

Evaluación de microorganismos en el tratamiento de aguas mieles del lavado de café y su influencia en el mejoramiento de suelos para la producción de almácigos de café.

Evaluation of microorganisms in the treatment of honey waters from coffee washing and their influence on soil improvement for the production of coffee seedlings.

Oscar D. Ruíz ¹

Manuel F. Polanco ²

Resumen

Para comparar la eficacia de productos biológicos en el tratamiento de aguas mieles, éstas se recolectaron en cinco reactores de 10 litros cada uno, allí se aplicaron tratamientos con diferentes dosis del producto **Aqua Clean ACF-32** y una con el producto **Bacthon®**. A pesar de las diferencias encontradas, estas no resultaron estadísticamente significativas entre tratamientos en ninguna de las variables estudiadas (pH, DBO5, DQO y SST), En la segunda fase de la investigación, para medir el desarrollo de los órganos de las plántulas de café, se evaluaron tres tratamientos con diferentes dosis de producto **Aquaclean™, ACF-SR Plus®**, un testigo y una sola dosis de producto **Bacthon® SC**. A pesar de las diferencias entre tratamientos, estas no alcanzaron a ser estadísticamente significativas para las variables altura, área foliar y peso fresco de la planta. Finalmente se pudo concluir que la aplicación de los productos biológicos

¹ Ingeniero Agroforestal, Estudiante de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales. Correo electrónico: oscar_ruiz7@hotmail.com

² Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias Agrarias, Doctor en Desarrollo Sostenible, Docente Ocasional de la Universidad de Manizales

Aquaclean™, ACF- 32® y Bacthon® SC no influyen en el aumento del pH, ni en la disminución de los niveles de DBO5, DQO y SST, de igual forma, la aplicación de **ACF-SR Plus® y Bacthon® SC** no favorecen el desarrollo de los órganos de las plántulas de café.

Abstract

To compare the efficacy of biological products in the treatment of honey waters, these were collected in five reactors of 10 liters each, where treatments with different doses of the Aqua Clean ACF-32 product and one with the Bacthon® product were applied. Despite the differences found, these were not statistically significant between treatments in any of the variables studied (pH, BOD5, COD, and TSS). In the second phase of the investigation, to measure the development of the organs of coffee seedlings Three treatments with different doses of Aquaclean™ product, ACF-SR Plus®, a control and a single dose of Bacthon® SC product were evaluated. Despite the differences between treatments, these were not statistically significant for the variables height, leaf area and fresh weight of the plant. Finally, it was concluded that the application of the biological products Aquaclean™, ACF-32® and Bacthon® SC do not influence the increase in pH, nor the decrease in the levels of BOD5, COD and SST, likewise, the application ACF-SR Plus® and Bacthon® SC do not promote the development of the organs of coffee seedlings.

Palabras clave: Beneficio de café, Biorremediación, Caficultura, contaminación, sostenibilidad.

Keywords: Benefit of the coffee, Bioremediation, Coffee growing, contamination, sustainability.

I Introducción

Uno de los retos de la caficultura a nivel mundial en el tema de sostenibilidad ambiental ha sido el manejo de los subproductos derivados del beneficio del café, por esta razón las organizaciones cafeteras han dedicado parte de sus esfuerzos a la investigación de tratamientos que permitan disminuir o eliminar los efectos causados por la producción de materiales contaminantes emitidos al medio ambiente.

En la actualidad la preocupación se centra en la contaminación que genera las aguas del lavado de café y el mucílago que desprende de los sistemas de desmucilaginado mecánico presentes en la tecnología Becolsub, los cuales pueden llegar a fuentes de agua y afectar de manera directa su calidad y la vida de la flora y fauna acuática presente en ellas al disminuir o desaparecer el oxígeno presente, el cual es usado por microorganismos encargados de la descomposición de residuos orgánicos, oxidándolos y transformándolos en gas carbónico, nitrógeno y agua, dando lugar a la instalación de microorganismos anaeróbicos que provocan cambio en la ecología de las aguas, produciendo las llamadas aguas muertas.(Arcila, 1979).

Las constantes disminuciones en los rendimientos de los cultivos, consecuencia del empobrecimiento cada vez mayor de los suelos a causa de las malas prácticas agronómicas, lleva a utilizar mayor cantidad de fertilizantes de origen mineral y sintético provocando el detrimento progresivo del ambiente.

