

# TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS MIELES DEL CAFÉ Y SU REUSO PARA FERTIRRIEGO EN PASTO KING GRASS (*Pennisetum Purpureum* x *Pennisetum Typhoide*)<sup>1</sup>.

Luisa Fernanda Trujillo Rodriguez<sup>2</sup>, Walter Murillo Arango<sup>3</sup>

## Resumen

**Introducción:** las aguas mieles generadas en el proceso de beneficio húmedo del café, se convierten en uno de los subproductos más contaminantes, debido al alto contenido de nutrientes, lípidos, enzimas, proteínas, azúcares, entre otros. **Objetivo:** evaluar la eficiencia de los procesos biológicos encaminados a la reducción de la DQO y la DBO en un sistema artesanal para el tratamiento de aguas mieles del café y su potencial uso al final del proceso. **Materiales y métodos:** se construyó un sistema artesanal para el tratamiento biológico de las aguas mieles del café, compuesto por dos biofiltros inoculados con microorganismos eficientes y una laguna verde que incluye el uso de las plantas acuáticas como *Azolla filiculoides* y *Pistia*

*stratiotes*, la eficiencia del proceso se midió a través del análisis de las variables; pH, Sólidos suspendidos totales, turbidez, DBO y DQO, **Resultados:** se obtuvieron remociones de hasta el 93,4% para la DBO y del 94.24 % para la DQO, dando cumplimiento al artículo 9 de la resolución 631 de 2015, las aguas mieles tratadas se utilizaron como fertirriego para el abonamiento de parcelas de pasto King grass de un año de sembrado, en surcos a 60 centímetros de distancia, con un área de 300 m<sup>2</sup> (15m x 20m), frente a parcelas sin tratamiento de la misma área, las parcelas tienen una pendiente promedio del 42%, lo cual facilita la aplicación del fertirriego por gravedad, las aplicaciones se realizaron en periodos de 15 a 30 días, dependiendo de los volúmenes de cosecha.

1. Artículo original derivado del proyecto de tesis titulado: Tratamiento biológico de aguas mieles del café y su reuso para fertirriego en pasto King grass (*Pennisetum Purpureum* x *Pennisetum Typhoide*)<sup>1</sup>. Para optar el título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, de la Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas de la Universidad de Manizales.

2. Agrónomo de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD. Popayán, Cauca. Correo: luisa.trujillorodriguez@gmail.com.

3. Docente Investigador Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo (CIMAD) email: wmurillo@umanizales.edu.co.

**Autor para Correspondencia:** luisa.trujillorodriguez@gmail.com.

\*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Se analizaron muestras de suelos de las parcelas con y sin fertirriego, encontrándose incremento de nutrientes en las parcelas tratadas y como resultado anexo se obtienen aumento en la producción de biomasa hasta en un 223%. **Conclusión:** El sistema artesanal de tratamiento mostró altos porcentajes de remoción de carga orgánica de las aguas mieles, habilitando su reuso para fertirriego de pasto King grass con altos rendimientos de biomasa.

**Palabras clave:** Aguas residuales del café, bio-insumo, fertirriego en cultivos de pasto, remoción de carga contaminante.

### Abstract.

**Introduction:** coffee wastewater generated in the wet coffee benefit process becomes one of the most polluting by-products, due to the high content of nutrients, lipids, enzymes, proteins and sugars. **Objective:** to evaluate the efficiency of biological processes aimed at reducing COD and BOD in an artisanal system for the treatment of coffee water and its potential use at the end of the process. **Materials and methods:** an artisanal system for the biological treatment of coffee wastewater was built, consisting of two biofilters inoculated with efficient microorganisms and a green lagoon that includes the use of aquatic plants such as *Azolla filiculoides* and *Pistia stratiotes*, the efficiency of the process was measured through the analysis of the variables; pH, total suspended solids, turbidity, BOD and COD, **Results:** removals of up to 93.4% for BOD and 94.24% for COD were obtained, complying with article 9 of resolution 631 of 2015. Coffee wastewater treated was used as fertigation for the fertilization of plots of King grass one year after sowing, in furrows 60 cm apart, with an area of 300 m<sup>2</sup>, (15m x 20m), compared to untreated plots of the same area, the plots have an average slope of 42%, which facilitates the application of

fertigation by gravity, the applications were made in periods from 15 to 30 days, depending on the harvest volumes. Soil samples from the plots with and without fertigation were analyzed, finding an increase in nutrients in the treated plots and as an annex result an increase in biomass production of up to 223% is obtained. **Conclusion:** The artisanal treatment system showed high percentages of removal of organic load from the coffee wastewater, enabling its reuse for King grass fertigation with high biomass yields.

