



**USAID**  
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA



**TECHNOSERVE**  
SOLUCIONES EMPRESARIALES PARA LA POBREZA

**Coffee Alliance for Excellence**

# **POZOS DE INFILTRACION PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES DE CAFÉ USANDO**

**Chrysopogon zizanioides “Vetiver”**

## **Resultados del trabajo de investigación**

Presentado por:

Patricia Tello Reátegui

TechnoServe<sup>(1)</sup>

Tingo María – Perú

2022

---

<sup>(1)</sup> organización internacional con sede en los Estados Unidos y presencia a nivel mundial. Fundada en 1968, inició actividades en el Perú en 1982 y ejecuta proyectos de desarrollo alternativo en la zona de San Martín, Ucayali y Huánuco desde el año 2010. El 02 de noviembre del 2017, suscribió con la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), el acuerdo cooperativo N° 72052718CA00001 para desarrollar PROYECTO ALIANZA CAFE (COFFEE ALLIANCE FOR EXCELLENCE), para buscar mejorar las condiciones de vida de 10,0

## INTRODUCCIÓN

Perú es uno de los principales países productores de *Coffea arabica* L. (café) en el mundo, el 74% de la producción nacional se dirige a los mercados internacionales, en el año 2020; la producción en Perú de *C. arabica* L. alcanzó 372,000 t, es decir, hubo incremento de 2.28 % en comparación a la producción del año 2019 y el crecimiento fue favorecido por las mejores condiciones térmicas beneficiando el desarrollo de este cultivo en las principales regiones productoras, como Ucayali (135.10 %), San Martín (58.80 %), Cusco (17.60 %), Cajamarca (13.10 %) y Amazonas (7.60 %), los cuales aportaron el 71.10 % del total nacional (INEI, 2021). Es decir, la producción de *C. arabica* L. en el Perú es una de las actividades de importancia económica para miles de familias que se dedican a pequeña, mediana y grande escala. Sin embargo, su producción tiene impacto negativo en el ambiente en todos los procesos de producción de este cultivo, desde la deforestación para la instalación hasta el proceso de beneficio húmedo del grano de *C. arabica* L., ya que, durante estos procesos, sólo menos del 5% de la biomasa que se genera se aprovecha en elaborar la bebida aromática y el resto se queda en residuos, influyendo en la contaminación ambiental sino se trata o recicla (Rodríguez y Zambrano, 2010). Al respecto, una de las actividades de la producción donde se utiliza grandes volúmenes de agua es el procesamiento húmedo de los granos de *C. arabica* L. para el lavado de los granos y donde estos volúmenes se convierte en aguas residuales con alto contenido en materia orgánica (Torres y Bastidas, 2017), porque el efluente de 1 t de grano de *C. arabica* L. en el proceso de beneficio húmedo, genera una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) similar a la DBO de residuos humanos generados por aproximadamente 2,000 personas por día (Beyene *et al.*, 2012). Estas aguas residuales del proceso de lavado a los granos, son conocidas también como aguas mieles y consideradas uno de los mayores contaminantes orgánicos en la caficultura, porque muchas de estas aguas retornan a riachuelos, ríos o aguas subterráneas. Debido a este problema, se busca alternativas para reducir el impacto negativo que tiene el lavado de los granos de *C. arabica* L. sobre las aguas, a través del uso de nuevas tecnologías o medidas naturales como la fitorremediación con *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) en pozas de infiltración. En las últimas décadas existen algunos estudios sobre *C. zizanioides* que han demostrado que este “pasto” es excelente fitorremediador de aguas contaminadas (Fonseca *et al.*, 2021), sin mayor relevancia y ningún trabajo en Perú sobre el tema. Por otro lado, la ONG TechnoServe que trabaja en comunidades que luchan contra la pobreza en África, América Latina y Asia iniciaron trabajos desde hace unos años con este pasto para tratar aguas residuales específicamente en África, razón por la cual y teniendo en cuenta estos antecedentes; el