El uso de microorganismos benéficos como técnica para el mejoramiento de la fertilidad de suelos no es nueva, aunque si ha sido muy poco difundida y reglamentada. Esta técnica, disminuye los impactos del método convencional de producción y minimiza los efectos adversos de la fertilización convencional y

promueven la sostenibilidad de los procesos productivos en la agricultura (Lira, 2017).

En el empleo de esta técnica se destaca el uso de rizobacterias y hongos formadores de micorrizas como uno de los avances más representativos en la microbiología y biotecnología de la agricultura actual, proporcionando grandes ventajas tanto en el mejoramiento de las condiciones de fertilidad de los suelos como en el propósito de conservar el medio ambiente, evitando el uso de productos tóxicos de origen sintético. (Mohammadi y Sohrabi, 2012; citado por Lira, 2017)

En la caficultura colombiana los efluentes que originan los beneficiaderos de café propios del tipo de sistema de beneficio que utilizamos en nuestro país para la producción de cafés suaves lavados, son una fuente enorme de contaminación, ya que, con la fermentación de las mieles producto de dos kilos de café cereza se produce una contaminación equivalente a los excrementos y orina generados por una persona en un día, de igual forma si la pulpa de café que resulta del despulpado en seco de cinco kilos de café cereza fuera arrojada directamente a las fuentes de agua produciría una contaminación equivalente a la de 6 personas en un día. (Zuluaga y Zambrano, 1993).

Debido a la necesidad de controlar la contaminación generada por el mucílago y las aguas mieles producidas en el proceso de beneficio húmedo de café, se han diseñado e implementado algunas prácticas para tratar los efluentes producto de este proceso que generalmente son costosas o necesitan de grandes áreas para su construcción. Por este motivo, es necesario también que el pequeño caficultor pueda tener la opción de realizar en sus pequeñas parcelas, tratamientos más prácticos y fáciles que le permitan tratar los efluentes generados y darles una utilidad en las demás labores que a diario realiza en su finca.

Las investigaciones realizadas por Cenicafé para lograr plántulas de café en el almácigo arrojan muy buenos resultados, entre ellas se destacan la mezcla de abonos orgánicos como lombrinaza al sustrato para el llenado de bolsas y/o la aplicación de una fuente de fósforo para el desarrollo de la planta. (Ávila, Sadeghian, Sánchez y Castro 2010). Con base en estas investigaciones se plantea: ¿Los productos biológicos pueden ser eficaces en el tratamiento de aguas mieles y el uso de éstos como práctica adicional a estas técnicas desarrolladas por Cenicafé podría mejorar el desarrollo de las plántulas en el almácigo?.

Con el desarrollo de esta propuesta de investigación, se pretende evaluar la eficacia de dos productos biológicos para el tratamiento de aguas mieles resultantes del lavado de café y el efecto de estos productos en el desarrollo de almácigos de café, al tiempo que se identifican las dosis más acertadas en la implementación de los dos procesos. Finalmente se plantea calcular los beneficios económicos y ambientales que se podrían obtener por el uso del producto biológico en los procesos ya mencionados.

II. Marco teórico

A. El Beneficio del café

El beneficio de café consiste en el proceso de transformación de café cereza en café pergamino seco (cps). En Colombia este beneficio se realiza generalmente por vía húmeda y comprende las etapas de: despulpado, lavado, remoción del mucílago y secado (Rodríguez, Sanz, Oliveros, Ramírez, 2015).

1. Tipos de beneficio de café en Colombia. El beneficio de café en Colombia se ha clasificado en cuatro tipos, dependiendo del manejo dado a los vertimientos y a la cantidad de agua utilizada en el proceso.