**Keywords:** Coffee wastewater, bio-input, fertigation in grass crops, removal of pollutant load.

### Introducción

En Colombia la producción de café se ha incrementado en los últimos años, especialmente en los departamentos de Cauca, Huila y Nariño, dando lugar a que en la actualidad la zona sur occidental del país sea considerada como el nuevo eje cafetero. El Cauca con sus 91.000 familias dedicadas al cultivo de café alcanzó volúmenes de 1.500.000 sacos de café pergamino seco/año en 2020, caracterizada por el aporte de pequeños y medianos caficultores, los cuales benefician el café con métodos tradicionales utilizando equipos e instalaciones básicas, proceso que incluye el despulpado, selección, fermentación y el lavado del grano. *Informe de gestión FEDECAFE (2021).*

Como resultado del beneficio del café se generan aguas residuales, con alto contenido de carga contaminante que requieren de adecuado tratamiento para evitar la degradación ambiental a causa del vertimiento directo a los suelos o fuente de agua.

A través del tiempo para el beneficio de la cereza del café, se han utilizado diferentes modelos de infraestructura, maquinaria y equipos, los cuales han evolucionado hasta lograr reducir el

consumo de 50 a 0,3 litros de agua por cada kilogramo de café pergamino seco con la implementación de sistemas de beneficio ecológico en tanques tina, ECOMIL, entre otros. *Zambrano y Zuluaga (1993)*.

De acuerdo con Zambrano y Zuluaga (1993). Los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaeróbico SMTA, son eficientes para el tratamiento de aguas mieles presentando resultados favorables en la remoción de la DQO y DBO de hasta un 80% y un 74,3% respectivamente, no obstante, la adopción completa de esta alternativa se ve limitada, por su exigente mantenimiento y los costos que en ocasiones no se encuentran al alcance de los pequeños caficultores.

En el departamento del Cauca existen modelos artesanales contruidos de diversas maneras, sistemas que cuentan con filtros secuenciales que sirven para el depósito de las aguas mieles, separación y transformación de sedimentos, mediante la acción de microorganismos, por lo general las aguas después de filtradas se conducen a una laguna de oxidación o filtro verde, sin embargo, de estos modelos no se tienen datos sobre la remoción lograda, calidad de agua obtenida al final del proceso, y mucho menos, si es posible su reuso para otras tareas desarrolladas a nivel de la finca, como el fertirriego, aprovechando su contenido nutricional remanente, para el caso, usando pasto King grass (*Pennisetum Purpureum* x *Pennisetum Typhoides*), además del posible efecto sobre la composición fisicoquímica del suelo tratado. Por tanto, en este estudio se evaluaron estos aspectos usando la finca La Palma como modelo de estudio.

### **Materiales y métodos**

#### *Localización/Zona de estudio.*

La finca La Palma se ubica en la vereda Sevilla, municipio de El Tambo Cauca, sobre los 1687 msnm, con temperaturas promedio de 17 a 21 °C, localizada entre

los 01 04 01 83. de latitud y los 00 76 23 49 de longitud oeste. Cuenta con una extensión aproximada de 2.5 hectáreas, con 3000 árboles en producción Variedad Castillo Tambo, en edades que oscilan entre los 4 y 7 años y 1700 árboles en desarrollo vegetativo.

#### *Estructura del sistema artesanal para el tratamiento de aguas mieles.*

En la implementación del sistema artesanal para el tratamiento de aguas mieles, se utilizó una manguera de polietileno de 1,5 pulgadas \* 40 m de largo para la conducción de las aguas mieles desde los tanques de fermentación hasta los pozos artesanales, 8 m de plástico negro calibre 7 por 5 m de ancho, 4 codos de 1,5 pulgadas, 6 m de tubo de 1,5 pulgadas y cintas de neumático para realizar los empalmes de la manguera a la salida de cada uno de los pozos.

Se construyeron los pozos 1 y 2 con dimensiones de 1,20 m de largo por 80 cm de ancho y 80 cm de profundidad y una laguna de 1,20 m de largo por 70 cm de ancho y 40 cm de profundidad.

En la construcción de los pozos se emplearon herramientas manuales (machete, palín, pala, nivel, metro, fibra, madera) y mano de obra no calificada para su instalación.

