

Los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA) para aguas mieles del café Orientación y manejo



© Fundación Ecológica Cafetera - FEC

Título: Los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA) para aguas mieles del café

Autor: Fundación Ecológica Cafetera - FEC

Primera edición:

Manizales, mayo de 2020

Diseño y diagramación: M. Alejandra Loaiza Murillo

Impresión y encuadernación

Matiz Taller Editorial

matiz.tallereditorial@gmail.com

Tel. (57+6) 8911121 - 8911122

Manizales - Caldas - Colombia

Se contó con la colaboración y revisión por parte del Dr. Nelson Rodríguez Valencia, Ph.D. en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Investigador Científico III. Poscosecha, CENICAFE.

La impresión de este material fue posible gracias a los recursos del Banco KfW que son recibidos en el marco del Convenio de Cooperación Técnica y Científica Número 20019-0364 suscrito entre El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Todos los derechos reservados. Se prohíbe la reproducción parcial o total de esta obra —incluso el diseño tipográfico y de portada— sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento previo de los titulares de los derechos.

¿Porqué los SMTA?

En Colombia El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) establece una serie de instrumentos para la Gestión del Recurso hídrico direccionados a la planificación, donde se destacan los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (Decreto 1640 del 2012) y los Programas sobre el uso eficiente y ahorro del agua (Decreto 1090 del 2018). Adicionalmente, el MADS, mediante sus instrumentos de comando y control, especifica las características de calidad que deben tener las aguas vertidas sobre el suelo (Decreto 50 del 2018) o los cuerpos de aguas superficiales (Resolución 631 del 2015). A través de los instrumentos económicos, el MADS, precisa impuestos económicos por el uso del agua y tasas retributivas sobre el remanente de contaminación que queda en las aguas tratadas, cuyas tasas pueden ser bajas si se emplea un sistema de tratamiento de alta eficiencia.

Los Sistemas Modulares de Tratamiento anaeróbico (SMTA) son una de las soluciones diseñadas por Cenicafé para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café, que permiten dar cumplimiento a la normatividad vigente, evitando, a los productores, aspectos sancionatorios o multas por no tratar este tipo de aguas.

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, y que lo enmarca dentro de una categoría que se conoce como “de los suaves lavados”. Bajo este aspecto es indudable pensar que, si se requiere del agua para beneficiar el fruto de café y transformarlo en café pergamino seco por la vía húmeda, el uso del agua se debe asumir con una responsabilidad ambiental, que se logra adoptando tecnologías que enmarquen el producto dentro de un sistema productivo amigable con la naturaleza, como lo es el beneficio ecológico.

Se ha identificado que uno de los aspectos que genera mayores impactos negativos sobre el recurso hídrico es cuando se usa irracionalmente el agua durante el proceso de beneficio y cuando el agua proveniente del beneficio se dispone sobre el suelo o sobre los cuerpos de agua superficial, sin antes darles un tratamiento de descontaminación.

Cenicafé ha desarrollado diversas tecnologías que permiten, por un lado, la reducción en el consumo de agua durante el beneficio del café, pasando de consumos tradicionales de hasta 40 litros por kilogramo de café pergamino seco obtenido, hasta valores inferiores a 10 litros; todas ellas consideradas Sistemas de Beneficio Ecológico; así como tecnologías que permiten reducir en más del 80% la carga orgánica del agua, antes de su disposición final al suelo o a cuerpos de agua superficial.

Una de estas tecnologías es el Sistema Modular de Tratamiento Anaeróbico (SMTA), el cual presentamos de manera didáctica en esta publicación, con el objetivo de difundir las prácticas requeridas para su diseño, instalación, funcionamiento y mantenimiento, buscando con ello que esta tecnología opere adecuadamente y se alcance el grado de descontaminación de las aguas mieles, cumpliendo con lo exigido en la normativa ambiental vigente.

Algunos conceptos claves para conocer el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA)

Tanque de fermentación

Tanque en el cual se somete el grano desulpado del café al proceso de fermentación y su posterior lavado.

Agua residual del café

Son las aguas mieles resultantes del lavado del café, luego de la fermentación del mucilago.

Trampa de pulpa

Primer componente del SMTA. Se utiliza para retener material sólido grueso presente en las aguas residuales del café.

Hidrólisis y acidogénesis

Procesos bioquímicos que se llevan a cabo en el tratamiento primario de las aguas residuales del café, cuya función es la formación de compuestos contaminantes más simples y la formación de ácidos, con el fin de disminuir el tiempo del tratamiento y aumentar su eficiencia.

Reactor hidrolítico-acidogénico

Segundo componente del SMTA. Es un tanque en polietileno en el cual ocurren reacciones de descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales del café y se presenta la formación de ácidos.

Flotación

Proceso que ocurre en el reactor hidrolítico-acidogénico en el cual se forman las natas en la superficie de los tanques en el tratamiento de aguas residuales del café.

Reactor metanogénico

Quinto componente del SMTA. Es un tanque en polietileno en el cual ocurren reacciones de metanogénesis de las aguas residuales del café.

Excavación para reboses

Tercer componente del SMTA. Es una excavación en el suelo de 1 m³ y empacada con tallos de café que se utiliza para el manejo de algún eventual rebose que se presente en el sistema de tratamiento.

Recámara dosificadora

Cuarto componente del SMTA. Su función es regular el caudal de agua residual que llega al reactor metanogénico.

Sedimentación

Proceso que ocurre en el reactor hidrolítico-acidogénico en el cual se forman los lodos en el fondo de los tanques en el tratamiento de aguas residuales del café.

Inoculación

Proceso que consiste en adicionar bacterias metanogénicas en el reactor metanogénico.

Metanogénesis

Proceso mediante el cual los microorganismos en ausencia de oxígeno transforman la materia orgánica presente en las aguas residuales del café, en biogás.

Arranque

Proceso que consiste en el crecimiento y adaptación de los microorganismos metanogénicos al agua residual del café.



Definición del Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA)

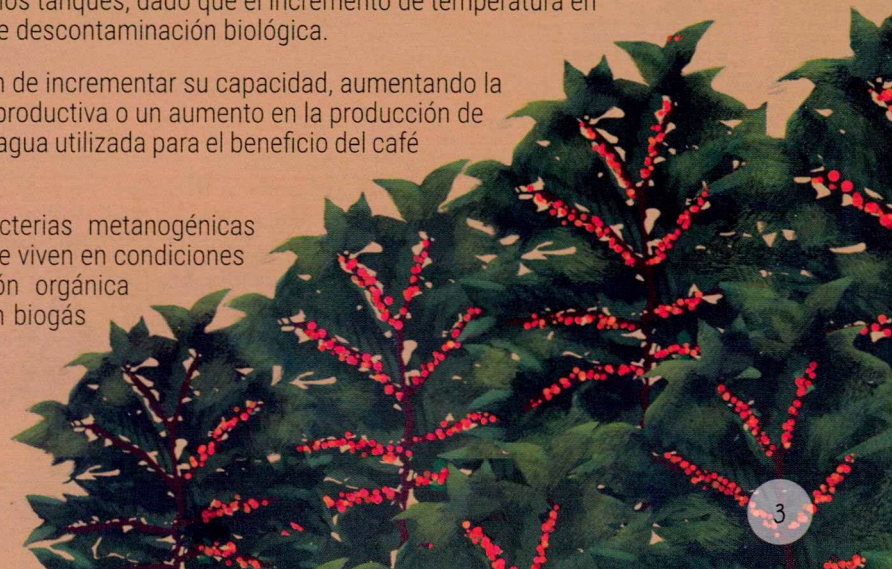
Son sistemas diseñados por Cenicafé para el tratamiento de las aguas residuales del café con el fin de cumplir con los valores de los parámetros de calidad exigidos en la normatividad Ambiental para los vertimientos a cuerpos de agua o suelo.

El sistema está conformado por un conjunto de 5 unidades básicas (trampa de pulpa, reactor hidrolítico-acidogénico, excavación para reboses, recámara dosificadora, reactor metanogénico) dispuestas en serie, en las cuales el movimiento de las aguas residuales del beneficio del café se realiza por gravedad. En cada una de una de las unidades se realiza un tratamiento así: preliminar (trampa de pulpa), primario (reactor hidrolítico – acidogénico y rebose de seguridad), secundario (reactor metanogénico), quedando el agua para ser posteriormente tratada, en caso de ser necesario, en un humedal artificial, antes de ser descargada al suelo o a cuerpos de agua superficial.

Las unidades que conforman el SMTA son de color negro, con el fin de que realicen la captación de la energía solar y la transmitan a las aguas residuales que se encuentran en los tanques, dado que el incremento de temperatura en el agua a tratar incrementa los rendimientos en el proceso de descontaminación biológica.

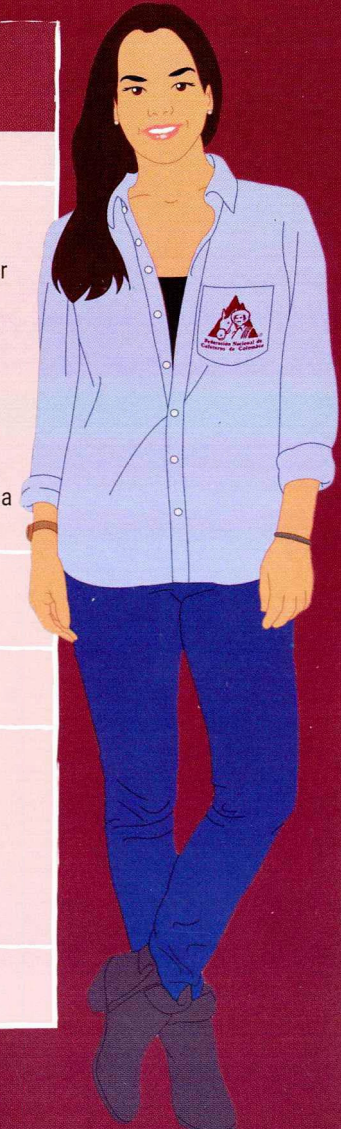
El sistema de tratamiento es modular por que tiene la opción de incrementar su capacidad, aumentando la cantidad de unidades, si se presenta un aumento en el área productiva o un aumento en la producción de café en la finca, lo que implica un aumento en la cantidad de agua utilizada para el beneficio del café y en las aguas residuales resultantes de esta actividad.