Los estudios hechos por CENICAFE, han permitido realizar esta clasificación y a la vez han permitido también desarrollar técnicas para que la contaminación por vertimientos y la cantidad de agua utilizada sean cada vez menores.

a. Beneficio convencional de café. Es aquel que tradicionalmente se ha utilizado para la transformación del café cereza en semilla, en el cual se utiliza agua para las etapas de despulpado, lavado y transporte del fruto, café despulpado y café lavado con un consumo global de agua cercano a los 40 litros por kilogramo de cps. (Rodríguez, et al, 2015).

b. Beneficiadero de café en transición. Este tipo de beneficiadero es aquel que se encuentra en proceso de implementación de prácticas y tecnologías para pasar a la categoría de ecológico y se caracteriza por presentar disminución en la utilización de agua, pero no en la contaminación generada, o presenta reducción en la contaminación generada pero no en el consumo de agua (Rodríguez et al, 2015).

c. Beneficio ecológico del café. Se define como un proceso amigable con el medio ambiente, en el cual se realizan un “conjunto de operaciones para transformar la café cereza en cps. conservando la calidad exigida por las normas de comercialización, evitando pérdidas del producto y eliminando procesos innecesarios lográndose además el aprovechamiento de los subproductos, lo cual representa el mayor ingreso económico para el caficultor y la mínima alteración del

agua estrictamente necesaria en el beneficio. (Roa, Oliveros, Álvarez, Ramírez, Sanz, Dávila, Álvarez, Zambrano, Puerta, Rodríguez, 1999).

Este tipo de beneficio de café se caracteriza por:

- El despulpado y transporte de la pulpa se realiza sin agua.
- La eliminación del mucílago se realiza de forma natural o mecánica, utilizando desmucilagadores y lavadores mecánicos o tanques de fermentación.
- Permite lavar y clasificar el café, con consumo específico de agua inferior a 5 litros por kilo de cps.
- La transformación de la pulpa se realiza en una fosa, con el área.
- correspondiente a la producción y debidamente techada.
- Se realiza el control de la contaminación mediante el aprovechamiento de los subproductos (Roa, Oliveros, Álvarez, Ramírez, Sanz y Álvarez, 1997).

Al despulpar el café sin agua y realizar el transporte no hidráulico de la pulpa hasta una fosa techada, se evita el 74% de la contaminación potencial de los recursos hídricos, por causa de los subproductos del proceso de beneficio, sin afectar el funcionamiento de la máquina despulpadora ni la calidad del producto. (Álvarez, 1991).

d. Beneficio ecológico de café sin vertimientos. En este tipo de beneficio se da un uso racional al recurso agua y se da tratamiento a los subproductos y aguas residuales de tal forma que no genera vertimientos. Para este fin CENICAFÉ propone una tecnología que integra en el proceso del beneficio prácticas y equipos con un uso racional del agua y la generación de cero vertimientos. Un dato que caracteriza este tipo de beneficio además de la no generación de vertimientos es la

utilización de agua mínima para el desarrollo del proceso: 0.5litros/kg cps.

(Rodríguez et al, 2015).

e. Tecnología Becolsub. Esta tecnología desarrollada por CENICAFE, fue creada no solamente para fines de obtener calidad en la taza de café sino también para controlar la contaminación potencial de las fuentes de agua ocasionada por la pulpa y el mucílago producido en el proceso de beneficio (Rodríguez, et al, 2015). Esta tecnología integra en un solo equipo un desmucilagador mecánico con bajo consumo específico de agua, el cual despulpa el café sin utilizar agua y el manejo de los subproductos con un tornillo sinfín. Entre otras ventajas se enumeran las siguientes:

- Reducción del consumo específico de agua.
- Disminución en más del 90% de la contaminación generada en el proceso.
- Disminución de la utilización de mano de obra.
- Menor daño ocasionado al grano, lo que genera una mejor calidad física.
- Mejora la calidad de la taza de café al tener un mayor control en el proceso, entre otros. (Roa, et al,1997).

f. Tecnología Ecomil. Esta tecnología se desarrolló para un beneficio de café con bajo consumo específico de agua, entre 0.3 y 0.5 litros por Kg de cps. En ella se integra en un módulo, el despulpado sin agua, el transporte del café y la pulpa por medios mecánicos o utilizando la gravedad y el lavado en un equipo de flujo vertical ascendente de granos y descarga radial de las aguas residuales del lavado del café, proceso en el cual solamente se utiliza agua para el lavado. (Oliveros, Sanz, Ramírez, Tibaduisa, 2013).

Las aguas resultantes del lavado de café pueden adicionarse a la pulpa o someterlas a deshidratación en secadores.

