

# Dispositivos para el óptimo funcionamiento hidráulico de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA)



Nelson Rodríguez Valencia  
Samuel Antonio Castañeda  
Andrés Felipe Osorio Ocampo  
Laura Vanessa Quintero Yepes



# **Dispositivos para el óptimo funcionamiento hidráulico de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio (SMTA)**

Nelson Rodríguez Valencia\*  
Samuel Antonio Castañeda\*\*  
Andrés Felipe Osorio Ocampo\*\*\*  
Laura Vanessa Quintero Yepes\*\*\*

---

\*Investigador Científico III, \*\*Auxiliar de Investigación y \*\*\*Asistentes de Investigación, respectivamente. Disciplina Poscosecha. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.



## **COMITÉ NACIONAL**

### **Ministro de Hacienda y Crédito Público**

Alberto Carrasquilla Barrera

### **Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural**

Andrés Valencia Pinzón

### **Ministro de Comercio, Industria y Turismo**

José Manuel Restrepo Abondano

### **Director del Departamento Nacional de Planeación**

Gloria Amparo Alonso Másmela

### **Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros**

Nicolás Pérez Marulanda

Período 1° enero/2019 - diciembre 31/2022

José Eliecer Sierra (Antioquia)

José Alirio Barreto (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Daniilo Reinando Vivas (Cauca)

Juan Camilo Villazón (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar (Magdalena)

Jesús Armando Benavides (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Olivo Rodríguez Díaz (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

### **GERENTE GENERAL**

ROBERTO VÉLEZ VALLEJO

### **GERENTE ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO**

JUAN CAMILO BECERRA BOTERO

### **GERENTE COMERCIAL**

JUAN CAMILO RAMOS MEJÍA

### **GERENTE TÉCNICO**

HERNANDO DUQUE ORREGO

### **DIRECTOR INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**

ÁLVARO LEÓN GAITÁN BUSTAMANTE

### **ISSN**

0120-047X





# Créditos

## **Edición de textos**

Sandra Milena Marín L.

## **Diseño y diagramación**

Óscar Jaime Loaiza E.

Paula Andrea Marroquín B.

Julieth Sofía Veloza B.

## **Fotografías**

Archivo Cenicafé

Autores

## **Impreso por**

2019

ISSN

0120-047 X

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.

El uso de nombres comerciales en esta publicación tiene como propósito facilitar su identificación y en ningún momento su promoción.

Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723  
A.A.2427 Manizales  
Manizales, Caldas, Colombia

[www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)

## **Comité Editorial Cenicafé**

Pablo Benavides M.  
Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé

Luis Fernando Salazar G.  
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.  
Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

José Ricardo Acuña Z.  
Ph.D. Biólogo. Fisiología Vegetal, Cenicafé

Diana María Molina Vinasco  
Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé

## **Secretaría Técnica Comité Editorial, revisión de textos y corrección de estilo**

Sandra Milena Marín L.



# Tabla de CONTENIDO



	Sistema modular de tratamiento anaerobio	6
1.	Cuello de ganso	10
2.	Alimentador circular de flujo laminar	12
3.	Trampa de sólidos	20
4.	Dispositivo para el mantenimiento del reactor metanogénico	27
5.	Dispositivo flotante de cabeza de presión constante	30
6.	Literatura citada	46

# Sistema modular de tratamiento anaerobio

Para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café provenientes del lavado del grano en los tanques de fermentación, donde se consumen volúmenes de agua cercanos a los  $5 \text{ L kg}^{-1}$  de café pergamino seco (c.p.s.), Cenicafé desarrolló los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio, conocidos como SMTA (Figura 1).

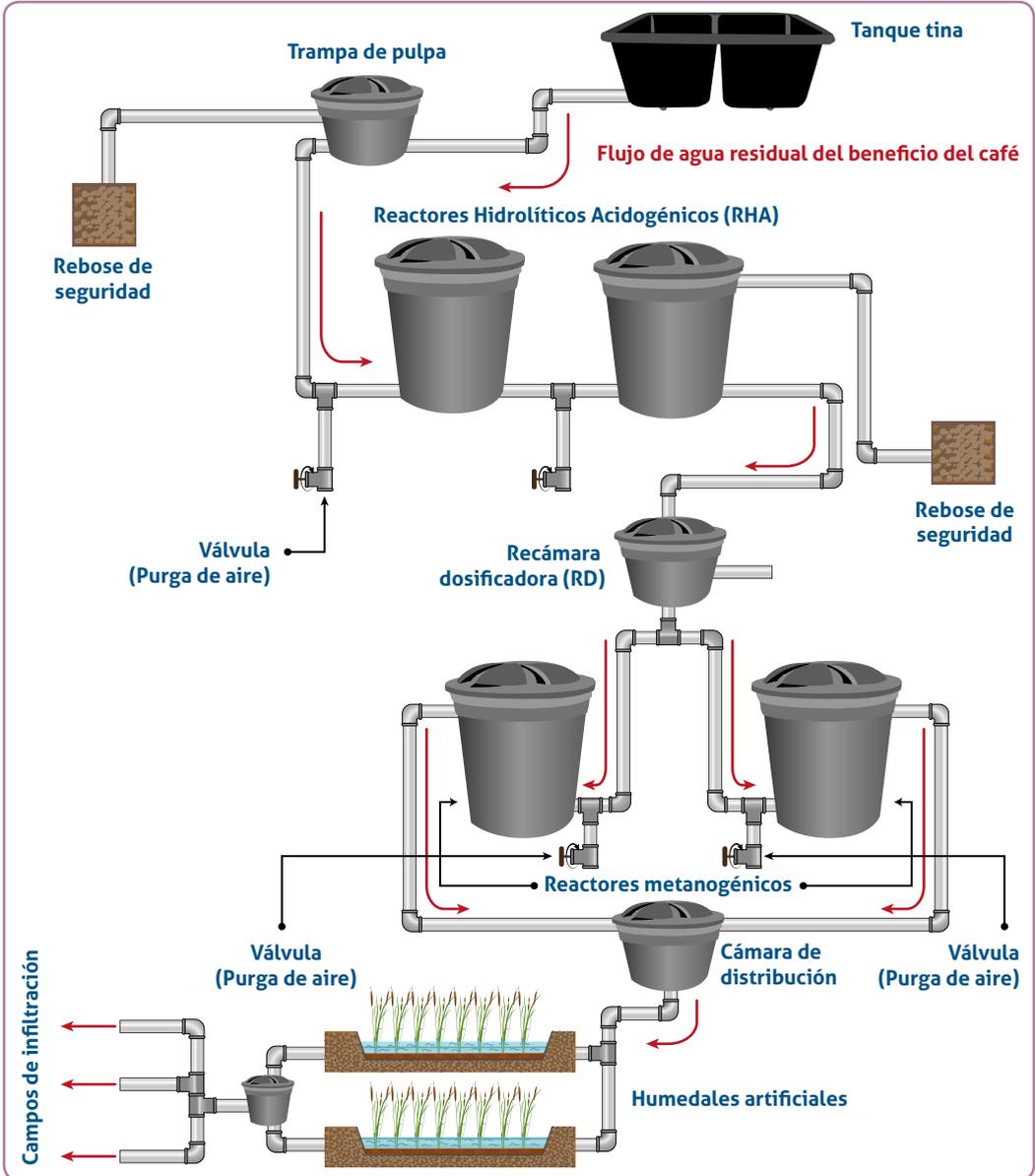


Figura 1. Esquema de un Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio (Zambrano *et al*, 2010).

Los SMTA permiten el cumplimiento de las normas ambientales vigentes para vertimientos al suelo (Decreto 1076 de 2015) y para vertimientos a cuerpos de agua superficiales (Resolución 631 del 2015); sin embargo, algunas evaluaciones realizadas a los SMTA que se encuentran instalados en fincas cafeteras han mostrado, en varios casos, un funcionamiento que no permite que se obtengan aguas tratadas que cumplan con los requerimientos exigidos en la normativa ambiental

vigente para vertimientos al suelo o a cuerpos de agua superficiales.

La razón principal de este inadecuado funcionamiento se debe al taponamiento del orificio que controla el caudal a la salida de la recámara dosificadora, que es fundamental para permitir un tiempo de retención apropiado en el reactor metanogénico, el cual garantiza la descontaminación de las aguas residuales del café a los valores exigidos por la normativa colombiana.

Es frecuente que los usuarios de la tecnología incrementen el tamaño del orificio de salida de la recámara dosificadora (Figura 2) para evitar su taponamiento, lo cual genera en un incremento del caudal de agua que llega al reactor metanogénico, ocasionando menores tiempos de permanencia del agua en dicha unidad, disminuyendo así la eficiencia del sistema, lo cual no permite cumplir con los valores de los parámetros de control de contaminación fijados por la autoridad ambiental. Las



**Figura 2.** Aspecto de la recámara dosificadora y del orificio de salida del agua residual.

Para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento que tienen como reactores metanogénicos tanques de 2.000 L, por el orificio con un diámetro de  $\frac{3}{32}$ " deben fluir entre 500 y 600 mL de agua residual por minuto (Zambrano *et al*, 1999). Para sistemas de tratamiento que incorporen tanques de 5.000 L como reactores metanogénicos, el orificio debe ser de  $\frac{5}{32}$ " para garantizar un flujo promedio de 1.350 mL min<sup>-1</sup>.

razones por las cuales se taponan frecuentemente la recámara dosificadora son:

- Alto flujo de sólidos desde el reactor hidrolítico hasta la recámara dosificadora y
- Falta de mantenimiento frecuente del RHA y de la recámara dosificadora.

Con el fin de estimular la implementación de los SMTA en las fincas cafeteras se diseñaron varios dispositivos que permiten disminuir la presencia de sólidos en la recámara dosificadora, permitiendo el flujo continuo en esta unidad y disminuyendo los tiempos y las frecuencias de mantenimiento de los SMTA en las fincas. Es frecuente que como en el reactor hidrolítico, producto de la acidogénesis (fermentación de las aguas residuales), se presenten tres capas en la columna de agua: un sobrenadante, una capa intermedia con bajo contenido de sólidos suspendidos y unos sedimentos (Figura 3).

