



# Filtros verdes para el manejo, tratamiento y cero descargas de las aguas residuales del beneficio del café.

**Nelson Rodríguez Valencia**

Poscosecha

13/06/2022



# Agradecimientos.

- Dr Carlo Conforto Galli, Technical Manager Water Resources Nestlé.
- Dr. Ángel de Miguel García, Wageningen University and Research, Environmental Research.
- Personal de la Cooperativa de Acción Plus (Granja, Naranjal, San Antonio, Rosario, Trinidad).
- Ingenieros John F. Trejos, Melsar Santamaría, Carlos Roberto Ariza, Carlos M. Ospina, Myriam Cañón.
- Dr Luis Fernando Salazar, Ing. Luz Adriana Lince. Disciplina Suelos.
- Compañeros de la Disciplina Poscosecha.
- Gerencia Técnica, Dirección Cenicafé, Área administrativa de Cenicafé.
- Aux. Samuel A. Castañeda.



# *Contenido de la presentación*

- **Introducción**
- **Sistemas de tratamiento natural**
- **Filtros verdes**
- **Resultados de las investigaciones en FV para el tratamiento de las ARC**
- **Resultados de las investigaciones de FV para lograr cero descargas (ZLD)**
- **Aspectos de la implementación de los FV en las EE**
- **Consideraciones finales**



Raíces de vetiver sembrado en humedales artificiales en Cenicafé, 2019

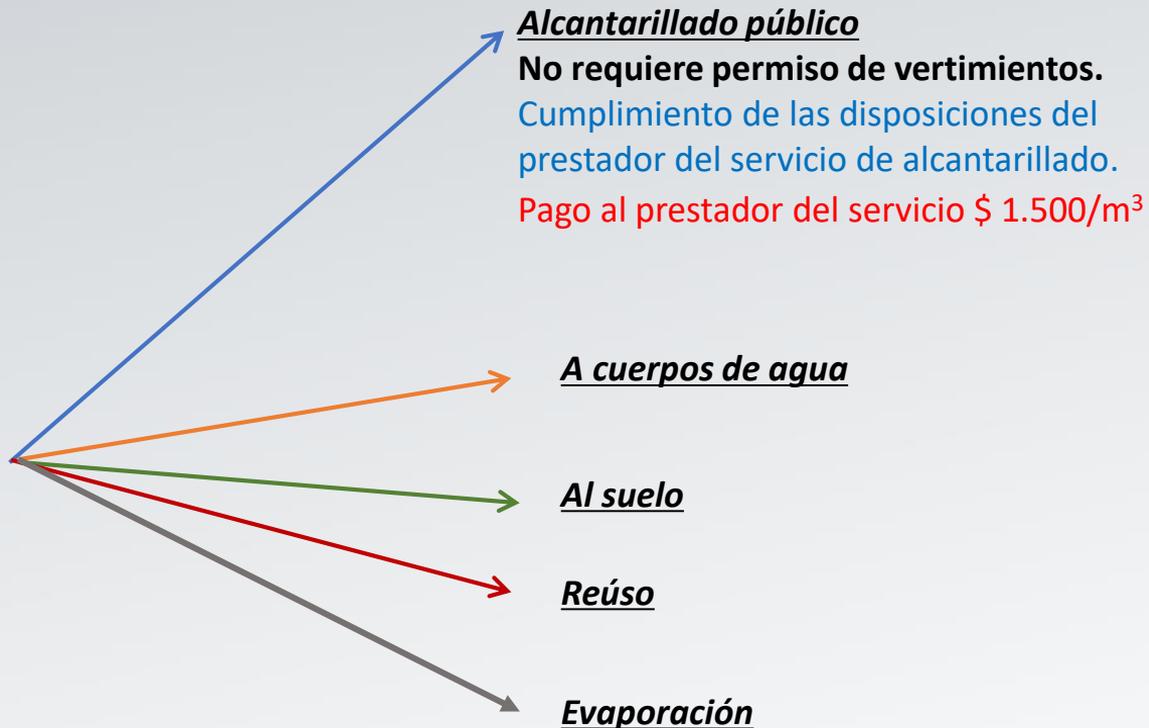
## *Pregunta 1*

*¿Porqué investigar en tecnologías de manejo de las aguas residuales del café que generen cero descargas?*

# Posibilidades de disposición de las aguas residuales.



*Aguas residuales del  
beneficio del café  
(ARnD)*



# Posibilidades de disposición de las aguas residuales.

Costo tratamiento  
\$ 7.500/m<sup>3</sup>



*Aguas residuales del beneficio del café*

Permiso vertimientos: \$ 20,000  
 Visita funcionario CAR: \$ 250,000  
 Caracterización efluentes: \$ 500,000 (por punto y por planta)  
 Pago Tasa retributiva: \$ 50/@ cps – \$ 150/@ cps  
**Total: \$ 1,000.000/año**

## A cuerpos de agua

**Requiere permiso de vertimientos (Decreto 3930 del 2010).**

Cumplimiento de normativa nacional (Resolución 631 del 2015).

Posible cumplimiento de la normativa local.

**Pago tasa retributiva (Decreto 2667 del 2012)**

pH (5-9)  
 DQO < 3000 ppm  
 SST < 800 ppm  
 Ssed < 10 ppm  
 GyA < 30 ppm  
 P<sub>p</sub> N<sub>p</sub> Color

Aceites y Grasas	\$ 166.550,00	\$ 92.100,00
Color Real	\$ 16.300,00	\$ 16.300,00
DQO	\$ 121.100,00	\$ 72.600,00
Fósforo	\$ 54.300,00	\$ 55.700,00
Nitrógeno Kjeldahl	\$ 134.000,00	\$ 68.400,00
pH	\$ 13.600,00	\$ 14.200,00
Sólidos Sedimentables	\$ 24.500,00	\$ 32.300,00
Sólidos Suspendedos	\$ 46.500,00	\$ 39.700,00
	<b>\$ 576.850,00</b>	<b>\$ 391.300,00</b>

## Posibilidades de disposición de las aguas residuales.

Costo tratamiento  
\$ 7.500/m<sup>3</sup>



*Aguas residuales del beneficio del café*

### Al suelo

**Sí requiere permiso de vertimientos.  
(Decreto 3930 del 2010).**

Cumplimiento de normas nacionales y locales (Decreto 1076 de 2015).

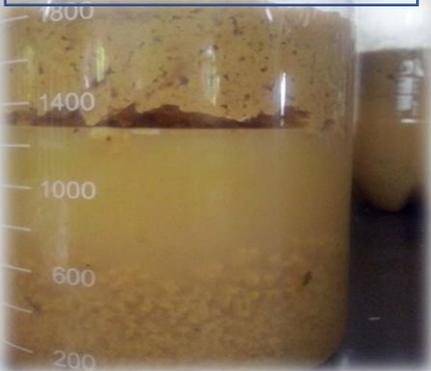
Caracterización del suelo  
(Decreto 50 del 2018)

Caracterización del agua  
(Norma a expedirse en el 2022-2023).

Permiso vertimientos: \$ 20,000  
 Visita funcionario CAR: \$ 250,000  
 Caracterización efluentes > \$ 2.000,000  
 Caracterización suelo > \$ 2,000,000  
**Total: > \$ 5,000,000/año**

# Posibilidades de disposición de las aguas residuales.

Costo tratamiento  
\$ 15.000/m<sup>3</sup>



Aguas residuales del beneficio del café

7 veces menor que para AP

37 parámetros caracterizadores

## Reúso total

No requiere permiso de vertimientos. Cumplimiento de norma (Resolución 1256 del 2021 que derogó a la Resolución 1207 del 2014).

Caracterización del agua > \$ 3.000.000.

No pago de tasa retributiva

Tabla 2. Criterios de calidad de aguas residuales para uso agrícola. Fuente: Decreto Único 1076 del 2015 (MADS, 2015); Resolución 1256 del 2021 (MADS, 2021) ¶

Variable	Unidad de medida	Valor límite máximo permisible
<b>Físicos</b>		
pH	Unidades	4,5 – 9,0
Conductividad	µS/cm	1.500
<b>Microbiológicos</b>		
Coliformos termotolerantes	NMP/100 mL	<1 x 10 <sup>3</sup>
Enterococos fecales	NMP/100 mL	<1 x 10 <sup>3</sup>
<b>Químicos</b>		
Fenoles totales	mg L <sup>-1</sup>	0,20
Hidrocarburos totales	mg L <sup>-1</sup>	1,0
<b>Iones</b>		
Cianuro libre	mg L <sup>-1</sup>	0,20
Cloruros	mg L <sup>-1</sup>	300,0
Fluoruros	mg L <sup>-1</sup>	1,0
Sulfatos	mg L <sup>-1</sup>	500,0
<b>Metales</b>		
Aluminio	mg L <sup>-1</sup>	5,0
Berilio	mg L <sup>-1</sup>	0,10
Cadmio	mg L <sup>-1</sup>	0,01
Cinc	mg L <sup>-1</sup>	2,0
Cobalto	mg L <sup>-1</sup>	0,05
Cobre	mg L <sup>-1</sup>	0,20
Cromo	mg L <sup>-1</sup>	0,10
Hierro	mg L <sup>-1</sup>	5,0
Litio	mg L <sup>-1</sup>	2,5
Manganeso	mg L <sup>-1</sup>	0,2
Mercurio	mg L <sup>-1</sup>	0,001
Molibdeno	mg L <sup>-1</sup>	0,01
Niquel	mg L <sup>-1</sup>	0,20
Plomo	mg L <sup>-1</sup>	5,0
Sodio	mg L <sup>-1</sup>	200,0
Vanadio	mg L <sup>-1</sup>	0,10
<b>Metaloides</b>		
Antimonio	mg L <sup>-1</sup>	0,10
Arsénico	mg L <sup>-1</sup>	0,10
Boro	mg L <sup>-1</sup>	Entre 0,30 y 4,0
<b>No-metales</b>		
Selenio	mg L <sup>-1</sup>	0,02
<b>Otros parámetros</b>		
Cloro total residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg L <sup>-1</sup>	<1,0
Nitratos (expresado como N)	mg L <sup>-1</sup>	11,0
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	Análisis y Reporte
Porcentaje de sodio posible (PSP)	%	Análisis y Reporte
Salinidad efectiva y potencial	meq L <sup>-1</sup>	Análisis y Reporte
Carbonato de sodio residual	meq L <sup>-1</sup>	Análisis y Reporte
Radionucleidos	Bq kg <sup>-1</sup>	Análisis y Reporte

## Evaporación



Tasa de evaporación en secado solar:  $2,74 \text{ L/m}^2\text{-d}$   
Ramírez *et al.* , 2015

Costo estimado \$ 30,000/m<sup>3</sup>

Fuente de energía	\$/m <sup>3</sup>
Eléctrica	320,000
Gas propano	250,000
Gas natural	100,000

# Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio.

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



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



**FoNC**  
Fondo Nacional  
del Café

Cumple con los parámetros de  
calidad para:

- Vertimientos a cuerpos de  
agua
- Vertimientos al suelo

**No cumple con los parámetros  
de calidad para:**

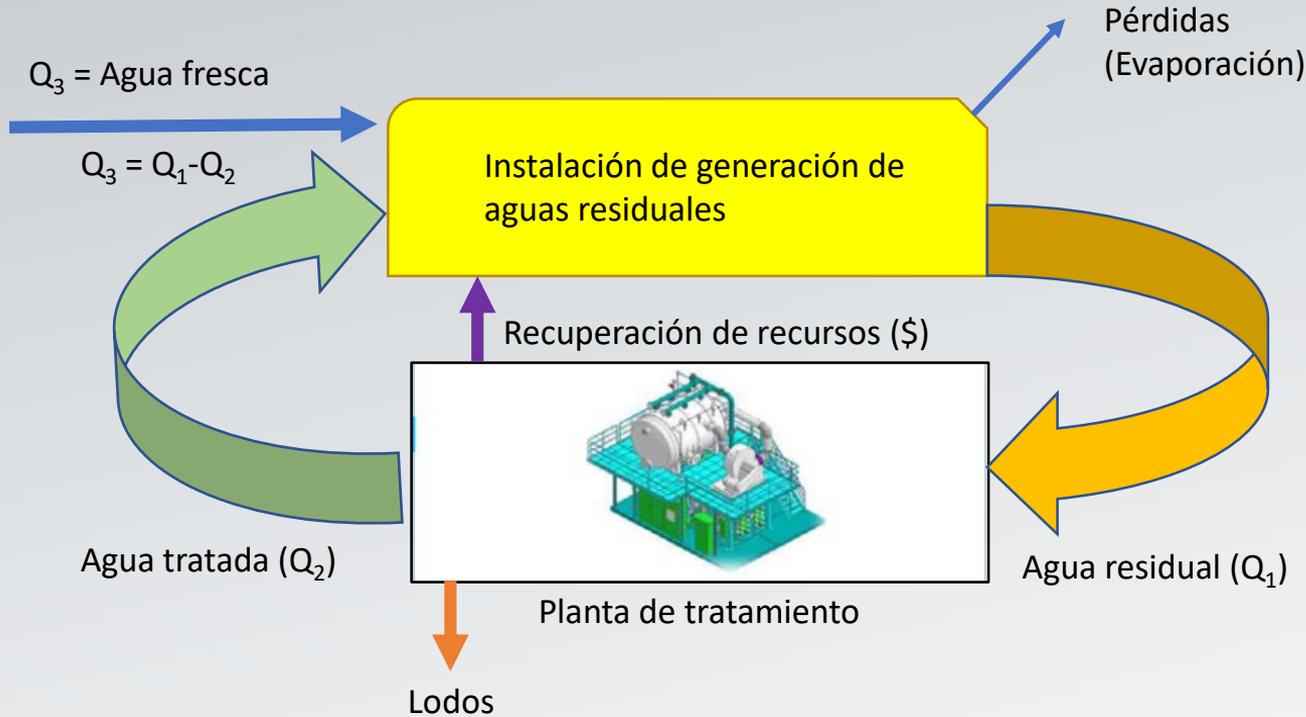
- Reúso en agricultura

# ¿Porqué investigar en tecnologías de manejo de las aguas residuales del café que generen cero descarga?

## Respuesta 1

- Por los altos costos ambientales asociados a la descarga de vertimientos al agua (> \$ 1,000,000/año)
- Por los altos costos ambientales asociados a la descarga de vertimientos al suelo (> \$ 5,000,000/año)
- Por los altos costos ambientales asociados al reúso de las aguas en agricultura (> \$ 3,000,000/año)
- Por los altos costos para evaporar el agua (> \$ 30,000/m<sup>3</sup>)