Desde hace aproximadamente 37 años CENICAFE publicó en su avance técnico número 96 los perjuicios causados por las mieles del beneficio de café entre los cuales se destacan:

- Muerte de la fauna acuática.
- Proliferación de organismos patógenos.
- Malos olores, sabores y colores en las aguas.
- Corrosión del acero y degradación del cemento y el baldosín
- Impide el paso de la luz, lo que ocasiona la muerte de la flora acuática.
- Los desechos especialmente los sólidos atraen moscas y otros insectos perjudiciales. (Arcila,1979).

En cuanto a la carga contaminante resultante del beneficio de café, Ramírez, Oliveros y Sanz (2015) encontraron que utilizando 4.17 litros de agua por Kg de cps al realizar 4 enjuagues en tanques tina, se genera una contaminación promedio cercana a 26500 partes por millón (ppm) de DQO por Kg de cps, mientras que en la tecnología Becolsub, los lixiviados generados pueden llegar a generar una contaminación cercana a 110000 ppm de DQO por Kg de cps., con la ventaja que en esta tecnología se logra remover dicha carga contaminante en un 80 a 90 %.

En este tema se han propuesto diferentes métodos para el tratamiento de este subproducto, desde simples compostajes, hasta sistemas modulares para el tratamiento anaeróbico (SMTA), pasando por mecanismos de biodigestión (Morales y Mejía, 2015), un sistema de floculación y oxidación mediante placas metálicas,

(Innovación para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café, 2018), postratamientos con macrófitas acuáticas (Rodríguez 2009) hasta avanzados sistemas de fuentes de energía renovable en donde este material puede utilizarse como combustible o transformarse en bioetanol o biogás. (Rodríguez y Zambrano, 2011).

Por otra parte, las constantes disminuciones en los rendimientos de los cultivos, consecuencia del empobrecimiento cada vez mayor de los suelos a causa de las malas prácticas agronómicas, ha llevado a la utilización de mayores cantidades de fertilizantes de origen mineral y sintético provocando el detrimento progresivo del ambiente.

El costo de los fertilizantes y la salinidad progresiva de los suelos por la utilización de estos productos de origen mineral y sintético, nos debe llevar a reflexionar sobre la búsqueda y la utilización de fuentes alternativas menos costosas, más naturales y en armonía con el medio ambiente para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos.

La utilización de microorganismos para mejorar las condiciones fisicoquímicas de los suelos podría ser una alternativa viable para remediar la pérdida de fertilidad en ellos, que sustituya o complemente las prácticas convencionales de fertilización y mejoramiento de suelos con un enfoque de sostenibilidad económica y ambiental.

B. El Mucílago del fruto del café.

Este subproducto corresponde al mesocarpio del fruto del café, que es la capa que se localiza entre la pulpa y el pergamino compuesto por tejidos hialinos que no contienen cafeína ni taninos ricos en azúcares y pectinas. (Elías, 1978). Esta composición química hace de este residuo, un suplemento potencialmente

adecuado en la alimentación animal. (Garavito, 1998). En el fruto de café, el mucílago representa el 11% del peso del fruto, con contenidos del 85 al 89% de agua, 8 a 10% de Carbohidratos que en su mayoría son sustancias pécticas y azúcares, un 1% de lípidos y 0,45% de minerales. (Puerta, 2010). Sadeghian, Mejía y Arcila, (2007) reportan además las concentraciones de minerales en la composición del mucílago de café de 1.35% de N., 0,12% de P y 1,28% de K.

C. Microorganismos Eficaces (ME).

“El uso de microorganismos como herramientas de descontaminación es bastante reciente. Los avances más grandes en el tema se realizaron luego del derrame de petróleo del Exxon Valdez en las costas de Prince William, en Alaska en 1990.

Puesto que este desastre ecológico dejó gran cantidad de petróleo en el agua, se buscaron formas alternativas de lidiar con la contaminación.

Los científicos que desarrollaron las primeras experiencias exitosas de bioremediación de petróleo a gran escala en Alaska, se basaron en la premisa de que todos los ecosistemas naturales poseen microorganismos capaces de metabolizar los compuestos tóxicos y xenobióticos, aunque estos suelen encontrarse en proporciones menores al 1% de la comunidad microbiana. Esta premisa se cumplió en Alaska y en casi todos los casos estudiados posteriormente. Estas experiencias llevaron a los científicos a estudiar más a fondo la bioquímica del metabolismo de los microorganismos. Años de investigación evidenciaron que en el planeta existen microorganismos para producir o degradar prácticamente cualquier tipo de sustancia natural, y que podían ser aprovechados para descontaminar aguas y suelos a menor costo y en menor tiempo, respecto a las técnicas tradicionales” (Fontúrbel e Ibáñez, 2004).