Las investigaciones realizadas en Cenicafé con aguas residuales provenientes de los tanques de fermentación, con consumos entre 4 y 5 litros de agua por kilogramo de café pergamino seco (c.p.s.), han permitido encontrar que después de



**Figura 3.** Aspecto de las capas del agua residual que se forman en el interior del reactor hidrolítico.

24 h de almacenamiento, se presenta una distribución de capas, a saber: una capa superior (natas) con un valor promedio del 26,80% del volumen total del agua

residual, una capa inferior (sedimentos) con un valor promedio del 35,98% y una capa central (agua clarificada) con un valor promedio de 37,22% (Zambrano *et al.*, 2010).

Luego de 48 h de almacenamiento, el valor promedio de la capa central (agua clarificada) se mantiene relativamente constante (valor promedio del 37,40%), mientras que parte de los sólidos flotantes (natas) se sedimentan, disminuyendo el valor promedio de las natas al 21,89% y aumentando el valor promedio de los sedimentos al 40,71% (Figura 4).



**Figura 4.** Distribución de capas en las aguas de lavado provenientes de tanques de fermentación.



**Figura 5.** Distribución de capas en las aguas de lavado provenientes de la tecnología Ecomill®.

Para el caso de las mieles provenientes de la tecnología Ecomill®, en la cual el consumo de agua es menor a  $0,5 \text{ L kg}^{-1}$  de c.p.s., (Rodríguez *et al.*, 2015) los datos obtenidos en las observaciones realizadas a las 24 h de almacenamiento, muestran que las natas presentan un valor promedio de 27,71%, los sedimentos 37,21% y la capa central 35,08%.

A las 48 h de almacenamiento el valor promedio de las natas se mantiene relativamente constante (28,00%), ocurriendo una compactación de la capa de sedimentos, disminuyendo su valor promedio al 24,60%, lo que permite el incremento de la capa central (agua clarificada) a un valor del 47,40% (Figura 5).

Según el promedio de la distribución de las capas para el agua proveniente del lavado en tanques de fermentación, las natas y los sedimentos, a las 48 h de almacenamiento (tiempo mínimo recomendado para permitir la etapa de acidogénesis) corresponden al 62,60% y el agua clarificada al 37,40%. Para las

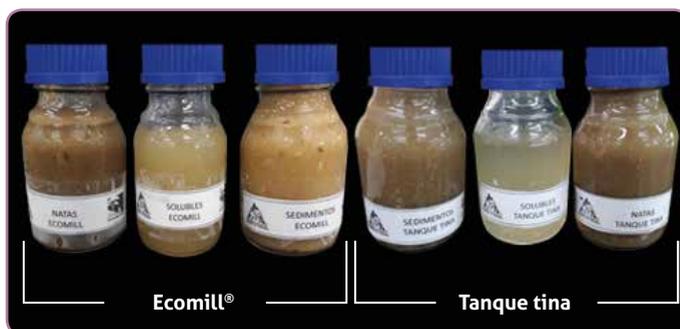
aguas provenientes de la tecnología Ecomill®, las natas y los sedimentos, a las 48 h de almacenamiento, corresponden al 52,60% del volumen total de agua residual y el agua clarificada es el 47,40%.

En la Tabla 1 se presenta la caracterización de la capacidad contaminante de las diferentes capas formadas en las aguas residuales provenientes tanto del lavado en tanques de fermentación, como de la tecnología Ecomill® (Zambrano *et al.*, 2010).

El agua clarificada obtenida tanto del agua residual proveniente de los tanques de fermentación como de la tecnología Ecomill®, después de 48 h de almacenamiento, fue la que presentó los menores contenidos

de sólidos totales y de sólidos suspendidos (al compararla con los valores presentados en las natas y en los sedimentos para cada tipo de agua residual), por lo cual ubicar la toma del agua residual del reactor hidrolítico en el tercio medio del tanque, disminuye el taponamiento de tuberías de conducción, así como la frecuencia de mantenimiento de la recámara dosificadora.

En la Figura 6 se muestra el aspecto de las diferentes capas de agua residual generadas en el reactor hidrolítico, para aguas provenientes del lavado del grano en el tanque tina como para aguas provenientes del lavado del grano en lavadores mecánicos (Ecomill®). Existen varias estrategias que disminuyen la probabilidad de taponamiento de las tuberías de transporte del agua



**Figura 6.** Aspecto de las capas generadas por el almacenamiento de las aguas mieles provenientes del tanque tina y del Ecomill®.

**Tabla 1.** Caracterización de las aguas residuales del café.

Tipo de muestra		pH	Concentraciones			Gramos por cada litro de agua residual		
			DQO* (ppm)	Sólidos totales (ppm)	Sólidos suspendidos (ppm)	DQO (g)	Sólidos totales (g)	Sólidos suspendidos (g)
Agua proveniente del tanque de fermentación	Natas	3,19	31.773	16.721	19.000	6,96	3,66	4,16
	Agua clarificada	3,13	16.670	6.782	6.300	6,23	2,54	2,36
	Sedimentos	3,05	28.700	17.125	12.300	11,68	6,97	5,01
Agua proveniente del Ecomill®	Natas	3,31	129.320	58.764	3.060	36,21	16,45	0,86
	Agua clarificada	3,26	85.933	28.923	940	40,73	13,71	0,45
	Sedimentos	3,21	96.650	45.728	2.320	23,78	11,25	0,57

\*DQO: Demanda Química de Oxígeno

residual en las diferentes unidades de los SMTA, entre las que se encuentran:

### 1. Cuello de ganso: aumento de su altura

En su versión original la altura del cuello de ganso (dispositivo de salida de las aguas residuales del reactor hidrolítico-acidogénico) en el SMTA es de  $\frac{1}{3}$  la altura del tanque.

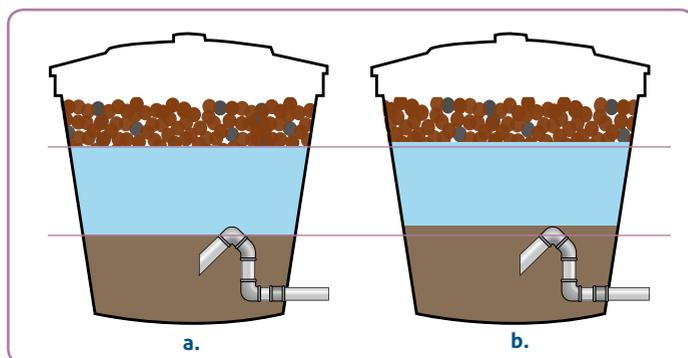
Con la conformación de capas en los reactores hidrolíticos, los sedimentos alcanzan a ocupar hasta el 40% del volumen del tanque, por lo cual la toma de agua en el cuello de ganso queda, en muchas ocasiones, inmersa en la zona de sedimentos. Esto ocasiona un flujo alto de sólidos (totales y suspendidos) hacia la recámara dosificadora, lo cual causa colmatación

rápida del lecho de piedra (que actúa como medio filtrante) en la recámara y genera el taponamiento permanente del orificio de salida de la misma (Figuras 7 y 8).

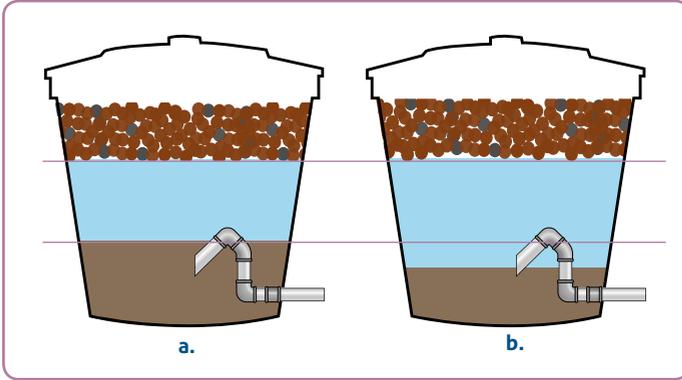
Un cuello de ganso con una longitud equivalente a  $\frac{2}{3}$  de la altura del reactor hidrolítico, permite que la toma de agua se realice en

el tercio medio del tanque en el cual se encuentra la columna de agua clarificada. Con esta nueva longitud se limita el ingreso de material suspendido a la recámara dosificadora disminuyendo la probabilidad de taponamiento (Figuras 9 y 10).

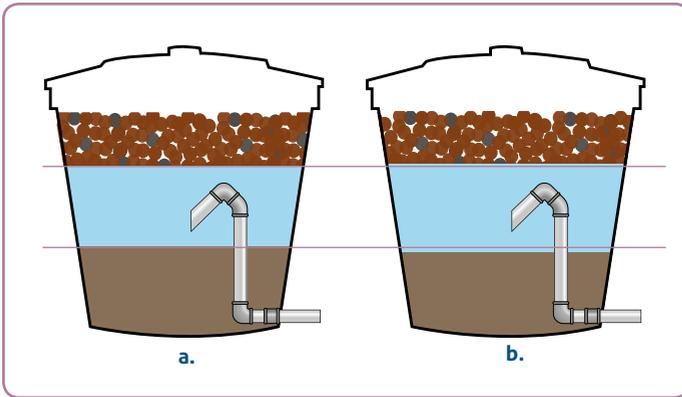
En la Figura 11 se presenta la modificación de la longitud del cuello de ganso.



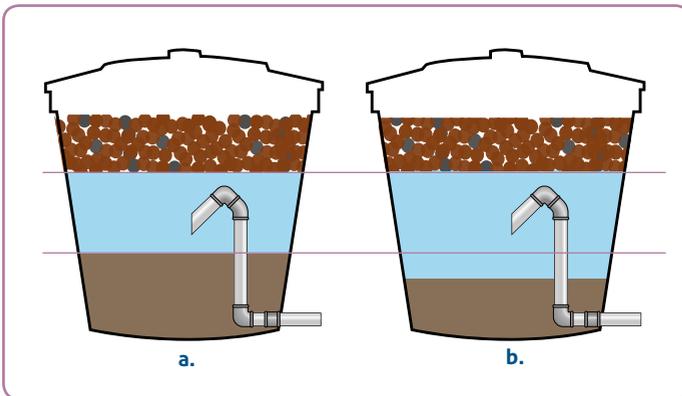
**Figura 7.** Salida del reactor hidrolítico del agua residual del café proveniente del lavado en tanques de fermentación, después de 24 h (a) y 48 h (b). La toma de agua queda inmersa en la zona de sedimentos, para una altura del cuello de ganso de  $\frac{1}{3}$  la altura del tanque.