# Tendencias Mundiales en GIRH.



- **Ciudades esponja**
- **PUEAA**
- **Cero descarga (ZLD)**

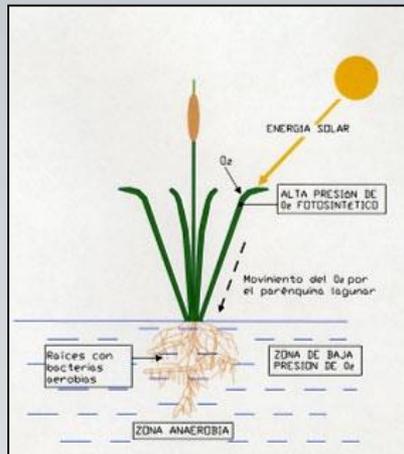
Diagrama del modelo cero descarga (ZLD) adaptado de Yaqub y Lee (2019)

*Considerando las dificultades económicas de implementar el reúso de las aguas residuales en la agricultura en Colombia y de realizar su evaporación para no generar descargas...*

## **Pregunta 2**

**¿Qué tecnologías de manejo de las aguas residuales del café se pueden implementar que puedan contribuir al objetivo de generar cero descargas?**

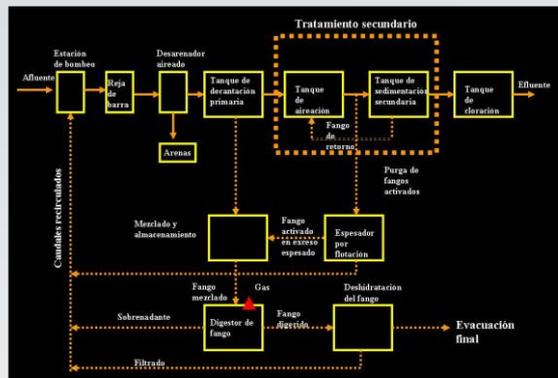
## ¿Qué son?



Esquema SAT (Fernández, 2005).

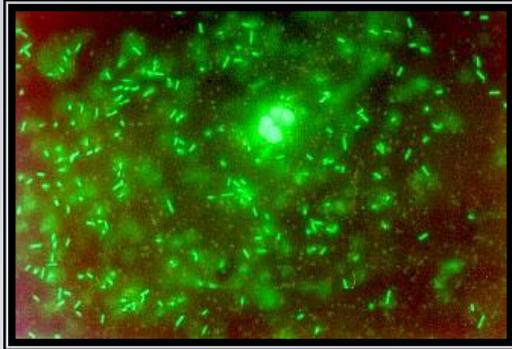
➤ Son aquellos sistemas en los cuales se presenta una interacción entre el agua a tratar con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera.

➤ En estos sistemas intervienen muchos de los procesos utilizados en las plantas de tratamiento convencional, físicos, químicos y biológicos (sedimentación, filtración, transferencia de gases, absorción, intercambio iónico, precipitación química, oxidación y reducción química y conversión y descomposición biológicas), junto con procesos propios de los sistemas de tratamiento natural tales como la fotosíntesis, la fotooxidación y la asimilación por parte de las plantas (Metcalf y Eddy, 1995).



Esquema PTAR (Rodríguez, 2006).

## ¿Cuáles componentes vivos actúan?



*Bacterias metanogénicas (Gómez, 2000).*



*Protozoo (personales.alumno.upv.es, 2010).*

### ➤ *Microorganismos y organismos inferiores heterótrofos (Curt, 2005).*

En este grupo se incluyen bacterias, protozoos, actinomicetos y hongos, los cuales participan en el proceso de descomposición de la MO y a la vez son productores primarios de biomasa.

Las bacterias son responsables de la degradación de la MO, la transformación del N a formas asimilables para las plantas (Amonio, nitratos), la solubilización del P para que sea asimilado por las plantas y la reducción y oxidación de compuestos de S.

Los protozoos son importantes en la cadena trófica del sistema, ya que al alimentarse de las bacterias regulan la población bacteriana responsables de la degradación de la MO. Como productos de su metabolismo generan ortofosfatos y amonio fácilmente asimilables por las plantas.



Actuaciones pasivas (Brix, 2010).

## ¿Cuál es el papel de las plantas?

### ➤ Actuaciones pasivas.

Las plantas pueden ejercer funciones de **desbaste**, reteniendo sólidos gruesos, favorecer la **floculación** y **sedimentación** al actuar como barrera viva que reduce la velocidad del influente y actuar como filtro reteniendo SS.

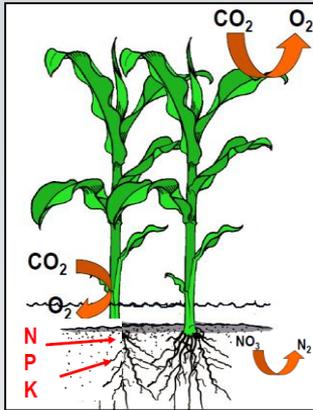
### ➤ Procesos activos.

Durante el proceso de **transpiración**, el agua residual es bombeada por las raíces hacia las hojas y muchos de los contaminantes entran en contacto con las raíces (absorción de iones, nitratos y fosfatos)..

Durante el proceso de **fotosíntesis** se presenta la oxigenación del agua, incrementando el valor de  $O_2$  y del pH.

Las raíces de las plantas exudan y secretan C orgánico y los rizomas muertos proporcionan una fuente de C orgánico necesarios para el proceso de **desnitrificación**.

La **extracción de nutrientes** por incorporación al tejido vegetal es significativa en los sistemas naturales.



Procesos activos (Brix, 2010).

## ¿Cómo se clasifican?



# Sistemas de aplicación al suelo

## Sistemas de baja carga.



*Paisajes cafeteros. Archivo fotográfico, Cenicafé, 2001.*

*Son los sistemas de TN más comunes. Consisten en la aplicación controlada del AR sobre un suelo con vegetación para alcanzar su depuración (Tipo I) o el crecimiento de la vegetación (Tipo II). Parte del agua se evapotranspira y el resto percola ya depurada. Los suelos más adecuados son los bien drenados, de tipo franco a arenoso y sin excesiva pendiente (Martín, 1993).*

Matos y Col. (2001), ARD y ARL en *fertirrigación Coffea arabica*. Dosis entre 210 y 1260 L ARC/planta-año. Determinan que los rendimientos del cultivo se redujeron con el incremento en las dosis aplicadas. Dosis entre 600 y 700 L permitieron recuperar rendimientos. [N, P, K ]del suelo no fue alterada.

Lo Mónaco (2005), ARC filtrada a través de cisco. Concluye que es posible la fertirrigación de los cafetales con dosis ARC con contenidos de K < 3 veces los requerimientos de este elemento por parte del cultivo.

# Sistemas de aplicación al suelo



*Corrientes de superficie (Rodríguez, 2009).*



*Avena (luirig.altervista.org, 2010).*

**Infiltración rápida:** También conocidos como sistemas de Infiltración - Percolación, dado que la percolación es el principal mecanismo de evacuación del agua residual aplicada.

Su objetivo principal el tratamiento de las aguas residuales y evitar su descarga directa a fuentes de agua superficial.

Los suelos adecuados son los de permeabilidad elevada (tipo arenoso), los caudales normales de vertido oscilan entre 100 y 500 mm/semana (Martín, 1993).

**Flujo superficial:** En estos sistemas el AR fluye a lo largo de una estrecha capa de suelo con vegetación hasta unos colectores de recogida. Parte del agua se evapotranspira, otra se desplaza en lámina por escorrentía superficial y el resto percola hasta zonas impermeables (Martín, 1993).

Los suelos más adecuados son los de baja permeabilidad (arcillosos o franco - arcillosos). Pendiente (2-6%). Se utilizan cubiertas vegetales de especies herbáceas de pastizal.

Pinto y Col. (2000), cultivaron centeno y avena, regados a 250 kg DBO<sub>5</sub>/ha-d, 5 días a la semana, sin encontrar diferencias en productividad respecto al testigo (fertilización convencional y riego con agua).

# Sistemas Acuáticos de Tratamiento (SAT)

## Humedales

Humedales naturales



Humedal la Conejera. Bogotá, Colombia (sites. google.com)

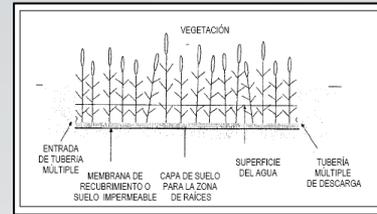
Humedales artificiales



Humedal Cenicafe, Granja

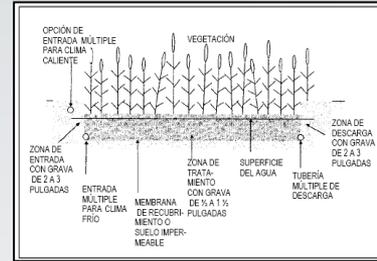
Flujo horizontal

Flujo libre superficial (FWS)



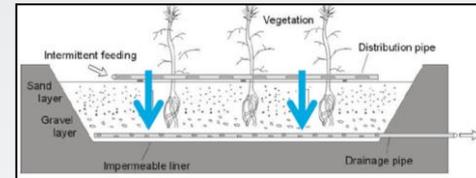
Fuente: USEPA, 2000.

Flujo subsuperficial (SFS)



Fuente: USEPA, 2000.

Flujo vertical



Fuente: Langergraber, 2010.

Combinados

# Sistema con plantas acuáticas flotantes

Consisten en estanques o canales de profundidad variable (0,4 a 1,5 m) alimentados con agua residual sin tratar o tratadas previamente, en los que se desarrolla una especie flotante. La biomasa producida se recolecta en cortos intervalos de tiempo, antes de que se produzca su descomposición en el agua (Martin, 1993).



*Eichhornia crassipes*



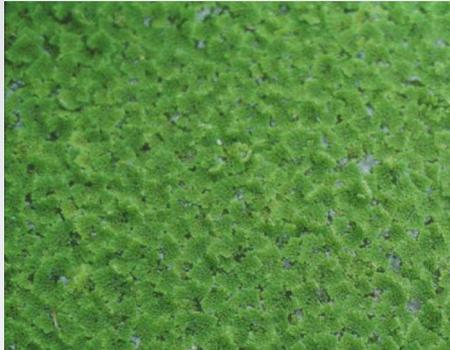
*Pistia stratiotes*



*Typha angustifolia*



*Salvinia auricula*

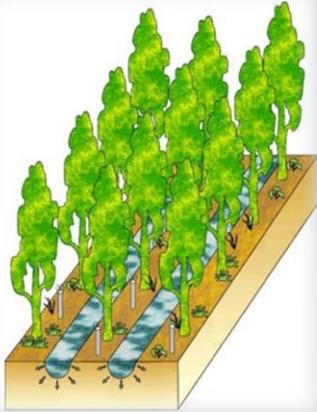


*Azolla filiculoides*

Rodríguez (1997), evaluó a escala de microcosmos, sistemas acuáticos con el objetivo de postratar las aguas residuales del café tratadas por digestión anaerobia y minimizar su impacto ecológico, encontrando que las mejores especies acuáticas en la remoción de carga orgánica fueron, en su orden, *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Typha angustifolia*, *Salvinia auricula* y *Azolla filiculoides*. Reporta remociones de carga orgánica, evaluadas como DQO y DBO<sub>5</sub>, superiores al 80%, para afluentes con concentraciones de DQO entre 708 y 2156 mg/L.

# Filtros verdes

## Descripción



De Bustamante et al., 2014



De Miguel et al., 2015

Los filtros verdes son un tipo de sistema de tratamiento natural del agua, del tipo de aplicación al suelo, de baja carga, que se basan en la aplicación controlada del agua residual pre-tratada a un cultivo forestal o herbáceo, aprovechando la capacidad autodepuradora de la zona no saturada del suelo y de la captación de nutrientes por parte de la vegetación.

El uso de especies arbóreas o pastos de rápido crecimiento, con gran requerimiento hídrico y cuyas raíces son tolerantes a condiciones parcialmente saturadas y anaerobias permiten la aplicación de altos volúmenes de agua residual (Herschbach et al., 2005).