proyecto CAFE ejecutado por TNS y financiado por USAID adopto la tecnología en el 2019 y la adapto a la realidad de sus zonas de intervención en Perú; siendo necesario investigar la eficiencia y efectividad de la fitorremediación de *C. zizanioides* (vetiver) frente a las aguas mieles, ya que por ahora no existe evidencia científica sobre el uso de este “pasto” en la fitorremediación sobre aguas mieles, pero sobre todo, no existe evidencia, en qué edad de crecimiento desde su germinación es adecuada para usarla como fitorremediador de aguas mieles, porque la madurez de *C. zizanioides* (vetiver) se presenta a los 18 a 24 meses (Rivera, 2018) y probablemente, puede ser utilizado antes de su madurez fisiológica y permitir ahorrar tiempo a los caficultores en la fitorremediación, porque la edad de *C. zizanioides* podría ser un factor importante en la reducción de la contaminación de estas aguas de forma significativa. En ese sentido, se propone esta hipótesis: que por lo menos una determinada edad de *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) debe rendir los mayores resultados en la reducción de la contaminación de aguas mieles. Por lo indicado anteriormente planteamos los siguientes objetivos: (1) Evaluar la eficiencia de las pozas de infiltración usando *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) para el tratamiento de aguas mieles de *Coffea arabica* L. (2) Evaluar parámetros físico-químicos y microbiológicos antes y después del tratamiento con pozas de infiltración *C. zizanioides*. (3) Comparar la eficiencia fitorremediadora en cuatro edades de la planta de vetiver.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### El campo experimental

La presente tesis se realizó en las pozas de infiltración de los participantes productores de café del proyecto CAFE ejecutado por TechnoServe, ubicados en los distritos de Las Palmas y Hermilio Valdizán, pertenecientes a la provincia de Leoncio Prado, y en el distrito de Monzón perteneciente a la provincia de Huamalíes. Todos estos distritos ubicados en la región Huánuco.

### Método estadístico

Las variables independientes son las edades de *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) después de la siembra en los pozos de infiltración, los cuales están identificados en la Tabla 1. Las variables dependientes son los parámetros de índice de calidad de agua medibles en varias características: pH del agua, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), y sólidos suspendidos totales (SST).

**Tabla 1.** Descripción de los tratamientos en estudio.

| Tratamientos en estudio |                                | Número de pozos |
|-------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Clave                   | Descripción                    |                 |
| T <sub>1</sub>          | Vetiver a los 6 meses de edad  | 3               |
| T <sub>2</sub>          | Vetiver a los 8 meses de edad  | 3               |
| T <sub>3</sub>          | Vetiver a los 19 meses de edad | 3               |
| T <sub>4</sub>          | Vetiver a los 21 meses de edad | 3               |

En esta investigación se utilizará cuatro tratamientos con tres repeticiones analizados en un diseño completamente al azar (DCA) y cuyos promedios de los tratamientos en estudio de las diferentes evaluaciones serán analizadas mediante la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### - pH del agua

De acuerdo al análisis de variancia realizada a los tratamientos en estudio, se comprobó que: Existen diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos respecto al pH de las aguas mieles. No existe diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos respecto al pH de las aguas tratadas con diferentes edades de siembra de *Chrysopogon zizanioides* (vetiver). Los coeficientes de variabilidad son menores a 20 %, lo que nos indica que existe buena homogeneidad entre las medias de las unidades experimentales de los tratamientos.

**Tabla 2.** Análisis de variancia del pH del agua.

| Fuente de variación | G.L. | Aguas mieles |      | Fitorremediación |      |
|---------------------|------|--------------|------|------------------|------|
|                     |      | C.M.         | Sig. | C.M.             | Sig. |
| Tratamientos        | 3    | 0.24         | AS   | 0.17             | NS   |
| Error experimental  | 8    | 0.07         |      | 1.14             |      |
| Total               | 11   |              |      |                  |      |
| Variabilidad (%)    |      | 6.30         |      | 19.21            |      |

AS : Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

NS : No existen diferencias estadísticas significativas.

De acuerdo a la Tabla 3, el pH de las aguas mieles de los tratamientos T<sub>2</sub> (Vetiver a los 8 meses de edad) y T<sub>4</sub> (Vetiver a los 21 meses de edad), se diferenciaban estadísticamente del pH de las

aguas de los demás tratamientos en estudio. Después de tratar las aguas mieles; no se encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio respecto al pH de las aguas de las pozas tratadas con diferentes edades de siembra de *Chrysopogon zizanioides* (vetiver). Además, el pH de las aguas tratadas con diferentes edades de siembra de *C. zizanioides* (vetiver) incrementaron entre **124 a 152 %**. Es decir, **las aguas mejoraron su pH**.