1. ME. En el mejoramiento de las condiciones del suelo. Para este objetivo, se han producido diversidad de bioabonos con diferentes concentraciones y para diferentes propósitos que en su preparación utilizan también diferentes tipos de bacterias.

Estos microorganismos que habitan de manera natural en el suelo, se aíslan y se inoculan nuevamente en la rizosfera de la planta, aumentando sus poblaciones y mediante su actividad biológica contribuyen a la mineralización de la materia orgánica presente en el suelo dejando libres sustancias promotoras de crecimiento y poniendo a disposición de las plantas los nutrientes necesarios para su desarrollo (FAO, 2009).

Entre algunos de los microorganismos eficientes más importantes se encuentran:

- Fijadores de Nitrógeno y producción de fitohormonas: *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter sp.*, *Acetobacter diazotrophicus* (*Gluconacetobacter diazotrophicus*). (Torriente, 2010); *Cyanobacteria anabaena*, *Nostoc spp.*, *Cylindrospermum spp.*, *Aulosira spp.*, *Talipotrix spp.*, (Alarcón, et al, 1998 citado por Velazco, 2014)
- Antagónicos de hongos patógenos: *Burkholderia cepacia* (*Pseudomonas*)
- Descomponedores de la materia orgánica: levaduras del género *Sacharomice* y bacterias de los géneros *Penicillium* y *Clostridium* (Vásquez, Torres, Quesquén, Alvarado, 2019).

2. ME. En el tratamiento de aguas residuales. Para la descontaminación de aguas es posible crear bioreactores y biodigestores empleando microorganismos aerobios y anaerobios. También se han desarrollado tecnologías para emplear

microorganismos fotosintéticos para la construcción de fotobioreactores, muy útiles para eliminar nutrientes en exceso de las aguas eutrofizadas. En la actualidad, también se han desarrollado mucho las tecnologías de bioremediación, que no precisan de la construcción de costosa infraestructura y tienen un impacto ambiental secundario mínimo (Fontúrbel e Ibáñez, 2004).

Los primeros diseños de procesos y plantas de tratamiento, pioneros en la descontaminación de aguas, se basaban en el empleo secuencial de métodos físicos y químicos, por medio de los que se conseguía remover gran parte de los contaminantes de aguas contaminadas, como aguas servidas, aguas eutrofizadas o aguas receptoras de desechos industriales, relaves, etc. Estas tecnologías de descontaminación fisicoquímica son costosas y requieren de infraestructura especial para realizarse, que muchas veces no es factible de construirse por la elevada inversión necesaria. (Fontúrbel e Ibáñez, 2004).

D. Tecnología Blue Planet.

Esta tecnología consta de exclusivos compuestos microbiológicos producidos en los laboratorios de Blue Planet labs., los cuales descomponen de manera natural y rápida los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua, aire y suelo, fijando y solubilizando los elementos nutricionales que no están en formas asimilables y producen un ambiente adecuado para el desarrollo de las plantas. (Tecnología Blue Planet para la restauración Natural, s.f.).

1. Aqua Clean ACF-32. Este es un producto que se cataloga como un bioestimulante fisiológico, degradador de la materia orgánica, para aplicación en

tratamientos de aguas residuales tanto en plantas como en aguas abiertas, contiene cepas de organismos heterótrofos, anaeróbicos como bacterias fotosintéticas, Bacillus y Nitrificantes en solución acuosa. (Aquaclean ACF-32. 2016).

2. ACF-SR Plus. “este producto trabaja al contacto para establecer una diversidad biológica esencial a nivel de raíces y incrementa la fotosíntesis a nivel foliar y retiene los nutrientes en la zona radical. Estos y muchos otros procesos biológicos, físicos y químicos, aumentan las propiedades naturales de las plantas para la conversión, solubilización y utilización de elementos orgánicos e inorgánicos, lo que resulta en una mayor absorción de los nutrientes y de los requerimientos minerales por parte de las plantas.” (Tecnología Blue Planet para la restauración Natural, s.f.). este producto es una innovación tecnológica de cepas naturales de Bacillus heterotróficos, aerobios, anaerobios-facultativos, bacterias fotosintéticas, ácidos húmicos y fúlvicos en una solución acuosa, como mejoradora de las características físicas y las condiciones bioquímicas del suelo.