El sistema es anaeróbico, ya que es inoculado con bacterias metanogénicas (presentes en las excretas del ganado vacuno o porcino), que viven en condiciones de ausencia de oxígeno, transformando la contaminación orgánica presente, en forma disuelta, en el agua residual del café, en biogás (una mezcla gaseosa que contiene metano).

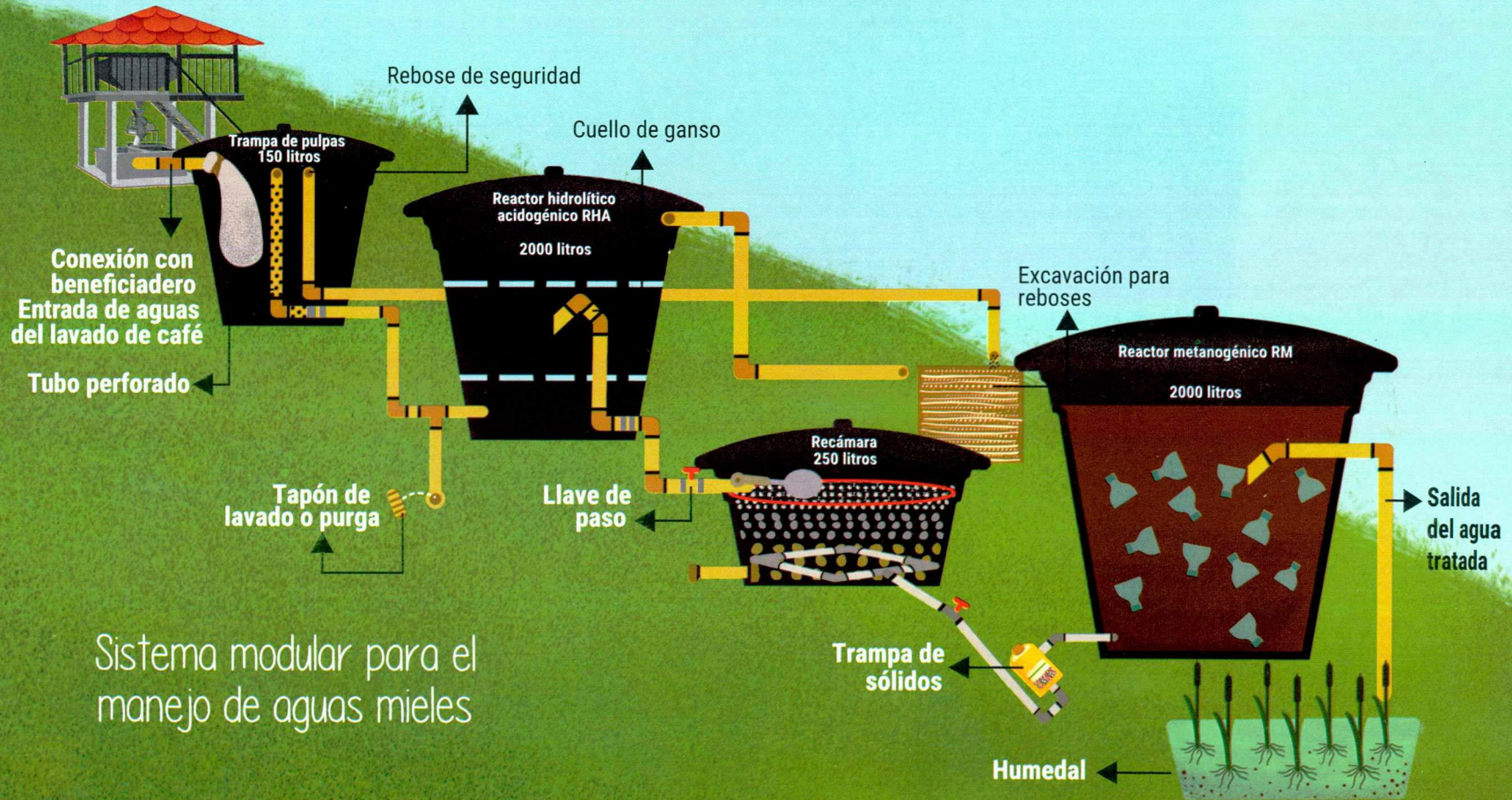


Componentes de un Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA)

Componentes básicos del SMTA	Componentes del SMTA para un óptimo funcionamiento hidráulico
• Trampa pulpa. • Reactor hidrolítico - acidogénico (RHA). -Cuello de ganso con una longitud equivalente a las 2/3 partes de la altura del tanque, para todos los reactores hidrolíticos instalados. -Tapón de lavado o purga. -Rebose de Seguridad.	• Trampa Pulpa • Reactor Hidrolítico – Acidogénico (RHA). - Distribuidor circular de flujo con baffles plásticos. - Dispositivo de purga de lodos unido al distribuidor circular de flujo. - Cuello de ganso con una longitud equivalente a las 2/3 partes de la altura del tanque, cuando se tenga más de un reactor hidrolítico. - Rebose de seguridad. - Dispositivo flotante de cabeza de presión constante con sistema de filtración incorporado. - Trampa de sólidos (ubicada a la salida del RHA antecedida y seguida de llaves de paso).
- Excavación para manejar los reboses -Excavación de 1m x 1m x 1m	• Excavación para manejar los reboses. - Excavación de 1m * 1m* 1m.
-Recámara dosificadora (RD). - Trampa de sólidos (ubicada a la salida de la RD).	No requiere Recámara dosificadora (RD)
-Reactor Metanogénico. -Marco de distribución. -Tapón de lavado o purga. -Medio de soporte (trozos de botellas plásticas, trozos de manguera o trozos de guadua de 15 cm). -Salida axial (Efluente).	Reactor Metanogénico . - Marco de Distribución. - Tapón de lavado o purga. - Dispositivo interno de limpieza. - Medio de soporte (trozos de botellas plásticas, trozos de manguera o trozos de guadua de 15 cms). - Salida axial (Efluente).
• Filtros Verdes o Humedales Artificiales (Opcionales para Postratamiento, si se requieren).	• Filtros Verdes o Humedales Artificiales (Opcionales para Postratamiento, si se requieren).



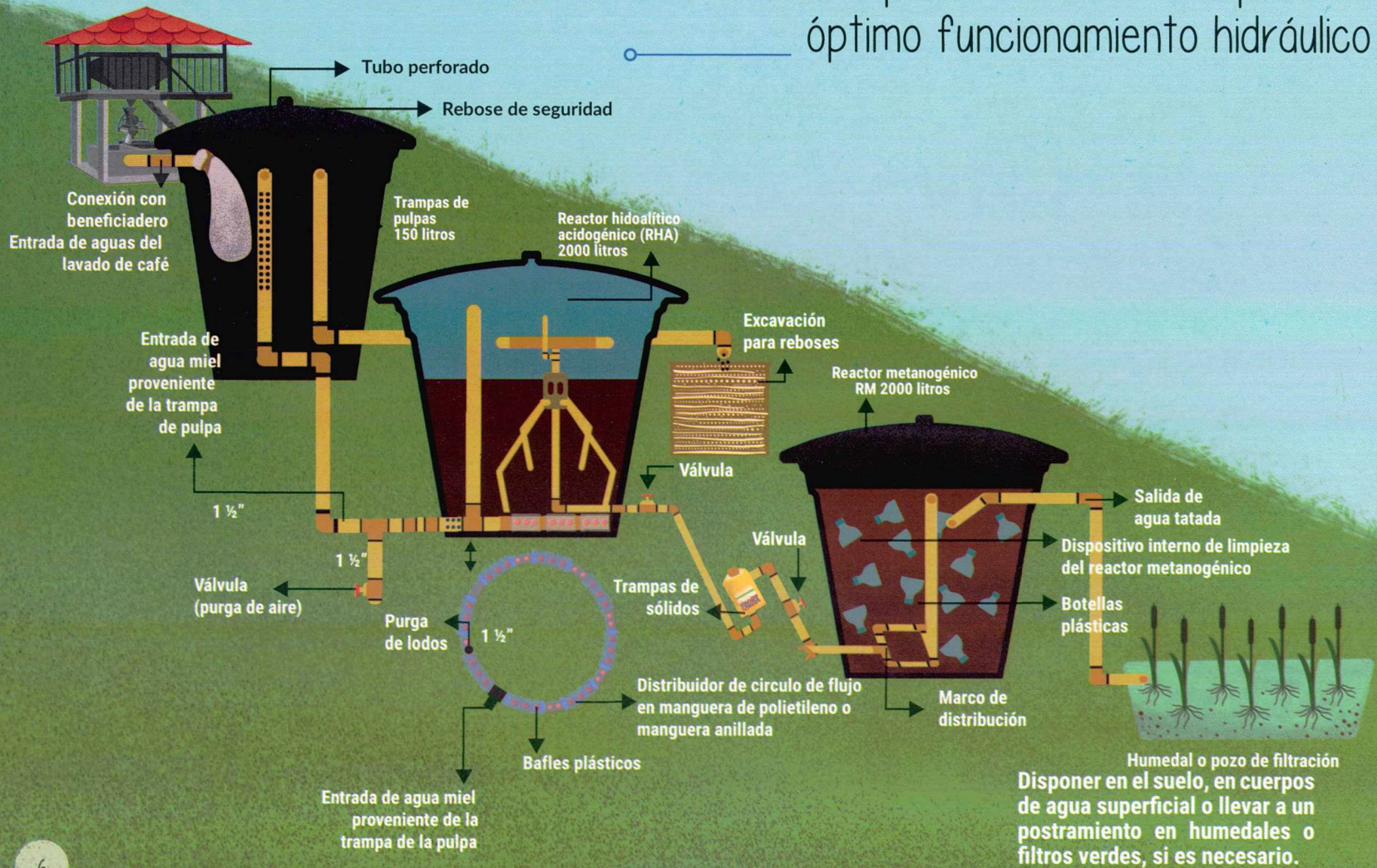
Componentes básicos de los SMTA



Sistema modular para el manejo de aguas mieles

Disponer en el suelo, en cuerpos de agua superficial o llevar a un postramiento en humedales o filtros verdes, si es necesario.