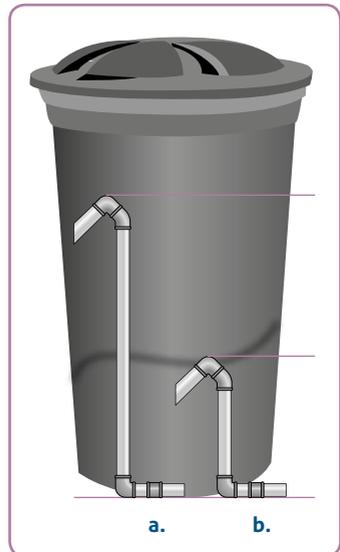
**Figura 8.** Salida del reactor hidrolítico del agua residual del café proveniente del lavado con la tecnología Ecomill®, después de 24 h (a) y 48 h (b). La toma de agua queda inmersa en la zona de sedimentos, para una altura del cuello de ganso de  $\frac{1}{3}$  la altura del tanque.



**Figura 9.** Salida del reactor hidrolítico del agua residual del café proveniente del lavado en tanques de fermentación, después de 24 h (a) y 48 h (b). La toma de agua queda inmersa en la columna de agua clarificada, con una longitud del cuello de ganso igual a  $\frac{1}{3}$  de la altura del tanque.



**Figura 10.** Salida del reactor hidrolítico del agua residual del café proveniente del lavado con la tecnología Ecomill®, después de 24 h (a) y 48 h (b). La toma de agua queda inmersa en la columna de agua clarificada, con una longitud del cuello de ganso igual a  $\frac{1}{3}$  de la altura del tanque.



**Figura 11.** Cuellos de ganso: a.  $\frac{1}{3}$  de la altura del tanque (nuevo SMTA); b.  $\frac{1}{3}$  de la altura del tanque (anterior SMTA).

## Construcción del cuello de ganso



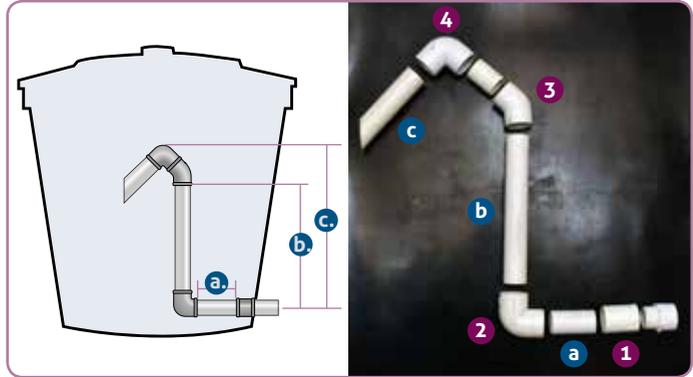
Para la construcción se requieren los siguientes elementos (Figura 12):

- Dos codos de PVC-P 1½".
- Un semicodo de PVC-P 1½".
- Un tubo de 19 cm de longitud de PVC-P de ½", con corte de 45° en uno de sus extremos.
- Un tubo de 8 cm de longitud de PVC-P de 1½".
- Un tubo (A) de PVC-P de 1½".
- Un tubo (B) de PVC-P de 1½".
- Un adaptador hembra de PVC-P de 1½".
- Un adaptador macho de PVC-P de 1½".

En la Tabla 2 se presentan las medidas que deben tener los componentes **(a.)**, **(b.)** y **(c.)** del dispositivo, según la capacidad del reactor hidrolítico-acidogénico.

## 2. Alimentador circular de flujo laminar a la entrada del reactor hidrolítico

Las aguas residuales del café deben permanecer almacenadas durante



**Figura 12.** Componentes del dispositivo cuello de ganso.  
**a.** Tubo horizontal; **b.** Tubo vertical; **c.** Altura total del dispositivo.

### Instalación del cuello de ganso

Deben seguirse los siguientes pasos:

1. Acoplar al adaptador hembra **(1.)** (salida interna del agua del reactor hidrolítico hacia la recámara dosificadora) un tubo **(a.)** (ver las medidas en la Tabla 2, de acuerdo al tamaño del tanque) de PVC-P de 1½".
2. Acoplar al extremo libre del tubo **(a.)** un codo **(2.)** de PVC-P de 1½". En el extremo libre del codo, acoplar un tubo (B) (ver las medidas en la Tabla 2, de acuerdo al tamaño del tanque) de PVC-P de 1½".
3. Acoplar en el extremo libre del tubo **(b.)** un semicodo **(3.)** de PVC-P de 1½" y luego un tubo de 8 cm de PVC-P de 1½", seguido de un codo **(4.)** de PVC-P de 1½", con un agujero de ½" justo en el quiebre.
4. Finalmente, acoplar un tubo **(c.)** de 19 cm de longitud de PVC-P de 1½", con corte a 45° en el extremo libre.

mínimo 48 h en el reactor hidrolítico-acidogénico, con el fin de asegurar que se produzcan la mayoría de las reacciones de acidificación. Mediante la experimentación se ha observado que a las 24 h de almacenamiento se logra tener una separación natural en sedimentos, agua

clarificada y natas que, de mantenerse en el tiempo, favorecen el desempeño de las demás unidades de los SMTA. Por lo anterior, en Cenicafé se diseñó un alimentador circular de flujo laminar que se ubica en la base del reactor hidrolítico, el cual tiene

**Tabla 2.** Medidas de los componentes del dispositivo cuello de ganso.

Tanque (L)	Altura tanque (cm)	Longitud Tubo (A) (cm)	Longitud Tubo (B) (cm)	Altura final dispositivo (C) (cm)
500	96	10	47	64
750	102	21	51	68
1.000	125	21	67	84
2.000	157	33	88	105
3.000	168	46	95	112
5.000	210	58	123	140
10.000	248	88	149	166

como función transformar el flujo turbulento con que ingresan las aguas residuales al reactor hidrolítico, en un flujo laminar que permite la conservación de las capas separadas.

En época de cosecha, el ingreso de las aguas residuales del lavado del café al reactor hidrolítico se realiza diariamente y en flujo turbulento, lo cual provoca una resuspensión del material sedimentado, destruyendo la estratificación de capas formadas en las 24 h anteriores a la nueva descarga de aguas residuales. Esto genera el paso de una gran cantidad de sólidos a las demás unidades del SMTA, causando taponamientos frecuentes en la recámara dosificadora, con una alta demanda en la inspección y el mantenimiento por parte de los caficultores.

El alimentador circular de flujo laminar se elabora con manguera de 1½" (en polietileno, o anillada, o de succión-descarga), a la cual se la realizan agujeros de ½", dispuestos en cruz y separados cada 6 cm (Figura 13).

La manguera se cubre con trozos de botellas plásticas o con trozos de una manguera



### Construcción del alimentador circular con manguera anillada

Se requieren los siguientes materiales (Figura 13):

- Dos "T" de PVC-P de 1½".
- Dos semicodos de PVC-P de 1½".
- Cinco tubos de 6 cm de longitud de 1½".
- Dos adaptadores hembra de PVC-P de 1½".
- Dos adaptadores en polietileno roscados de 1½".
- Manguera de 1½", su longitud depende del diámetro interno del reactor hidrolítico (Tabla 3).



**Figura 13.** Componentes del alimentador circular con manguera anillada.

## Construcción del alimentador circular con manguera de polietileno



Se requieren los siguientes materiales (Figura 14):

- Dos "T" de PVC-P de 1½".
- Dos semicodos de PVC-P de 1½".
- Tres tubos de 6 cm de longitud de PVC-P de 1½".
- Dos tubos de 20 cm de longitud de PVC-P de 1½".
- Manguera de 1½", su longitud depende del diámetro interno del reactor hidrolítico (Tabla 3).



Figura 14. Componentes del alimentador circular con manguera de polietileno.

de un diámetro un poco mayor, y se ubica en la parte inferior, a la entrada del reactor hidrolítico. Con este dispositivo se evita la resuspensión del material sedimentado, dado que el agua a presión que sale por los agujeros de la manguera, choca contra las paredes de los trozos de las botellas plásticas o de la manguera exterior, perdiendo su turbulencia y su capacidad de mezclar los sedimentos.

## Material adicional para ambos tipos de manguera



Se requieren los siguientes materiales (Figura 15):

- Tres adaptadores macho de PVC-P de 1½".
- Tres adaptadores hembra de PVC-P de 1½".
- Un tubo de 6 cm de longitud de PVC-P de 1½".
- Tubo para descarga de lodos de PVC-P de 1½", su longitud depende de la altura del reactor hidrolítico (Tabla 3).
- Seis arandelas de neolite con perforación central de 1½".
- Pegante PVC.
- Sellador PVC.
- Trozos de botellas plásticas de 600 mL de capacidad o de manguera con un diámetro un poco mayor a 1½", que cubran toda la longitud de la manguera de ingreso del agua residual.



**Figura 15.** Materiales adicionales para la construcción del alimentador circular.

### Herramientas necesarias



Ver Figura 16:

- Una broca de ½".
- Un taladro.
- Una brocasierra.
- Una llave de cadena (Tabla 3).



**Figura 16.** Herramientas para construir el alimentador circular.

**Tabla 3.** Medidas de los componentes del dispositivo circular.

Tanque (L)	Diámetro inferior del tanque (cm)	Longitud de la manguera (cm)	Longitud del tubo de descarga	Número de trozos de botella plástica de manguera (*)
500	70	136	86	9
750	90	190	92	13
1.000	90	190	115	13
2.000	116	260	147	18
3.000	141	328	158	22
5.000	165	393	200	27
10.000	225	555	238	37

(\*) Los trozos de botella o manguera deben ser de 15 cm.