E. Tecnología Bacthon sc.

“BACTHON SC es un Inoculante Biológico formulado con las bacterias y levaduras benéficas del suelo *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae* (Orius Biotecnología, 2006), que actúan mejorando y desintoxicando el suelo agrícola y las raíces, de las toxinas, alcoholes, amonios, agroquímicos, que se acumulan con la descomposición de los residuos del cultivo anterior, con el manejo químico de los problemas y con la aplicación de los fertilizantes en el suelo. También digiere y bio transforma los residuos de cosecha hasta convertirlos en suelo y en nutrientes mejorando la fertilidad o fracción orgánica. Activa la formación de raíces y activa la bionutrición

mejorando la asimilación de los nutrientes que están fijos en el suelo, se mejora el establecimiento de la planta y la tolerancia a las condiciones difíciles iniciales para formar plantas muy fuertes y productivas. Esta formulado con microorganismos benéficos del suelo con actividades nitrificantes, proteolíticas, celulolíticas, fosfolubilizadoras y promotoras de crecimiento radicular.” (Para desintoxicar el suelo y las raíces, para bionutrir las plantas, 2017).

II Materiales y Métodos

A. Macrolocalización.

La investigación se desarrolló en el sur del país, en la zona cafetera del municipio de Bolívar, al sur del departamento del Cauca, ubicado en el costado occidental de la cordillera central, haciendo parte del gran Macizo Colombiano a una distancia aproximada de 165 kilómetros de la capital del departamento.

B. Microlocalización.

La finca se encuentra ubicada a 1° 45' 54" latitud norte y a 76° 59' 48" longitud oeste, en la vereda Florida baja del corregimiento de San Lorenzo, al sur del municipio de Bolívar Cauca. Esta finca fue escogida porque representa las fincas de la zona en cuanto a tamaño, área en café, sistema de beneficio y adopción de tecnología por parte de sus propietarios.

C. Materiales.

Para medir los productos Aquaclean™, AFC-32® y Bacthon® sc, que se aplicó en cada tratamiento, se utilizaron jeringas de 1cc y 5cc.

El proceso de beneficio de café se llevó a cabo en un beneficiadero ecológico convencional con tanques de fermentación tipo tina. Las aguas mieles de los tres primeros lavados se recogieron en canecas plástica con capacidad de 50 litros que posteriormente se mezclaron y se distribuyeron a cinco reactores plásticos con capacidad de 10 litros cada uno. Para la aplicación de los productos se utilizarán las mismas jeringas de 1 y 5 cc. La muestra de agua de los diferentes tratamientos se recogió en envases de plástico para ser llevada al laboratorio de la Corporación Autónoma Regional del Cauca. CRC.

D. Tratamiento de las Aguas Mieles (AM) a partir de la aplicación de Aquaclean™, ACF- 32® y Bacthon® sc.

Con una masa de café despulpado dispuesta en los tanques de fermentación, por 17 horas, se procedió al lavado respectivo. En un recipiente se recogieron 50 litros de las AM provenientes del primer lavado, en otro recipiente se recogieron 50 litros de las AM del segundo lavado y en otro se hizo lo mismo para las aguas del tercer lavado. Estas aguas de los tres lavados se mezclaron y se pasaron a cinco reactores (canecas plásticas) que corresponden a las unidades experimentales (figura 1) con 10 litros cada uno, en donde se aplicaron diferentes dosis que correspondieron a cada tratamiento de la siguiente manera:

T0: Testigo, sin adición de ningún producto biológico

T1: día 1 y 8: 1 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

Día 15 y 22: 0,75 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

Día 29 y 36: 0,50 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

Día 43 y 50: 0,25 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

T2: día 1 y 8: 0.50 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

Día 15 y 22: 0,38 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

Día 29 y 36: 0,25 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

Día 43 y 50: 0,13 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

T3: día 1 y 8: 0,05 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

Día 15 y 22 0,05 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

Día 29 y 36: 0,05 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

Día 43 y 50: 0,05 cc de Aquaclean™, AFC-32®/L de AM.