**Tabla 3.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para el pH del agua.

| Tratamientos en estudio |                        | Aguas mieles |      | Fitorremediación |      | Incremento |
|-------------------------|------------------------|--------------|------|------------------|------|------------|
| Clave                   | Descripción            | pH           | Sig. | pH               | Sig. |            |
| T <sub>1</sub>          | Vetiver a los 6 meses  | 4.12         | a    | 5.24             | a    | 127.37%    |
| T <sub>2</sub>          | Vetiver a los 8 meses  | 3.79         | b    | 5.76             | a    | 151.76%    |
| T <sub>3</sub>          | Vetiver a los 19 meses | 4.44         | a    | 5.54             | a    | 124.70%    |
| T <sub>4</sub>          | Vetiver a los 21 meses | 3.92         | b    | 5.73             | a    | 146.05%    |

Tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.

#### - DQO del agua

De acuerdo al análisis de variancia realizada a los tratamientos en estudio, se comprobó que: No existe diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos respecto al DQO con aguas mieles y aguas tratadas con diferentes edades de siembra de *Chrysopogon zizanioides* (vetiver). Los coeficientes de variabilidad son menores a 20 %, lo que nos indica que existe buena homogeneidad entre las medias de las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

**Tabla 4.** Análisis de variancia del DQO del agua.

| Fuente de variación | G.L. | Aguas mieles (*) |      | Fitorremediación (*) |      |
|---------------------|------|------------------|------|----------------------|------|
|                     |      | C.M.             | Sig. | C.M.                 | Sig. |
| Tratamientos        | 3    | 0.47             | NS   | 0.08                 | NS   |
| Error experimental  | 8    | 0.29             |      | 0.22                 |      |
| Total               | 11   |                  |      |                      |      |
| Variabilidad (%)    |      | 12.50            |      | 15.26                |      |

AS = Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

NS = No existen diferencias estadísticas significativas.

(\*) = Datos transformados Log (x).

De acuerdo a la Tabla 5; no se encontró diferencias significativas entre las aguas mieles de los tratamientos en estudio respecto al DQO del agua. Después de tratar las aguas mieles; no se encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio respecto al DQO de las aguas tratadas con diferentes edades de siembra de *Chrysopogon zizanioides* (vetiver). Además, el DQO de las aguas tratadas con diferentes edades de siembra de *C. zizanioides* (vetiver) redujeron entre **14 a 39 %**. Es decir, que **hubo reducción** de este parámetro después de tratar las aguas mieles con vetiver.

**Tabla 5.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para el DQO del agua.

| Tratamientos en estudio |                        | Aguas mieles (*) |      | Fitorremediación (*) |      | Reducción |
|-------------------------|------------------------|------------------|------|----------------------|------|-----------|
| Clave                   | Descripción            | DQO              | Sig. | DQO                  | Sig. |           |
| T <sub>1</sub>          | Vetiver a los 6 meses  | 4.19             | a    | 3.14                 | a    | 25.06%    |
| T <sub>2</sub>          | Vetiver a los 8 meses  | 4.40             | a    | 2.98                 | a    | 32.39%    |
| T <sub>3</sub>          | Vetiver a los 19 meses | 3.86             | a    | 3.31                 | a    | 14.38%    |
| T <sub>4</sub>          | Vetiver a los 21 meses | 4.81             | a    | 2.95                 | a    | 38.70%    |

Tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.

(\*) = Datos transformados Log (x).

#### - DBO<sub>5</sub>

De acuerdo al análisis de variancia realizada a los tratamientos en estudio, se comprobó que: No existe diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos respecto al DBO<sub>5</sub> de las aguas mieles y de las aguas tratadas con diferentes edades de siembra de *Chrysopogon zizanioides* (vetiver).

Los coeficientes de variabilidad son menores a 20 %, lo que nos indica que existe buena homogeneidad entre las medias de las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

**Tabla 6.** Análisis de variancia del DBO<sub>5</sub> del agua.

| Fuente de variación | G.L. | Aguas mieles (*) |      | Fitorremediación (*) |      |
|---------------------|------|------------------|------|----------------------|------|
|                     |      | C.M.             | Sig. | C.M.                 | Sig. |
| Tratamientos        | 3    | 0.50             | NS   | 0.09                 | NS   |
| Error experimental  | 8    | 0.30             |      | 0.22                 |      |
| Total               | 11   |                  |      |                      |      |
| Variabilidad (%)    |      | 13.04            |      | 15.78                |      |

AS = Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

NS = No existen diferencias estadísticas significativas.  
 (\*) = Datos transformados Log (x).

