención de partículas sólidas a la entrada del reactor metanogénico. **a.** Disco perforado. **b.** Malla Secafex 4*4 con anillo de PVC.

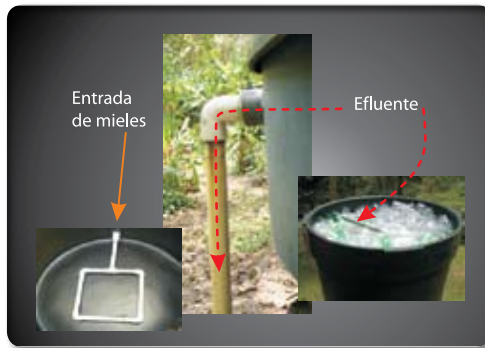


Figura 33. Dispositivos internos de distribución y salida de flujo en el reactor metanogénico.

250, 500 y 750 L. Para tanques de 1.000 y 2.000 L, las dimensiones del dispositivo son de 45 cm x 45 cm.

En la Figura 35 se presenta el dispositivo de salida del reactor metanogénico, con sus correspondientes medidas de acuerdo con el tamaño de los tanques utilizados.

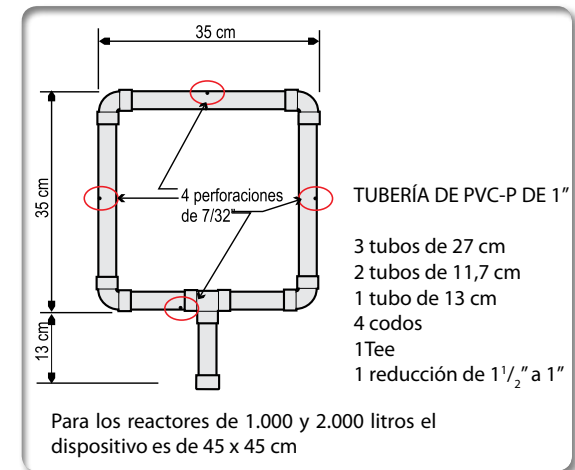


Figura 34. Dispositivo interno de distribución de flujo en el reactor metanogénico.

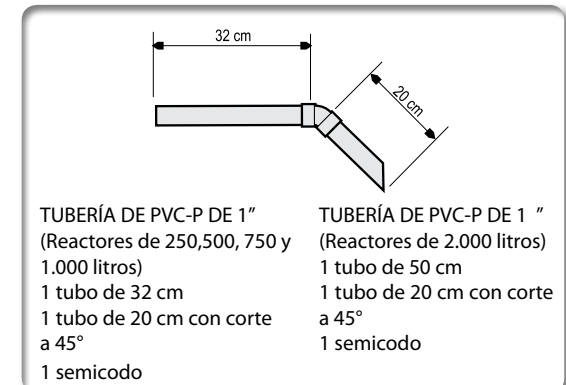


Figura 35. Dispositivo de salida del reactor metanogénico.

4. Inoculación, arranque y operación del SMTA

Una vez instalado el SMTA, es necesario adecuar el reactor metanogénico, 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 a biogás por la acción de microorganismos metanogénicos.

Una vez realizadas todas las conexiones en el reactor metanogénico se procede a llenar su interior con tercios de botellas no retornables o trozos de guadua, cortados en cilindros de 15 cm (Figura 36), de forma que sirvan de medio de soporte para las bacterias metanogénicas, para que no sean arrastradas con el agua tratada que sale del reactor, lo que haría que se perdiera eficiencia en el proceso de depuración.

En la Tabla 4 se presentan las cantidades de medio de soporte que se requieren para los diferentes tamaños de las unidades metanogénicas que forman parte de los diferentes prototipos.

El siguiente paso consiste en la preparación del inóculo denominado “caldo microbiano metanogénico”, el cual puede prepararse en un tanque aparte, para facilitar su homogeneización si se adiciona sobre el reactor ya empacado.

En la preparación del inóculo se utilizan los ingredientes y cantidades indicadas en la Tabla 4, de acuerdo con la capacidad del tanque metanogénico.