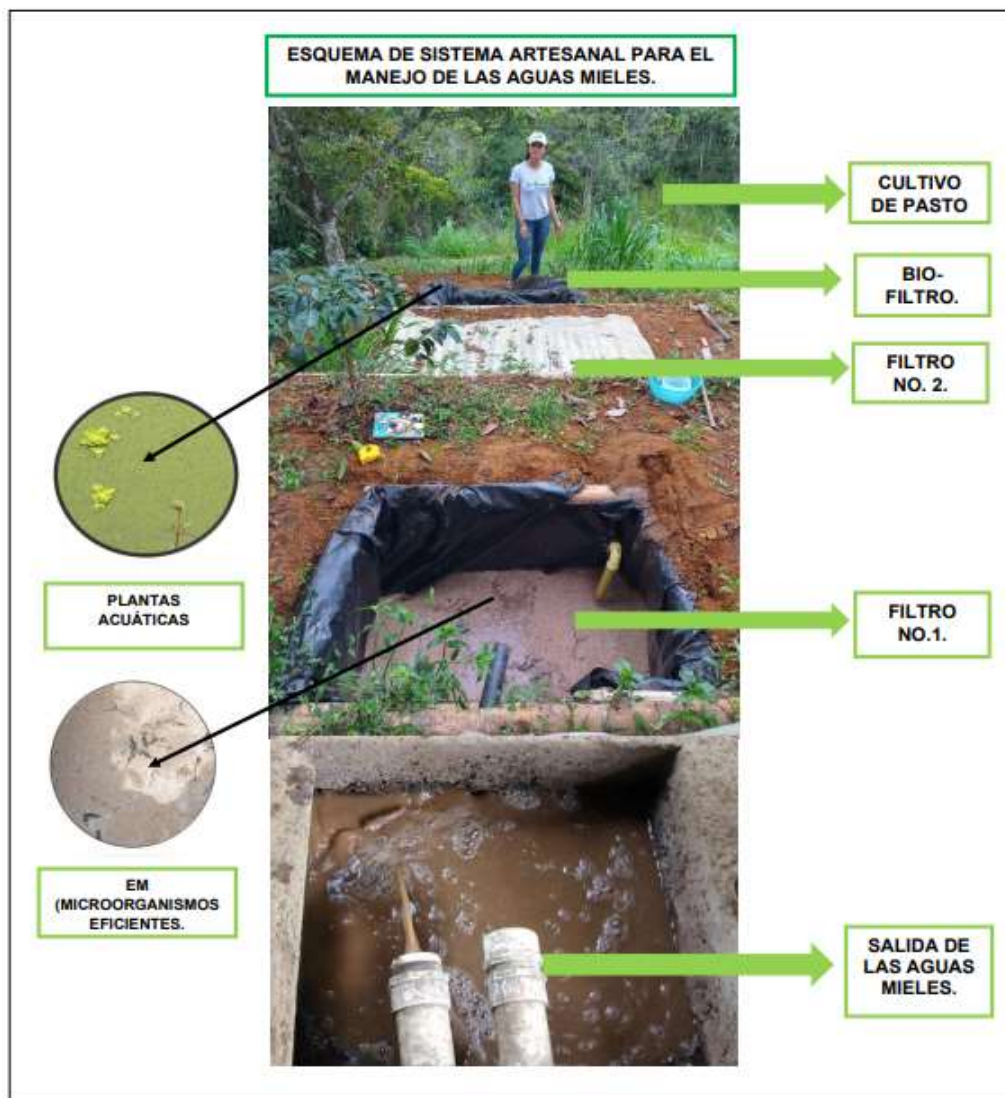
Una vez contruidos y forrados los pozos con el plástico se procedió a depositar entre 80 y 100 recipientes plásticos (botellas pet de 500 hasta 3000 ml), con el fin de generar hábitats para bacterias y microorganismos encargados de consumir y transformar los nutrientes disponibles en las aguas mieles.

Posteriormente se llenaron los pozos con aguas mieles y se le adicionó a cada uno (5 Kg de melaza, 1L. De leche, 10 Kg. De estiércol fresco de bovino), además de 1L de microorganismos eficientes por cada pozo, de esta manera se dejó fermentar el sustrato durante 15 días antes de recibir la primera descarga de aguas mieles.

Transcurridos 15 días de fermentación del sustrato en los dos pozos se realiza la primera descarga de aguas mieles al Pozo No. 1 con un volumen aproximado de 150 litros que mantendrán en el pozo hasta alcanzar un nivel de 60 centímetros de altura, iniciando la conducción de las aguas hasta el segundo pozo, donde se repite el mismo procedimiento hasta llegar a la laguna verde o biofiltro donde se sembraron 500 g de *Azolla filiculoides* y

1000 gr de *Pistia stratiotes* para complementar la remoción del material orgánico. La repetición del ciclo osciló entre 15 a 20 días dependiendo de factores climatológicos, estado de la cosecha y volúmenes de café recolectado. El esquema del sistema se puede apreciar en la figura 1.

Figura No. 1 Esquema del sistema artesanal para el tratamiento de aguas mieles



Fuente: Autor.

### *Análisis fisicoquímico de muestras de agua.*

Para la toma de muestras de agua, el laboratorio provee recipientes de vidrio y plástico esterilizados en los cuales recolectaron las muestras para luego ser conservadas en cadena de frío hasta la entrega.