Componentes del SMTA para un óptimo funcionamiento hidráulico



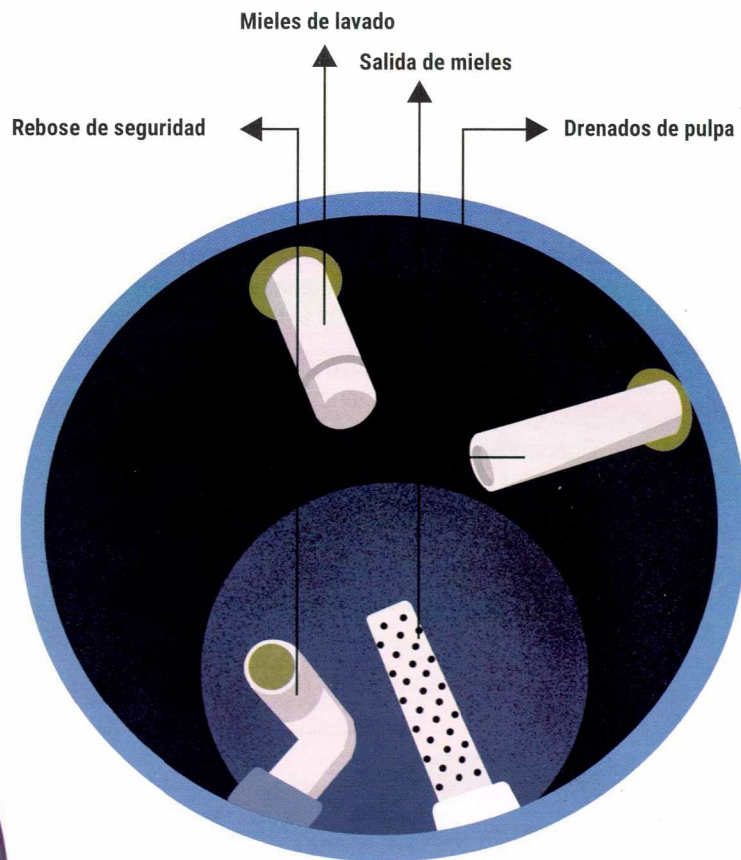
Componentes del Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA)

I. El tanque trampa de pulpas

Es un tanque de plástico negro de 150 Litros que se acondiciona para retener granos, cáscaras y pulpas presentes en el agua residual resultante del lavado del café y que pueden ocasionar taponamiento de las tuberías del sistema de tratamiento e ineficiencias del proceso de depuración.

Sus componentes adicionales son: un tubo de ingreso de las aguas mieles, un rebose de seguridad, un tubo de ingreso de los drenados del procesador de pulpa, un tubo de salida de mieles hacia el reactor hidrolítico – acidogénico.

Al tanque trampa pulpas solo deben ir las aguas de lavado del café. No incluye la de lavado de la Máquina o los pisos.



2. El reactor hidrolítico - acidogénico

Consiste en un tanque plástico cuya cantidad y capacidad de almacenamiento (1000, 2000, 5000 litros) depende de la producción de café en la finca, y es el componente del sistema donde se realizan las reacciones de hidrólisis y acidificación de las aguas residuales, además del proceso de flotación y sedimentación de sólidos. En este tanque el agua permanece retenida durante 3 días.

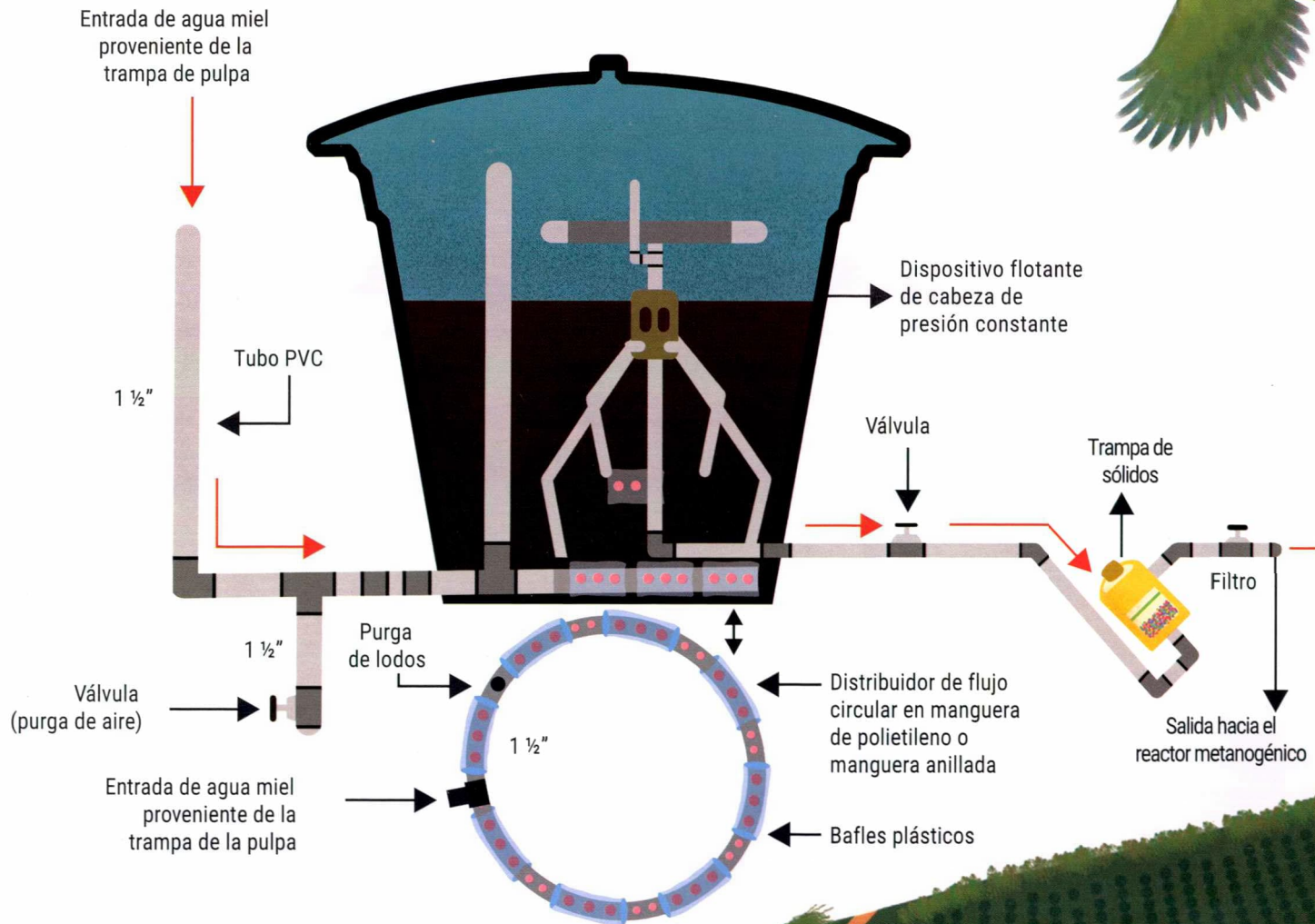
La entrada al tanque es por la parte inferior por un dispositivo circular construido en manguera con agujeros, la cual se cubre con trozos de botellas plásticas de 15 cms. Al lado de la T de entrada del agua residual se ubica una tubería para la purga de los lodos al final de la cosecha, para hacer mantenimiento a la unidad.

Consta de un dispositivo en cuello de ganso con una longitud equivalente a las $\frac{2}{3}$ partes de la altura del tanque, para asegurar la permanencia del agua durante al menos 2 días.

Cuando se requiera eliminar la recámara dosificadora por la falta de terreno o de pendiente para instalar las 4 unidades principales del sistema de tratamiento (trampa pulpa, reactor hidrolítico-acidogénico, recámara dosificadora y reactor metanogénico), se puede instalar en este tanque un dispositivo flotante de cabeza de presión constante con sistema de filtración incorporado y eliminar el cuello de ganso, siempre y cuando se requiera 1 solo tanque. Si se instalan 2 tanques hidrolíticos en serie, en el primero se ubica el dispositivo circular y el cuello de ganso y en el segundo se ubica el dispositivo flotante de cabeza de presión constante.

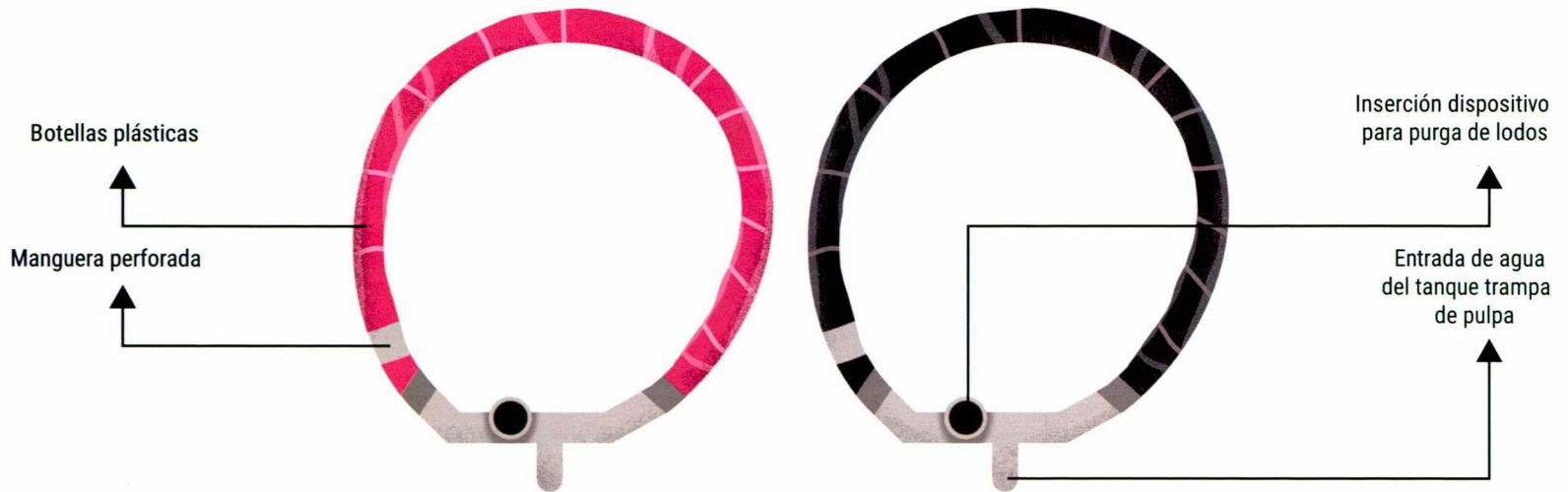
Si no se instala la recámara dosificadora, es necesario instalar a la salida del reactor hidrolítico-acidogénico la trampa de sólidos y luego conducir el agua residual al reactor metanogénico.