El inóculo consta de una fuente de microorganismos metanogénicos, para ello 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 homogeneizar la mezcla, de esta manera se puede tener una tasa de inoculación entre el 1% y el 2% de microorganismos y se adiciona al reactor metanogénico (Figura 37).



Figura 36. Material de soporte para las bacterias en los reactores metanogénicos (trozos de guadua o trozos de botellas no retornables).



Inoculación y arranque

Anteriormente se recomendaba diluir y filtrar el estiércol, no obstante, las últimas investigaciones adelantadas en SMTA mostraron un mejor desempeño cuando se adicionan en su orden: 1) agua corriente hasta cubrir el dispositivo interno de distribución de flujo en el reactor metanogénico, 2) el inóculo sin filtrar, 3) material de soporte (guaduas o botellas).



Figura 37. Estiércol vacuno como fuente de microorganismos metanogénicos.

Tabla 4. Materiales necesarios para la inoculación y arranque de los SMTA.

Reactor metanogénico			Inoculación					Arranque	
Volumen (L)	Guadua (metros lineales)	Tercios de botella (número)	Inóculo (bacterias)	Fuente de carbono		Fuente de nitrógeno	Búfer de arranque	Día	Tiempo de alimentación diaria (Horas : min)
				Opción A	Opción B				
250	22	186	30 kg de estiércol fresco + 30 L de agua	15 L primer enjuague + 15 L segundo enjuague	2 kg de miel de purga disuelta en 60 L de agua	1,5 L orina animal ó 25 g de urea disuelta en 1 L de agua	0,5 kg de cal masilla blanca disuelta en 5 L de agua	1 a 14	00:06
								15 a 28	00:15
								29 a 42	00:35
								43 a 56	01:00
								57 a 70	01:30
								71 en adelante	Continuo
500	43	369	60 kg de estiércol fresco + 60 L de agua	30 L primer enjuague + 30 L segundo enjuague	4 kg de miel de purga disuelta en 120 L de agua	3 L orina animal ó 50 g de urea disuelta en 2 L de agua	1,0 kg de cal masilla blanca disuelta en 10 L de agua	1 a 14	00:13
								15 a 28	00:30
								29 a 42	01:10
								43 a 56	02:00
								57 a 70	03:00
								71 en adelante	Continuo
750	66	558	90 kg de estiércol fresco + 90 L de agua	45 L primer enjuague + 45 L segundo enjuague	6 kg de miel de purga disuelta en 180 L de agua	4,5 L orina animal ó 75 g de urea disuelta en 3 L de agua	1,5 kg de cal masilla blanca disuelta en 15 L de agua	1 a 14	00:20
								15 a 28	00:45
								29 a 42	01:45
								43 a 56	03:00
								57 a 70	04:30
								71 en adelante	Continuo
1.000	85	735	120 kg de estiércol fresco + 120 L de agua	60 L primer enjuague + 60 L segundo enjuague	8 kg de miel de purga disuelta en 240 L de agua	6 L orina animal ó 100 g de urea disuelta en 4 L de agua	2,0 kg de cal masilla blanca disuelta en 20 L de agua	1 a 14	00:25
								15 a 28	01:00
								29 a 42	02:20
								43 a 56	04:00
								57 a 70	06:00
								71 en adelante	Continuo
2.000	170	1.470	240 kg de estiércol fresco + 240 L de agua	120 L primer enjuague + 120 L segundo enjuague	16 kg de miel de purga disuelta en 480 L de agua	12 L orina animal ó 200 g de urea disuelta en 8 L de agua	4,0 kg de cal masilla blanca disuelta en 40 L de agua	1 a 14	00:52
								15 a 28	02:00
								29 a 42	04:40
								43 a 56	08:00
								57 a 70	12:00
								71 en adelante	Continuo

Caudal de alimentación para cada reactor: 550 ml / min

Para favorecer el crecimiento de los microorganismos metanogénicos, solamente durante la instalación del SMTA, se recomienda adicionar una fuente de carbono, que permita tener entre 4 y 5 kg de DQO soluble por metro cúbico de rector, una fuente de nitrógeno para equilibrar la relación C/N y un neutralizante que permita tener un pH cercano a 7 (3, 4, 5).