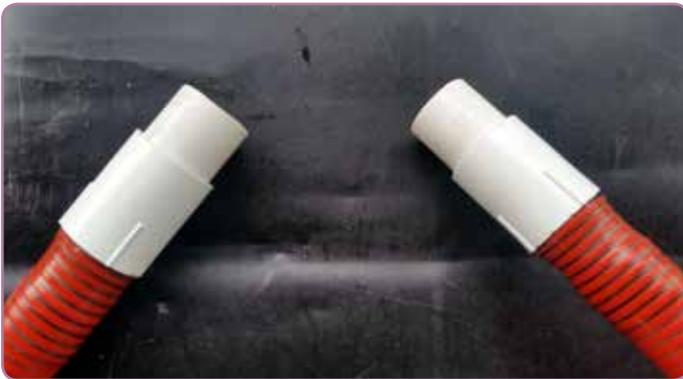
## Pasos para construir e instalar el alimentador circular:

- Todos los acoples, exceptuando el tubo para descarga de lodos, deben ir soldados utilizando el limpiador y el pegante PVC.
- Ubicar el reactor hidrolítico en un terreno nivelado y firme, a una cota de altura que permita el flujo por gravedad del agua residual desde la trampa de pulpa (cota mínima de 75 cm).
- Ampliar a 1 ½" la perforación inicial del tanque que opera como reactor hidrolítico (ubicada en la parte inferior), utilizando la broca sierra.
- Realizar una nueva perforación de 1½", utilizando la broca sierra, en la pared del tanque (el centro de la perforación debe ubicarse a 7 cm del fondo), idealmente, al lado opuesto a la perforación inicial del tanque (desplazamiento de 180°). De no ser posible (por las características del terreno), debe ubicarse en el cuadrante entre los 90 y 180° del agujero inicial.
- Instalar el adaptador macho (parte externa) y el adaptador hembra (parte interna) en los dos agujeros del tanque, teniendo la precaución de ubicar las arandelas de neolite, tanto en la parte interna como externa de la pared (la parte lisa de la arandela debe ir en contacto con la pared del tanque). Introducir y ajustar, utilizando una llave de cadena.
- Medir el diámetro interno del reactor hidrolítico-acidogénico y con base en la información condensada en la Tabla 3, disponer de la longitud de manguera de 1½" de diámetro que allí se establece.
- Instalar en el fondo del tanque el dispositivo circular (Figura 21), el cual se elabora de la siguiente manera: tomar la manguera y con el taladro y la broca de ½" hacer perforaciones en cruz, separadas cada 6,0 cm (con el fin de distribuir uniformemente el flujo) (Figura 17).
- Instalar en cada extremo de la manguera de polietileno un tubo de 20 cm de longitud PVC-P de 1½", para lo cual se requiere calentar los extremos de la manguera para favorecer el acople de los tubos. Si se utiliza manguera anillada, deben acoplarse a cada extremo los adaptadores roscados de polietileno, los adaptadores hembra y los tubos de 6 cm de longitud (Figura 18).
- Cortar los extremos de las botellas plásticas (el cuello en forma de cono y el fondo, eliminándolos y disponiéndolos de forma correcta), y utilizar el trozo recto para introducir la manguera (usando tantos trozos como se requieran hasta cubrir por completo la manguera) (Figura 19), teniendo la precaución de que no quede sin cubrir ninguno de los agujeros realizados a la manguera, pues el propósito es que el agua que salga a través de los agujeros "choque" contra las paredes de los trozos de botella y transformar su flujo turbulento en laminar y así evitar la resuspensión de los sólidos sedimentados que se han acumulado en el fondo del tanque. Si no se dispone de botellas plásticas, se pueden cortar trozos de una manguera de un diámetro levemente mayor a 1½".
- Acoplar en cada uno de los extremos de la manguera (en donde están los tubos), los semicodos de 1½". A continuación de los semicodos, en cada extremo instalar un tubo de 6 cm PVC-P de 1½", luego las "T" de 1½" y, finalmente, unir los dos extremos de las "T", con un tubo de 6 cm de longitud PVC-P de 1½". Una de las "T" debe instalarse con el agujero hacia arriba y la otra con el agujero en posición lateral y, esta última, se conecta a través de un tubo de 6 cm de longitud PVC-P de 1½" al adaptador hembra, por donde ingresa el agua proveniente de la trampa de pulpa (Figura 20).

Continúa...



**Figura 17.** Agujeros de ½" en cruz, realizados a la manguera de polietileno y a la manguera anillada.



**Figura 18.** Acople de los dispositivos en los extremos de la manguera anillada.



**Figura 19.** Corte y acople de los trozos de botella.

## Pasos para construir e instalar el alimentador circular:

...continuación

- A la otra "T", para la descarga de lodos, debe acoplarse el tubo PVC-P de 1½" (Figura 21), cuya longitud depende de la altura del tanque (Tabla 3).
- Dado que el reactor hidrolítico-acidogénico debe tener un rebose de seguridad ante alguna sobrecarga hidráulica y que, normalmente, los tanques comerciales disponen de dos agujeros en la parte superior, debe colocarse un tapón de caucho en el agujero más pequeño y ampliar el otro a 1½". Paso seguido, deben instalarse adaptadores macho y hembra con sus respectivas arandelas y llevar el rebose de seguridad hasta un agujero de 1,0 m<sup>3</sup> en el suelo, el cual se llena con trozos de tallos provenientes de la etapa de zaqueo del café.



Figura 20. Aspecto final del alimentador circular.

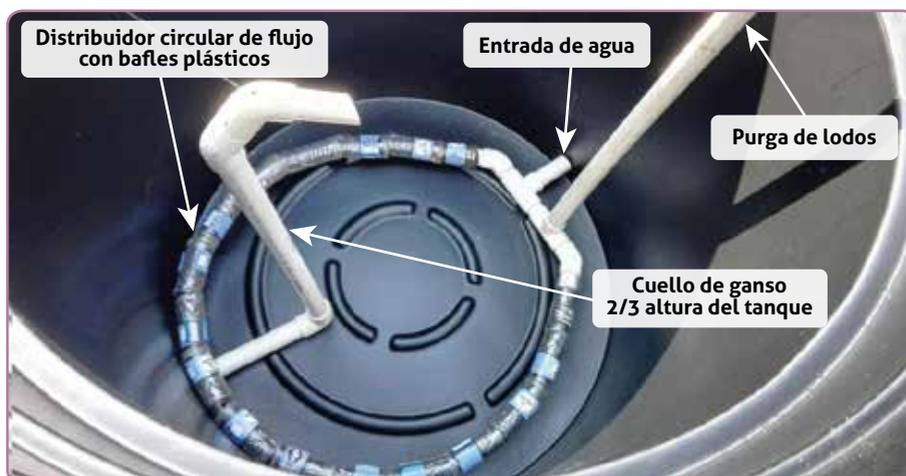
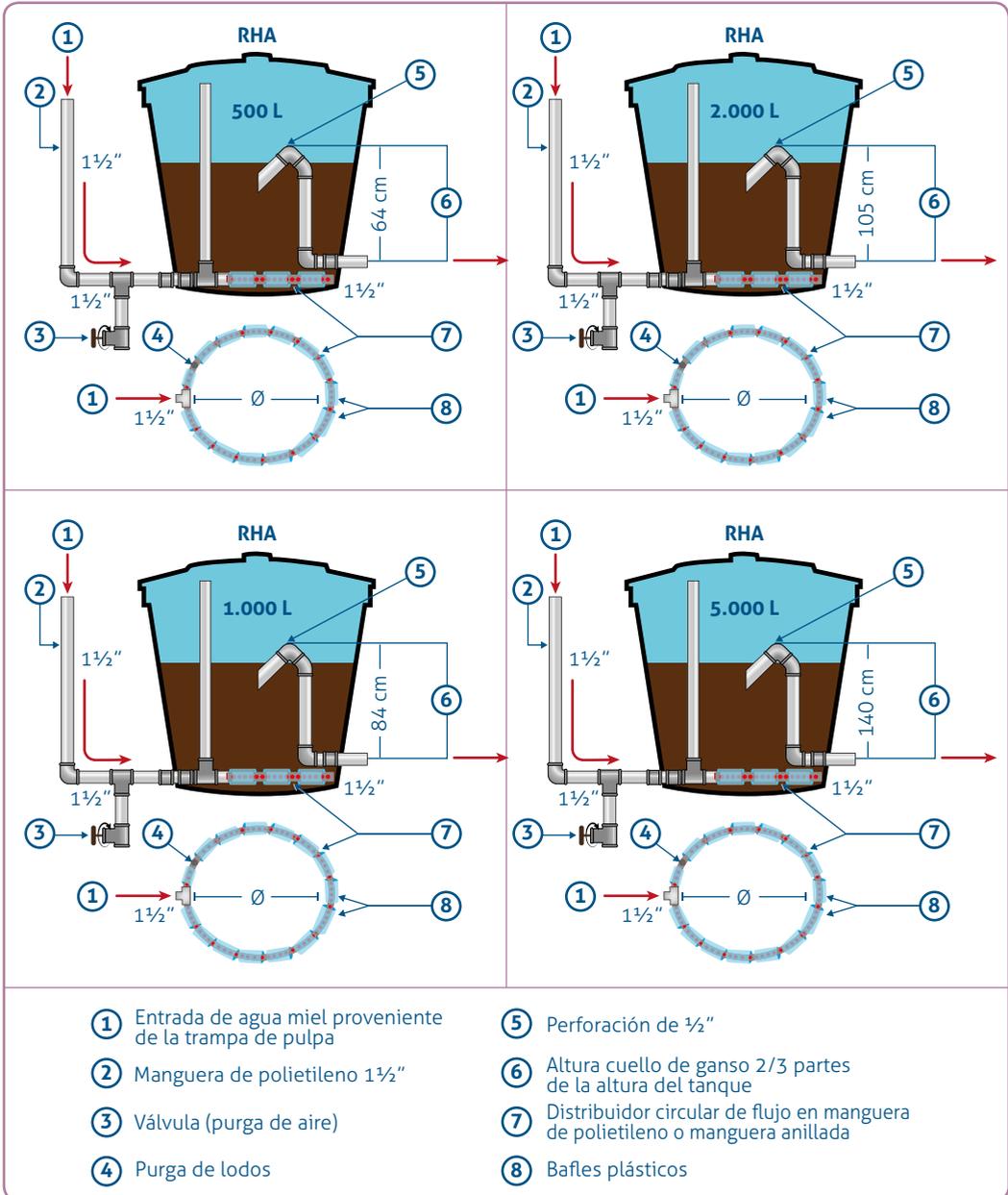


Figura 21. Aspecto del alimentador circular de flujo laminar al interior del reactor hidrolítico-acidogénico.

En la Figura 22 se presentan los esquemas del cuello de ganso y del alimentador circular de flujo laminar, ubicados en el interior del reactor hidrolítico acidogénico, para capacidades del reactor de 500 L, 1.000 L, 2.000 L y 5.000 L.



**Figura 22.** Esquema del dispositivo alimentador circular en diferentes tamaños de tanque.

### 3. Trampa de sólidos a la salida de la recámara dosificadora

La trampa de sólidos es un dispositivo que se ubica a la salida de la recámara dosificadora, antes del tapón de descarga que conduce el agua residual hacia el reactor metanogénico.

Está provista de un filtro circular elaborado en malla mosquitera, con un tamaño de poro de 1,0 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.