Componentes del reactor hidrolítico - acidogénico

Alimentador circular de flujo laminar con baffles plásticos

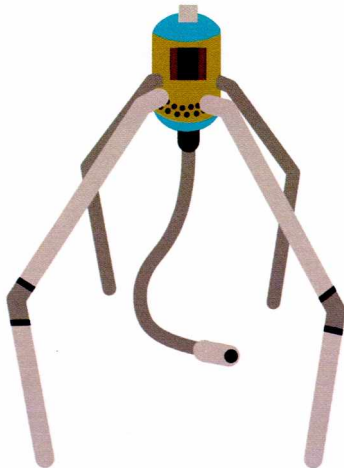


Este dispositivo se ubica en la parte inferior, a la entrada del tanque hidrolítico - acidogénico o del primer tanque (si se instalan varios reactores hidrolíticos-acidogénicos, en serie). Su función es evitar que se resuspendan los lodos sedimentados presentes en el tanque y que pueden taponar las tuberías de conducción del agua residual, dado que el agua a presión, proveniente del tanque de fermentación y lavado del café, que sale por los agujeros de la manguera de ingreso, choca contra las paredes de los trozos de las botellas plásticas, perdiendo su turbulencia y su capacidad de mezclar los sedimentos conservando las capas separadas al interior del reactor.

Componentes del reactor hidrolítico - acidogénico

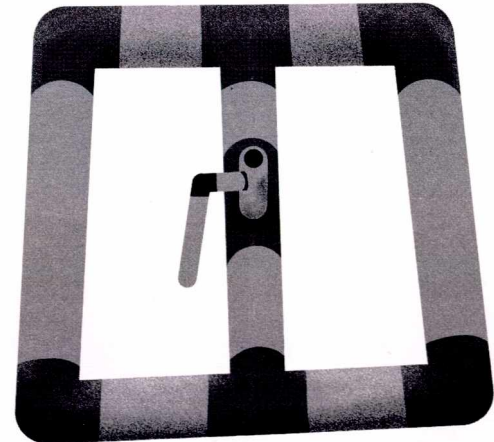
Dispositivo flotante de cabeza de presión constante con sistema de filtración

Este dispositivo varía de tamaño dependiendo del tamaño del tanque Hidrolítico-Acidogénico. Con la implementación del dispositivo flotante en el SMTA, se reemplaza algunos de los componentes de los SMTA que se instalaban anteriormente como el cuello de Ganso en el tanque hidrolítico (cuando el sistema sólo requiere de un tanque), se elimina la recámara dosificadora como parte del SMTA (en sitios con dificultad de pendiente o de terreno para la instalación del sistema) permitiendo disminuir los costos del sistema de tratamiento y el área de instalación del mismo.



Dispositivo flotante con sistema de filtración incorporado.

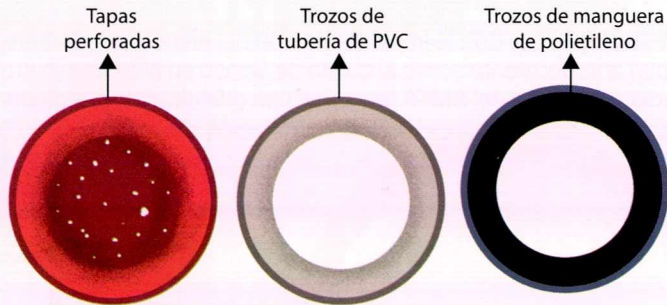
El dispositivo flotante favorece la instalación de los sistemas en fincas, donde hay dificultad de flujo de agua residual por gravedad.



Marco flotante del dispositivo

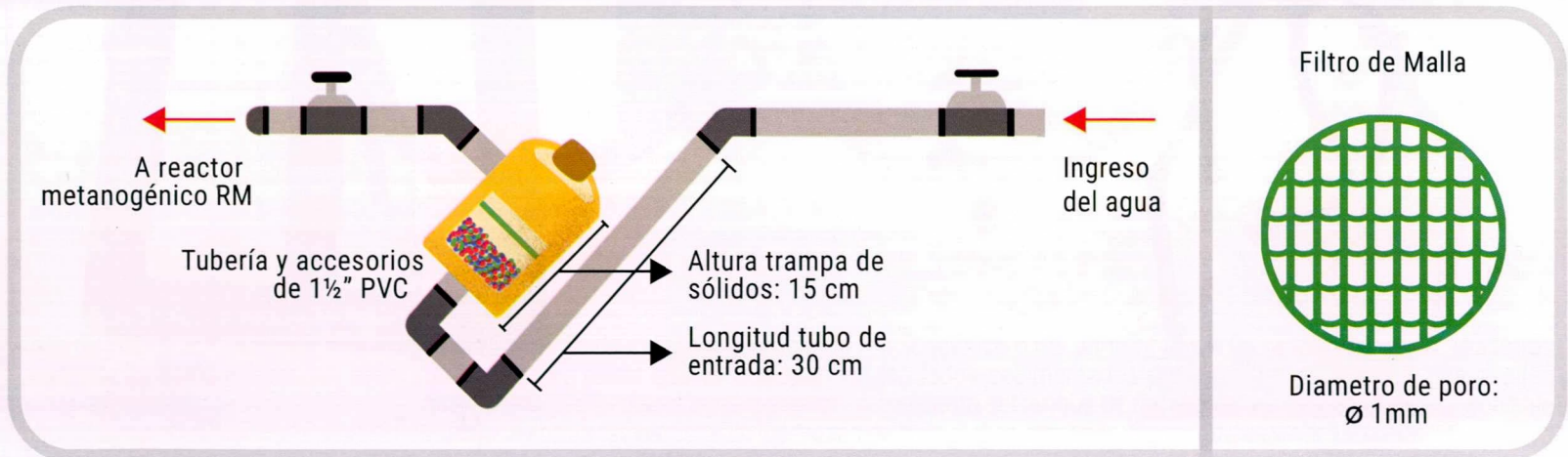
Componentes del reactor hidrolítico - acidogénico

Trampa de sólidos



Material de empaque de la trampa de sólidos

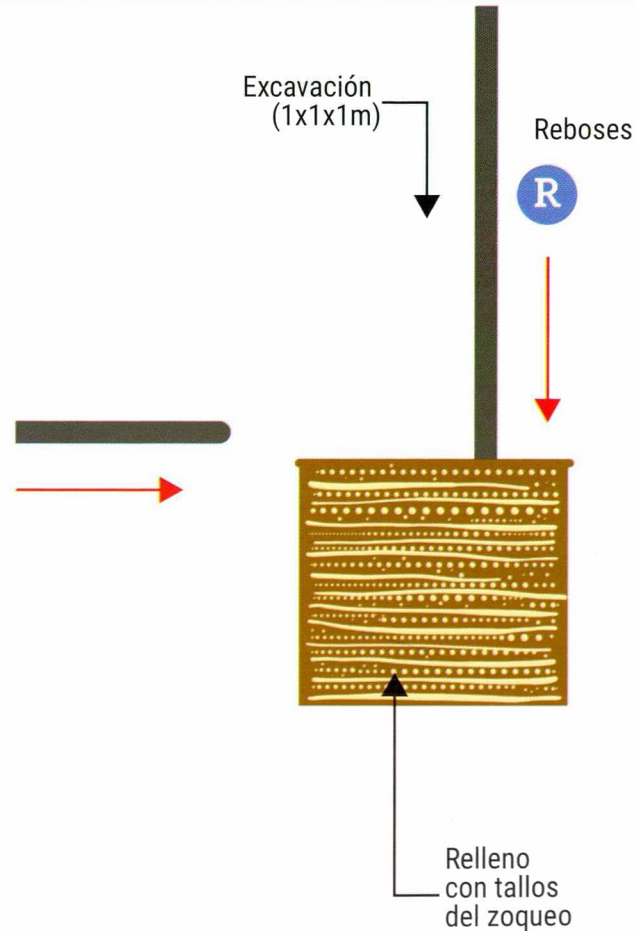
La trampa de sólidos controla el flujo del agua que sale por el dispositivo flotante de cabeza de presión constante, con sistema de filtración, del reactor hidrolítico-acidogénico hacia el reactor metanogénico. Esta trampa está antecedida y seguida de llaves de paso que permiten suspender el flujo de agua que ingresa a la trampa de sólidos y así facilitar su mantenimiento y limpieza, en cualquier momento de operación del sistema de tratamiento de aguas residuales.



3. Excavación para manejo de reboses

Consiste en una excavación de 1 m de ancho * 1 m de largo y 1 m de profundidad que se realiza en el suelo, a un lado del reactor hidrolítico-acidogénico y la cual se llena con tallos de café provenientes del proceso de zoqueo.

Su función es realizar un manejo del agua residual en el caso eventual que por taponamiento de las tuberías de conducción del sistema de tratamiento o por un incremento en el agua utilizada en el proceso de lavado del café o por un incremento no esperado en la producción de café, se presente reboses en el reactor hidrolítico-acidogénico.