En la Tabla 4 se presentan los materiales y las cantidades recomendadas como fuentes de C, N y acción Búfer de acuerdo con el volumen de las unidades metanogénicas. La adición de estas fuentes se realiza de una sola vez, a través la recámara dosificadora.

Como fuente de carbono se presentan dos opciones: las aguas residuales del primero y segundo enjuagues, generadas en los tanques de lavado, o miel de purga disuelta en agua (Figura 38), en el caso de que el sistema se instale y no se cuente en el momento con café para beneficiar.

Como fuente de nitrógeno se recomienda utilizar orina animal, por su aplicabilidad en los



Figura 38. Adición de la fuente de carbono durante la inoculación de un reactor metanogénico.

programas de certificación orgánica. También se puede utilizar una solución de urea al 2,5%, adicionando 4 L por cada metro cúbico de reactor metanogénico.

Para acondicionar el pH en el reactor metanogénico se recomienda disolver cal masilla blanca en agua, de acuerdo con los datos condensados en la Tabla 4. La adición se realiza de la misma forma en que se adiciona la fuente de C y de N.

Si es necesario, se adiciona agua hasta cubrir por completo el material de empaque del reactor metanogénico.

Finalmente, se debe tapar el reactor metanogénico durante tres semanas, al cabo de las cuales se inicia con la etapa de arranque del sistema de tratamiento.

Durante la inoculación y antes de iniciar el arranque del sistema, verifique que la válvula de paso a la entrada de la recámara dosificadora esté cerrada. Durante este tiempo las mieles generadas se conducen normalmente a los reactores hidrolíticos y su rebose a la excavación con tallos de café.

El día antes del inicio de la etapa de arranque, adicione en los reactores hidrolíticos de 250 L, 0,5 L de orina ó 10 g de urea disuelta en 1 L de agua y 500 g de cal masilla blanca.



Medios de soporte

Para los tanques hidrolíticos de 500 L, multiplique estos valores por dos, para los tanques de 750 L multiplique por tres, para los de 1.000 L multiplique por cuatro y para los de 2.000 L multiplique por ocho; para estos últimos, tendrá valores de 4 L de orina animal ó 80 g de urea disuelta en 8 L de agua y 4 kg de cal masilla blanca.

La etapa de arranque tiene como propósito permitir el crecimiento y la adaptación de los microorganismos metanogénicos, provenientes del estiércol de cerdo o 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.

La inoculación del SMTA se realiza una sola vez, en el proceso de instalación. A medida que el sistema opera aumenta la cantidad y diversidad de microorganismos metanogénicos.

El proceso de arranque tiene una duración de 10 semanas. En la Tabla 4 se presentan los tiempos que debe operar la planta, con el agua residual generada durante toda la etapa de lavado, entre los días 1 al 70, después de este tiempo se puede mantener constante la alimentación al sistema (válvula de paso a la recámara dosificadora abierta indefinidamente).

Con el fin de favorecer el desempeño del SMTA, durante las cosechas siguientes se recomienda adicionar al último reactor hidrolítico (si el sistema montado cuenta con más de uno), 2kg de cal masilla blanca sin diluir y 500 g de urea disuelta en 5 L de agua ó 30 L de orina animal, por cada metro cúbico (m³) de reactor hidrolítico, una semana antes de que inicie la semana de máxima producción.

Nota: El excedente de agua residual que no se utilice durante los 2,5 meses del arranque, queda canalizado hacia la excavación con tallos de café.

Una buena inoculación y arranque del reactor metanogénico garantiza un buen funcionamiento del SMTA.

5 Recomendaciones

- El SMTA debe instalarse, de manera que el flujo de las aguas residuales pueda realizarse por gravedad. Debe tener en cuenta las cotas¹ mínimas entre unidades, de acuerdo a los diseños.
- En la selección del sitio es importante tener en cuenta el uso que se va a dar al efluente del reactor metanogénico, de tal forma que pueda conducirse para remojar el material orgánico que se procesa en los lombricultivos o pueda llevarse a sistemas de tratamiento terciario, con el fin de disminuir la carga orgánica del agua tratada a valores que ocasionen el menor impacto ambiental en el ecosistema cafetero.
- Por ningún motivo el efluente del SMTA debe verterse en nacimientos o cauces de agua limpia o directamente en cuerpos de agua, si no se cuenta con una licencia ambiental para hacer el vertimiento.
- El sitio donde se ubiquen los tanques del SMTA debe ser un terreno firme, que no tenga peligro de derrumbamiento. Por ningún motivo se deben ubicar en sitios que hayan sido rellenados.
- En zonas cafeteras donde la topografía sea muy pendiente, las excavaciones para los tanques se deben hacer con las paredes