La aplicación de períodos cortos de poda (2-3 años) en caso de especies forestales o continuos cortes del pasto, así como el uso de elevadas densidades de siembra de la vegetación que ocasionen un aumento en la demanda de agua, resultará en un aumento en la capacidad de asimilación de nutrientes por parte del cultivo (Dimitriou & Aronsson, 2011; Holm & Heinsoo, 2013).

# Filtros verdes

## Cargas hidráulicas y orgánicas



En la literatura se reportan rangos entre 2 mm y 140 mm de aplicación de cargas hidráulicas, con éxito, en filtros verdes operando con aguas residuales provenientes de la agroindustria (Carawan et al., 1979).

En la literatura se reportan cargas orgánicas aplicadas de aguas residuales en los filtros verdes en rangos entre 500 kg DBO/ha-d (Mokma, 2006) y 10.000 kg DBO/ha-d (Jewell et al., 1978).



*Rosenqvist y Ness (2004), realizaron el análisis económico de la purificación de los lixiviados de una planta de tratamiento integrado de residuos sólidos a través de un filtro verde utilizando sauces. Los cálculos se basaron para una plantación de sauce de 36 ha y para purificar un promedio anual de 195.000 m<sup>3</sup> de lixiviado. Los resultados mostraron que los lixiviados de las instalaciones podrían purificarse a US\$0,34/m<sup>3</sup> en comparación con US\$0,62/m<sup>3</sup> para el tratamiento convencional en una planta de tratamiento de aguas residuales.*

# Filtros verdes

## Vegetación



Sauce blanco

<https://www.jardineriaon.com/salix-alba.html>



Álamo balsámico

[https://www.ciudad.com.ar/virales/alamo-balsamico-extracto-arbol-rejuvenece\\_101041](https://www.ciudad.com.ar/virales/alamo-balsamico-extracto-arbol-rejuvenece_101041)

La elección de la vegetación es el primer paso en el proceso de diseño preliminar del filtro verde, ya que la mayoría de las restantes decisiones asociadas al proyecto serán función del tipo de vegetación seleccionada. Los cultivos más adecuados para los filtros verdes son aquellos:

- Elevada capacidad de asimilación de nutrientes
- Alto consumo del agua
- Alta tolerancia a la humedad del suelo
- Baja sensibilidad a los constituyentes del agua residual
- Mínimas necesidades de control.

Los forrajes que se han empleado con resultados satisfactorios incluyen al género *Phalaris* spp (entre los que se encuentra el alpiste), y a las especies cañuela (*Festuca arundinacia*), raigrás anual (*Lolium multiflorum*), grama común (*Cynodon dactylon*).

Los cultivos arbóreos más comunes empleados son combinaciones de pinos y coníferas. Las posibles especies a utilizar incluyen a los géneros *Cercis* spp, *Catalpa* spp los álamos ó chopos (*Populus* spp), olmo chino (*Ulmus parvifolia*), pino blanco (*Pinus strobus*), eucaliptos (*Eucalyptus* spp) y sauces (*Salix* spp) (Metcalf & Eddy, 1995).

# Filtros verdes

## Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty).



- Gramínea, Originaria de la india
- Raíces > 4 m
- Tolerancia a pH (3,30 - 12,50)
- Alto nivel de tolerancia a herbicidas y plaguicidas
- Eficiente en absorber N, P y metales pesados
- Tolerante (acidez, alcalinidad, salinidad, sodicidad)
- Tolerante a inundaciones (45 días)
- Tolerancia a T (-15 a + 55°C)
- Rango amplio de suelo con diferentes niveles de fertilidad
- Consumo de agua hasta 28 L/m<sup>2</sup>-d
- Propagación por esquejes

Truong et al., 2009

**Biomasa:** Producción de aceites para perfumería, control de termitas, artesanías de hogar, medicina natural (Gnansounou et al., 2017).

*Ramírez (2015) reporta eficiencias de remoción promedio del orden del 65,61% para la DQO, del 57,41% para la DBO<sub>5</sub>, del 91,65% para los SST, del 38,07% para el N-NTK y del 22,00% para el P<sub>T</sub> para el pasto vetiver, utilizado en humedales artificiales de flujo subsuperficial, tratando aguas residuales domésticas.*



# Filtros verdes

## Investigaciones sobre tasas de evapotranspiración de la vegetación en los filtros verdes.



**Sauces para evapotranspirar aguas residuales**

<https://www.iagua.es/noticias/espana/instituto-imdea-agua/17/06/09/sauces-depurar-agua-residual>

Istenic et al. (2017), evaluaron un sistema evapotranspirativo (ET) de sauces para tener cero descargas de aguas residuales. En dicho sistema, toda el agua afluyente es utilizada para el crecimiento de los árboles y llevada a la atmósfera por procesos de evaporación y transpiración.

Frédette et al. (2019) realizaron una revisión exhaustiva de las tasas de ET proporcionadas en la literatura para el género *Salix* spp. Después de analizar 57 estudios, que cubrieron 16 países, 19 especies de sauces y docenas de cultivares, encontraron una ET media  $4,6 \pm 4,2$  mm/d, con valores mínimos de 0,7 mm/d y máximos de 22,7 mm/d.

En Dinamarca están en funcionamiento más de 500 sistemas ET plantados con sauces. Los sistemas generalmente consisten en una cuenca revestida de polietileno de alta densidad de 1,5 m de profundidad llena de tierra y plantada con clones de sauce. Un hogar en Dinamarca normalmente requiere entre 120 a 300 m<sup>2</sup> (Brix & Arias, 2011).

¿Qué tecnologías de manejo de las aguas residuales del café se pueden implementar que puedan contribuir al objetivo de generar cero descargas?

## **Respuesta 2**

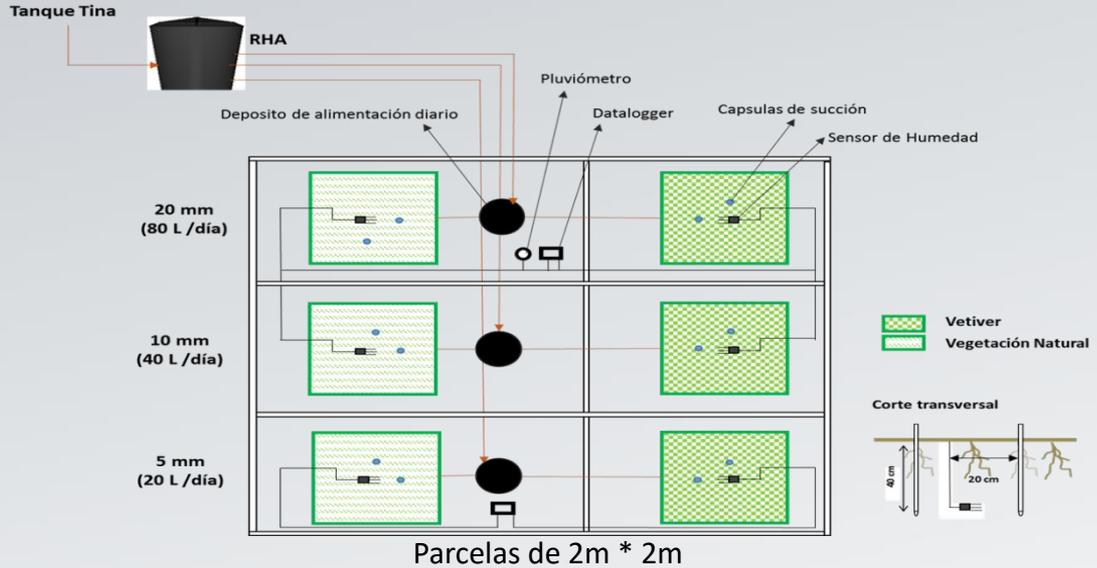
Los sistemas de tratamiento natural, con énfasis en los filtros verdes, son una tecnología que no sólo permite la depuración del agua residual, sino también, cuando utilizan vegetación con un alto consumo de agua (como es el caso de los sauces y el pasto vetiver, por ejemplo), contribuyen al objetivo de alcanzar la cero descargas.

## **Pregunta 3**

En el año 2017, nos hacíamos la siguiente pregunta...

**¿Se pueden utilizar filtros verdes con pasto vetiver para el tratamiento de las aguas residuales del café?**

## Cenicafé - Granja



Tratamiento	Carga hidráulica, mm/Carga orgánica kg DQO/ha-d	Tipo de Vegetación
1	20 mm/4 ton DQO/ha-d	Arvenses naturales
2	20 mm/4 kg DQO ha/d	Pasto vetiver. 2 tallos/10cm
3	10 mm/2 ton DQO/ha-d	Arvenses naturales
4	10 mm/2 ton DQO/ha-d	Pasto vetiver. 2 tallos/10cm
5	5 mm/1 ton DQO/ha-d	Arvenses naturales
6	5 mm/1 ton DQO/ha-d	Pasto vetiver. 2 tallos/10cm

## Dispositivo flotante de cabeza de presión constante



Parámetros	Agua de ingreso. Promedio 20 muestras	Agua de salida. Promedio 20 muestras	% de remoción
pH (Unidades)	3,23	4,31	-
DQO (mg/L)	20.261	10.163	49,84
Sólidos Totales (mg/L)	17.090	3.816	77,67
Ssuspendidos Totales (mg/L)	5.800	1.200	79,31
Fosfatos (mg/L)	12,20	11,90	2,46
NTK (mg/L)	597,8	228,1	61,84
N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	12,40	9,10	26,61
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	111	20	81,98

## Fase aplicación agua residual (Julio – Spbre del 2017)



Agua residual proveniente del tanque tina, presente en el RHA.



Aspecto de las parcelas testigo.



Aspecto de las parcelas con el pasto vetiver.

**Fase de aplicación:** 10 semanas (50 días laborables). En dicha fase el AR se aplicó diariamente de lunes a viernes.

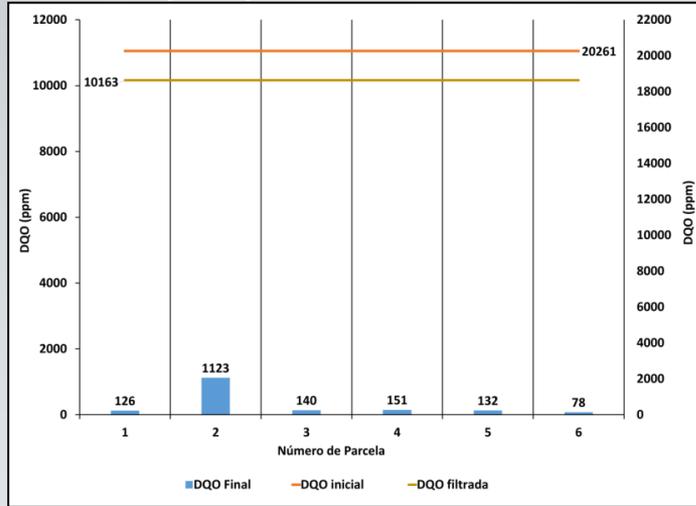
**Fase de descanso:** 10 semanas. En dicha fase no se aplicó AR, se siguió con el monitoreo de los lixiviados generados.

El ingreso de agua lluvia durante la fase de aplicación fue de 8 m<sup>3</sup> /FV (8 veces mayor al agua residual que ingresó a los FV alimentados con cargas hidráulicas de 5 mm y 2 veces mayor al agua residual que ingresó a los FV alimentados con cargas hidráulicas de 20 mm).