Se recolectó una muestra de agua de la salida de los tanques de fermentación provenientes del primer y segundo lavado del café, para utilizarlas como *testigo* en las mediciones de pH, sólidos suspendidos, DQO y DBO, así mismo se tomaron muestras de agua de los filtros 2 y 3. Los análisis se realizaron por triplicado, de acuerdo con la resolución 631 de 2015, garantizando confiabilidad en los resultados.

La metodología aplicada para el análisis de las muestras corresponde al "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd. ed 2017", proceso contratado con el Laboratorio de aguas del acueducto y alcantarillado de Popayán SA, E.S.P.

### *Análisis de la producción de forraje verde en lotes de pasto King grass regados con aguas mieles de café tratadas biológicamente.*

Las aguas mieles tratadas se utilizaron como fertirriego para la fertilización de parcelas de pasto King grass de un año de sembrado, en surcos a 60 cm de distancia, con un área de 300 m<sup>2</sup>. (15m x 20m), cada una, frente a parcelas sin tratamiento de la misma área. Las parcelas se ubicaron en la parte inferior del sistema a una inclinación promedio del 42%, para fertirriego por gravedad mediante el uso de mangueras de 1 pulgada, ubicadas en diferentes sitios buscando una dispersión homogénea, las aplicaciones se realizan en lapsos de 15 a 30 días, dependiendo de los periodos y volúmenes de cosecha, por cada aplicación se utilizaron entre 150 y 200 Litros de aguas tratadas, logrando así

mantener en los pozos un 40% de su volumen para conservar los microorganismos encargados del consumo y tratamiento de la próxima descarga.

Adicionalmente las aguas del tercer lavado (60L por descarga) se utilizaron directamente como fertirriego, evitando así el rebose de los pozos y la saturación del sistema.

La producción de forraje verde se calculó utilizando como herramienta de medición un cuadrado de 1m x1m, construido en bambú, el cuadro se sobrepuso al azar tres veces dentro lote, para luego cortar y pesar el forraje que queda en su interior, promediando los resultados para obtener la producción por metro cuadrado.

Como control de tratamiento se utilizaron dos lotes de pasto King grass, uno de ellos sin tratamiento y el otro regado con aguas mieles tratadas y de tercer lavado del café, en tanto, los análisis se realizaron por triplicado.

### *Análisis bromatológico de pasto tratado con fertirriego y testigo.*

Para el análisis bromatológico de los pastos, se recolectaron muestras de 1,5 Kg de forraje verde, una en la parcela testigo y otra en la parcela tratada con fertirriego.

Las muestras se deshidrataron a la sombra durante 5 días y posteriormente se tomó 1 Kg de cada muestra, para enviarlo al laboratorio de servicios de extensión en análisis químico LASEREX de la universidad del Tolima, el cual está certificado bajo las normas: ISO 9001:2008 SC 6996 - 2 Y GP1000: 2009 GP 168 – 2.

### *Toma de muestras para análisis de suelos.*

Transcurridos 45 días después de la última aplicación del fertirriego en las parcelas, se procede a extraer 3 submuestras de suelo del lote testigo y 3

del lote tratado, para luego homogenizar las submuestras de cada lote con el fin de obtener 1 Kg de tierra por muestra, para enviarlos al laboratorio de suelos de la Gobernación del Cauca, el cual realiza los análisis de acuerdo con las metodologías aprobadas por el CALS de la sociedad colombiana de la ciencia del suelo.

#### *Análisis estadístico.*

Los resultados se expresaron como promedios, con su respectiva desviación estándar, con el fin de conocer la variación de los datos en las variables analizadas.

#### **Resultados.**

**Tabla No. 1.** Resultados de indicadores de análisis de laboratorio de aguas mieles al paso por el sistema de tratamiento.

| Indicadores             | Muestra testigo | Pozo 2 del biofiltro | Pozo 3 del biofiltro | Resolución 631 de 2015 |
|-------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| DBO mgO <sub>2</sub> /L | 10350           | 4393±1917            | 2079±1205            | 400                    |
| DQO mgO <sub>2</sub> /L | 25000           | 8474±6843            | 2255±1173            | 3000                   |
| pH                      | 3               | 3,1                  | 3,89                 | 6.0-9.0                |
| SST mg/L                | 808             | 504                  | 423                  | 800                    |
| Turbidez NTU            | >800            | 405,5                | 106,35               | N/A                    |

Fuente: Autor

**Convenciones:** DBO: Demanda bioquímica de oxígeno, DQO: Demanda química de oxígeno, SST: sólidos suspendidos totales, NTU: Unidad Nefelométrica de Turbidez.