¹ Desniveles de terreno

inclinadas y las unidades deben instalarse en zig-zag, a fin de disminuir el riesgo de derrumbamiento.

- Procure que los tanques y las tuberías estén lejos de árboles, de esta manera se favorece el calentamiento de su interior, y a la vez se evita que las raíces de los árboles desnivelen los tanques o taponen las tuberías. Los tanques desnivelados derraman las aguas mieles, ocasionando un impacto ambiental negativo como es la presencia de insectos, malos olores y cambio en las características del suelo en el sitio del derrame.
- **A las unidades del SMTA no le deben llegar efluentes diferentes a las aguas mieles**, como el caso de aguas lluvias, aguas residuales domésticas, aguas provenientes del lavado de los equipos utilizados en la aplicación de agroquímicos, ya que ello ocasionaría una sobrecarga hidráulica y una disminución en los rendimientos del proceso de depuración.
- Los tanques de las diferentes unidades deben permanecer tapados correctamente, con el fin de que la tapa no se deforme. También es importante que los tanques sean negros, lo que permite incrementar la temperatura en el interior del sistema, favoreciendo la actividad de los microorganismos.
- Todos los dispositivos internos de los tanques van acoplados sin la utilización de pegante PVC.
- Siempre se debe verificar que el dispositivo perforado y el tapón de la trampa de pulpa no tengan obstrucciones.

- Si se presentan fugas entre la manguera de polietileno y el acople macho de polietileno, en alguna de las unidades, se puede hacer un sello utilizando una cinta de neumático, ajustando fuertemente.
- Si se observan líquenes en la parte superior de los reactores hidrolíticos, éstos se deben retirar (Figura 39), para evitar un incremento de la carga orgánica en las aguas mieles, por senescencia del liquen. Este material biológico se puede depositar sobre la pulpa, para su descomposición por los procesos de compostaje o lombricompostaje.
- Instalar correctamente la recámara dosificadora con la gravilla de río de 1,0 a 2,5cm de diámetro. El marco con los orificios hacia abajo. La malla mosquitera que cubra perfectamente el diámetro de la recámara. El aro de manguera de polietileno de ½ para pisar la malla mosquitera. La válvula flotador en PVC que garantice un caudal uniforme a través del tapón o tapones perforados entre 550 y 600 mL/min. y la válvula de paso de 1" para suspender el flujo en la recámara dosificadora.
- Para calibrar el caudal en los SMTA puede utilizarse un envase plástico de gaseosa de 600 mL, verificando que en un minuto se recolecte un volumen que esté 5 cm por debajo del borde superior de la botella.
- Inspeccione semanalmente la recámara dosificadora y cuando observe acumulación de material insoluble sobre la malla mosquitera, cierre la válvula de paso, espere a que descienda el nivel de líquido, retire el material insoluble y dispóngalo en el



Figura 39. Aspecto del liquen creciendo dentro del reactor hidrolítico.

lombricultivo, reemplace la malla por una limpia y restablezca el flujo.

- Después de terminada la cosecha, retire los tapones laterales de los reactores hidrolíticos-acidogénicos y abra la válvula de purga de aire, para descargar los lodos acumulados y condúzcalos a la excavación con tallos de café, utilizando una manguera de polietileno de 2". Adicione agua corriente para favorecer la salida del material insoluble.
- Antes de cada cosecha debe hacer mantenimiento a la recámara dosificadora, lo que implica suspender el paso de aguas mieles mediante el cierre de la válvula de paso de 1" dispuesta a la entrada de la recámara, esperar que descienda el nivel de líquido, retirar el material insoluble y disponerlo en la fosa de pulpa, retirar la válvula flotador, el aro de manguera de polietileno, la malla mosquitera, la gravilla, aflojar el tapón de desfogue de 1½", lavar todo con la menor cantidad de agua posible,

depositando el agua en la excavación con tallos de zoca, empaçar nuevamente la recámara dosificadora tal como estaba y de nuevo, dar paso a las aguas mieles.

- La vida útil de la excavación llena con tallos de café depende de las propiedades físicas del suelo. Una vez se presente obstrucción de la misma, clausúrela cubriéndola con tierra y reemplácela por otra.
- No se recomienda la instalación de digestores en plastilona como reactores, ya que con el tiempo se ha observado un daño en el material, posiblemente provocado por la emergencia de larvas de insectos presentes en el interior del reactor, cuya supervivencia estuvo influenciada por los períodos en los cuales no se generaron aguas mieles o su producción fue baja (Figura 40).
- Nivelar el terreno antes de instalar cada tanque. Los tanques inclinados derraman las mieles.

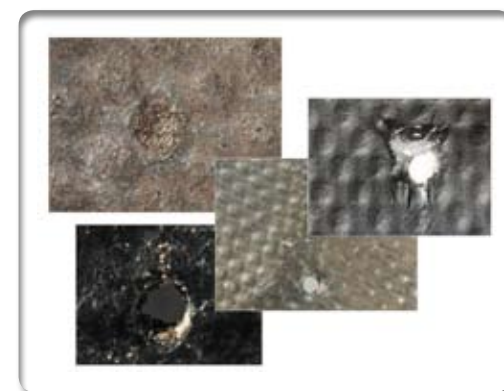


Figura 40. Daños observados en la plastilona utilizada como reactor hidrolítico-acidogénico.

6 Problemas y soluciones

Problemas hidráulicos, causas y soluciones

Problema	Causa	Solución
1. No fluye el agua residual desde la trampa de pulpa hasta el reactor hidrolítico	-Taponamiento del dispositivo de salida de aguas mieles de la trampa de pulpa por presencia de pulpa o granos en el tanque o por la presencia de gases en la tubería	Elimine la pulpa o los granos que se encuentren en la trampa de pulpas. Si el problema persiste, abra la válvula de purga, a la entrada del reactor hidrolítico (Figura 19), hasta que se recupere el flujo
2. No fluye el agua residual entre los reactores hidrolíticos	-Taponamiento de la tubería que comunica los reactores hidrolíticos. -Taponamiento de la perforación de 3/8" del dispositivo del RHA	-Retire los tapones acoplados a las Tee que comunican entre sí los reactores hidrolíticos, con el fin de permitir la descarga de lodos o material insoluble que haya provocado la obstrucción y conduzca estos efluentes a la excavación con tallos de café -Limpiar el orificio del dispositivo.
3. No fluye el agua residual desde los reactores hidrolíticos hasta la recámara dosificadora	Taponamiento a la entrada de la válvula flotador	Suspenda el paso de aguas mieles a la recámara dosificadora, con el cierre de la válvula de 1". Retire el tornillo plástico de 5/16" que tiene la válvula flotador, retire la válvula flotador, abra rápidamente la válvula de 1" hasta que se elimine la posible obstrucción. Monte nuevamente la válvula flotador, coloque el tornillo plástico de 5/16" y abra la válvula de 1"
4. Flujo permanente de agua residual hacia la excavación con tallos de café	- Taponamiento del dispositivo de salida de aguas mieles en la trampa de pulpas - Taponamiento del dispositivo de salida de aguas mieles del reactor hidrolítico - Sobrecarga hidráulica en el sistema	- Siga el mismo procedimiento que se registró para el problema 1 - Siga el mismo procedimiento que se registró para el problema 3 - Verifique que en la etapa de lavado se estén utilizando entre 4 y 5 L de agua por kilogramo de café pergamino seco
5. No fluye el agua residual desde la recámara dosificadora hasta el reactor metanogénico	- Obstrucción del tapón perforado de salida de la recámara dosificadora - Taponamiento del disco perforado, ubicado en la entrada del reactor metanogénico	- Desprenda el tapón de salida de la recámara dosificadora y elimine el material que ocasiona el taponamiento. Si no se presenta flujo, descargue los lodos de la recámara dosificadora a través del tapón respectivo y lave el lecho filtrante. Conduzca este efluente a la excavación con tallos de café - Suspenda la salida de flujo de la recámara dosificadora. Deje pasar agua limpia desde la recámara dosificadora, así se limpia el disco perforado y reestablezca el flujo
6. No fluye el agua residual a través del dispositivo de salida del reactor metanogénico	Taponamiento del dispositivo de salida del reactor metanogénico por acumulación de material insoluble	Desprenda el dispositivo de salida (Figura 35), elimine el material que ocasiona la obstrucción y vuelva a ensamblar el dispositivo