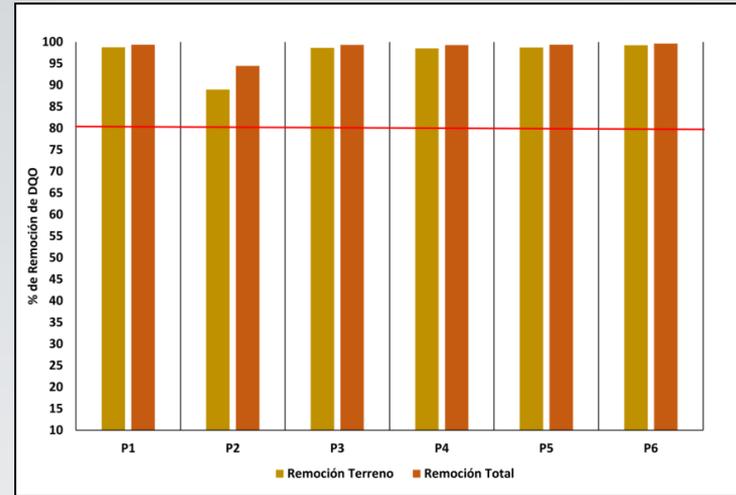
# Filtros verdes en la depuración de aguas residuales del café

## Eficiencias durante la fase de aplicación del agua residual

### DQO promedio de las muestras de agua antes y después del tratamiento



### Remoción de la DQO



Parámetro	Resolución 631 de 2015	Decreto 1594 de 1984	Efluente FV
DQO (mg/L)	3000	> 80%	< 1.123
SST (mg/L)	800	> 80%	< 262
pH (und)	5 a 9	5 a 9	5,88 – 6,71

# Filtros verdes en la depuración de aguas residuales del café

## Cambios en el suelo durante la fase de aplicación del agua residual

Parámetro	Tratamientos testigo						
	Inicial	T1_20 mm	Δ(%)	T3_10 mm	Δ(%)	T5_05 mm	Δ(%)
pH(unidades)	3,80	5,60	47,37	5,90	55,26	5,50	44,74
N (%)	0,18	0,12	-33,33	0,19	5,56	0,20	11,11
MO (%)	3,90	2,40	-38,46	4,10	5,13	4,20	7,69
K (cmol/kg)	0,25	0,58	132,00	1,11	344,00	0,47	88,00
Ca (cmol/kg)	1,38	2,71	96,38	3,69	167,39	2,29	65,94
Mg (cmol/kg)	0,51	1,01	98,04	1,32	158,82	0,81	58,82
Al (cmol/kg)	2,20	0,50	-77,27	0,20	-90,91	0,60	-72,73
CIC	12	11	-8,33	11	-8,33	10	-16,67
P (mg/kg)	710	456	-35,77	169	-76,20	371	-47,75
Fe (mg/kg)	528	542	2,65	637	20,64	504	-4,55
Mn (mg/kg)	25	84	236,00	70	180,00	55	120,00
Zn (mg/kg)	5,70	15,00	163,16	11,80	107,02	6,90	21,05
Cu (mg/kg)	14,70	13,70	-6,80	16,80	14,29	13,40	-8,84
B (mg/kg)	0,18	0,46	155,56	0,53	194,44	0,40	122,22
S (mg/kg)	6,80	1,40	-79,41	2,50	-63,24	1,20	-82,35



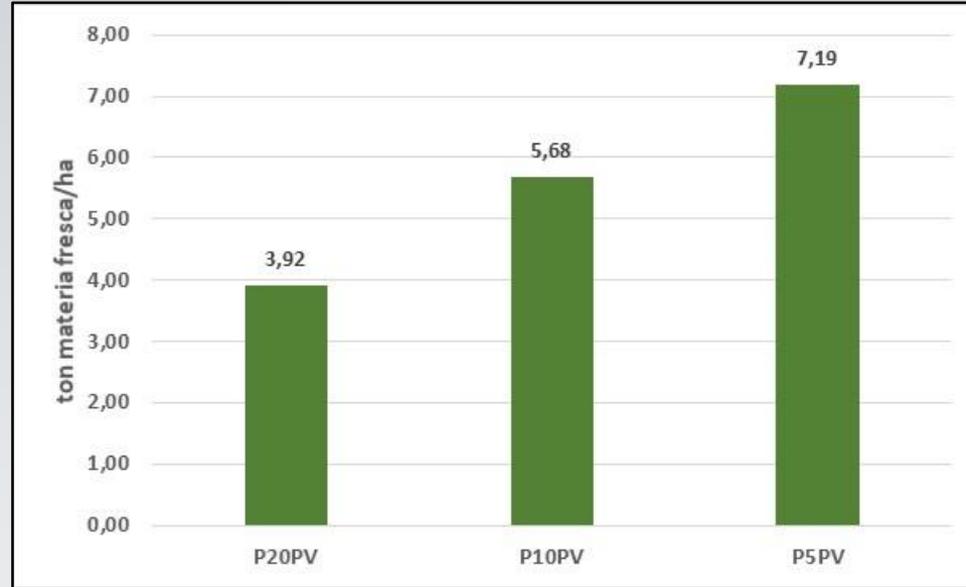
Pasto horqueta (*Paspalum notatum*) – Pasto arrocillo (*Echinochloa colona*)



Parámetro	Tratamientos con pasto vetiver						
	Inicial	T2_20 mm	Δ(%)	T4_10 mm	Δ(%)	T6_05 mm	Δ(%)
pH(unidades)	3,80	5,60	47,37	5,00	31,58	4,90	28,95
N (%)	0,18	0,26	44,44	0,26	44,44	0,23	27,78
MO (%)	3,90	5,80	48,72	5,80	48,72	5,10	30,77
K (cmol/kg)	0,25	0,82	228,00	0,52	108,00	0,30	20,00
Ca (cmol/kg)	1,38	3,16	128,99	2,03	47,10	1,30	-5,80
Mg (cmol/kg)	0,51	1,29	152,94	0,89	74,51	0,74	45,10
Al (cmol/kg)	2,20	0,40	-81,82	1,40	-36,36	1,80	-18,18
CIC	12	15	25,00	17	41,67	14	16,67
P (mg/kg)	710	512	-27,89	670	-5,63	960	35,21
Fe (mg/kg)	528	740	40,15	602	14,02	576	9,09
Mn (mg/kg)	25	81	224,00	58	132,00	59	136,00
Zn (mg/kg)	5,70	10,60	85,96	5,00	-12,28	6,60	15,79
Cu (mg/kg)	14,70	13,20	-10,20	10,70	-27,21	11,40	-22,45
B (mg/kg)	0,18	0,43	138,89	0,54	200,00	0,36	100,00
S (mg/kg)	6,80	2,20	-67,65	2,80	-58,82	2,90	-57,35

# Filtros verdes en la depuración de aguas residuales del café

## Crecimiento de la biomasa durante la fase de aplicación del agua residual



# Filtros verdes en la depuración de aguas residuales del café

## Eficiencias durante la fase de reposo (spbre- novbre 2017)

**Fase de descanso:** 10 semanas. En dicha fase no se aplicó agua residual, se siguió con el monitoreo de los lixiviados generados por efecto de la lluvia.

El agua que ingresó a cada filtro verde durante los 70 días del período de reposo, fue en promedio 14 m<sup>3</sup>, lo que supuso una carga hidráulica media de agua de lluvia de 50 mm en cada uno de los filtros verdes.

Caracterización de los drenados recogidos en las distintas parcelas durante el periodo de reposo

Parámetro/tipo de muestra	pH*	DQO* (mg/L)	ST* (mg/L)	SST* (mg/L)	Cond.* (µS/cm)	P-PO <sub>4</sub> * (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> * (mg/L)	Nr <sup>+</sup> (mg/L)	N-NH <sub>3</sub> * (mg/L)
Salida P20 PN	5,89	138	500	134	228	0,47	3,10	207	11
Salida P20 PV	6,15	689	1358	316	747	0,42	29,90	489	75
Salida P10 PN	6,11	105	249	89	80	0,71	1,49	321	15
Salida P10 PV	6,20	163	154	82	164	0,66	1,46	157	11
Salida P5 PN	6,10	83	55	49	34	1,22	1,80	256	8
Salida P5 PV	6,03	77	187	49	36	0,57	1,10	386	15

\*Valor medio de los drenados recogidos durante el periodo comprendido entre las 10 semanas de reposo (10 muestras).

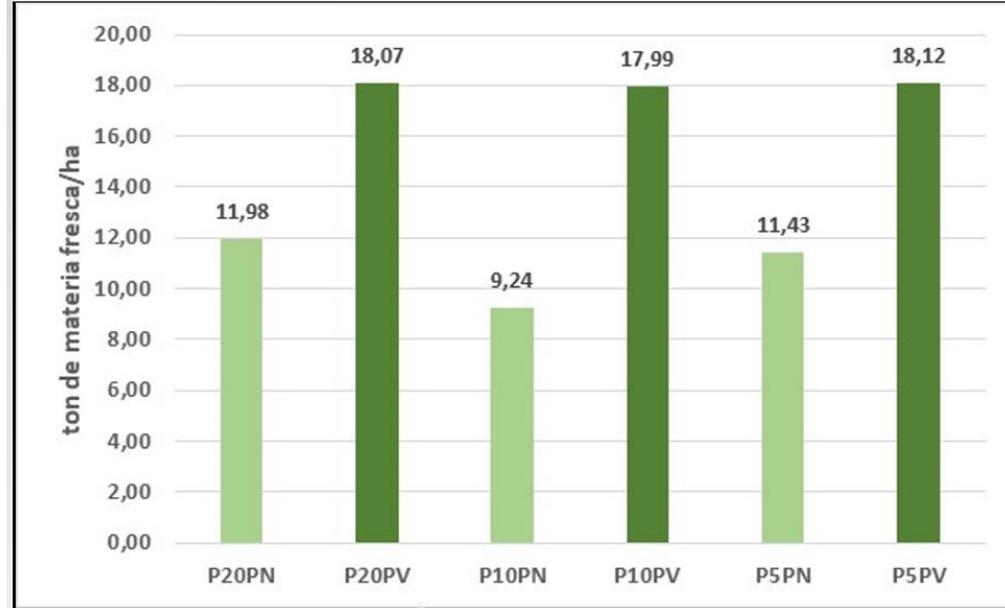
Parámetro	Resolución 631 de 2015	Decreto 1594 de 1984	Efluente FV
DQO (mg/L)	3000	> 80%	< 689
SST (mg/L)	800	> 80%	< 316
pH (und)	5 a 9	5 a 9	5,89 – 6,20

# Filtros verdes en la depuración de aguas residuales del café

## Cambios en el suelo y producción de biomasa durante la fase de reposo

Características del suelo después del periodo de reposo

Parámetro	Después del periodo de reposo						
	P20 PN	P20 PV	P10 PN	P10 PV	P5 PN	P5 PV	Testigo
pH	4,90	5,40	5,20	5,30	5,30	5,00	5,10
N (%)	0,24	0,28	0,19	0,23	0,20	0,24	0,19
MO (%)	5,5	6,5	4,0	5,2	4,4	5,3	4,0
K (cmol/kg)	0,33	0,51	0,27	0,49	0,35	0,33	0,22
Ca (cmol/kg)	1,47	3,22	2,77	2,27	3,20	1,43	4,27
Mg (cmol/kg)	0,56	0,78	0,84	0,73	0,81	0,54	1,06
Al (cmol/kg)	1,6	0,5	0,9	0,7	0,8	1,4	0,4
CIC	15	13	13	17	13	17	14
P (mg/kg)	670	325	245	398	203	500	109
Fe (mg/kg)	686	411	444	578	551	584	398
Mn (mg/kg)	29	25	25	31	29	35	15
Zn (mg/kg)	8,2	10,0	12,1	5,7	10,5	8,6	7,8
Cu (mg/kg)	13,1	12,5	14,6	11,8	15,2	11,5	15,0
B (mg/kg)	0,38	0,36	0,28	0,40	0,30	0,39	0,37
S (mg/kg)	2,5	3,9	1,3	7,1	0,2	2,7	1,6
Textura	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco



Solo inferiores al testigo en Ca, Mg y Cu

## Biomasa generada en 140 días



### Producción biomasa seca

P20PV = 14,62 ton/ha (10,44 g/m<sup>2</sup>-d)

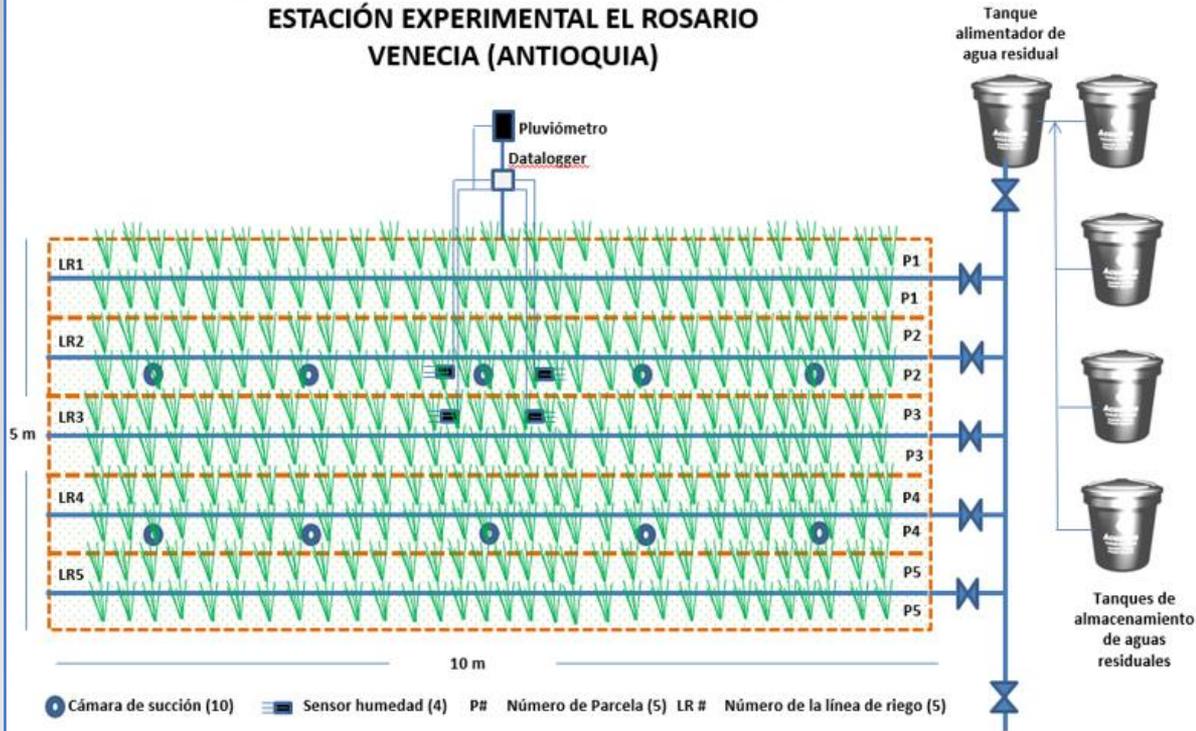
P10PV = 19,53 ton/ha (13,95 g/m<sup>2</sup>-d)

P5PV = 20,67 ton/ha (14,76 g/m<sup>2</sup>-d).