En la Tabla 4 se presentan los valores para el diámetro del agujero del tapón de descarga de la recámara dosificadora, según la capacidad del reactor metanogénico.

A continuación, se describen los materiales necesarios para la construcción de la trampa de sólidos (Figura 23).

**Tabla 4.** Medidas del orificio del tapón de descarga de la recámara dosificadora, según el tamaño del reactor metanogénico.

Tanque (L)	Altura del tanque (cm)	Diámetro del orificio del tapón	
		Pulgadas	mm
500	96	1/16	1,6
750	102	1/16	1,6
1.000	125	5/64	2,0
2.000	157	3/32	2,4
3.000	168	1/8	3,2
5.000	210	5/32	4,0
10.000	248	5/16	7,9



**Figura 23.** Materiales PVC-S para la construcción de la trampa de sólidos.



## Construcción de la trampa de sólidos

Materiales PVC-S (Figura 23):

- Dos adaptadores hembra de PVC-P de 1/2".
- Dos adaptadores macho de PVC-P de 1/2".
- Dos codos de PVC-P de 1/2".
- Dos semicodos de PVC-P de 1/2".
- Cuatro arandelas de neolite.
- Un anillo de PVC-S de 2 cm de longitud y diámetro de 4".
- Un filtro de 15 cm de diámetro en malla mosquitera plástica de 1,0 mm de poro.

Accesorios complementarios (Figura 24):

- Un tubo PVC-S de 15 cm de longitud y 4" de diámetro.
- Un adaptador de limpieza PVC-S de 4".
- Un tapón de prueba PVC-S de 4".
- Material de empaque. Pueden utilizarse tapas plásticas con perforaciones de 1/8" o anillos de 1 cm de longitud de tubería de PVC-P de 1/2" o anillos de 1,0 cm de longitud de manguera de polietileno de 1/2" (Figura 25). Sus características de porosidad y área específica se detallan en la (Tabla 5).
- Tres tubos de 4 cm de longitud PVC-P de 1/2".
- Un tubo de 30 cm de longitud PVC-P de 1/2".
- Dos tubos de 15 cm de longitud PVC-P de 1/2".
- Un tapón liso de PVC-P de 1/2".



**Figura 24.** Accesorios complementarios para la construcción de la trampa de sólidos.



**Figura 25.** Material de empaque de la trampa de sólidos.

**Tabla 5.** Valores de porosidad y área superficial del material de empaque de la trampa de sólidos.

Medio filtrante	Área superficial (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
Tapas plásticas	433	80
Anillos de 1,0 cm tubería PVC de ½"	438	75
Anillos de 1,0 cm tubería de polietileno de ½"	472	77

### Pasos para construir e instalar la trampa de sólidos:

- Debe calentarse uno de los extremos del tubo de PVC-S de 15 cm y acoplar el extremo liso del adaptador de limpieza. En la pared del tubo debe hacerse una perforación de ½", a 6 cm del extremo del adaptador de limpieza. Esta perforación atraviesa tanto la pared del tubo como la pared del adaptador de limpieza. Seguidamente debe ampliarse la perforación en la pared del tubo (parte externa) (Figura 26) hasta que se acople el adaptador hembra de ½", con su respectivo empaque de neolite (con el fin de facilitar el roscado) (Figura 27).
- Al anillo de PVC-S de 4" de diámetro y 2 cm de longitud se le retiran 2,5 cm de su perímetro, para adecuarlo como un porta-filtro y se forra en la malla mosquitera (Figura 28). Luego se introduce en el tubo PVC-S de 15 cm, que lleva acoplado el adaptador de limpieza, por el extremo opuesto de éste, hasta el tope del adaptador macho (Figura 29).
- El espacio vacío que queda entre el filtro y el extremo inferior del tubo de PVC-S de 15 cm, se llena con el material de empaque (tapas plásticas con perforaciones de 1/8" o anillos de 1 cm de longitud de tubería PVC-P de ½" o anillos de 1 cm de longitud de manguera de polietileno de ½", antes de pegar el tapón de prueba PVC-S de 4" (Figura 30).
- Al tapón de prueba PVC-S de 4" se le realiza una perforación de ½" en la parte central. Luego se acopla hacia la parte externa el adaptador macho, con su respectivo empaque de neolite y hacia la parte interna se enrosca el adaptador hembra con su respectivo empaque de neolite, hasta tener ajuste completo (Figura 31).
- Limpiar y pegar con limpiador y soldadura de PVC el tapón de prueba con sus respectivos accesorios, en el extremo inferior del tubo PVC-S de 15 cm de longitud (Figura 32).



**Figura 26.** Adaptador de limpieza y agujeros incorporados al tubo de PVC.



**Figura 27.** Adaptador hembra acoplado al tubo de PVC.



**Figura 28.** Adaptación del anillo PVC-S de 4" como porta-filtro.



**Figura 29.** Filtro incorporado al tubo de PVC-S de 15 cm.



**Figura 30.** Trampa de sólidos llena con el material de empaque.



**Figura 31.** Tapón de prueba con accesorios.



**Figura 32.** Acople del tapón de prueba al tubo PVC-S de 15 cm.

## Pasos para construir e instalar la tubería de ingreso del agua residual

Para construir la tubería de ingreso del agua residual proveniente de la recámara dosificadora a la trampa de sólidos, deben seguirse los siguientes pasos:

- Al adaptador macho que sobresale del tapón de prueba se le acoplan en orden: el tubo de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y 4 cm de longitud, un codo de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ ", un tubo de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y 4 cm de longitud, un codo de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ ", un tubo de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y 30 cm de longitud, un semicodo de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y un tubo de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " de 15 cm de longitud (Figura 33) y acople a la recámara dosificadora (Figura 34).



**Figura 33.** Tubería de ingreso del agua residual a la trampa de sólidos.



**Figura 34.** Acople de la trampa de sólidos a la recámara dosificadora.

## Pasos para construir e instalar la tubería de salida del agua residual

Para construir la tubería de salida del agua residual de la trampa de sólidos siga los siguientes pasos:

- Al adaptador hembra que sale de la trampa de sólidos se le acopla un tubo de 4 cm PVC-P de  $\frac{1}{2}$ ", seguido de un semicodo PVC-P de  $\frac{1}{2}$ ", un tubo de 15 cm de longitud PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y el tapón liso, al cual previamente se le realiza una perforación, cuyo diámetro depende del tamaño del tanque del reactor metanogénico (ver Tabla 4) (Figuras 35 y 36).

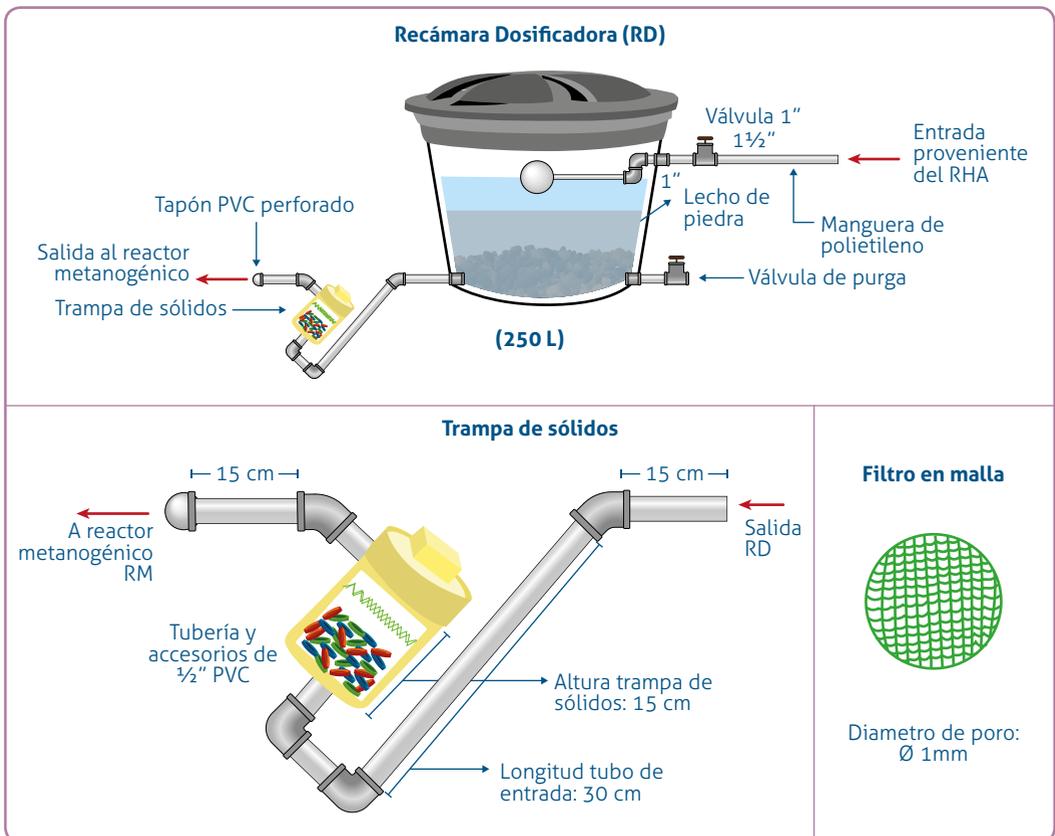


**Figura 35.** Tubería de salida de la trampa de sólidos.



**Figura 36.** Acople de la tubería de salida de la trampa de sólidos.

En la Figura 37 se presentan los diagramas de la trampa de sólidos y en la Figura 38 su incorporación en recámaras dosificadoras en funcionamiento.



**Figura 37.** Diagramas de la trampa de sólidos e instalación en la recámara dosificadora.



**Figura 38.** Trampa de sólidos en funcionamiento en recámaras dosificadoras.

En la Figura 39 se presenta al aspecto del filtro durante su funcionamiento. Se observa el material que queda retenido en la malla mosquitera, con un tamaño de partícula superior al orificio del tapón de salida de la recámara dosificadora, contribuyendo a un flujo hidráulico continuo y a una menor frecuencia de

mantenimiento de la recámara dosificadora.

### Mantenimiento de la 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 ello es necesario desacoplar la trampa de sólidos del tanque al cual está conectada (Figura 40), desenroscar la tapa del adaptador de limpieza (Figura 41) y lavar el interior de la trampa y la tapa (paredes y malla mosquitera) con agua (Figura 42), hasta que quede completamente limpia (Figura 43). El agua

de lavado debe recogerse y adiccionarla de nuevo al tanque, al cual está incorporada la trampa de sólidos (Figura 44) y volver a conectar la trampa de sólidos en el tanque (Figura 45).