De acuerdo a la Tabla 7; no se encontró diferencias significativas entre las aguas mieles de los tratamientos en estudio respecto al DBO<sub>5</sub> del agua. Después de tratar las aguas mieles; no se encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos para el DBO<sub>5</sub> de las aguas de las pozas tratadas con diferentes edades de siembra con vetiver. Además, el DBO<sub>5</sub> de las aguas tratadas con diferentes edades de siembra de *C. zizanioides* (vetiver) redujeron entre **15 a 41 %**. Es decir, que **hubo reducción** de este parámetro después de tratar las aguas mieles con vetiver.

**Tabla 7.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para el DBO<sub>5</sub> del agua.

| Tratamientos en estudio |                        | Aguas mieles (*) |      | Fitorremediación (*) |      | Reducción |
|-------------------------|------------------------|------------------|------|----------------------|------|-----------|
| Clave                   | Descripción            | DBO <sub>5</sub> | Sig. | DBO <sub>5</sub>     | Sig. |           |
| T <sub>1</sub>          | Vetiver a los 6 meses  | 4.06             | a    | 3.02                 | a    | 25.66%    |
| T <sub>2</sub>          | Vetiver a los 8 meses  | 4.27             | a    | 2.86                 | a    | 33.02%    |
| T <sub>3</sub>          | Vetiver a los 19 meses | 3.73             | a    | 3.18                 | a    | 14.71%    |
| T <sub>4</sub>          | Vetiver a los 21 meses | 4.70             | a    | 2.80                 | a    | 40.55%    |

Tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.  
 (\*) = Datos transformados Log (x).

#### - SST

De acuerdo al análisis de variancia realizada a los tratamientos en estudio, se comprobó que: No existe diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos respecto al SST de las aguas mieles y de las aguas tratadas con diferentes edades de siembra de *Chrysopogon zizanioides* (vetiver). Los coeficientes de variabilidad son menores a 20 %, lo que nos indica que existe buena homogeneidad entre las medias de las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

**Tabla 8.** Análisis de variancia del SST del agua.

| Fuente de variación | G.L. | Aguas mieles (*) |      | Fitorremediación (*) |      |
|---------------------|------|------------------|------|----------------------|------|
|                     |      | C.M.             | Sig. | C.M.                 | Sig. |
| Tratamientos        | 3    | 0.60             | NS   | 0.04                 | NS   |
| Error experimental  | 8    | 0.37             |      | 0.09                 |      |
| Total               | 11   |                  |      |                      |      |
| C.V. (%)            |      | 18.44            |      | 13.80                |      |

AS = Existe diferencias estadísticas al 1 % de probabilidad.

NS = No existen diferencias estadísticas significativas.  
 (\*) = Datos transformados Log (x).

De acuerdo a la Tabla 9; no se encontró diferencias significativas entre las aguas mieles de los tratamientos en estudio respecto al SST del agua. Después de tratar las aguas mieles; no se encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos para el SST de las aguas de las pozas tratadas con diferentes edades de siembra con vetiver. Sin embargo, en este parámetro de sólidos en suspensión total (SST), sólo los tratamientos T<sub>2</sub> (Vetiver a los 8 meses) y T<sub>4</sub> (Vetiver a los 21 meses) redujeron los sólidos suspendidos entre 20 y 27 %, respectivamente; en cambio, los tratamientos T<sub>1</sub> (Vetiver a los 6 meses) y T<sub>3</sub> (Vetiver a los 19 meses), aumentaron los sólidos suspendidos entre 14 y 16 %. Este último parámetro medido, nos resulta que en niveles altos indican una descarga concentrada, así como la erosión del suelo, que probablemente al momento de recojo de muestra en suelos arcillosos este haya influenciado.