Los mayores crecimientos del pasto vetiver se presentaron a las menores cargas orgánicas e hidráulicas aplicadas. La aplicación de cargas orgánicas de hasta 2 ton kg DQO/ha-d, no inhibieron la producción de biomasa, cuya tasa de crecimiento, para esta carga orgánica aplicada fue, en promedio, de 10,44 g/m<sup>2</sup>-d.



## ESQUEMA INSTALACIÓN DE FILTROS VERDES ESTACIÓN EXPERIMENTAL EL ROSARIO VENEZIA (ANTIOQUIA)



Diciembre del 2017 a Junio del 2018

## Ficha técnica



**Filtro verde instalado en la EE El Rosario**

- Área de 50 m<sup>2</sup> (5 parcelas de 1 m \* 10 m)
- Vetiver. Siembra en cuadro 40 cm \* 40 cm
- Pendiente del suelo 8%
- Agua miel con tratamiento primario en un RHA
- Carga hidráulica media de 12 mm
- Carga hidráulica máxima de 60 mm
- Carga orgánica media de 1400 kg DQO/ha-d (pretratamiento)
- Carga orgánica máxima de 7000 kg DQO/ha-d (pretratamiento)
- Alimentación de una parcela semanal (5 parcelas en la semana)
- Seguimiento durante 20 semanas (100 días hábiles)

# Filtros verdes en la depuración de aguas residuales del café

## Eficiencias durante la fase de aplicación del agua residual

Muestra	Mes de muestreo	pH (un)	DQO (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)
Ingreso Reactor Hidrolítico	Febrero del 2018	3,38	18700	13550	3800
Salida Reactor Hidrolítico	Febrero del 2018	4,01	11150	7700	1100
Ingreso Reactor Hidrolítico	Marzo del 2018	3,24	25900	16380	4400
Salida Reactor Hidrolítico	Marzo del 2018	3,99	14400	5520	1400
Ingreso Reactor Hidrolítico	Abril del 2018	3,34	21380	14730	4200
Salida Reactor Hidrolítico	Abril del 2018	4,24	10730	6740	1100
Ingreso Reactor Hidrolítico	Mayo del 2018	3,42	23057	15125	4850
Salida Reactor Hidrolítico	Mayo del 2018	4,29	13450	8570	1250
Ingreso Reactor Hidrolítico	Junio del 2018	3,47	17720	13150	5020
Salida Reactor Hidrolítico	Junio del 2018	4,36	9950	5925	1050
<b>Ingreso Reactor Hidrolítico</b>	<b>Promedio</b>	<b>3,37</b>	<b>21351</b>	<b>14587</b>	<b>4454</b>
<b>Salida Reactor Hidrolítico</b>	<b>Promedio</b>	<b>4,18</b>	<b>11936</b>	<b>6891</b>	<b>1180</b>
<b>Porcentaje de remoción</b>			<b>44,10%</b>	<b>52,76%</b>	<b>73,51%</b>

*La pluviosidad que llegó al filtro verde de 50 m<sup>2</sup> durante las 20 semanas de evaluación fue de 62 m<sup>3</sup>. El volumen de aguas mieles aplicado al filtro verde durante las 20 semanas de experimentación fue de 60 m<sup>3</sup>.*



# Filtros verdes en la depuración de aguas residuales del café

## Eficiencias durante la fase de aplicación del agua residual

Muestra compuesta	Número de muestras simples	Periodo de tiempo	Redox (mV)	pH (Un)	Conductividad (µS/cm)	DQO (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	N <sub>T</sub> (mg/L)	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)
1	8	Feb 6 – Feb 14	173,50	6,55	230,58	754	227	18	53	6,2	2,9
2	18	Feb 16 – Mar 6	152,02	7,32	91,49	294	62	34	276	4,2	3,1
3	4	Mar 9 - Mar 13	185,08	6,84	79,03	115	80	18	161	5,9	2,6
4	12	Mar 16 – Mar 23	182,45	6,83	108,92	105	77	16	108	3,4	2,5
5	9	Mar 27 - Abr 3	167,19	7,07	124,10	138	33	16	207	5,3	2,4
6	6	Abr 4 - Abr 9	173,87	7,32	99,18	87	70	24	84	5,6	2,1
7	7	Abr 10 – Abr 17	178,01	7,07	92,76	68	64	36	119	4,2	1,7
8	4	Abr 19 - May 3	177,83	6,91	77,00	315	178	52	165	5,0	2,0
9	9	May 8 - May 15	181,23	6,93	109,31	262	69	44	158	5,0	1,8
10	8	May 18 - May 29	188,64	6,95	75,68	151	117	40	113	5,6	1,0
11	10	Jun 1 - Jun 8	180,01	7,28	90,15	172	48	34	134	6,4	1,3
<b>Promedio</b>	<b>95</b>		<b>173,68</b>	<b>7,04</b>	<b>109,43</b>	<b>229</b>	<b>93</b>	<b>30</b>	<b>143</b>	<b>5,2</b>	<b>2,1</b>



Parámetro	Resolución 631 de 2015	Decreto 1594 de 1984	Efluente FV
DQO (mg/L)	3000	> 80%	< 754
SST (mg/L)	800	> 80%	< 52
pH (und)	5 a 9	5 a 9	6,55 – 7,32

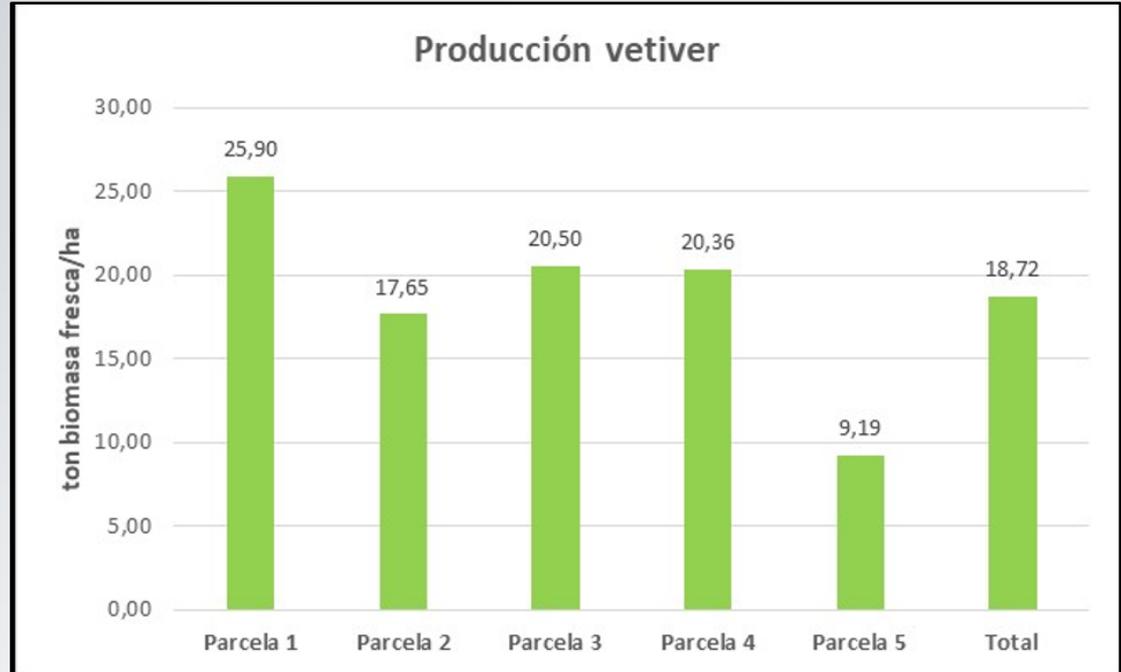
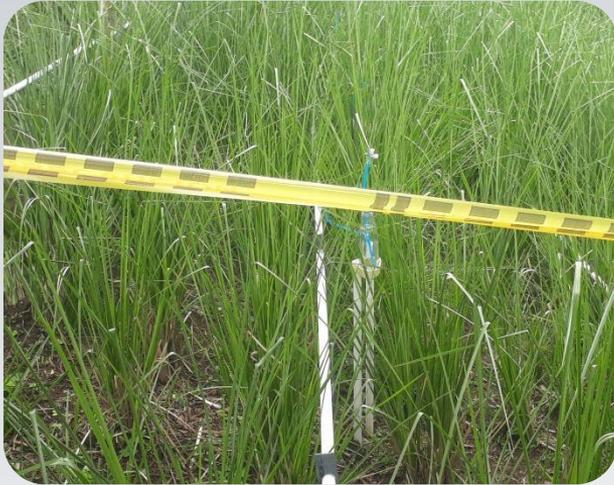
## Cambios en el suelo durante la fase de alimentación

Características del suelo al final del periodo de alimentación

Parámetro	Inicial	Final	Testigo
pH	4,63	4,88	5,20
N (%)	0,31	0,29	0,23
MO (%)	7,33	6,81	5,15
K (cmol/kg)	0,72	0,57	3,09
Ca (cmol/kg)	8,46	6,22	3,43
Mg (cmol/kg)	2,34	1,48	1,35
Al (cmol/kg)	2,30	2,77	1,85
CIC	25	26	22
P (mg/kg)	13	9	15
Fe (mg/kg)	527	436	346
Mn (mg/kg)	49	23	21
Zn (mg/kg)	5,93	4,43	2,80
Cu (mg/kg)	6,37	4,45	3,45
B (mg/kg)	0,34	0,38	0,35
S (mg/kg)	23,63	8,04	8,35
Textura	Franco-Arcillosa	Franco-Arcillosa	Franco-arcillosa



## Producción de biomasa durante la fase de alimentación



En el año 2017, nos hacíamos la siguiente pregunta...

¿Se pueden utilizar filtros verdes con pasto vetiver para el tratamiento de las aguas residuales del café?

## Respuesta 3

***Sí.*** La implementación de filtros verdes utilizando pasto vetiver como vegetación permite realizar el tratamiento de las aguas residuales del café y generar un agua tratada que cumple con los requerimientos de calidad exigidos por la normativa colombiana para vertimientos a cuerpos de agua superficiales y al suelo.

*Sin embargo, dado que para el año 2018 el MADS, a través del decreto 50 del 2018, exige la caracterización del suelo que recibe el vertimiento y este costo de caracterización se estima superior a los 10 millones COP y se tiene caracterizado que cerca del 78% de los caficultores realizan la descarga del agua residual al suelo, es necesario investigar en sistemas de tratamiento con cero descargas.*

## **Pregunta 4**

En el año 2019, nos hacíamos la siguiente pregunta...

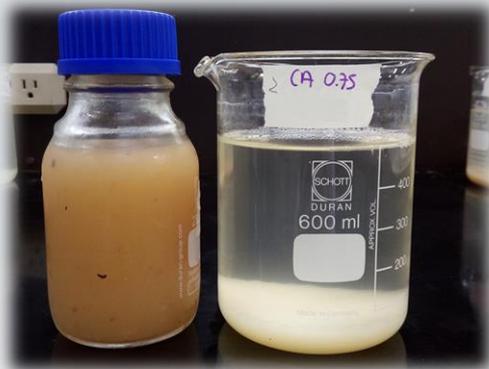
**¿Se pueden utilizar filtros verdes con pasto vetiver para el tratamiento y manejo de las aguas residuales del café con cero descargas?**

# Filtros verdes para ARC con cero descargas

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



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



La nueva normativa colombiana del recurso hídrico para ARnD (Resolución 1256 del 2021, Decreto 50 del 2018 y Resolución 631 del 2015), establece los parámetros de calidad que deben cumplir las aguas tratadas antes de su descarga o reúso, implicando unos costos ambientales legales anuales significativos para el productor, representados en la solicitud de un permiso de vertimientos, el muestreo y caracterización del vertimiento, el pago de la visita por parte del funcionario de la CAR y el pago de la tasa retributiva (superiores a 2 millones/año).

Los sistemas de tratamiento para las aguas residuales del café investigados en Cenicafé (biológicos y físico-químicos) generan un agua tratada que al disponerla en fuentes hídricas, en el suelo o reusarla genera costos legales ambientales.

# Filtros verdes para ARC con cero descargas

## Implementación de la solución

Unidad de trabajo: FV de 1 m<sup>2</sup>



**Seguimiento a las unidades de trabajo:** 2 años (3 ciclos).

**Alimentación 1:** Spbre - Diciembre del 2019. 12 semanas.

**Descanso 1:** Diciembre del 2019- Junio del 2020.

**Alimentación 2:** Junio - Spbre del 2020. 12 semanas.

**Descanso 2:** Spbre - Diciembre del 2020.

**Alimentación 3:** Diciembre del 2020 – Marzo 2021. 12 semanas.

**Descanso 3:** Marzo - Junio del 2021.

Condición	Tipo de agua	Carga Hidráulica (mm)	Vegetación
1	Usada en el beneficio	20	Vetiver
2	Usada en el beneficio	40	Vetiver
3	Usada en el beneficio	60	Vetiver
4	Tanque tina	20	Vetiver
5	Tanque tina	40	Vetiver
6	Tanque tina	60	Vetiver
7	Lixiviados Pulpa-Mucílago	20	Vetiver
8	Lixiviados Pulpa-Mucílago	40	Vetiver
9	Lixiviados Pulpa-Mucílago	60	Vetiver
10	Mieles Ecomill	20	Vetiver
11	Mieles Ecomill	40	Vetiver
12	Mieles Ecomill	60	Vetiver
12	Usada en el beneficio	20	Natural
14	Usada en el beneficio	40	Natural
15	Usada en el beneficio	60	Natural



**1. Excavaciones**



**2. Impermeabilización**



**3. Instrumentación**



**4. Techado y Siembra del pasto vetiver**



**5. Instalación del sistema de riego**



**6. Recolección de los drenados**



**7. Volumen y caracterización drenados**



**8. Caracterización del suelo**



**9. Crecimiento y caracterización biomasa**

# Filtros verdes para ARC con cero descargas

## Aplicación de las aguas residuales

Las aguas residuales provenientes del tanque tina, lixiviados de la mezcla pulpa-mucílago y mieles del Ecomill® se almacenaron en tanques de 5 m<sup>3</sup> provistos de un dispositivo de descarga que permitía obtener el agua clarificada del tercio medio del tanque (para la alimentación del FV), quedando los sobrenadantes en el tercio superior y los lodos en el tercio inferior, los cuales se manejaron en un lecho de secado de lodos.