### 4. Dispositivo para el mantenimiento del reactor metanogénico

Debido al flujo de sólidos hacia el reactor metanogénico se presentan taponamientos en el marco interno de distribución de flujo en esta unidad (Figura 46), causados por el depósito de material sólido con un tamaño de partícula superior al del orificio de salida en el marco.

Una solución económica y práctica para resolver este problema es incorporar un dispositivo interno de limpieza que permita la descarga hacia el exterior, del material sólido depositado en el sistema interno de distribución del flujo.

Para ello, se recomienda instalar otra "T" de PVC-P en el marco de distribución del caudal que ingresa al reactor metanogénico (la cual debe tener el mismo diámetro de la tubería en la que está elaborado el marco), al lado opuesto de



**Figura 39.** Materiales retenidos en el filtro de la trampa de sólidos.



**Figura 40.** Desacople de la trampa de sólidos del tanque de polietileno.



**Figura 41.** Desenroscado de la tapa de la trampa de sólidos.



**Figura 42.** Lavado de la trampa de sólidos con agua limpia.



**Figura 43.** Aspecto del filtro después del lavado.



**Figura 44.** Aspecto del agua residual del lavado del filtro.



**Figura 45.** Trampa de sólidos acoplada de nuevo al tanque.



**Figura 46.** Marco de distribución del agua que ingresa al reactor metanogénico.



**Figura 47.** Reemplazo de uno de los lados del marco de distribución del agua de ingreso al reactor metanogénico, por una "T" con sus respectivos tubos de acople a los codos.



**Figura 48.** Dispositivo interno de limpieza del reactor metanogénico.

donde del ingreso el agua residual proveniente de la recámara dosificadora (Figura 47).

En la "T" incorporada debe acoplarse un tubo de PVC-P del mismo diámetro y con una altura 5 cm por debajo del borde superior del tanque (Figura 48).

Este dispositivo se utiliza cuando se presenta un taponamiento del flujo a la entrada del reactor metanogénico. Para solucionar este problema 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 de este dispositivo interno hasta verificar la solución del problema. Posteriormente se cierra la válvula de paso del dispositivo externo de descarga de lodos.

## 5. Dispositivo flotante de cabeza de presión constante con sistema de filtración

Este dispositivo tiene como propósito reemplazar a la recámara dosificadora que forma parte del SMTA, permitiendo disminuir los

costos del sistema y el área de instalación del mismo, así como favorecer 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.



### Materiales para la construcción del dispositivo

Materiales necesarios para la construcción (Figura 49):

- Dos tubos de longitud (A) PVC-P con diámetro (C), según tamaño del tanque (Tabla 6).
- Seis tubos de longitud (B) PVC-P con diámetro (C), según tamaño del tanque (Tabla 6).
- Cuatro codos PVC-P de diámetro (B) (Tabla 6).
- Tres Tees de diámetro (B) (Tabla 6).
- Una reducción de PVC-P del diámetro (B) a 1/2".
- Una Tee de PVC-P de 1/2".
- Un codo de PVC-P de 1/2".
- Un tubo de 19 cm de longitud de PVC-P de 1/2".
- Tres tubos de 4 cm de longitud de PVC-P de 1/2".
- Un tapón de goma No. 2.
- Un tubo de longitud (D) PVC-S de 4" de diámetro, para elaborar el sistema de filtración (Tabla 6).
- Un tubo de 9 cm de longitud, de PVC-S, de 4" de diámetro, para elaborar la tapa de inspección del filtro.
- Un anillo de 2 cm de longitud de PVC-S de 4" de diámetro, para elaborar el portafiltro.
- Tres cintas de 2 cm x 9 cm, de PVC-S, para darle adherencia a la mirilla del filtro.
- Un filtro de 15 cm de diámetro, en malla mosquitera plástica de 1 mm de poro y con un agujero central de 1/2".
- Para el material de empaque pueden utilizarse tapas plásticas con perforaciones de 1/8", o anillos de 1 cm de longitud de tubería de PVC-P de 1/2" o anillos de 1 cm de longitud de manguera de polietileno de 1/2" (Figura 25). Sus características de porosidad y área específica se detallan en la Tabla 5.
- Ocho tubos de longitud (F) de PVC-P de 1/2".
- Ocho adaptadores hembra de PVC-P de 1/2".
- Seis adaptadores macho de PVC-P de 1/2".
- Dos adaptadores macho de 1/2" en polietileno.
- Ocho semicodos de PVC-P de 1/2".

Continúa...

...continuación.

- Dos tapones de prueba de PVC-S de 4".
- Manguera argollada de ½" y longitud (G) (Tabla 6).
- Un tubo de longitud (E) de PVC-P de ½".
- Una reducción del orificio inferior del tanque comercial (que normalmente es de 1") a ½".
- Cinco tubos de 4 cm de longitud de PVC-P de ½".



**Figura 49.** Materiales necesarios para la construcción del dispositivo flotante.

**Tabla 6.** Dimensiones de los materiales para la construcción del dispositivo flotante.

Tanques (L)	Diámetro inferior tanque (cm)	Diámetro superior tanque (cm)	Longitud del tubo del marco flotante		Diámetro tubería marco flotante (C)	Diámetro del filtro
			A (cm)	B (cm)		
500	70	108	40	18,5	1"	4"
750	90	125	60	28,5	1"	4"
1.000	90	137	60	28,5	1"	4"
2.000	116	157	80	40	1½"	4"
3.000	141	181	100	50	1½"	4"
5.000	165	222	120	60	1½"	4"
10.000	225	256	160	80	2"	4"
Tanques (L)	Longitud del filtro (D)(cm)	Longitud tubo interno del filtro (E) (cm)	Longitud tubos externos del filtro (F) (cm)	Longitud manguera interna del dosificador (G) (cm)	Altura total del dispositivo flotante (cm)	Distancia del agujero de descarga respecto al fondo del tanque (cm)
500	18	14	31	60	84	64
750	18	14	34	66	88	68
1.000	24	20	41	83	104	84
2.000	30	26	51	109	125	105
3.000	36	32	53	114	132	112
5.000	40	36	67	152	160	140
10.000	50	46	79	180	186	166

### Construcción del dispositivo flotante:

Para la construcción del marco flotante deben considerarse las dimensiones y las características del material descrito en la Tabla 6, según el tamaño del tanque.

En los dos tubos de longitud A, debe acoplarse un codo en cada extremo. A través de las tres "T", deben conectarse los seis tubos de longitud B, formando una "H" y acoplarla a los dos tubos que tienen integrados en sus extremos, los codos (Figura 50). Estos tubos deben pegarse con limpiador y soldadura de PVC.

A la "T" libre en el centro debe conectarse una reducción a  $\frac{1}{2}$ ", seguida de un tubo de 4 cm de longitud PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y un

tapón de goma No. 2, para evitar el ingreso de agua al marco flotante. Luego, debe acoplarse una "T" PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y, en su extremo lateral, acoplar un tubo de 4 cm de longitud PVC-P de  $\frac{1}{2}$ ", un codo PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y un tubo de 12 cm de longitud PVC-P de  $\frac{1}{2}$ ", que sobresalga de la superficie del agua, con el fin de tener el sistema completo a la presión atmosférica (Figura 51). En el extremo libre de la "T" de  $\frac{1}{2}$ " se conecta el sistema de filtración y dosificación de caudal.

### Construcción del sistema de filtración y dosificación de caudal:

En la parte superior del tubo de longitud (D) PVC-S de 4", a 3 cm del borde, debe elaborarse una mirilla de 5 cm x 10 cm, que servirá

para realizar limpieza periódica al filtro en malla mosquitera y al material de empaque que lleva el tubo en su interior (Figura 52).

La tapa para la mirilla se elabora con un tubo de 9 cm de longitud PVC-S de 4", al cual se le deben retirar 7 cm de perímetro. Adicionalmente, se recomienda pegarle tres cintas de PVC-S de 2 cm x 9 cm, con el fin de permitir la adherencia de giro en los momentos de la supervisión (Figura 53).

La tapa de la mirilla debe introducirse en el tubo de longitud (D) PVC-S de 4" y alinearla de forma que con un giro permita tapar o descubrir la mirilla (Figura 54).

Por debajo de la mirilla, a 5 cm y a través del

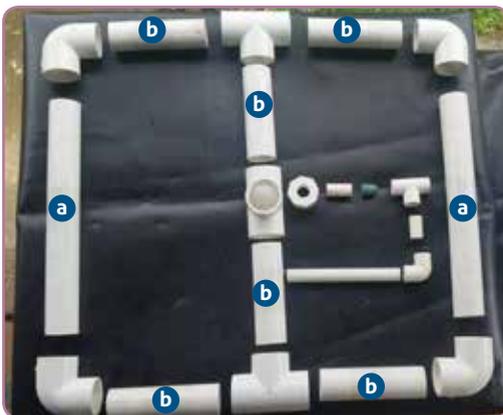


Figura 50. Construcción del marco flotante.



Figura 51. Marco flotante terminado.



**Figura 52.** Mirilla para el mantenimiento del sistema de filtración (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).



**Figura 53.** Tapa para la mirilla del sistema de filtración.



**Figura 54.** Acople de la tapa de la mirilla al tubo.



**Figura 55.** Acople de adaptadores al sistema filtrante (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).

perímetro, separadas cada 9 cm, deben hacerse cuatro perforaciones de  $\frac{1}{2}$ " completamente alineadas. En cada perforación hacia la parte interna se ubica un adaptador hembra de  $\frac{1}{2}$ " y hacia la parte exterior un adaptador macho de  $\frac{1}{2}$ " y se realiza el respectivo roscado (Figura 55).

Luego, a cada adaptador macho debe acoplarse un tubo de 4 cm de longitud PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y su respectivo semicodo PVC-P de  $\frac{1}{2}$ ", en el cual se insertarán posteriormente tubos que servirán de soporte del sistema de filtración (Figura 56).

A partir de los 2 cm del borde inferior del tubo, hacia arriba deben hacerse tres líneas de perforaciones de  $\frac{3}{8}$ ", separadas 0,5 cm, a través de todo el perímetro del tubo, con el fin de permitir el ingreso del agua residual al filtro, por la parte inferior (Figura 57). Para los dispositivos de los tanques



**Figura 56.** Acople de los semicodos (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).



**Figura 57.** Sistema de filtración con los agujeros de ingreso del agua residual (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).

con capacidad de 500 y 750 L se deben realizar perforaciones en el espacio comprendido entre los adaptadores macho. Para los dispositivos de tanques de mayor capacidad no es necesario realizar perforaciones en esta área (Figura 58).