T4 día 1 y 8: 0,50 cc de Bacthon® sc/L de AM.

Día 15 y 22: 0,38 cc de Bacthon® sc/L de AM.

Día 29 y 36: 0,25 cc de Bacthon® sc/L de AM.

Día 43 y 50: 0,13 cc de Bacthon® sc/L de AM

Figura 1: Unidades experimentales.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 1 se puede apreciar la programación de aplicaciones y muestreos a las aguas mieles comenzando con el primer muestreo al inicio del proceso, luego de cuatro semanas de iniciado el proceso (día 30) se hizo un segundo muestreo de las aguas de cada reactor con su respectivo tratamiento y una tercera muestra se tomó a las 8 semanas (día 58). Cada una de estas muestras se llevaron al laboratorio

para medir DBO, DQO, SST y pH. para poder comparar la evolución de la calidad del agua con respecto a la primera muestra tomada y poder definir finalmente el mejor tratamiento.

Tabla 1. Cronograma de aplicaciones y muestreos de aguas mieles.

N° DE DOSIS	DIA 1	DIA 8	DIA 15	DIA 22	DIA 30	DIA 36	DIA 43	DIA 50	DIA 58
1 ^a y 2 ^a	X	X							
3 ^a y 4 ^a			X	X					
5 ^a y 6 ^a					X	X			
7 ^a y 8 ^a							X	X	
muestreo de aguas	X				X				X

Fuente: elaboración propia.

1. Muestreos. La toma de las muestras se realizó agitando las aguas de cada reactor por un tiempo de 15 segundos con un tubo de PVC y en un envase plástico se recogió un litro de cada una para ser llevadas al laboratorio de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), estas muestras se transportaron en un recipiente a baja temperatura como lo recomienda el protocolo para la toma de muestras de la CRC.

E. Mejoramiento de la calidad del suelo a partir de la aplicación de Aquaclean™, ACF-SR Plus® y Bacthon® sc.

El almácigo se cubrió con poli sombra al 50% elevada a tres metros del suelo, para evitar estrés de las plántulas por efecto de la luz atendiendo a la recomendación de Cenicafé en su avance técnico 452 (Farfán, Serna y Sánchez, 2015).

Se utilizó el producto Aquaclean™, ACF-SR Plus® y Bacthon® SC para evaluar el efecto de estos productos aplicados al sustrato (mezcla de tierra más Orbiagro en relación 3:1) que se utilizó en el llenado de bolsas para el posterior enchaplado. El producto Orbiagro tiene la siguiente composición:

Nitrógeno total: 1.72%

Fósforo asimilable (P₂O₅): 3.35%

Potasio soluble en agua (K₂O): 2.70%

Materia Orgánica: 27%

Carbono orgánico: 15.7%

Relación C/N: 9.5%

Cenizas: 45%

Humedad: 13.6%

Vale la pena aclarar que para la presente investigación se quiso partir de la base científica desarrollada por Cenicafé donde recomienda la aplicación de 2 gramos de P₂O₅ a cada bolsa a los dos y cuatro meses después de enchapolar (Ávila, et al, 2010). Con los tratamientos planteados se pretende medir la eficiencia de los productos biológicos sobre la tecnología actual propuesta por Cenicafé para saber si al aplicar dichos productos sobre suelos tratados con Fósforo hay un mejor rendimiento en las plántulas de café de acuerdo con las variables altura, área foliar, peso fresco y longitud de raíz.

Los tratamientos consisten en diferentes concentraciones del producto aplicado al sustrato de la bolsa, de la siguiente manera:

T0: testigo, sin la aplicación de ningún producto biológico.

T1: aplicación de DAP 5 gramos por bolsa a los 45 y 90 días de enchaplado, sin aplicación de producto biológico.

T2: una aplicación de producto Aquaclean™, ACF-SR Plus® en concentración de 5cc por litro aplicando 20cc de la mezcla por planta 15 días antes del enchapolado, el día del enchapolado, al mes y a los dos meses de enchapolado, más la aplicación de 5 gramos de DAP a los 45 y 90 días de enchapolado y adicionando una fuente de energía (miel de purga) para la reactivación de las bacterias.