**Dispositivo de descarga  
de agua residual  
evaluado**



**Aspecto de los lodos provenientes del agua  
residual utilizada en la investigación**



**Sistema de riego de los filtros verdes, con el agua  
residual a evaluar**

# Resultados

## Capacidad de retención y evapotranspiración de los FV

Primera Alimentación  
(Spbre - Dcbre 2019)

Condición	Alimentación semanal (L)	Agua residual retenida y evapotranspirada (L/m <sup>2</sup> -d)							Agua residual retenida y evapotranspirada (L/m <sup>2</sup> -d)						
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Promedio	Promedio
1	100	12,14	11,29	10,88	9,50	10,29	9,13	6,71	7,83	9,71	9,71	12,29	9,71	9,93	22,92
2	200	25,00	26,00	22,38	21,67	24,43	21,75	19,00	21,67	24,86	24,43	25,43	24,71	23,44	
3	300	37,14	41,14	31,75	31,33	35,86	32,25	27,57	31,83	39,29	38,57	38,71	39,14	35,38	
4	100	13,57	13,86	12,13	12,83	13,86	12,13	11,00	12,67	13,71	13,86	13,86	13,86	13,11	25,25
5	200	28,43	28,43	24,88	26,33	25,57	21,25	19,00	22,00	25,57	27,29	28,00	27,71	25,37	
6	300	37,14	38,43	32,88	35,00	38,43	34,38	31,43	36,50	40,14	40,57	41,14	41,00	37,25	
7	100	10,71	12,29	9,00	9,00	10,86	9,50	8,57	10,83	12,71	12,43	13,43	13,43	11,06	24,87
8	200	27,14	27,29	24,50	26,17	28,14	21,63	22,14	25,50	27,86	27,86	27,86	27,86	26,16	
9	300	36,43	40,43	34,00	35,00	38,29	32,88	29,57	36,50	41,00	40,71	41,86	42,00	37,39	
10	100	14,29	14,29	12,13	12,83	13,71	12,13	6,14	12,50	13,71	12,86	13,71	13,57	12,66	23,47
11	200	27,86	27,29	20,13	19,33	21,00	19,25	17,14	22,33	24,43	25,14	25,43	26,00	22,94	
12	300	40,00	35,86	32,00	32,33	35,86	31,75	27,29	32,67	37,43	37,29	37,71	37,57	34,81	
13	100	12,00	11,29	7,50	6,33	8,29	8,38	6,43	10,33	9,00	9,00	9,57	9,29	8,95	22,64
14	200	26,43	20,86	24,63	25,00	28,14	19,25	15,71	18,50	28,14	28,14	28,14	28,00	24,25	
15	300	42,14	42,57	29,88	30,83	34,71	31,88	27,57	31,50	36,00	35,86	36,71	37,00	34,72	
<b>Promedio</b>														<b>23,83</b>	<b>24,53</b>

Segunda Alimentación  
(Junio - Spbre 2020)

Condición	Alimentación semanal (L)	Agua residual retenida y evapotranspirada (L/m <sup>2</sup> -d)							Agua residual retenida y evapotranspirada (L/m <sup>2</sup> -d)						
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Promedio	Promedio
1	100	10,29	6,86	6,83	8,57	8,00	6,50	8,86	7,43	8,25	7,50	11,43	8,57	8,26	21,94
2	200	14,29	18,43	20,67	24,00	21,88	22,17	25,29	20,43	22,25	22,50	25,71	25,57	21,93	
3	300	30,57	32,57	34,50	38,29	34,63	35,17	39,57	32,14	34,88	36,00	40,00	39,14	35,62	
4	100	11,14	11,00	12,83	13,86	12,25	12,83	14,00	11,14	12,13	12,83	13,86	13,86	12,64	23,85
5	200	18,86	19,71	23,00	25,86	23,13	24,67	27,00	21,71	23,75	23,00	24,57	27,14	23,53	
6	300	28,71	29,57	34,17	38,43	34,00	35,67	39,71	31,86	35,25	36,50	40,43	40,00	35,36	
7	100	8,14	8,86	9,83	12,00	10,88	11,50	12,71	10,00	11,13	11,00	12,86	12,57	10,96	22,64
8	200	22,29	22,00	24,33	24,71	24,00	24,83	25,29	20,00	20,00	20,50	24,00	22,57	22,88	
9	300	30,86	30,86	34,33	38,43	33,25	35,17	37,71	28,29	32,50	33,67	36,29	37,57	34,08	
10	100	11,00	9,86	6,50	8,71	7,88	8,00	10,00	7,86	8,63	8,33	8,14	10,14	8,75	20,94
11	200	17,71	17,71	20,17	22,86	19,00	20,00	22,57	16,57	20,38	21,67	24,57	23,00	20,52	
12	300	32,43	32,29	37,67	38,71	29,00	31,67	36,00	28,43	31,88	32,17	36,14	36,14	33,54	
13	100	6,43	6,57	7,17	9,00	9,00	7,17	9,86	8,14	8,88	9,50	8,57	9,86	8,34	19,43
14	200	20,43	14,71	16,00	20,00	18,38	16,50	20,86	17,43	18,63	16,83	20,00	21,29	18,42	
15	300	28,86	26,00	30,00	34,29	31,13	31,17	35,71	28,57	32,00	29,33	35,71	35,57	31,53	
<b>Promedio</b>														<b>21,76</b>	<b>22,47</b>

# Resultados

## Capacidad de retención y evapotranspiración de los FV

Tercera Alimentación (Dcbr 2020 – Marzo 2021)	Condición <sup>□</sup>	Alimentación semanal (L) <sup>□</sup>	Agua residual retenida y evapotranspirada (L/m <sup>2</sup> -d) <sup>□</sup>							Agua residual retenida y evapotranspirada (L/m <sup>2</sup> -d) <sup>□</sup>						
			Semana 1 <sup>□</sup>	Semana 2 <sup>□</sup>	Semana 3 <sup>□</sup>	Semana 4 <sup>□</sup>	Semana 5 <sup>□</sup>	Semana 6 <sup>□</sup>	Semana 7 <sup>□</sup>	Semana 8 <sup>□</sup>	Semana 9 <sup>□</sup>	Semana 10 <sup>□</sup>	Semana 11 <sup>□</sup>	Semana 12 <sup>□</sup>	Promedio <sup>□</sup>	Promedio <sup>□</sup>
			1 <sup>□</sup>	100 <sup>□</sup>	8,00 <sup>□</sup>	9,57 <sup>□</sup>	5,43 <sup>□</sup>	5,71 <sup>□</sup>	8,88 <sup>□</sup>	10,00 <sup>□</sup>	8,71 <sup>□</sup>	10,00 <sup>□</sup>	9,86 <sup>□</sup>	9,86 <sup>□</sup>	10,14 <sup>□</sup>	10,14 <sup>□</sup>
2 <sup>□</sup>	200 <sup>□</sup>	20,00 <sup>□</sup>	23,86 <sup>□</sup>	13,71 <sup>□</sup>	14,29 <sup>□</sup>	21,50 <sup>□</sup>	23,33 <sup>□</sup>	24,43 <sup>□</sup>	25,14 <sup>□</sup>	25,14 <sup>□</sup>	25,71 <sup>□</sup>	25,14 <sup>□</sup>	25,57 <sup>□</sup>	22,32 <sup>□</sup>		
3 <sup>□</sup>	300 <sup>□</sup>	28,00 <sup>□</sup>	38,00 <sup>□</sup>	21,86 <sup>□</sup>	22,86 <sup>□</sup>	33,75 <sup>□</sup>	36,67 <sup>□</sup>	38,71 <sup>□</sup>	39,43 <sup>□</sup>	39,29 <sup>□</sup>	39,29 <sup>□</sup>	39,29 <sup>□</sup>	39,57 <sup>□</sup>	34,73 <sup>□</sup>		
4 <sup>□</sup>	100 <sup>□</sup>	11,40 <sup>□</sup>	13,86 <sup>□</sup>	8,29 <sup>□</sup>	8,29 <sup>□</sup>	12,13 <sup>□</sup>	13,00 <sup>□</sup>	13,71 <sup>□</sup>	13,86 <sup>□</sup>	13,86 <sup>□</sup>	13,86 <sup>□</sup>	13,86 <sup>□</sup>	13,86 <sup>□</sup>	12,50 <sup>□</sup>	24,35 <sup>□</sup>	
5 <sup>□</sup>	200 <sup>□</sup>	21,20 <sup>□</sup>	27,00 <sup>□</sup>	16,29 <sup>□</sup>	16,29 <sup>□</sup>	24,00 <sup>□</sup>	25,83 <sup>□</sup>	27,57 <sup>□</sup>	27,57 <sup>□</sup>	27,71 <sup>□</sup>	27,71 <sup>□</sup>	25,00 <sup>□</sup>	25,29 <sup>□</sup>	24,29 <sup>□</sup>		
6 <sup>□</sup>	300 <sup>□</sup>	32,00 <sup>□</sup>	40,29 <sup>□</sup>	24,00 <sup>□</sup>	23,71 <sup>□</sup>	35,38 <sup>□</sup>	37,67 <sup>□</sup>	40,29 <sup>□</sup>	40,14 <sup>□</sup>	40,43 <sup>□</sup>	40,43 <sup>□</sup>	40,43 <sup>□</sup>	40,43 <sup>□</sup>	36,27 <sup>□</sup>		
7 <sup>□</sup>	100 <sup>□</sup>	10,20 <sup>□</sup>	12,86 <sup>□</sup>	7,57 <sup>□</sup>	7,14 <sup>□</sup>	11,25 <sup>□</sup>	12,33 <sup>□</sup>	13,00 <sup>□</sup>	11,86 <sup>□</sup>	9,86 <sup>□</sup>	12,43 <sup>□</sup>	12,00 <sup>□</sup>	11,71 <sup>□</sup>	11,02 <sup>□</sup>	23,82 <sup>□</sup>	
8 <sup>□</sup>	200 <sup>□</sup>	23,00 <sup>□</sup>	28,00 <sup>□</sup>	16,71 <sup>□</sup>	16,71 <sup>□</sup>	24,50 <sup>□</sup>	26,00 <sup>□</sup>	27,86 <sup>□</sup>	27,86 <sup>□</sup>	23,00 <sup>□</sup>	24,71 <sup>□</sup>	26,43 <sup>□</sup>	26,14 <sup>□</sup>	24,24 <sup>□</sup>		
9 <sup>□</sup>	300 <sup>□</sup>	35,20 <sup>□</sup>	42,29 <sup>□</sup>	25,29 <sup>□</sup>	25,14 <sup>□</sup>	36,88 <sup>□</sup>	39,17 <sup>□</sup>	39,43 <sup>□</sup>	41,14 <sup>□</sup>	34,00 <sup>□</sup>	38,29 <sup>□</sup>	37,43 <sup>□</sup>	40,29 <sup>□</sup>	36,21 <sup>□</sup>		
10 <sup>□</sup>	100 <sup>□</sup>	11,40 <sup>□</sup>	13,86 <sup>□</sup>	8,29 <sup>□</sup>	8,14 <sup>□</sup>	11,38 <sup>□</sup>	12,17 <sup>□</sup>	12,43 <sup>□</sup>	13,86 <sup>□</sup>	13,86 <sup>□</sup>	13,57 <sup>□</sup>	13,57 <sup>□</sup>	12,86 <sup>□</sup>	12,11 <sup>□</sup>	22,79 <sup>□</sup>	
11 <sup>□</sup>	200 <sup>□</sup>	20,80 <sup>□</sup>	26,14 <sup>□</sup>	15,57 <sup>□</sup>	15,29 <sup>□</sup>	23,25 <sup>□</sup>	21,17 <sup>□</sup>	23,71 <sup>□</sup>	26,43 <sup>□</sup>	26,29 <sup>□</sup>	23,43 <sup>□</sup>	22,43 <sup>□</sup>	19,29 <sup>□</sup>	21,98 <sup>□</sup>		
12 <sup>□</sup>	300 <sup>□</sup>	35,60 <sup>□</sup>	42,14 <sup>□</sup>	19,57 <sup>□</sup>	8,00 <sup>□</sup>	29,25 <sup>□</sup>	36,33 <sup>□</sup>	41,29 <sup>□</sup>	41,57 <sup>□</sup>	41,43 <sup>□</sup>	40,71 <sup>□</sup>	37,14 <sup>□</sup>	38,29 <sup>□</sup>	34,28 <sup>□</sup>		
13 <sup>□</sup>	100 <sup>□</sup>	8,80 <sup>□</sup>	8,14 <sup>□</sup>	4,29 <sup>□</sup>	5,29 <sup>□</sup>	8,63 <sup>□</sup>	10,00 <sup>□</sup>	10,00 <sup>□</sup>	10,14 <sup>□</sup>	9,71 <sup>□</sup>	9,86 <sup>□</sup>	9,71 <sup>□</sup>	10,00 <sup>□</sup>	8,71 <sup>□</sup>	19,89 <sup>□</sup>	
14 <sup>□</sup>	200 <sup>□</sup>	16,00 <sup>□</sup>	21,29 <sup>□</sup>	12,00 <sup>□</sup>	12,00 <sup>□</sup>	17,63 <sup>□</sup>	20,00 <sup>□</sup>	20,57 <sup>□</sup>	22,86 <sup>□</sup>	22,86 <sup>□</sup>	21,43 <sup>□</sup>	21,14 <sup>□</sup>	21,71 <sup>□</sup>	19,12 <sup>□</sup>		
15 <sup>□</sup>	300 <sup>□</sup>	24,00 <sup>□</sup>	34,71 <sup>□</sup>	19,43 <sup>□</sup>	20,43 <sup>□</sup>	30,25 <sup>□</sup>	33,33 <sup>□</sup>	35,43 <sup>□</sup>	37,14 <sup>□</sup>	35,57 <sup>□</sup>	36,14 <sup>□</sup>	39,14 <sup>□</sup>	36,43 <sup>□</sup>	31,83 <sup>□</sup>		
<b>Promedio<sup>□</sup></b>														<b>22,56<sup>□</sup></b>	<b>23,66<sup>□</sup></b>	