Problemas de acidificación, causas y soluciones

Problema	Causa	Solución
1. Olor a cebolla picante o queso rancio en el efluente del reactor metanogénico	Introducción al SMTA de aguas domésticas o con agroquímicos Caudal de salida de la recámara dosificadora superior a 600 mL/min Adición al sistema de los dos o tres primeros enjuagues, únicamente Beneficio de una cantidad de café superior a la establecida para el sistema de tratamiento	Trate las aguas residuales domésticas y aguas contaminadas con agroquímicos en sistemas de tratamiento separados. Por ningún motivo las incorpore al SMTA - Verifique que el agujero del tapón de salida de la recámara dosificadora sea de 5/64" si es para un solo reactor metanogénico - Calibre el caudal de la recámara dosificadora entre 500 y 600 mL/min. Realice el lavado del café siguiendo la metodología de los cuatro enjuagues y conduzca todas las aguas residuales de estos cuatro enjuagues al sistema Beneficie sólo la cantidad máxima de café para la cual se diseñó la planta de tratamiento
2. Acidificación leve del reactor metanogénico, caracterizado por un mal olor moderado	- Introducción al SMTA de aguas domésticas o con agroquímicos - Caudal de salida de la recámara dosificadora superior a 600 mL/min. - Adición al sistema de los dos o tres primeros enjuagues, únicamente. - Beneficio de una cantidad de café superior a la establecida para el sistema de tratamiento	-Trate las aguas residuales domésticas y aguas contaminadas con agroquímicos en sistemas de tratamiento separados. Por ningún motivo las incorpore al SMTA -Verifique que el agujero del tapón de salida de la recámara dosificadora sea de 5/64" -Calibre el caudal de la recámara dosificadora entre 500 y 600 mL/min. -Realice el lavado del café siguiendo la metodología de los cuatro enjuagues y conduzca todas las aguas residuales de estos cuatro enjuagues al sistema -Beneficie sólo la cantidad máxima de café para la cual se diseñó la planta de tratamiento -Recupere el sistema suspendiendo el paso de las aguas residuales al reactor metanogénico, durante 24 horas. Si el problema persiste, suspenda nuevamente el flujo por 24 horas y, en el último reactor hidrolítico, por cada m³ de reactor, adicione 2 kg de cal masilla blanca sin diluir y 500 g de urea disuelta en 5 L de agua ó 30 L de orina animal
3. Acidificación crítica del reactor metanogénico, caracterizado por un mal olor fuerte	- Introducción al SMTA de aguas domésticas o con agroquímicos - Caudal de salida de la recámara dosificadora superior a 600 mL/min. - Adición al sistema de los dos o tres primeros enjuagues, únicamente - Beneficio de una cantidad de café superior a la establecida para el sistema de tratamiento	-Trate las aguas residuales domésticas y aguas contaminadas con agroquímicos en sistemas de tratamiento separados. Por ningún motivo las incorpore al SMTA -Verifique que el agujero del tapón de salida de la recámara dosificadora sea de 5/64" -Calibre el caudal de la recámara dosificadora entre 500 y 600 mL/min. -Realice el lavado del café siguiendo la metodología de los cuatro enjuagues y conduzca todas las aguas residuales de estos cuatro enjuagues al sistema -Beneficie sólo la cantidad máxima de café para la cual se diseñó la planta de tratamiento -Recupere el sistema suspendiendo el paso de aguas residuales al reactor metanogénico, cerrando la válvula de entrada a la recámara dosificadora, durante 2 días. Diluya los ácidos presentes en el reactor metanogénico dejando pasar, a través de la recámara, 1 m³ de agua conteniendo 60 L de orina animal ó 1 kg de urea disuelta. Restaure el flujo. Si el problema persiste, suspenda nuevamente el flujo por 24 horas y en el último reactor hidrolítico, por cada m³ de reactor, adicione 2 kg de cal masilla blanca sin diluir y 500 g de urea disuelta en 5 L de agua ó 30 L de orina animal.