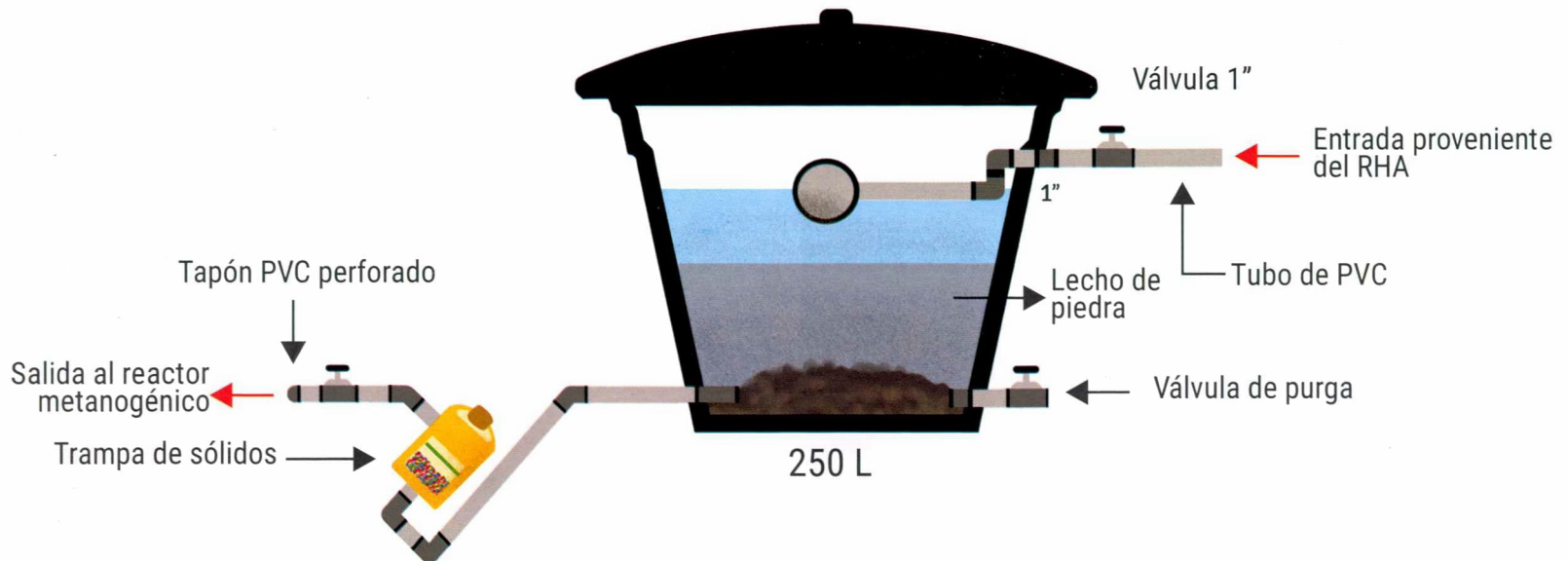


4. Recámara dosificadora

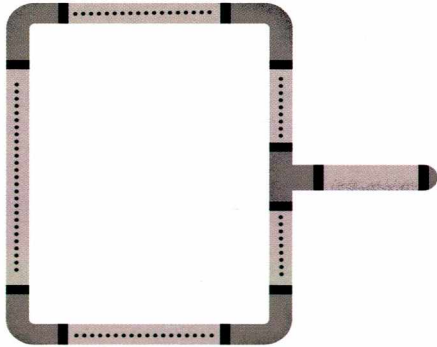
Esta unidad hace parte de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio que no incorporan el dispositivo flotante de cabeza de presión constante con sistema de filtración en el reactor hidrolítico-acidogénico.

La recáma dosificadora (RD) tiene como propósito regular la cantidad de agua que ingresa al reactor metanogénico, con el fin de asegurar el tiempo que debe estar el agua residual detenida para que se realice el tratamiento biológico y pueda cumplirse con los valores de los parámetros exigidos por la normativa. Esta recámara consta de una válvula de purga que permite la descarga de lodos acumulados en esta unidad, cuando sea necesario hacer mantenimiento.

Sus componentes son: marco en PVC con perforaciones para la salida del agua filtrada hacia la trampa de sólidos, material filtrante (grava), malla mosquitera fijada sobre la grava por un aro de manguera, válvula de flotador, trampa de sólidos, descarga de lodos.

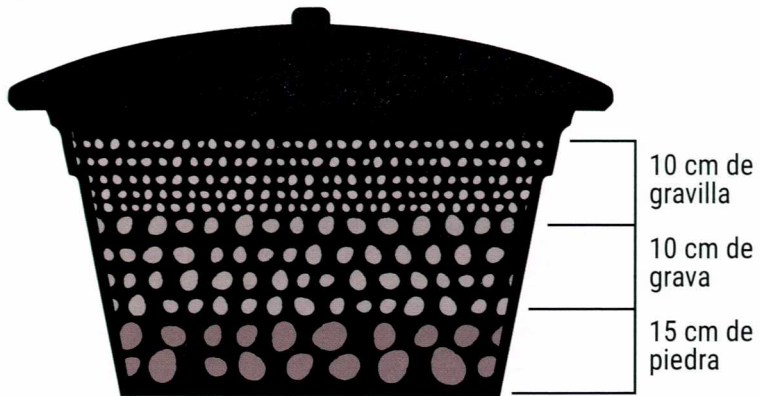


Componentes recámara dosificadora



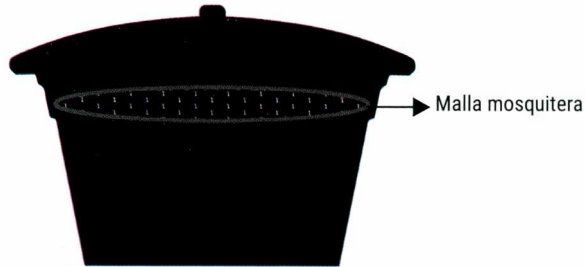
Marco en PVC con perforaciones: Está ubicado en el fondo del tanque, con orificios para captar el agua filtrada y conectado a la tubería de salida del tanque.

Orificios: En todos los lados del marco se hacen orificios de 5/32 de pulgada, separados aproximadamente por 1 centímetro de distancia.



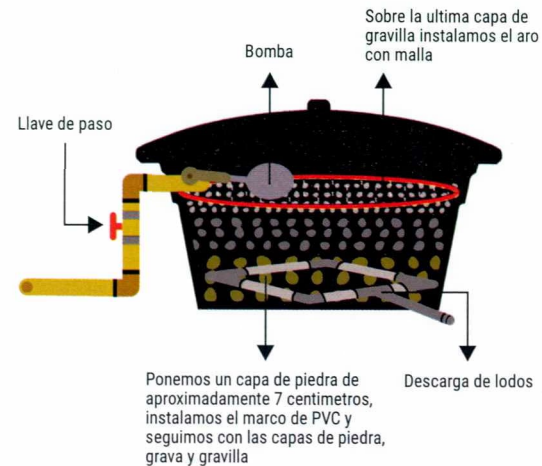
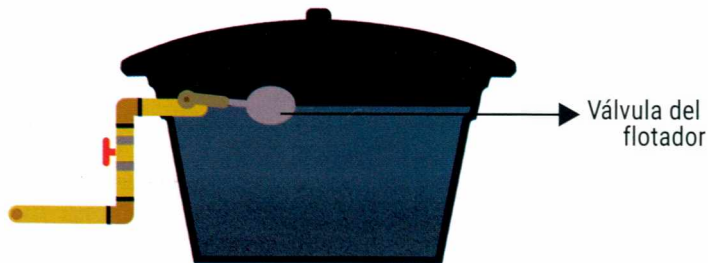
Material filtrante (grava): Con tamaño promedio de 1 pulgada de diámetro. Actúa como medio filtrante del agua residual del café y se colocada sobre el marco de PVC.

Componentes recámara dosificadora



Malla mosquitera: De 1mm de poro. Se fija sobre la grava por un aro de manguera para aumentar la eficiencia del sistema de filtración.

Válvula de flotador: Tiene como función dosificar el agua residual que llega al reactor metanogénico. Consta de una llave de paso que permite suspender el flujo de agua residual; en caso que deba atenderse alguna eventualidad durante la operación del sistema o para el mantenimiento de la recámara.



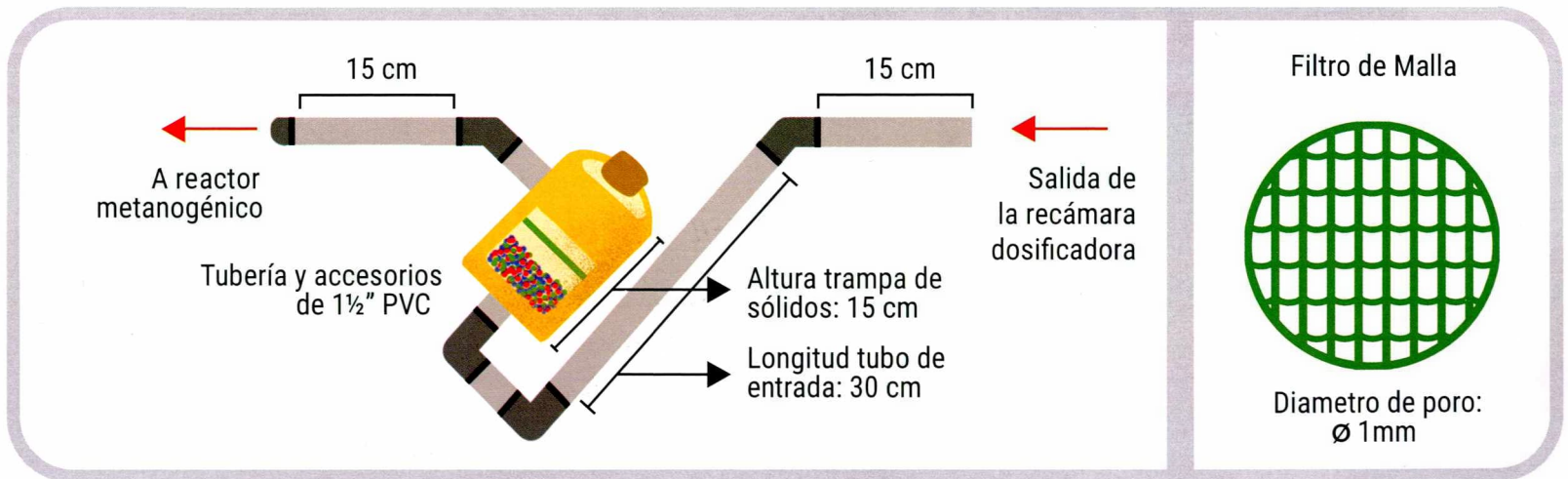
Descarga de lodos: Está ubicada a 7 cm del fondo del tanque Se emplea para descargar los lodos y hacer mantenimiento.

Componentes recámara dosificadora

Trampa de sólidos

La trampa de sólidos elimina material sólido aún presente en el agua residual filtrada en la recámara dosificadora que puede taponar el orificio de salida del agua hacia el reactor metanogénico.