### Valores promedio de las 3 alimentaciones

Alimentación	EVT (L/m <sup>2</sup> -d) Todos	EVT (L/m <sup>2</sup> -d) ARC
1	23,83	24,53
2	21,76	22,47
3	22,56	23,66
<b>Promedio</b>	<b>22,72</b>	<b>23,55</b>

Secado mieles: 2,74 L/m<sup>2</sup>-d (Ramírez *et al.*, 2015)



Parámetro de diseño (EVT): 23 L/m<sup>2</sup>-d

# Resultados

## Capacidad de eliminación de contaminación de los FV

### Primera Alimentación (Spbre - Dcbr 2019)

Condición	Alimentación semanal (L)	DQO afluente promedio (ppm)	pH afluente promedio (Unidades)	DQO Drenados promedio (ppm)	pH Drenados promedio (Unidades)	Remoción DQO (Promedio)	Remoción DQO (Promedio)
1	100	233	6,70	308	5,53		
2	200	233	6,70	286	5,64		
3	300	233	6,70	418	5,42		
4	100	32383	3,75	7413	4,83	77,11	
5	200	32383	3,75	7458	5,06	76,97	77,51
6	300	32383	3,75	6976	5,17	78,46	
7	100	90521	3,58	33743	4,37	57,19	
8	200	90521	3,58	39785	4,18	56,05	56,40
9	300	90521	3,58	39864	4,19	55,96	
10	100	75854	3,71	18560	4,40	75,53	
11	200	75854	3,71	27869	4,17	63,26	63,50
12	300	75854	3,71	36643	4,43	51,69	
13	100	233	6,70	643	5,32		
14	200	233	6,70	634	5,58		
15	300	233	6,70	370	5,48		
<b>Promedio</b>						<b>65,80</b>	<b>65,80</b>

### Segunda Alimentación (Junio - Spbre 2020)

Condición	Alimentación semanal (L)	DQO afluente promedio (ppm)	pH afluente promedio (Unidades)	DQO Drenados promedio (ppm)	pH Drenados promedio (Unidades)	Remoción DQO (Promedio)	Remoción DQO (Promedio)
1	100	43	6,73	48	5,68		
2	200	43	6,73	62	5,57		
3	300	43	6,73	53	5,50		
4	100	19542	4,35	6318	5,45	67,67	
5	200	19542	4,35	4053	5,41	79,26	72,21
6	300	19542	4,35	5918	5,21	69,71	
7	100	44483	5,24	11858	6,56	73,34	
8	200	44483	5,24	17313	6,39	61,08	66,20
9	300	44483	5,24	15942	6,04	64,16	
10	100	65917	4,18	9492	6,10	85,60	
11	200	65917	4,18	17338	5,70	73,70	77,50
12	300	65917	4,18	17663	5,70	73,20	
13	100	43	6,73	100	5,67		
14	200	43	6,73	69	5,67		
15	300	43	6,73	48	5,66		
<b>Promedio</b>						<b>71,97</b>	<b>71,97</b>



# Resultados

## Capacidad de eliminación de contaminación de los FV

### Tercera Alimentación (Dcbr 2020 – Marzo 2021)

Condición	Alimentación semanal (L)	DQO·afuente promedio (ppm)	pH·afuente promedio (Unidades)	DQO·Drenados promedio (ppm)	pH·Drenados promedio (Unidades)	Remoción·DQO· (Promedio)	Remoción·DQO· (Promedio)
1	100	13	6,56	79	5,69	□	□
2	200	13	6,56	61	5,65	□	□
3	300	13	6,56	77	5,41	□	□
4	100	31571	4,17	7747	5,14	75,46	83,99
5	200	31571	4,17	2730	6,62	91,35	
6	300	31571	4,17	4686	6,33	85,16	
7	100	63267	4,40	17042	6,29	73,06	65,08
8	200	63267	4,40	19194	6,25	69,66	
9	300	63267	4,40	30035	5,72	52,53	
10	100	64550	3,94	17740	5,50	72,52	60,85
11	200	64550	3,94	27200	4,81	57,86	
12	300	64550	3,94	30873	4,61	52,17	
13	100	13	6,56	90	5,66	□	□
14	200	13	6,56	96	5,54	□	□
15	300	13	6,56	41	5,72	□	□
<b>Promedio</b>						<b>69,98</b>	<b>69,98</b>



### Promedio de las 3 alimentaciones

Alimentación	Tipo agua	DQO·(ppm)	Remoción·DQO·(%)
1	Tanque·Tina	32383	77,51
2		19542	72,21
3		31571	83,99
<b>Promedio</b>		<b>27832</b>	<b>77,91</b>
1	Lixiviados	90521	56,40
2		44483	66,20
3		63267	65,08
<b>Promedio</b>		<b>66090</b>	<b>62,56</b>
1	Ecomilla	75854	63,50
2		65917	77,50
3		64550	60,85
<b>Promedio</b>		<b>68774</b>	<b>67,28</b>
1	ARC	□	65,80
2		□	71,97
3		□	69,98
<b>Promedio</b>		□	<b>69,25</b>



# Resultados

## Cambio en las características químicas del suelo de los FV

Primera Alimentación  
(Spbre - Dcbre 2019)

Parámetro	Suelo Inicial	Suelo al final de 12 semanas de aplicación continua			
		20 mm	40 mm	60 mm	Promedio
pH	5,3	5,1	4,9	4,6	4,87
N (%)	0,22	0,16	0,16	0,25	0,19
MO (%)	4,7	3,3	3,3	5,6	4,07
K (cmol/kg)	0,27	3,42	2,50	2,75	2,89
Ca (cmol/kg)	4,14	3,73	3,12	3,21	3,35
Mg (cmol/kg)	0,98	1,08	0,84	0,83	0,92
Al (cmol/kg)	0,2	0,1	0,20	0,3	0,20
CIC	13	13	14	16	14
P (mg/kg)	45	60	22	45	42
Fe (mg/kg)	199	680	875	1079	878
Mn (mg/kg)	11	78	76	62	72
Zn (mg/kg)	2,6	3,3	2,8	3,8	3,30
Cu (mg/kg)	17,2	24,8	24,1	22,6	23,8
B (mg/kg)	0,40	0,84	0,61	0,97	0,81
S (mg/kg)	0,0	17,3	23,9	30,1	23,8
Arcilla (%)	17	9	11	9	10
Limo (%)	32	34	30	36	33
Arena (%)	51	57	59	55	57
Textura	F	FA	FA	FA	FA



Segunda Alimentación  
(Junio - Spbre 2020)

	(4)20 mm	(5)40 mm	(6)60 mm	Promedio
pH	7,0	6,9	6,4	6,77
N (%)	0,18	0,18	0,24	0,20
MO (%)	3,7	3,9	5,4	4,33
K (cmol/kg)	4,11	4,06	3,79	3,99
Ca (cmol/kg)	2,75	2,28	2,37	2,47
Mg (cmol/kg)	1,13	0,87	0,82	0,94
Al (cmol/kg)	0,1	0,1	0,1	0,10
CIC	13	12	13	12,67
P (mg/kg)	82	69	107	86,00
Fe (mg/kg)	362	797	725	628,00
Mn (mg/kg)	71	145	132	116,00
Zn (mg/kg)	2,0	2,0	3,0	2,33
Cu (mg/kg)	20	25	21	22,00
B (mg/kg)	1,42	1,74	1,43	1,53
S (mg/kg)	40,0	49,6	36,5	42,03
Arcilla (%)	15	15	15	15,00
Limo (%)	32	32	30	31,33
Arena (%)	53	53	55	53,67
Textura	F.A.	F.A.	F.A.	



Tercera Alimentación  
(Dcbre 2020 - Marzo 2021)

Parámetro	(4)20-mm	(5)40-mm	(6)60-mm	Promedio
pH	6,2	7,2	6,4	6,60
N (%)	0,23	0,20	0,26	0,23
MO (%)	5,1	4,3	5,9	5,10
K (cmol/kg)	9,78	13,35	14,04	12,39
Ca (cmol/kg)	4,20	4,23	3,20	3,88
Mg (cmol/kg)	1,31	1,32	1,15	1,26
Al (cmol/kg)	0,1	0,1	0,1	0,10
CIC	13	12	15	13,33
P (mg/kg)	134	252	198	194,67
Fe (mg/kg)	556	1068	1149	924,33
Mn (mg/kg)	61	67	67	65,00
Zn (mg/kg)	3,2	2,7	3,7	3,20
Cu (mg/kg)	20,5	21,5	21,3	21,10
B (mg/kg)	50,6	77,1	68,4	65,37
S (mg/kg)	0,75	2,38	1,38	1,50
Arcilla (%)	14	10	12	12,00
Limo (%)	28	30	30	29,33
Arena (%)	58	60	58	58,67
Textura	FrancoArenoso	FrancoArenoso	FrancoArenoso	FrancoArenoso



# Resultados

## Crecimiento de la biomasa



Crecimiento raíces: 1 mm/d



Tratamiento	Crecimiento tallo - hojas pasto vetiver (g/m <sup>2</sup> -d)			Producción (ton/ha)
	Alimentación	Reposo	Global	
Tanque Tina	21,86	18,97	20,41	<b>17,14</b>
Lixiviados	10,09	7,23	8,66	<b>7,27</b>
Mieles Ecomill	13,40	16,06	14,73	<b>12,37</b>
Agua Limpia	49,12	18,40	33,76	<b>28,36</b>
Crecimiento con ARC	15,11	14,08	14,60	<b>12,26</b>
Crecimiento (todos los tratamientos)	23,62	15,16	19,39	<b>16,29</b>

# Resultados Tratamiento de lodos.

## Lechos de secado



## Implementación de la solución.



***Filtro verde beneficiadero experimental Cenicafé. 200 m<sup>2</sup>***

# **Caso Práctico. Implementación de la solución.** **ARBC Granja (10000 @/ cps –año. 1,2 L/kg cps).**



**1. Excavaciones**



**2. Impermeabilización**



**3. Techado**



**4. Preparación del terreno para la siembra**



**5. Siembra del material vegetal**



**6. Canalización del agua del SMTA al FV**



**7. Instalación del sistema de riego**



**8. Instalación del tanque de drenados**

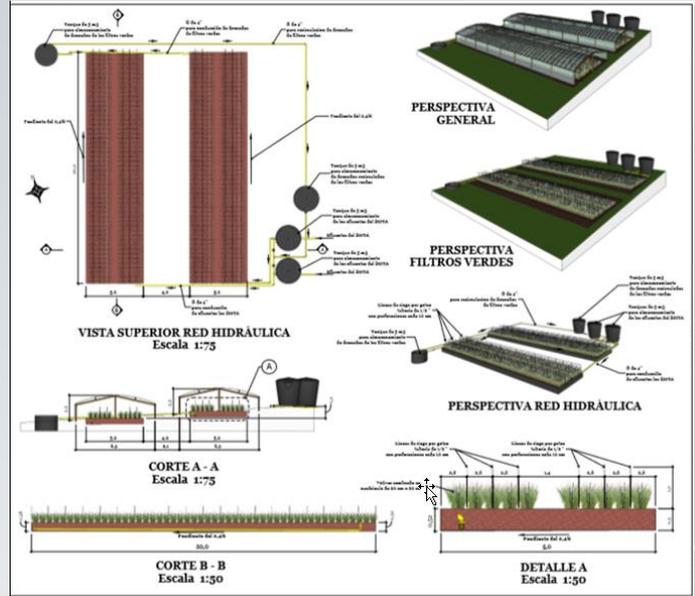
# Caso Práctico. Implementación de la solución. ARBC Granja.