**Tabla 9.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para el SST del agua.

| Tratamientos en estudio |                        | Aguas mieles (*) |      | Fitorremediación (*) |      | Incremento +<br>Reducción - |
|-------------------------|------------------------|------------------|------|----------------------|------|-----------------------------|
| Clave                   | Descripción            | SST              | Sig. | SST                  | Sig. |                             |
| T <sub>1</sub>          | Vetiver a los 6 meses  | 2.85             | a    | 3.02                 | a    | +15.96%                     |
| T <sub>2</sub>          | Vetiver a los 8 meses  | 3.58             | a    | 2.86                 | a    | -20.14%                     |
| T <sub>3</sub>          | Vetiver a los 19 meses | 3.03             | a    | 3.18                 | a    | +14.87%                     |
| T <sub>4</sub>          | Vetiver a los 21 meses | 3.80             | a    | 2.80                 | a    | -26.34%                     |

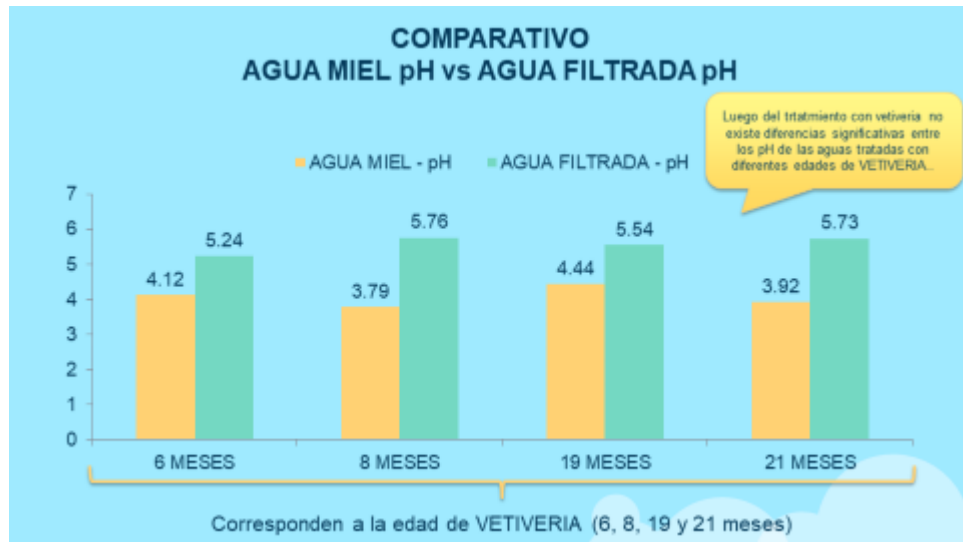
Tratamientos unidos por la misma letra no existe significación estadística.  
 (\*) = Datos transformados Log (x).

## CONCLUSIONES

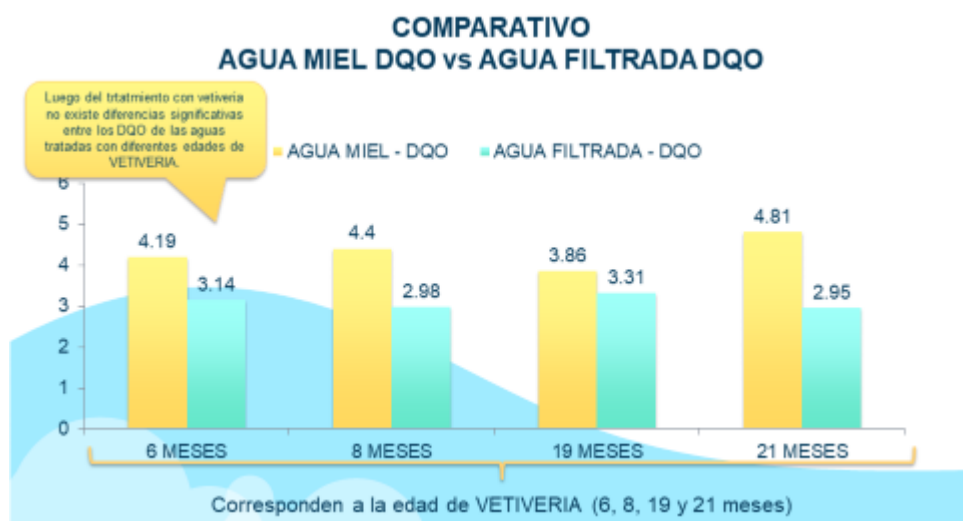
1. Tratar aguas residuales (mieles) producto del proceso de beneficio húmedo de *Coffea arabica* L. (café) con pozas de infiltración usando *Chrysopogon zizanioides* (vetiver), resultó ser eficiente y eficaz.
2. Los parámetros físico-químicos entre las aguas mieles y las fitorremediadas mejoran el pH del agua, reduciendo los parámetros evaluados como DQO, DBO<sub>5</sub> y SST.
3. Las pozas de infiltración usando material vegetativo *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) trabajan de manera eficiente en la fitorremediación a partir del sexto mes, sin existir diferencias entre las edades.