Los resultados obtenidos reflejan la disminución de la DBO y de la DQO, ajustándose a los parámetros exigidos en la resolución 631 de 2015 en lo relacionado a la DQO, de la cual se permite un máximo de 3000 mg/L O<sub>2</sub> y aproximándose a cumplir con los 400 mg/L permitidos en la DBO, de igual manera el pH al final del día 16 pasó de 3.1 a 3.89 unidades mostrando que el

agua aún sigue con valores de acidez fuera de los límites exigidos por la resolución 631, (pH entre 6 – 9 unidades), por lo tanto es necesario buscar alternativas que coadyuven a la neutralización del pH, como por ejemplo; la aplicación de cal, o la implementación de otros tratamientos biológicos.

De acuerdo con los resultados obtenidos en cada análisis se evidencian porcentajes de remoción para la DBO de hasta un 93,4 % y para la DQO hasta un 94,24%, comprobando así la efectividad del sistema artesanal en los procesos de remoción de la carga contaminante, cabe anotar que la media para el pozo No. 2 para DBO fue del 58% y para el biofiltro del 80%, así mismo la media para DQO en el pozo No. 2 fue del 66% y para el biofiltro del 90%. Los resultados se pueden observar en la figura No. 2 que permite apreciar el cambio de color alcanzado a causa de la decantación y acción microbiológica del sistema, teniendo como referencia las aguas mieles sin tratar y las aguas resultantes al final del proceso.

**Figura No. 2.** Análisis de las etapas del sistema de tratamiento de aguas mieles.



Fuente: Autor

**Tabla No. 2.** Contenido de minerales en las aguas mieles del café.

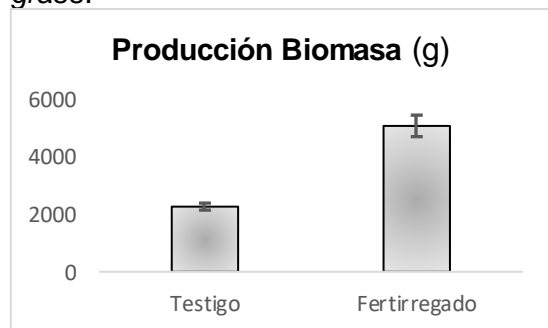
Fuente: Autor

| PRODUCTO                      | Aluminio Al. mg /L | Magnesio Mg. mg Mg/L | Nitritos mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L | Nitratos mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L | Fosforo reactivo soluble P. mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L | Potasio total K. mg K/L |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|---|---|---|-------------------------|
| AGUAS MIELES BIOFILTRO        | <0,08              | 28,5                 | 0,047                                       | <0,5  | 0,2   | 198                     |
| AGUAS MIELES DE TERCER LAVADO | <0,08              | 16,1                 | 0,098                                       | <0,5  | 0,447   | 38,1                    |

De acuerdo con la Resolución 631 del 2015 los vertimientos no pueden exceder el contenido de aluminio del 0,1 %, en este caso los resultados del análisis de laboratorio indican que las aguas mieles de la laguna No. 3 contienen aluminio en concentraciones menores al 0,08%, lo cual no afecta la vida de la flora y fauna de las fuentes hídricas o el suelo donde se conduzcan las aguas tratadas.

Los resultados muestran contenido de minerales disponibles en las aguas mieles tratadas y del tercer lavado, tales como el Magnesio (Mg), Fósforo (P), y Potasio (K), características que pueden ser aprovechadas por los productores como alternativa de nutrición y reducción de costos de producción mediante la aplicación de fertirriego para los cultivos.

**Figura No. 3.** Producción media de biomasa en las parcelas de pasto King grass.



Fuente: Autor

La figura permite realizar análisis comparativo de la producción de forraje entre una parcela sin tratamiento (testigo) y otra parcela que ha recibido aplicaciones periódicas de aguas mieles tratadas en los sistemas artesanales.

Es evidente que las parcelas regadas con aguas mieles duplican la producción de materia verde desde el primer corte, producción que aumenta a medida que los suelos se enriquecen con el aporte de nutrientes.

Los aforos de pasto King grass se realizan cada 45 días, obteniendo resultados favorables en suelos donde se aplican aguas mieles tratadas.

Tres cortes independientes en el tiempo, realizados cada 45 días después del riego muestran un incremento promedio en producción de biomasa verde del 123,6% en relación con los lotes testigos, esto indica el beneficio generado por el aporte de nutrientes proporcionados por las aguas mieles al suelo y la rápida asimilación por parte de las plantas, esta ventaja se debe tener en cuenta como opción favorable para el reuso de las aguas mieles tratadas, que las convierte de desecho contaminante a un valioso bio-insumo para la fertilización de cultivos, o como un mejorador de suelos, debido al contenido de minerales descrito en los análisis.