A los dos tapones de prueba, se les realiza en la parte central una perforación de  $\frac{1}{2}$ " (Figura 59); luego, se acopla en la parte externa, el adaptador hembra y se enrosca por la parte interna el adaptador macho hasta obtener ajuste completo (Figura 60).

Al tapón de prueba que servirá de tapa superior del tubo de longitud (D) de PVC-S de 4" se le acopla, a través del adaptador macho interno, un tubo de longitud (E) PVC-P de  $\frac{1}{2}$ ", dependiendo del tamaño del tanque en el cual se implementará el dispositivo (Tabla 6), al cual a 5 cm de su borde superior se le realiza una perforación de  $\frac{1}{2}$ ", de forma que se ubique a continuación del adaptador macho; por este orificio saldrá el agua del tanque (Figura 61).



**Figura 58.** Sistema de filtración con los agujeros de ingreso del agua residual (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 5.000 L).

En el tubo de longitud (D) de PVC-S de 4" se introduce la malla mosquitera y el portafiltro (Figura 62) hasta tope, con los adaptadores hembra interna, teniendo cuidado de que el agujero



**Figura 59.** Tapones de prueba con las perforaciones.

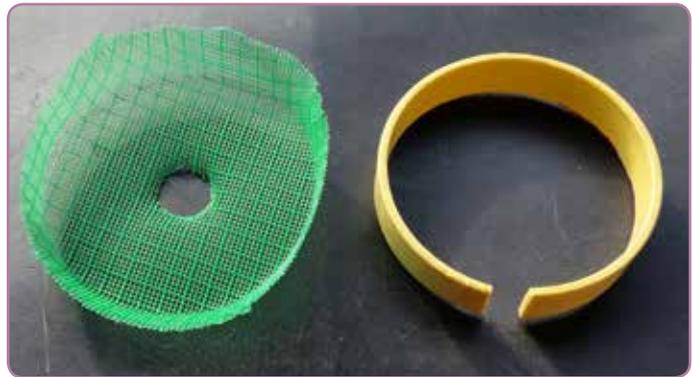


**Figura 60.** Tapones de prueba con los accesorios.



**Figura 61.** Dispositivo de salida del agua del tanque.

central del filtro de malla mosquitera quede centrado en el tubo de PVC-S de 4" y luego se acople el tapón de prueba superior que lleva incluido el tubo de longitud (E) de PVC-P de 1/2", de forma que este pase a través de la perforación central del filtro (Figuras 63 y 64).



**Figura 62.** Filtro y portafiltro.

El espacio entre el filtro y el borde inferior del tubo de longitud (D) de PVC-S de 4" se llena con el material de empaque (Figuras 65 y 66) y posteriormente se acopla el segundo tapón de prueba (Figura 67).

Luego, en el adaptador hembra del tapón de prueba inferior se acopla un tubo de 4 cm de longitud de PVC-P de 1/2" y un adaptador macho en polietileno de 1/2", en el cual se inserta la manguera de salida (Figura 68).



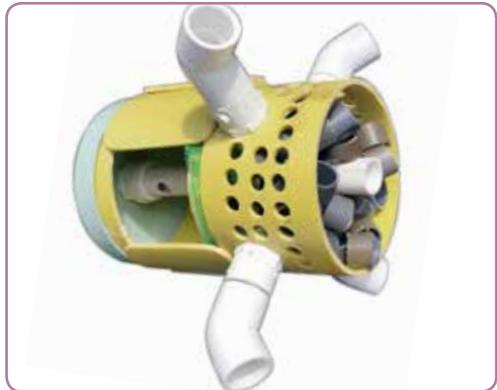
**Figura 63.** Vista frontal, ubicación del filtro (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).



**Figura 64.** Vista inferior, ubicación del filtro (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).



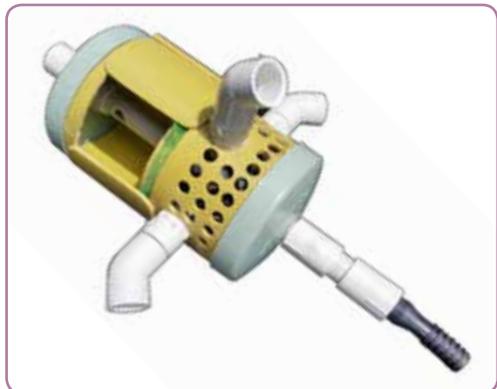
**Figura 65.** Vista inferior adición del material de empaque (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).



**Figura 66.** Vista lateral adición del material de empaque (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).



**Figura 67.** Acople del tapón de prueba en la parte inferior (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).



**Figura 68.** Acople del adaptador macho en polietileno (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).

Luego se acopla la manguera argollada de longitud (G), y en el otro extremo de la manguera se conecta un adaptador macho de polietileno de  $\frac{1}{2}$ " , seguido de un adaptador hembra de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " , un tubo de 4 cm de longitud de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y una

reducción del diámetro del agujero original del tanque comercial, ubicado en la parte inferior del mismo, a  $\frac{1}{2}$ " de PVC-P (Figura 69).

Los cuatro tubos de longitud (F) de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " deben conectarse en los semicodos que sobresalen del tubo de

longitud (D) de PVC-S de 4", luego se acoplan los semicodos de PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y a continuación los otros cuatro tubos de longitud (E) (Figura 70).

Finalmente, se acopla al sistema de filtración el marco flotante, uniendo a través de un tubo de 4

cm en el extremo de la "T" del marco flotante y el adaptador hembra que

sobresale del tapón de prueba superior del filtro (Figura 71).

En la Figura 72 se presenta el dispositivo completo.



**Figura 69.** Adaptación de la manguera argollada (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).



**Figura 70.** Acople de los tubos al sistema de filtración (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).



**Figura 71.** Conexión del marco flotante al sistema de filtración (la ilustración corresponde al dispositivo para un tanque de 500 L).



**Figura 72.** Dispositivo flotante con sistema de filtración incorporado.

## Pasos para instalar el dispositivo flotante en el reactor hidrolítico

Se requieren los siguientes materiales (Figura 73)

- El extremo de la manguera argollada, que contiene el adaptador macho en polietileno de 1/2", el adaptador hembra de PVC-P de 1/2", un tubo de 4 cm de longitud de PVC-P de 1/2" y la reducción de PVC-P a 1/2", si el agujero del tanque comercial es mayor a este diámetro.
- Un adaptador hembra de PVC-P del diámetro del agujero inferior del tanque de polietileno.
- Un adaptador macho de PVC-P del diámetro del agujero inferior del tanque de polietileno.
- Dos arandelas en neolite con diámetro interno del mismo tamaño del agujero inferior del tanque de polietileno.
- Una reducción a 1/2" de PVC-P, si el agujero del tanque comercial es mayor a este diámetro.

En el agujero inferior del tanque comercial (Figura 74), en la parte externa, se conecta un adaptador macho de PVC-P del mismo diámetro del agujero original del tanque, con su respectivo empaque en neolite (Figura 75) y en la parte interna se conecta un adaptador hembra de PVC-P del diámetro del agujero original, con su respectivo empaque de neolite (Figura 76) y se enrosca al adaptador macho externo (Figura 77).

La parte lisa del empaque queda en contacto con la pared del tanque.

Si el agujero del tanque comercial es de 1/2" no necesita reductor, si es menor amplíelo a 1/2", pero si es mayor conecte la reducción ubicada en el extremo de la manguera argollada del dispositivo

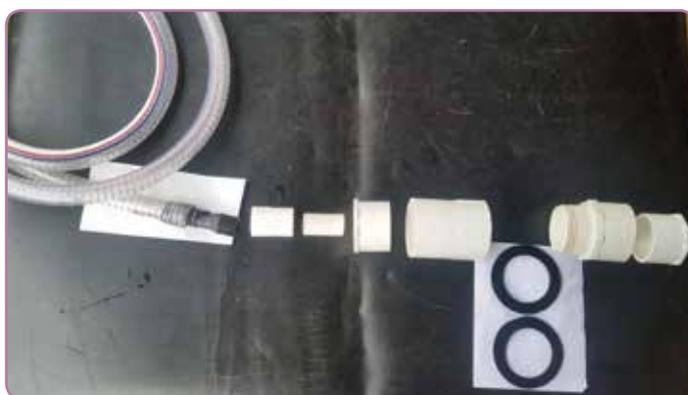


Figura 73. Materiales necesarios para la instalación del dispositivo flotante en el tanque.



Figura 74. Agujero inferior del tanque comercial.



**Figura 75.** Acople del adaptador macho.

flotante, en el adaptador hembra del agujero inferior del tanque (Figura 78).

En la Figura 79 se presenta el dispositivo flotante conectado al interior del tanque.



**Figura 76.** Acople del adaptador hembra.



**Figura 77.** Acople final de los adaptadores.



**Figura 78.** Acople del extremo de la manguera del dispositivo flotante al adaptador.



**Figura 79.** Acople del dispositivo flotante en el interior del tanque.

El control de flujo hacia el reactor metanogénico en los reactores hidrolíticos que incorporan el dispositivo flotante de cabeza de presión constante, se realiza a través de una trampa de sólidos.

Para acoplar la trampa de sólidos al tanque, en caso que el agujero de salida del mismo tenga más de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro, se acopla al

adaptador macho ubicado en la parte externa del tanque (Figura 80), otra reducción a  $\frac{1}{2}$ ".

A esta reducción, en caso de haberla requerido, se acopla un tubo de 10 cm de longitud PVC-P de  $\frac{1}{2}$ ", seguido de una llave de paso lisa de  $\frac{1}{2}$ " (Figura 81), que permita 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.

A continuación de la llave de paso lisa, se acopla un tubo de 10 cm longitud PVC-P de  $\frac{1}{2}$ " y se instala la trampa de sólidos (Figura 82).