## ANEXOS

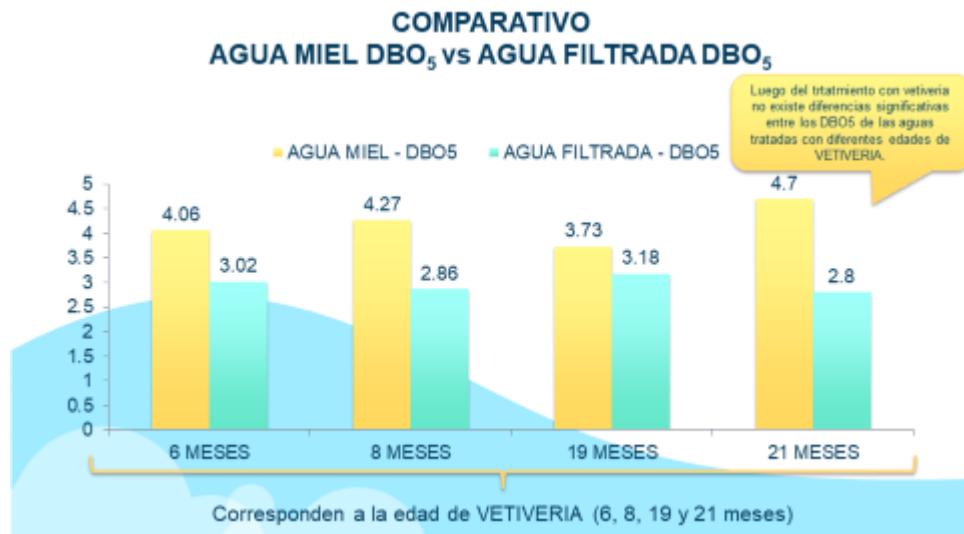
### 1. Comparativo aguas mieles VS aguas filtradas\_ pH.



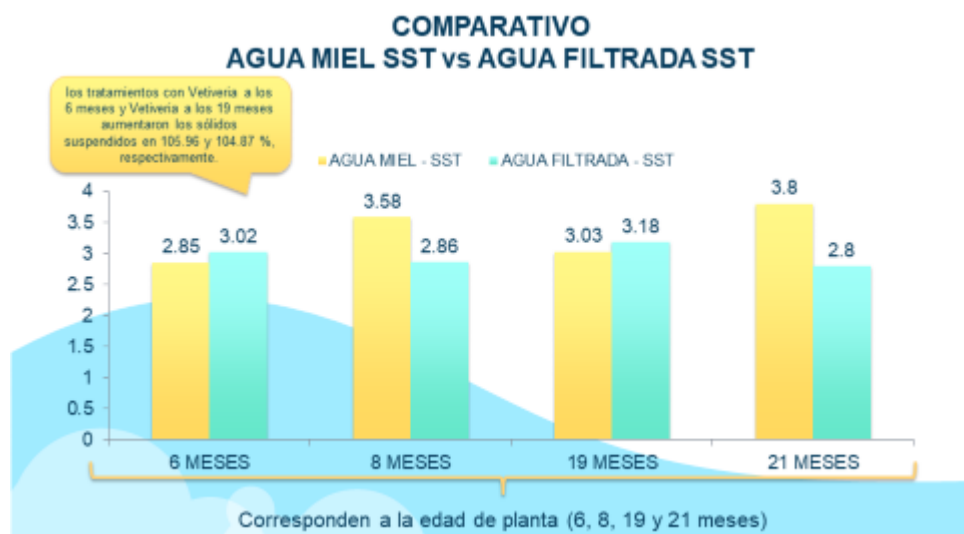
### 2. Comparativo aguas mieles VS aguas filtradas \_ DQO



### 3. Comparativo aguas mieles VS aguas filtradas\_DBO<sub>5</sub>



### 4. Comparativo aguas mieles VS aguas filtradas\_SST



## 5. Recolección de agua filtrada y muestra de suelo



## 6. Evaluación de parámetros físicos del suelo