**Tabla No 3. Resultados análisis bromatológico** de pasto tratado con fertirriego y testigo.

| Parámetros      | Unidad | Testigo | Fertirriego con aguas mieles tratadas y de tercer lavado. |
|-----------------|--------|---------|---|
| Ceniza          | %      | 10,8    | 14,8  |
| Proteína cruda  | %      | 10      | 11,42   |
| Extracto Etéreo | %      | 1,0     | 3,3   |
| Fibra bruta     | %      | 29,6    | 30,0  |
| Nitrógeno       | %      | 1,6     | 1,82  |
| Calcio          | %      | 0,56    | 0,5   |
| Magnesio        | %      | 0,17    | 0,2   |
| Sodio           | mg/Kg  | 315,8   | 337,2   |
| Potasio         | %      | 2,62    | 3,8   |
| Hierro          | mg/Kg  | 244,8   | 139,8   |
| Cobre           | mg/Kg  | 27,9    | 15,3  |
| Manganeso       | mg/Kg  | 114,7   | 74,9  |
| Zinc            | mg/Kg  | 49,9    | 37,6  |
| Boro            | mg/Kg  | 43,2    | 59,1  |
| Fósforo         | %      | 0,12    | 0,2   |
| Azufre          | %      | 0,07    | 0,1   |

Fuente: Autor

Con los resultados de análisis bromatológico del pasto obtenido se evidenció que en la parcela tratada con fertirriego hay un incremento en el porcentaje de cenizas y nutrientes como; Mg, Na, K, B, P y S.

Así mismo el extracto etéreo, muestra incrementos significativos pasando del 1% al 3,3%, que de acuerdo con *Osorio (2004)*, a partir del 2,4 % se pueden considerar forrajes de buena calidad.

A nivel general, se refleja un incremento de nutrientes que favorecen la calidad del forraje, permitiendo comprobar la acción positiva del fertirriego como fuente de abono para las praderas.

En tanto, el periodo de corte del forraje afecta directamente el contenido de nutrimentos y de fibra bruta, la cual se incrementa con la madurez del cultivo afectando el aprovechamiento de los nutrimentos.

En cuanto al contenido de proteína, se encontró que para la edad del corte la planta cuenta con un nivel de proteína óptimo para la especie *Pennisetum Purpureum x Pennisetum Typhoide*, de acuerdo a los resultados, la muestra testigo cuenta con un 10%, mientras que la parcela tratada con fertirriego el contenido de proteína alcanza el 11,42%. Según *Contreras et-al (2018)*, para esta especie se ha alcanzado valores en proteína del 10%, en intervalos de corte de 90 días, sin embargo, *Araya y Boschini (2005)* reportaron 11,75 y 10,51 %, valores similares a los obtenidos en la presente investigación. Cabe anotar que el contenido de proteína disminuye con el incremento de lignina el cual está ligado al tiempo de corte, de acuerdo con *Segura et al. (2008)*.

**Tabla No. 4. Resultados de Análisis de suelos.** (Lote testigo y lote tratado con aguas mieles).

| Indicador | Unidad       | Lote testigo | Lote tratado con aguas mieles |
|-----------|--------------|--------------|-------------------------------|
| pH        |              | 5,24         | 5,33                          |
| N -TOTAL  | %            | 0,33         | 0,54                          |
| M.O       |              | 6,69         | 10,83                         |
| P         | (ppm)        | 4,85         | 7,62                          |
| Sat Al    | %            | 44,56        | 45,11                         |
| Al        | (meq/100g)   | 1,35         | 1,06                          |
| Ca        |              | 1,05         | 0,72                          |
| Mg        |              | 0,14         | 0,25                          |
| K         |              | 0,09         | 0,15                          |
| Na        |              | 0,16         | 0,36                          |
| CICe      |              | 2,79         | 2,54                          |
| B         | (ppm o mgKg) | 0            | 0                             |
| Cu        |              | 0,8          | 0,55                          |
| Fe        |              | 21,09        | 1,84                          |
| Mn        |              | 2,37         | 2,88                          |
| Zn        |              | 1,7          | 1,15                          |

Fuente: Autor.

**CICe:** Capacidad de intercambio catiónico.

De acuerdo con los resultados del análisis de suelos, se puede evidenciar en el lote tratado con aguas mieles incremento de Materia Orgánica, Nitrógeno total (N),



Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Sodio (Na).

Es de mencionar que la materia orgánica es un componente fundamental para el mejoramiento de la textura y estructura de los suelos, lo cual favorece la circulación de oxígeno, agua, microorganismos y el desarrollo radicular de las plantas.

Así mismo se concluye, que no hay alteración en los niveles de acidez del suelo, pese a los valores de pH de las aguas mieles aplicadas.

Sin embargo, se ve afectada la disponibilidad de Hierro, Cobre y Manganeso, dado que por la susceptibilidad de estos a incrementos moderados del pH se reduce la disponibilidad de dichos nutrientes, como lo menciona *Intagri (2018)*.