9. Vista panorámica del FV



10. Recirculación de los drenados



FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES

Ubicación:	POCOBONÍA	plf (1981-1992)
Diseño:	Ing. Carlos Trujillo	plf (1981-1992)
Realización:	PRO. Pío Maldonado	plf (1981-1992)
Realización:	ING. Mario Quintana	plf (1981-1992)
Realización:	ING. María Lorena Quintana	plf (1981-1992)
Realización:		

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS  
LA GRANJA

FILTROS VERDES TIPO

especificar esta salida como sería infiltrada en el suelo o si habría recirculación de dicho efluente. Lo anterior, teniendo en cuenta que el caudal a tratar (28.5m<sup>3</sup>/día), es mucho más alto que el de las ARD de la Granja, por lo que falta tener en cuenta consideraciones técnicas de evapotranspiración, como lo establece el artículo 180 de la Resolución No. 330 de 2017 "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009".

3. Finalmente se informa que la propuesta de postratamiento con filtros verdes con recirculación total, para las aguas residuales no domésticas del beneficio de café, se considera acorde.

Cualquier inquietud con gusto será atendida.

Atentamente,

ADRIANA MERCEDES MARTÍNEZ GÓMEZ  
Subdirectora de Evaluación y Seguimiento Ambiental

Elaboró: María Carolina Rincón C. - SE/5A

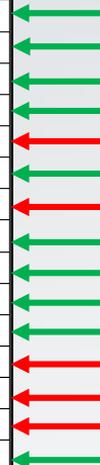


CORPOCALDAS  
Corporación Autónoma Regional de la Zona Occidental de la Sabana de Bogotá

# Implementación de la solución.



Parámetro	Testigo· adentro·del· filtro·verde·1· (sin·riego)	Testigo· adentro·del· filtro·verde·2· (sin·riego)	Muestra·del· filtro·verde·1· (regada·con· aguas· residuales)	Muestra·del· filtro·verde·2· (regada·con· aguas· residuales)	Muestra· compuesta· F1+F2·(con· riego)
pH	4,6	4,6	6,0	5,2	5,2
N·(%)	0,14	0,18	0,14	0,31	0,15
MO·(%)	2,80	3,7	2,80	7,30	3,10
K·(cmol/kg)	0,20	0,46	3,54	3,61	9,72
Ca·(cmol/kg)	3,66	5,45	4,17	3,70	5,34
Mg·(cmol/kg)	1,05	1,30	1,22	1,14	1,75
Al·(cmol/kg)	0,60	0,30	0,10	0,10	0,10
CIC	13	12	12	15	14
P·(mg/kg)	111	153	184	214	94
Fe·(mg/kg)	356	383	360	398	420
Mn·(mg/kg)	29	32	42	25	39
Zn·(mg/kg)	3,9	8,6	2,5	2,9	3,3
Cu·(mg/kg)	17,1	20,5	18,8	16,3	19,7
B·(mg/kg)	19,1	15,6	9,1	11,4	2,40
S·(mg/kg)	0,03	0,03	0,31	0,03	0,26
Arcilla·(%)	14	13	13	15	19
Limo·(%)	29	29	31	33	29
Arena·(%)	58	58	56	51	51
Textura	Franco·arenoso	Franco·arenoso	Franco·arenoso	Franco·arenoso	Franco



# Implementación de la solución.



**Filtro Verde Estación Naranjal. 65 m<sup>2</sup>**

# Implementación de la solución.



Filtro verde Estación San Antonio. Octubre del 2021

# Implementación de la solución.



**Filtro verde Estación El Rosario. Marzo del 2022**

# Implementación de la solución.

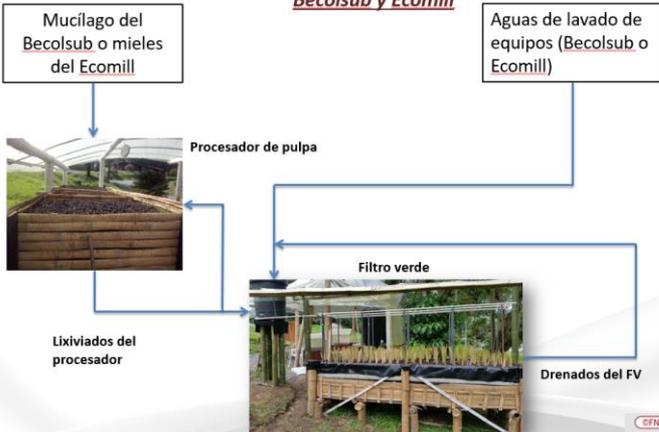


Filtro verde Estación La Trinidad. Mayo del 2022

# Estrategias para disminuir costos de tratamiento

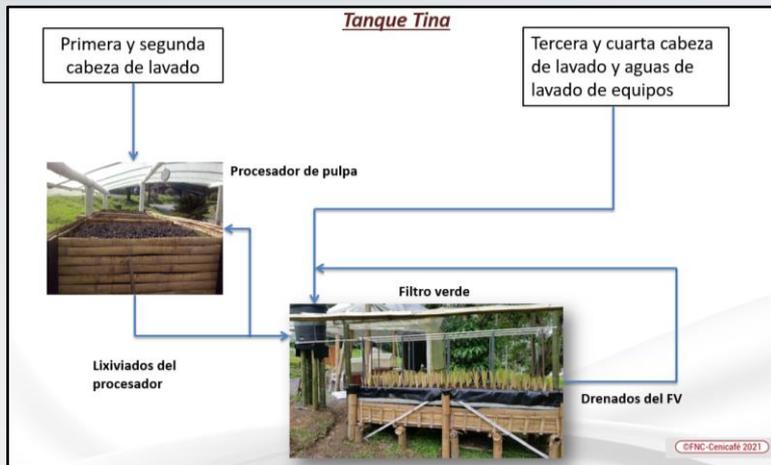
## Diseños Recomendados para lograr cero descargas con FV

### Becolsub y Ecomill



Se recomienda utilizar como valor de EVT: 23 L/m<sup>2</sup>-d  
Se recomienda utilizar una carga hidráulica máxima de 60 mm (60 L/m<sup>2</sup>-d)  
Se recomienda utilizar una carga orgánica máxima de 10 ton DQO/ha-d

### Tanque Tina



### Fincas son sistemas de tratamiento



En el año 2019, nos hacíamos la siguiente pregunta...

*¿Se pueden utilizar filtros verdes con pasto vetiver para el tratamiento y manejo de las aguas residuales del café con cero descargas?*

## **Respuesta 4**

***Sí.*** Los estudios piloto y de campo han demostrado que es posible la cero descargas de las aguas residuales del café utilizando filtros verdes impermeabilizados con geomembrana con profundidades de hasta 1 m, sembrados con pasto vetiver y bajo invernadero, utilizando cargas orgánicas que no superen las 10 ton DQO/ha-d

# Costos estimados del manejo del ARC con filtros verdes (ZLD)

Considerando un volumen promedio de agua residual de 2,5 L/kg cps:

- *Se requieren 10 m<sup>2</sup> de FV/ha*
- *El costo del FV es de \$ 100.000/m<sup>2</sup>.*
- *El costo del FV/ha es aproximadamente \$ 1,000,000*
- *Se estima la vida útil del plástico en 5 años, de los tanques plásticos en 30 años y del sistema de riego en 15 años.*
- *Evaporar 1 m<sup>3</sup> de agua en el FV cuesta, en promedio, \$ 20.000 (considerando los tanques para el tratamiento primario y la recirculación de los drenados). Sin considerar tanques (tal como se estimó en la evaporación solar del agua residual) el valor sería de \$ 10.000/m<sup>3</sup> vs 30.000/m<sup>3</sup> en la evaporación solar.*

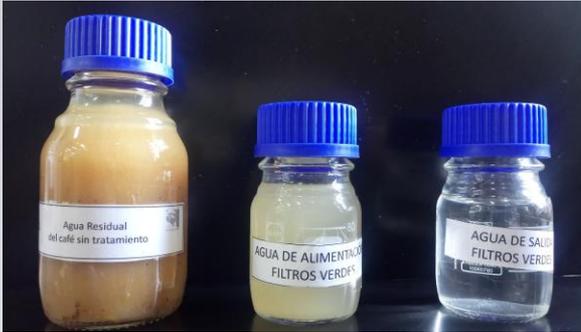


Eliminar 1 kg de DQO en los filtros verdes tiene un valor estimado de \$ 400.

Eliminar 1 kg de DQO en un SMTA tiene un costo estimado de \$ 300.

# Consideraciones finales

## Filtros verdes para el tratamiento de aguas residuales del café



- *Se puede concluir que la tecnología de FV verdes es apta para el tratamiento de las aguas mieles procedentes del beneficio ecológico del café. Tanto a escala piloto como a escala de campo, los drenados provenientes de los FV presentaron, en los diferentes parámetros evaluados, valores que estuvieron dentro de los límites exigidos por la normativa colombiana.*
- *Para las diferentes cargas hidráulicas evaluadas, (5, 10, 12, 20, 60 mm), los FV mostraron un buen desempeño en el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café. Las máximas cargas orgánicas aplicadas de aguas residuales del beneficio del café al suelo del FV fueron de 2 ton DQO/ha-d, en la etapa piloto y de 7 ton kg DQO/ha-d.*
- *Considerando el sistema completo del filtro verde, es decir, el tratamiento primario, el suelo y la vegetación, las máximas cargas orgánicas aplicadas de aguas residuales del beneficio del café fueron de 4 ton DQO/ha-d, en la etapa piloto y de 14 ton DQO/ha-d, en la etapa de campo.*

# Consideraciones finales

## Filtros verdes para el manejo de aguas residuales del café con cero descargas

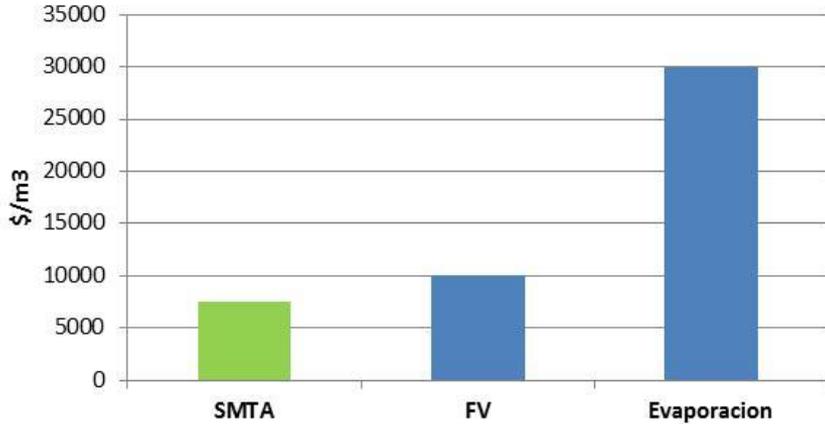


- *Las investigaciones a escala piloto y de campo demostraron que es posible realizar el manejo de las aguas residuales del beneficio del café para alcanzar el objetivo de cero descargas utilizando FV con profundidades hasta 1 m, impermeabilizados con geomembrana de 20 mils, sembrados con pasto vetiver y bajo invernadero.*
- *Dado que se ha observado fitotoxicidad en el pasto vetiver por los ácidos presentes en las aguas residuales, limitando su crecimiento y en ocasiones inhibiéndolo y marchitando la planta, se recomienda que las cargas hidráulicas no superen los 40 mm y las cargas orgánicas sean inferiores a 10 ton DQO/ha-d.*
- *Después de 3 años de experimentación, alternando períodos de alimentación y períodos de reposo, no se evidenció en la evaluación a escala piloto ni a escala de campo, un cambio negativo en los contenidos químicos del suelo que pueda cuestionar la viabilidad a largo plazo del uso de la tecnología de los filtros verdes en el tratamiento de las aguas residuales del café.*

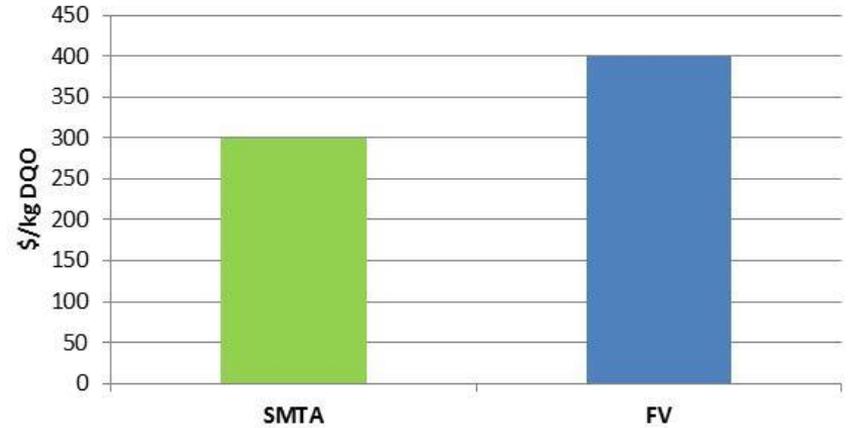
# Consideraciones finales

## Filtros verdes para el manejo de aguas residuales del café con cero descargas

### Costos manejo agua residual



### Costos remoción contaminación





# GRACIAS

[cenicafe@cafedecolombia.com](mailto:cenicafe@cafedecolombia.com) 

## PORTALES WEB



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



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



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

## REDES OFICIALES



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC