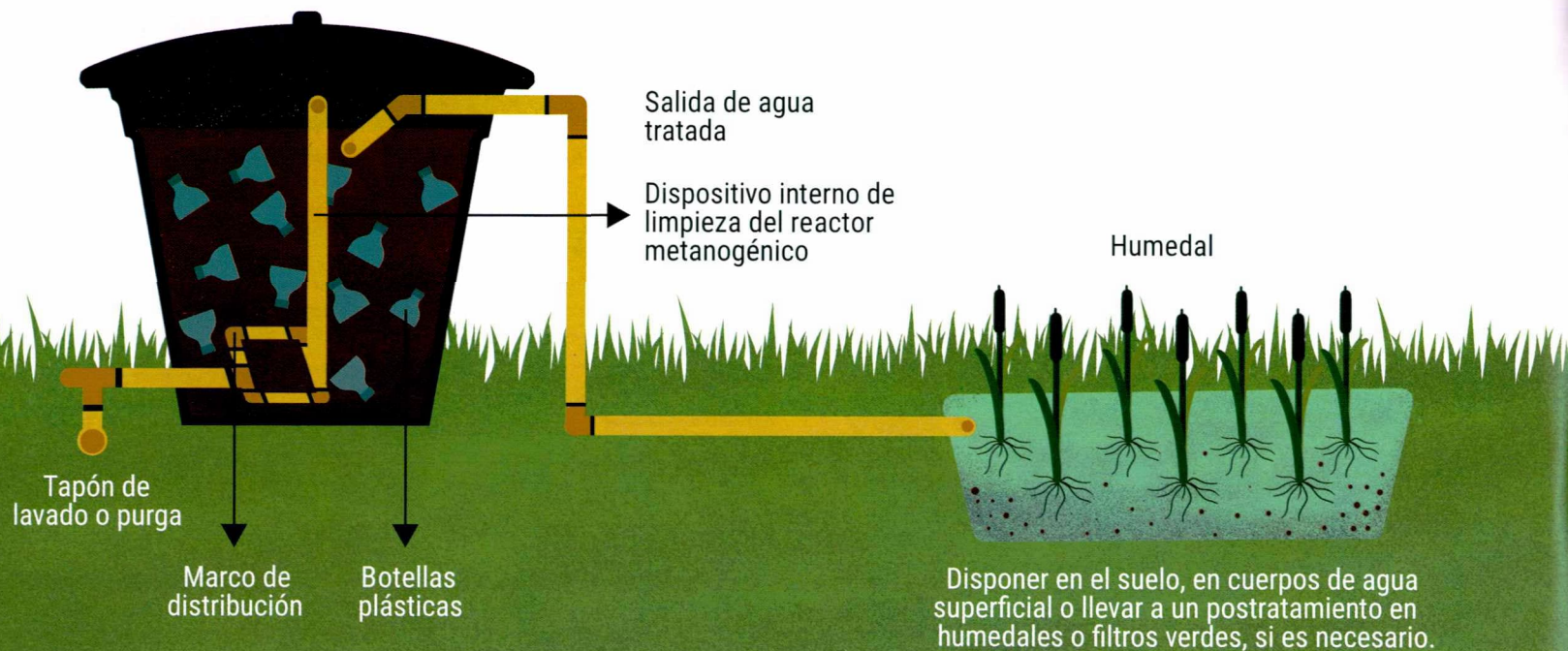
Está provista de un filtro circular elaborado en malla mosquitera, con un tamaño de poro de 1 mm, que permite retener los sólidos que puedan ocasionar taponamientos en el orificio de salida de la recámara dosificadora y pueden limitar o evitar el flujo hacia el reactor metanogénico.



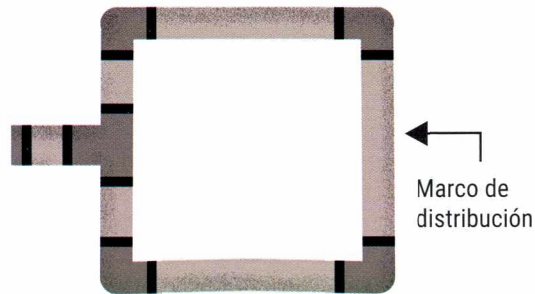
5. El reactor metanogénico

Consiste en tanques de polietileno en los cuales se realizan las reacciones de metanogénesis de las aguas residuales del café. Su capacidad depende de la producción de café de la finca. Se diseña para mantener retenida el agua residual durante 3 días.

Esta conformado por un marco de distribución por donde entra el agua residual que viene del reactor hidrolítico – acidogénico o de la recámara dosificadora, dispositivo interno de limpieza, medio de soporte y tubería de salida del agua tratada.



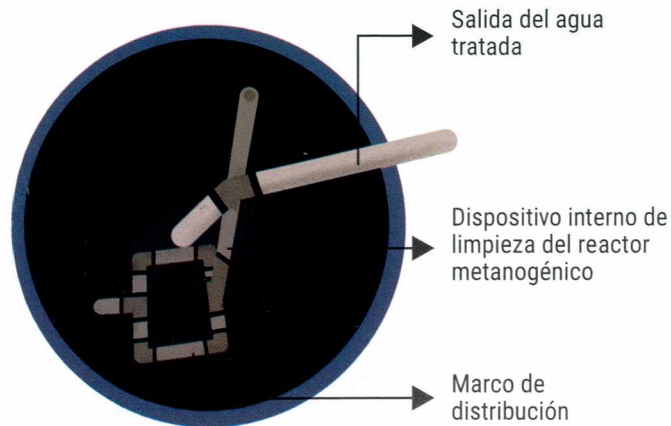
Componentes del reactor metanogénico



Marco de distribución: Consiste en un marco cuadrado hecho en tubo PVC perforado lateralmente con orificios de 7/32 de pulgada, espaciados a 5 cm, se ubica en el fondo del tanque metanogénico reduciendo la turbulencia del agua que entra desde el reactor hidrolítico-acidogénico o desde la recámara dosificadora.

Dispositivo interno de limpieza: Dispositivo que se acopla al marco de distribución por medio de una T al lado opuesto de donde ingresa el agua residual proveniente del reactor hidrolítico-acidogénico o de la recámara dosificadora. El dispositivo debe quedar 5 cm por debajo del borde superior del tanque.

Sirve para hacer mantenimiento y descargar hacia el exterior los depósitos de material sólido con un tamaño de partícula superior al del orificio de salida en el marco de distribución.

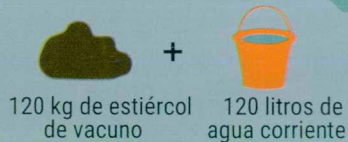


Medios de soporte: Para favorecer las reacciones de metanogénesis y la actividad de los microorganismos, el reactor debe inocularse y adicionarse medios de soporte para que se desarrollen los microorganismos. Por lo cual es necesario adicionar trozos de botellas plásticas no retornables, trozos de guadua, trozos de llantas, trozos de manguera de 15 cm de longitud o tusas de maíz.

Tubería de salida del agua tratada: Dirige las aguas tratadas hacia un postratamiento en filtros verdes o humedales artificiales, si es necesario o su descarga al suelo o a cuerpos de agua superficial.

Inoculación y aclimatación del reactor metanogénico

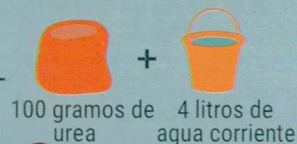
Mezclamos bien, dejando reposar por 1 semana



Mezclamos bien, agregamos al tanque metanogénico dejando reposar por 3 semanas



Disueltos



Mezclamos bien, agregamos al tanque metanogénico dejando reposar por 3 semanas

Consiste en la adición de microorganismos metanogénicos presentes en las excretas de ganado vacuno o porcino al reactor metanogénico para que realicen la descontaminación final del agua residual del café. Para favorecer el crecimiento y la aclimatación de los microorganismos adicionados se debe agregar al reactor metanogénico fuentes de C a partir de la adición de aguas mieles o miel de purga disuelta en agua, fuentes de N a partir de la adición de urea disuelta en agua y una sustancia química alcalinizante como masilla blanca, disuelta en agua.

Las cantidades que se deben adicionar por cada 1000 litros de capacidad del reactor metanogénico son:

240 L de inóculo. 120 kg de excretas de vacuno o porcino disueltas en 120 litros de agua. Mezclar bien en una caneca aparte y dejar reposar por 1 semana, luego filtrar a través de un costal de fibra o fique y adicionar el filtrado al reactor metanogénico.

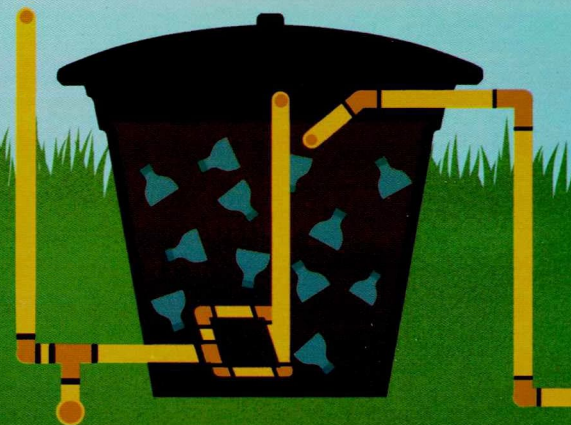
A la vez que se adicionan los 240 L del inóculo, adicionar 240 L de aguas mieles provenientes del primer y segundo enjuague. Si no hay aguas de beneficio, disuelva 8 kg de miel de purga en 240 litros de agua corriente. Adicionar también 2 kg de masilla blanca disuelta en 20 litros de agua corriente y 100 g de urea disuelta en 4 litros de agua corriente. Mezclar bien todos los materiales presentes en el reactor metanogénico.

Paso seguido, adicionar el material de soporte. Las cantidades estimadas para cada 1000 litros de capacidad en el reactor metanogénico son: 735 tercios de botellas plásticas no retornables ó 85 metros de guadua. Termine de llenar el reactor metanogénico con agua corriente hasta que se cubra el material de soporte y deje reposar el reactor metanogénico durante 3 semanas.

Inoculación y aclimatación del reactor metanogénico



Durante el proceso de Inoculación deben mantenerse las llaves de paso cerradas para evitar entrada de aguas residuales al tanque metanogénico.



Para reactores metanogénicos con capacidad inferior a 1000 L, divida 1000 entre la nueva capacidad del reactor y divida todas las cantidades de los materiales necesarios en la etapa de inoculación por este número.

Para reactores metanogénicos con capacidad superior a 1000 L, divida la nueva capacidad del reactor entre 1000 y multiplique todas las cantidades de los materiales necesarios en la etapa de inoculación por este número.

Volumen del reactor metanogénico (L)	Día	Tiempo de alimentación diaria (horas: min)
250	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	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	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	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	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

Arranque del reactor metanogénico

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.

El proceso de arranque del reactor metanogénico tiene una duración de 10 semanas. En la Tabla adjunta se presentan los tiempos que debe operar el sistema de tratamiento, con el agua residual generada en 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 o válvula de salida del reactor hidrolítico-acidogénico, para los sistemas que no tengan 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 de tratamiento cuenta con más de uno), 2 kg de cal masilla blanca sin diluir y 500 g de urea disuelta en 5 L de agua, por cada 1000 L de capacidad del reactor hidrolítico, una semana antes de que inicie la semana de máxima producción.

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

Inoculación, aclimatación y arranque del reactor metanogénico

Preparar el Inóculo metanogénico mezclando estiércol de ganado vacuno o porcino y agua en proporción 1:1. Las cantidades dependen del tamaño del reactor metanogénico. Dejar reposar 1 semana.

Filtrar el inóculo con una estopa de fibra o malla mosquitera y adicionarlo al reactor metanogénico.

Adicionar al reactor metanogénico aguas del primer y segundo enjuague de lavado del café. Las cantidades dependen del tamaño del reactor metanogénico.

Semana 1

Semana 2

Semana 3

Semana 4

Semana 5

Semana 6

Semana 7

Adicionar al reactor metanogénico cal masilla disuelta en agua y urea disuelta en agua. Las cantidades dependen del tamaño del reactor.

Mezclar bien el inóculo metanogénico con la mezcla de las aguas residuales del café, la masilla y la urea.

Agregar el medio de soporte, de acuerdo al tamaño del reactor metanogénico. Cubrir totalmente las botellas con agua corriente. Dejar reposar 3 semanas para la aclimatación de los microorganismos.

Semana 8

Semana 9

Semana 10

Semana 11

Semana 12

Semana 13

Semana 14

Semana 15

Inicio del proceso de arranque del sistema de tratamiento. Los tiempos de alimentación diarios del sistema, dependen del tamaño del reactor metanogénico. Apertura de la llave de paso de la trampa de sólidos permitiendo el paso diario durante el tiempo estipulado. Caudal de 500 ml/min.

Finalización de la etapa de arranque del Sistema de tratamiento. A partir de este momento se mantiene las llaves completamente abiertas durante todo el tiempo, facilitando el ingreso del agua residual a todas las unidades del sistema.

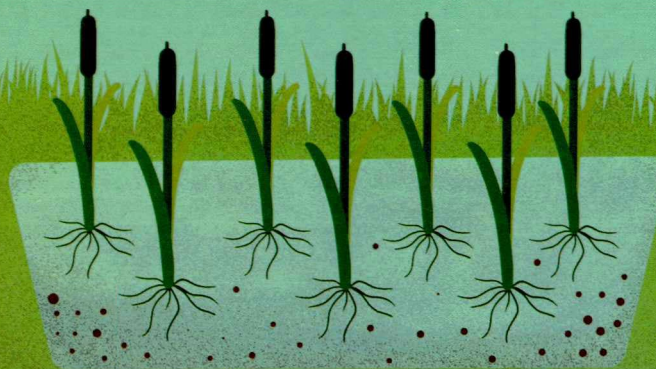


Postratamientos

Es un proceso adicional de tratamiento que se realiza a las aguas ya tratadas en los SMTA y que se debe implementar en los casos en los cuales la calidad del agua que sale de los SMTA no permite cumplir con la normativa ambiental vigente o cuando se desee disminuir el costo de la tasa retributiva (cuando las aguas tratadas son descargadas en cuerpos de agua superficial). Los más recomendados son los humedales artificiales y los filtros verdes.

Filtros verdes y humedales artificiales

Los filtros verdes y los humedales artificiales son sistemas de postratamiento del agua residual ya tratada que utilizan el potencial de la vegetación para eliminar los contaminantes aún presentes en el agua. Su funcionamiento se basa, para los filtros verdes, en la aplicación de aguas residuales a una superficie con vegetación ya sea de tipo forestal o herbáceo, para aprovechar la capacidad del sistema suelo - planta- microorganismos para degradar los contaminantes. Para el caso de los humedales artificiales se aprovecha la capacidad del sistema planta-microorganismos. El agua, en estos sistemas, se ve sometida a múltiples procesos depurativos, entre los que se destacan procesos de evapotranspiración, filtración, biodegradación, absorción y captación de nutrimentos por parte de la vegetación.



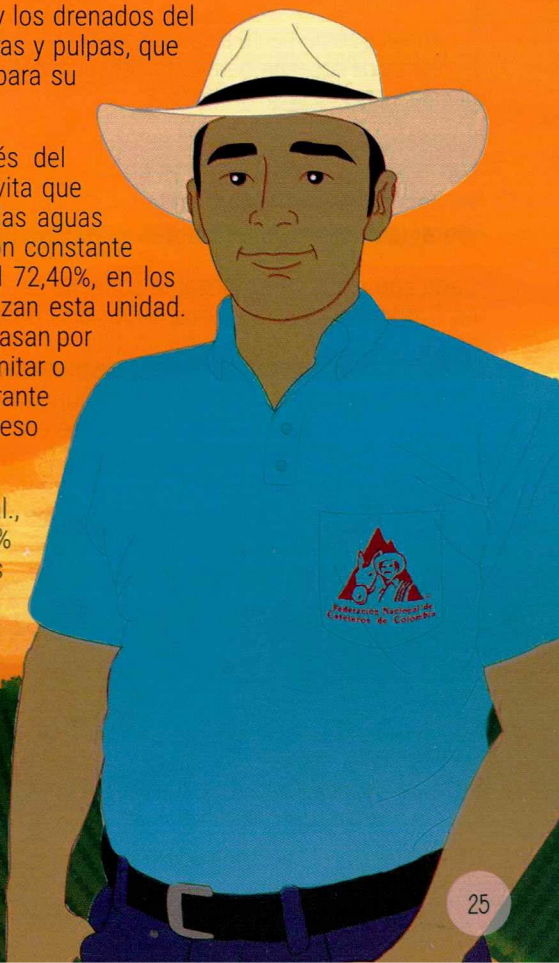
Humedal

¿Como funciona el Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (SMTA)?

La trampa de pulpa es el primer elemento del SMTA donde entran las aguas del lavado del café y los drenados del proceso de fermentación de la pulpa que ocurre en las fosas. En ella se retienen granos, cáscaras y pulpas, que pueden taponar las tuberías del sistema y que se retiran y se llevan a los procesadores de pulpa para su transformación en abono orgánico.

Las aguas mieles pasan de la trampa de pulpas al reactor hidrolítico – acidogénico a través del dispositivo alimentador circular, el cual disipa la turbulencia producida por la presión del agua y evita que se revierta el proceso de separación líquida (Agua clarificada) – sólido (lodos). Pasados 3 días, las aguas residuales del café continúan su recorrido pasando por el dispositivo flotante de cabeza de presión constante con sistema de filtración permitiendo alcanzar remociones del 53,13% en la carga orgánica y del 72,40%, en los sólidos totales (Rodríguez et al., 2019) o pasan a la recámara dosificadora en los SMTA que utilizan esta unidad. Una vez las aguas residuales salen del reactor hidrolítico-acidogénico o de la recámara dosificadora, pasan por una trampa de sólidos, cuya función es retener los sólidos que pueden ocasionar taponamientos, y limitar o evitar la entrada del agua residual al reactor metanogénico. En este tanque las aguas permanecen durante un periodo de 3 días, en los cuales los microorganismos en ausencia de oxígeno y mediante el proceso de metanogénesis descomponen la materia orgánica y producen metano.

Con la implementación de los sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbicos, según Zambrano et al., 1999 en investigaciones de Cenicafé, se han logrado remociones de contaminación superiores al 80% y si se acoplan a la salida del SMTA, sistemas opcionales de postratamiento, como los humedales artificiales y los filtros verdes, pueden lograrse remociones de carga orgánica superiores al 90%.



¿Cómo se debe realizar el mantenimiento a las unidades que componen el SMTA?

El tanque trampa de pulpas

Limpia internamente el tanque, retirando el material sólido y limpiar los orificios de los tubos internos (con un cepillo), por lo menos 2 veces a la semana, en época de cosecha, para evitar taponamiento, derrames y olores desagradables en los alrededores. El taponamiento de la tubería del tanque trampa de pulpas genera ineficiencia en el sistema, por lo cual es necesario estar limpiando el tubo perforado. El material retirado debe disponerse en el procesador de pulpa.

El tanque hidrolítico acidogénico RHA

Pasada la cosecha, retirar los lodos del fondo del tanque, quitando el respectivo tapón y adicionarlos al procesador de pulpa. Durante su funcionamiento retirar las natas sobrenadantes y llevarlas al procesador de pulpa.

Cada año antes de empezar la cosecha se recomienda adicionar en el reactor hidrolítico-acidogénico 2 kg de masilla blanca y 500 g de urea disuelta en 5 litros de agua, por cada 1000 litros de capacidad del reactor hidrolítico-acidogénico.

Al dispositivo flotante de cabeza de presión constante, se le realiza el mantenimiento al final de cada cosecha (mitaca y principal) y cuando estando en funcionamiento, no se presente flujo a la salida del reactor hidrolítico. Se levanta el dispositivo se gira la tapa de la mirilla y se lava la malla y el material de empaque sin desacoplarse el dispositivo.

El reactor hidrolítico-acidogénico cuenta con un dispositivo de purga para destapar el alimentador circular si es necesario.



Fuente: Cenicafé

Levantamiento del dispositivo flotante para su mantenimiento.



Fuente: Cenicafé

Apertura de la mirilla para el lavado interior del filtro.



Fuente: Cenicafé

Lavado del interior del filtro del dispositivo flotante.

¿Cómo se debe realizar el mantenimiento a las unidades que componen el SMTA?