### **Discusión.**

Como se puede apreciar en investigaciones similares, los sistemas artesanales para el tratamiento de aguas mieles permiten reducir la carga contaminante de DBO y DQO a niveles permitidos por las normas nacionales, si se comparan los resultados obtenidos en esta investigación con los descritos por *Álvarez et al., (2011)*, se puede observar que los niveles de contaminación generados tradicionalmente durante la etapa de beneficio del café se reducen significativamente, como se presenta en el trabajo realizado en la comunidad de Carmen Pampa, municipio Coroico, Nor Yungas del departamento de La Paz en Bolivia y bajo diferentes condiciones climatológicas y de manejo del beneficio húmedo, las aguas mieles del café al ser tratadas biológicamente presentan descontaminación, debido a la acción de los microorganismos, en este caso específico la DBO fue reducida de 6102.5 mg O<sub>2</sub>/L a 1245 mg O<sub>2</sub>/L. y la DQO se ha reducido de 9800 mg O<sub>2</sub>/L a 1658.75 mg O<sub>2</sub>/L.

*Vítezová et al., (2019)*, considera que “La actividad respiratoria de los microorganismos puede ser un factor importante para tratamiento de aguas residuales, ya que su incremento nos permite lograr la máxima descomposición de complejos compuestos orgánicos, su participación en el metabolismo microbiano”, por lo tanto, se logran mejorar los procesos de descontaminación de las aguas mieles del café a través de la actividad microbiana.

Mediante el uso de lodos como inóculo provenientes de la etapa de beneficio, en investigaciones realizadas en Cuba por *Rodríguez et al., (2000)*, para el tratamiento de las aguas mieles, lograron remociones hasta del 46%, mediante la acción de microorganismos que utilizan los compuestos fermentables para su crecimiento, sin embargo, es de anotar que en términos de remoción existen porcentajes de DQO no biodegradables sin implicar inhibición para la reproducción de los microorganismos.

Así mismo, *Osorio (2007)*, en su investigación presenta resultados significativos en la remoción de hasta el 98% de la DQO. Adicionalmente se logra la producción de biogás a partir de la fermentación de las aguas, los bajos costos y fácil operatividad del sistema permiten su adopción por parte de los pequeños productores.

En otro contexto *Gardiman (2019)*, presenta reducciones significativas de la DQO mediante la utilización de sistemas electrolíticos para el manejo de aguas mieles, obteniendo remociones hasta del 70%. Evidenciándose la capacidad de descontaminación con la implementación de esta alternativa.

Situación muy similar ocurre en la finca la Palma, ubicada en la vereda Sevilla, departamento del Cauca, donde se logra reducir significativamente los niveles de contaminación con la implementación del sistema artesanal para el tratamiento de

aguas mieles, pasando de 10350 mgO<sub>2</sub>L. De DBO, a 683 mgO<sub>2</sub>L, mientras la DQO se reduce de 25000 a 940 mgO<sub>2</sub>L, por nombrar los principales indicadores, ratificando los logros alcanzados en el proyecto de investigación, convirtiéndose en una opción eficiente para el tratamiento de aguas residuales del café.

Los datos obtenidos en los análisis permiten comprobar que mediante la implementación de filtros artesanales se logra reducir la DQO y la DBO, hasta niveles permitidos en la Resolución 631 de 2015, logrando remociones más bajas de las permitidas en la DQO, por lo que el sistema demuestra eficiencia y se convierte en una alternativa viable para ser adoptada en las fincas cafeteras, minimizando el impacto ambiental causado en épocas de cosecha.

Los bajos costos y su fácil implementación son factores preponderantes para la masificación del sistema, especialmente en fincas de pequeños productores que por falta de recursos no cuentan con una alternativa para el tratamiento de las aguas mieles y continúan vertiéndose directamente a las fuentes naturales, causando degradación de los cuerpos de agua, del aire y del suelo.

La implementación del sistema artesanal utilizado en esta investigación a la fecha tiene un costo de \$769.000, frente a \$2.300.000 que cuesta la instalación del SMTA, para una finca de características similares a la del presente estudio.

Otro logro significativo es el reuso de las aguas mieles para el fertirriego de las parcelas de pasto King grass, logrando incrementar la producción de forraje hasta en un 223%, como resultado del aporte de nutrientes de las aguas aplicadas y al mejoramiento de los suelos tratados, ventajas que no se han tenido en cuenta en otros sistemas de manejo, lo cual no ha permitido valorar este subproducto

como un bio-insumo para la producción agrícola.

La investigación permite conocer el mejoramiento de la calidad del forraje con el incremento en los niveles de minerales como Ca, Mg, Na, K, P, S, Extracto Etéreo y cenizas, anotando que también se sufrió el descenso de elementos menores como el Fe, Cu y Mn, situación que obedece a diferentes factores, entre ellos la acidez del suelo lo cual es bien sabido que no permite la normal liberación de nutrientes, no obstante los resultados son favorables teniendo en cuenta el incremento de elementos mayores esenciales para el desarrollo de las plantas y la nutrición animal.