7 Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al personal del Servicio de Extensión de los Comités Departamentales de Cafeteros del Magdalena, Risaralda (Marsella), Tolima, Cundinamarca, Antioquia (Carmen de Atrato), Cauca, Nariño y Quindío, quienes han apoyado la adopción de los SMTA en sus departamentos y han expresado la necesidad de una publicación que guíe paso a paso el proceso de selección, instalación, arranque y operación de los sistemas.

Al señor José Gonzalo Hoyos Salazar, de Divulgación y Transferencia de Cenicafé, por la elaboración de los diagramas, sus aportes y su paciencia.

A la señora Aída Nelsa Restrepo Londoño, de la microempresa Artículos en PVC, de Manizales, por el apoyo y facilitación de algunos de los accesorios de los SMTA, necesarios en las

jornadas de capacitación del personal del Servicio de Extensión y de los Caficultores. A los auxiliares de Cenicafé que han apoyado las jornadas de Capacitación: Diego Alexander Velásquez, Adrián Henao y Samuel Castañeda.

Mención especial a los profesionales que formaron parte de la reunión de trabajo sobre SMTA con Técnicos de Cenicafé, el día 25 de septiembre de 2007 en las instalaciones del Comité de Cafeteros del Magdalena: Luz Aidé Serrano, Heiner Burgos, Luis Peña, Cristian Rodríguez, Ronald Ceballos, Diomedes Trillos, Manuel Matta, Isabel Cristina Ruiz, Luz María Montenegro, José Fernando Díaz, Gustavo Jiménez, Alexander Saurith, Jair Mejía, Arístides López, Rildo Amaya, Jairo Sánchez, Gustavo Cruz, Eugenio Palma y Ricardo López.

8 Literatura citada

1. ÁLVAREZ G., J. (1991). Despulpado de café sin agua. Chinchiná, Cenicafé. 6 p. (Avances Técnicos N° 164).
2. REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de Salud. (1984). Decreto número 1594 de 1984. Santafé de Bogotá (Colombia). Ministerio de Salud. 48 p.
3. RODRÍGUEZ V., N. (1999). Cargas orgánicas aplicadas en reactores anaerobios de columna suplementados con urea y operados a 30°C. *In: Informe anual de actividades 1998-1999.* Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Disciplina de Química Industrial. 90p.
4. RODRÍGUEZ V., N. (1998). Cargas orgánicas aplicadas en reactores anaerobios de columna operados a 30°C. *In: Informe anual de actividades 1997-1998.* Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Disciplina de Química Industrial. 39 p.
5. RODRÍGUEZ V., N. (1997). Cargas orgánicas aplicadas en reactores anaerobios de columna suplementados con N, P y S operando a temperatura ambiente. *In: Informe anual de actividades 1996-1997.* Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Disciplina de Química Industrial. 95 p.
6. ZAMBRANO F., D. A. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina. Chinchiná, Cenicafé. 8 p. (Avances Técnicos N° 197).
7. ZAMBRANO F., D. A.; CÁRDENAS C., J. (2000). Manejo y tratamiento primario de lixiviados producidos en la tecnología BECOLSUB. Chinchiná, Cenicafé. 8 p. (Avances Técnicos N° 280).
8. ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U. (1999). Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Chinchiná, Cenicafé. 26 p. (Boletín Técnico N° 20).
9. ZAMBRANO F., D. A.; RODRÍGUEZ V., N. (2008). Sistemas para el tratamiento de aguas mieles: Investigación aplicada en beneficio de los productores cafeteros. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental. 19 p.
10. ZAMBRANO F., D. A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U.; OROZCO R., P. A.; ZAMBRANO G., A.J. (2006). Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café. Chinchiná, Cenicafé. 28 p. (Boletín Técnico N° 29).