La Recámara Dosificadora RD

En los SMTA que tienen recámara dosificadora debe revisarse diariamente el interior y el tapón de salida del agua hacia el reactor metanogénico, durante la cosecha de café, con el fin de garantizar un flujo estable y continuo.

La malla mosquitera se cambia por otra limpia, por lo menos 2 veces a la semana, para retirar el material retenido en la malla. Para ello suspenda el paso de líquido mediante el cierre de la válvula que precede a la recámara dosificadora. Espere que descienda el nivel del líquido y que baje el contenido de humedad del material retenido en la malla. Cuando se hace cambio de malla, la que se retira se pone a secar para facilitar el desprendimiento del material insoluble adherido y éste se adiciona al procesador de pulpa, paso seguido se lava la malla, se pone a secar y se deja lista para ser utilizada en el siguiente cambio.

Al final de la cosecha o antes, si se presentan taponamientos a la salida de la recámara dosificadora, se le realiza mantenimiento a la misma. Para este proceso es necesario cerrar la válvula ubicada a la entrada de la recámara con el fin de suspender el flujo de agua. Abra la llave de purga, recolecte los lodos y llévelos al procesador de pulpa. Realice mantenimiento a la malla y lave el material filtrante. El agua generada en el lavado llévela a la trampa de pulpa.



¿Cómo se debe realizar el mantenimiento a las unidades que componen el SMTA?

Trampa de sólidos

Para garantizar el óptimo funcionamiento de la trampa de sólidos, debe hacerse mantenimiento cuando se presente interrupción del flujo, estando el sistema de tratamiento en funcionamiento, y al final de la cosecha de café. Para su mantenimiento se desacopla la trampa del tanque al cual está conectada. Se quita la tapa para lavar la malla del filtro y el material de empaque. Las aguas residuales se adicionan a la trampa de pulpa



Fuente: Cenicafé

Desacople de la trampa de sólidos del tanque en polietileno.



Desenroscado de la tapa de la trampa de sólidos



Lavado de la trampa de sólidos con agua limpia.

El reactor metanogénico

Cuando se presente taponamiento del flujo a la entrada del reactor metanogénico, se recomienda abrir la válvula de paso del dispositivo externo de descarga de lodos (ubicado justo a la entrada del reactor) y adicionar agua a presión, a través del dispositivo interno de limpieza del reactor metanogénico hasta verificar la solución del problema. Posteriormente se cierra la válvula de paso del dispositivo externo de descarga de lodos.

Para recordar

- A los SMTA solo deben ingresar las aguas del lavado del café y los drenados del proceso de fermentación de la pulpa
- El despulpado sin agua, el transporte por gravedad de la pulpa al procesador y el manejo de la pulpa de café a través de procesadores techados evita el 74% del potencial contaminante hídrico de los subproductos del beneficio húmedo del café. El 26 % restante de la contaminación se previene mediante el manejo del mucílago y el tratamiento de las aguas mieles.
- Un consumo apropiado de agua en el beneficio es aquel no mayor a 5 litros por kg de café pergamino seco para generar aguas residuales que se puedan tratar eficientemente en los SMTA
- Hacer mantenimiento periódico a los SMTA, por lo menos después de cada cosecha, permiten mantener su rendimiento.
- La implementación de los SMTA para el tratamiento de las aguas mieles permite cumplir con los parámetros de calidad exigidos por la autoridad ambiental para vertimientos al suelo y a cuerpos de agua superficial.
- Proteger las diferentes unidades que componen los SMTA para evitar daños o deformaciones
- Los SMTA bien operados permiten realizar un tratamiento eficiente a las aguas mieles y evitan el pago de sanciones ambientales por incumplimiento de la normativa ambiental vigente para la disposición de las aguas residuales.



Problemas hidráulicos, causas y soluciones

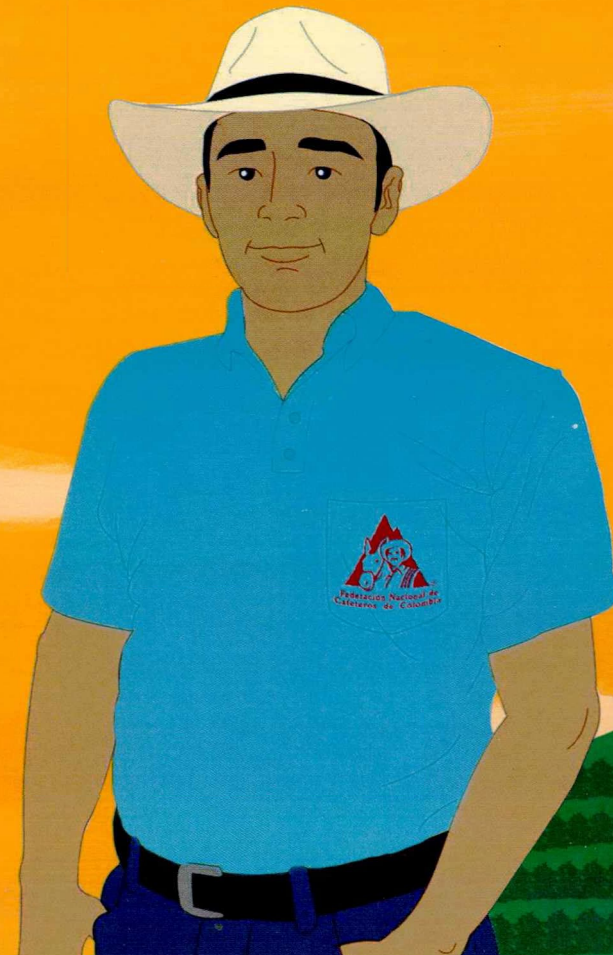
Problema	Causa	Solución
No fluye el agua residual desde la trampa de pulpa hasta el reactor hidrolítico	Taponamiento del dispositivo de salida de aguas mieles de la trampa de pulpa por presencia de pulpa o granos en el tanque o por la presencia de gases en la tubería	Elimine la pulpa o los granos que se encuentren en la trampa de pulpas. Si el problema persiste, abra la válvula de purga, a la entrada del reactor hidrolítico, hasta que se recupere el flujo.
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 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
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 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"
Flujo permanente de agua residual hacía 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 2 Verifique que en la etapa de lavado se estén utilizando entre 4 y 5 L de agua por kilogramo de café pergamino seco.
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 a 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. Desprenda la "Tee" a la entrada del reactor metanogénico y deje pasar agua limpia desde la recámara dosificadora. Limpie el disco perforado, acople de nuevo la "Tee" y reestablezca el flujo.
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, elimine el material que ocasiona la obstrucción y vuelva a ensamblar el dispositivo.

Problemas de acidificación, causas y soluciones

Problema	Causa	Solución
Olor a cebolla picante o queso rancio en el efluente del reactor metanogénico	Introducción al SMTA de aguas domésticas o con agroquímicos. Causal 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.
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 por 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 m² 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.
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 las 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.

Algunas recomendaciones

- Para definir si un SMTA es la solución para tratar las aguas residuales del beneficio del café de la finca debe evaluarse si el clima en la zona favorece el aumento de la temperatura necesaria dentro de los tanques para el buen desarrollo y funcionamiento de los microorganismos; la disponibilidad de recursos económicos e infraestructura y la normatividad aplicable a nivel nacional y local.
- Antes de instalar un SMTA se debe disponer de un tanque de fermentación con la capacidad suficiente para almacenar y someter al proceso de fermentación el grano generado en el día pico de producción, y realizar su lavado utilizando la metodología de los 4 enjuagues (Zambrano, 1993), en la cual se consume entre 4 y 5 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco.
- En las fincas en las que se instalan SMTA, se tiene la posibilidad de aumentar la capacidad del sistema de tratamiento, añadiendo tanques para las etapas hidrolítica-acidogénica y metanogénica, cuando se incrementen las cantidades de aguas residuales debido al aumento en áreas productivas de café y en producción.
- Con la implementación del dispositivo flotante de cabeza de presión constante con sistema de filtración en el reactor hidrolítico acidogénico del SMTA se disminuye los costos del sistema y el área de instalación del mismo. Ya que se elimina a la recámara dosificadora que forma parte del SMTA, así como favorece la implementación de los sistemas en fincas en las cuales se presente dificultad para encontrar las cotas de desnivel mínimas que permitan el flujo de agua residual por gravedad.
- La instalación de los SMTA en las fincas cafeteras se puede complementar con la implementación de procesadores de pulpa en los cuales se adicionen las primeras cabezas de lavado provenientes del tanque de fermentación, con el fin de aprovechar la capacidad de la pulpa para retener parte de las aguas mieles y generar abono orgánico.
- Los SMTA deben instalarse alejados de las fuentes de agua limpia, ya que los efluentes del sistema de tratamiento pueden afectar la calidad del agua de la microcuenca, cuando ella se utiliza para el abastecimiento de los pobladores aguas abajo.
- Se recomienda colocar las tapas de los tanques después de Instalar plástico en la boca de los mismos fijado con neumático para evitar la proliferación de zancudos.



Bibliografía

Rodríguez Valencia, N., Castañeda, S. A., Osorio Ocampo, A. F., & Quintero Yepes, L. V. (2019). Dispositivos para el óptimo funcionamiento hidráulico de los sistemas modulares de tratamiento anaerobio (SMTA). Boletín Técnico Cenicafé, 42.

Rodríguez Valencia, N., Quintero Yepes, L. V., Osorio Ocampo, A. F., Castañeda, S. A., García, Á. de M., Harmsen, J., & Bisschops, I. (2018). Tecnologías apropiadas para el tratamiento de aguas en fincas cafeteras.

Sandoval, E. M. (2017). Conozca el sistema modular para el manejo de aguas mieles. Starbucks/ USAID Colombia.

Zambrano, D. A., Isaza-Hnestroza, J. D., Rodríguez-Valencia, N., & López-Posada, U. (1999). Tratamiento de aguas residuales del lavado del café. Boletín Técnico Cenicafé, 20.

Zambrano, D. A., Rodríguez-Valencia, N., López-Posada, U., Orozco R., P. A., & Zambrano-Giraldo, A. J. (2006). Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café. Boletín Técnico Cenicafé, 29.

Zambrano, F. D. A. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina. Chinchina, CENICAFÉ. 8p (Avances técnicos N.º 197).



MINAGRICULTURA



Implementado por: **KFW**