### **Conclusiones.**

Mediante alternativas artesanales a nivel predial, se logra reducir significativamente los valores de DBO y DQO, que permiten el cumplimiento de los niveles exigidos en la resolución 631 de 2015. Adicionalmente con este tratamiento se pueden obtener aguas mieles tratadas, con niveles importantes de nutrientes que representan un valioso aporte nutricional para uso en operaciones de fertirriego, incrementando el rendimiento de producción de biomasa y un mejoramiento de las propiedades del suelo en cultivos de pastos (King grass).

Otro subproducto resultante del tratamiento de las aguas mieles, son los sólidos (lodos), útiles como insumo para la producción de compost.

### **Agradecimiento.**

Primero a Dios, a los catedráticos de la maestría en DSMA, a la Universidad de Manizales, a la Universidad del Tolima, a mis compañeros, a mi familia y de manera especial al Doctor Walter Murillo, quien con su conocimiento ha hecho posible el desarrollo de este proceso.

## Referencias

- Álvarez et al., (2011), "*Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café (Coffea arábica) implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz*". [En Línea]. Disponible en [En Línea]. Disponible en [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942011000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942011000100005&script=sci_arttext)
- Araya y Boschini (2005). *Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de Pennisetum Purpureum en la meseta central de Costa Rica*. [En Línea]. Disponible en [http://www.mag.go.cr/rev\\_mesov/16n01\\_037.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_mesov/16n01_037.pdf)
- Comité de cafeteros del Cauca (2021), *Informe de Gestión 2020*. 3 pp [En Línea]. Disponible en <https://cauca.federaciondecafeteros.org/app/uploads/sites/2/2021/04/INFORME-DE-GESTI%C3%93N-con-enlaces.pdf>
- Contreras et-al (2018). *Composición química del pasto King grass (Pennisetum purpureum) a diferente intervalo de corte*. [En Línea]. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/249320199.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros-CENICAFÉ. (2004). *Cartilla Número 20. Beneficio del café, despulpado, remoción del mucilago y lavado*. [En Línea]. Disponible en [https://caldas.federaciondecafeteros.org/app/uploads/sites/11/2020/07/Cartilla\\_20-Beneficio-del-caf%C3%A9-I.-Despulpado-remoci%C3%B3n-de-mucilago-y-lavado.pdf](https://caldas.federaciondecafeteros.org/app/uploads/sites/11/2020/07/Cartilla_20-Beneficio-del-caf%C3%A9-I.-Despulpado-remoci%C3%B3n-de-mucilago-y-lavado.pdf)
- Gardiman et al. (2019), *avaliação da taxa de remoção e custo do tratamento da água residuária do café por um sistema eletrolítico*. [En Línea]. Disponible en <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6490/3488>
- INTAGRI. (2018). Disponibilidad de Nutrimientos y el pH del Suelo. Serie Nutrición Vegetal. Núm. 113. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p. [En Línea]. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrimientos-y-el-ph-del-suelo>
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2015). *Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*. [En Línea]. Disponible en <https://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/Resolucion-631-2015.pdf>
- Osorio (2007), "*El filtro anaeróbico con guadua: una alternativa para el tratamiento de las aguas mieles*" pp 14-18 [En Línea]. Disponible en <https://www.ircwash.org/sites/default/files/341.5-94FI-12133.PDF>
- Osorio 2004, citado por Correa 2011. *Evaluación de variables agronómicas, calidad del forraje y contenido de taninos condensados de la leguminosa Lotus corniculatus en respuesta a biofertilizante y fertilización química en condiciones agroecológicas de trópico alto andino colombiano*. [En Línea]. Disponible en

<http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v13n1/1900-3803-entra-13-01-00222.pdf>

Rodríguez et al., (2000). Estudio de la biodegradabilidad anaerobia de las aguas residuales del beneficio húmedo del café. [En Línea]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33905005>

Segura et al. (2008), citado por contreras (2018), [En Línea]. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/249320199.pdf>

Vítezová et al., (2019), The Possibility of Using Spent Coffee Grounds to Improve Wastewater Treatment Due to Respiration Activity of Microorganisms. [En Línea]. Disponible in <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/15/3155>

Zambrano et al. (1999), *Tratamiento de aguas residuales del lavado del café*. Centro nacional de investigaciones para café - CENICAFÉ [En Línea]. Disponible en <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot020.pdf>

Zambrano et al. (2006), *Tratamiento anaerobio de aguas mieles del café*. Centro nacional de investigaciones para café - CENICAFÉ [En Línea]. Disponible en <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot029.pdf>

Zambrano y Zuluaga (1993). *Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación*. Avance técnico 187-CENICAFE. [En Línea]. Disponible en [www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org).