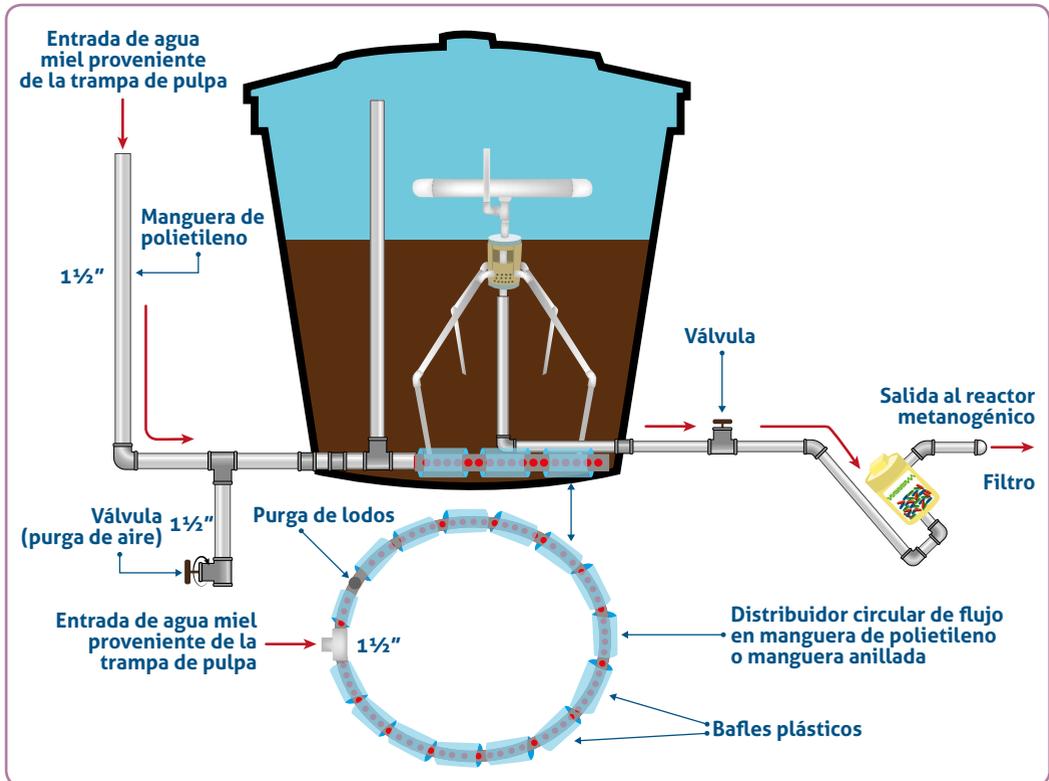
**Figura 80.** Acople de una reducción de  $\frac{1}{2}$ " al adaptador macho.



**Figura 81.** Instalación de una llave de paso antes de acoplar la trampa de sólidos.



**Figura 82.** Acople de la trampa de sólidos a la salida del tanque.



**Figura 83.** Reactor hidrolítico con los nuevos dispositivos de optimización de flujo.

Posteriormente, se hace la perforación al tapón liso de salida de la trampa de sólidos; el diámetro de la perforación depende del volumen del reactor metanogénico a alimentar (Tabla 4).

En la Figura 83 se presenta un diagrama del tanque hidrolítico que incorpora el alimentador circular de flujo laminar, el dispositivo flotante de cabeza de presión constante y la trampa de sólidos.

En la Figura 84 se presenta el dispositivo flotante de cabeza de presión constante en funcionamiento, en un reactor hidrolítico alimentado con aguas mieles del café.

En la Figura 85 se presenta el aspecto del agua residual que sale del sistema de filtración.

En la Figura 86 se presenta el aspecto del agua de ingreso y de salida del dispositivo flotante.

En la Tabla 7 se presentan las caracterizaciones fisicoquímicas de las muestras de entrada y de salida al dispositivo flotante.

El dispositivo flotante, con filtro incluido, ha permitido alcanzar remociones promedio, en las aguas residuales del café provenientes del lavado en tanques de fermentación, del 53,13% en la DQO y del 72,40%, en los sólidos totales.



**Figura 84.** Dispositivo flotante de cabeza de presión constante en operación.



**Figura 85.** Efluente de salida del dispositivo flotante.



**Figura 86.** Aspecto del agua de ingreso y de salida del dispositivo flotante.

**Tabla 7.** Caracterizaciones a la entrada y a la salida del dispositivo flotante.

Parámetros	Agua de ingreso Promedio de cinco muestras	Agua de salida. Promedio de cinco muestras	Remoción (%)
pH (Unidades)	4,51	4,58	-
Turbiedad (NTU)	4.520	570	-
Color (Pt-Co)	38.000	4.630	-
Nitratos (ppm)	186	23	-
Fosfatos (ppm)	42	45	-
DQO (ppm)	16.000	7.500	53,13%
Sólidos totales (ppm)	8.420	2.324	72,40%

### Mantenimiento del dispositivo

El mantenimiento al dispositivo flotante de cabeza de presión constante se realiza al final de cada cosecha (mitaca y principal) y cuando estando en funcionamiento, no se presente flujo a la salida del reactor hidrolítico.

Para este mantenimiento debe levantarse el

dispositivo por encima del nivel del agua residual del tanque (Figura 87). Luego se gira la tapa de la mirilla del filtro (Figura 88), de forma que se pueda tener ingreso a la malla mosquitera y al empaque que se encuentra al interior del filtro. A través de una manguera se adiciona agua a presión y se lava en el mismo tanque el interior del filtro (malla mosquitera

y material de empaque) (Figura 89). Posteriormente se cierra de nuevo la mirilla del filtro y se introduce el dispositivo de nuevo en el agua residual.

En la Figura 90 se presenta el diagrama de los SMTA incorporando los nuevos dispositivos evaluados, que contribuyen a optimizar el flujo hidráulico en el sistema de tratamiento.



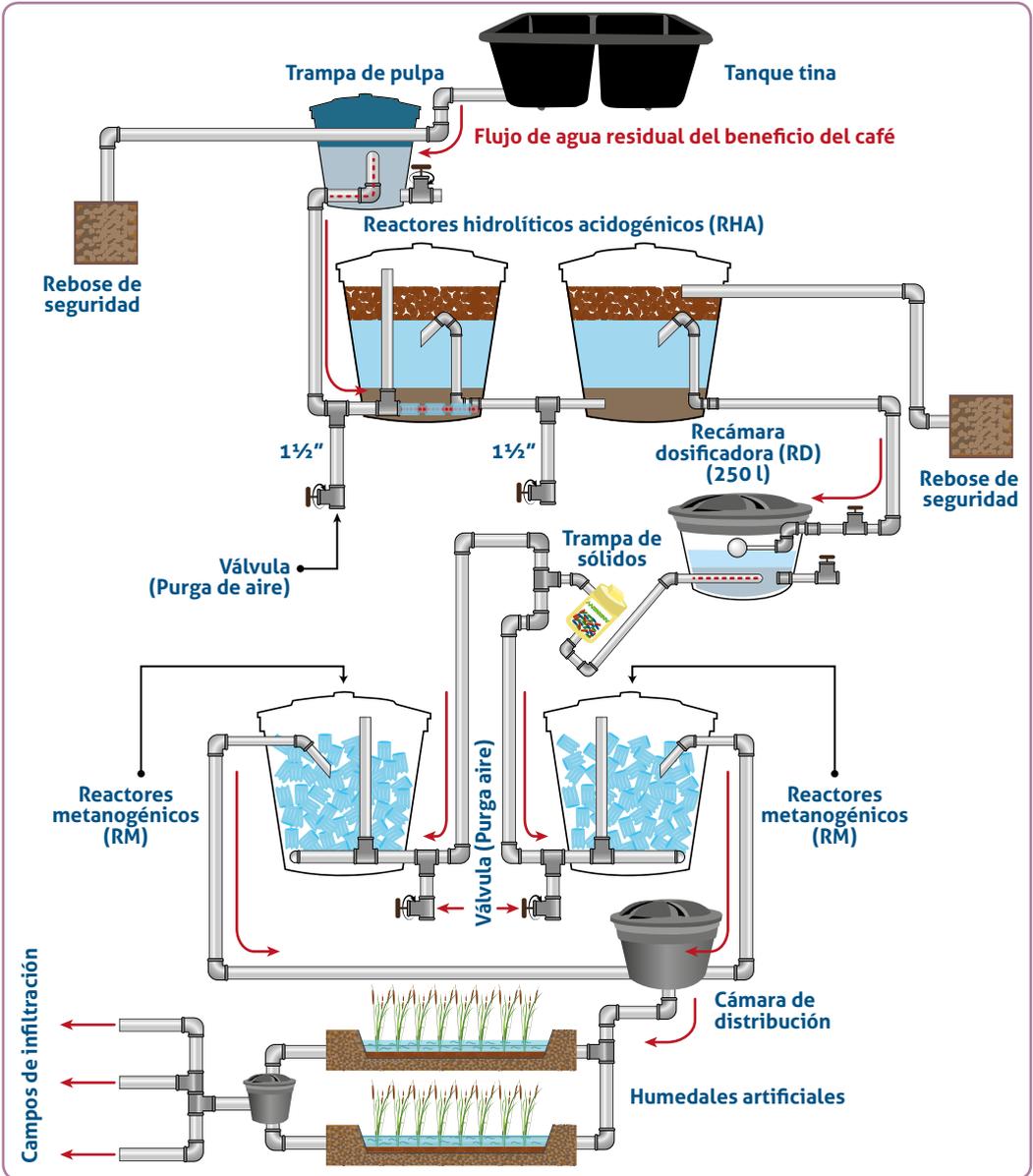
**Figura 87.** Levantamiento del dispositivo flotante para su mantenimiento.



**Figura 88.** Apertura de la mirilla para el lavado interior del filtro.



**Figura 89.** Lavado del interior del filtro del dispositivo flotante.



**Figura 90.** Diagrama de los SMTA con los nuevos dispositivos que optimizan el flujo hidráulico del sistema de tratamiento.

# Literatura citada

1. RODRÍGUEZ V., N.; SANZ U., J.R.; OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A. (2015) *Beneficio del café en Colombia: Prácticas y estrategias para el ahorro uso eficiente del agua y el control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio húmedo del café*. Manizales : Cenicafé.
2. ZAMBRANO F., D.A.; ISAZA H., J.D.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U. (1999) *Tratamiento de aguas residuales del lavado del café*. (Boletín Técnico No. 20). Manizales : Cenicafé.
3. ZAMBRANO F., D.A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U.; ZAMBRANO G., A.J. (2010) *Construya y opere su sistema modular de tratamiento anaerobio para las aguas mieles [cd rom]*. Manizales: Cenicafé.



REACTOR  
METANOGÉNICO



**Cenicafé**

Ciencia, tecnología  
e innovación  
para la caficultura  
colombiana