T3: una aplicación de producto Aquaclean™ ACF-SR Plus® en concentración de 10cc por litro y repitiendo el procedimiento del tratamiento uno.

T4: una aplicación de producto Aquaclean™ ACF-SR Plus® en concentración de 15cc por litro y repitiendo el procedimiento del tratamiento uno.

T5: una aplicación de producto Bacthon® sc, en concentración de 10 cc por litro y repitiendo el procedimiento del tratamiento uno.

Tabla 2. Cronograma de aplicaciones y medición, fase de suelo.

TRATAMIENTO	DIA DE LA ACTIVIDAD							
	-15	1	30	45	60	68	90	180
T0								MED
T1				DAP			DAP	MED
T2	AB	ENC+ AB	AB	DAP	AB	FE	DAP	MED
T3	AB	ENC+ AB	AB	DAP	AB	FE	DAP	MED
T4	AB	ENC+ AB	AB	DAP	AB	FE	DAP	MED
T5	AB	ENC+ AB	AB	DAP	AB	FE	DAP	MED

Fuente: elaboración propia.

AB: aplicación a la bolsa

ENC + AB: enchapolado y aplicación a la bolsa

DAP: aplicación de DAP a la bolsa

MED: medición

FE: fuente de energía (miel de purga)

Las bolsas que se utilizaron para el almácigo miden 17 por 23 centímetros, una vez enchapoladas las bolsas llenas de tierra negra mezcladas con Orbiagro en relación 3 a 1 se procedió a arreglarlas en un sistema de bloques completos al azar, para luego marcar cada grupo de plantas y sus repeticiones con su respectivo tratamiento en todos los bloques. En la tabla 2 se presenta el cronograma de actividades de esta fase del proyecto.

La semilla de café utilizada fue de variedad Castillo, la cual se llevó a un germinador construido en arena lavada de río. A los 180 días se realizó la medición de las variables altura de la planta, peso fresco de la planta, longitud de la raíz y área foliar de 15 plantas por tratamiento.

1. Diseño experimental. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar. Se establecieron tres bloques, con repeticiones de 15 bolsas en cada uno para un total de 270 bolsas o unidades experimentales. Las unidades experimentales fueron colocadas en filas de 5 bolsas para un total de 18 hileras por bloque (figura 2). Las variables de respuesta utilizadas fueron: Altura de la planta, longitud de la raíz, Peso de materia Seca, y área foliar. Para la medición de la altura de las plantas y longitud de las raíces se utilizó una regla de 30 centímetros de largo, para el peso de la materia fresca se utilizó una balanza de precisión y para calcular el área foliar se utilizó un software libre para análisis de imágenes(image j) el cual utiliza las fotografías tomadas por una cámara digital de un celular y realiza un cálculo del área de las hojas de la fotografía con un error de cálculo muy pequeño.(Rincón, Olarte y Pérez, 2012).

F. Cálculo de los efectos económicos y ambientales.

Se calcularán los costos para el tratamiento de aguas de una finca con una producción promedio de 300 arrobas de cps, teniendo en cuenta el costo de los materiales, producto utilizado y mano de obra, así como también los costos de producción de un almácigo de café, según los resultados de los tratamientos aplicados, para ello se tendrá en cuenta todos los rubros que intervienen en el proceso de producción de la plántula de café, listando cada uno de los ítems y clasificándolos en costos directos e indirectos.

Figura 2: diseño experimental, fase de mejoramiento de la calidad del suelo.



Fuente: elaboración propia.

G. Análisis de la información.

Para la etapa de análisis de las aguas mieles, se utilizó el programa SPSS (*Paquete estadístico para ciencias sociales*), donde se realizó una prueba de ANOVA para determinar la existencia de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y con cada una de las variables para poder definir, según sus resultados, cuál es el mejor.

Para la fase de mejoramiento de la calidad del suelo, se utilizó el mismo paquete estadístico, en donde la aplicación del ANOVA, nos permita determinar la existencia o no de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos planteados según las variables a analizar, para realizar posteriormente la prueba de Duncan y analizar las diferencias encontradas.

III Resultados y Discusión

A. Análisis de las aguas mieles frente a la aplicación de diferentes tratamientos con productos biológicos.

En la tabla 3 se presentan los resultados de los análisis de las muestras de aguas mieles de los diferentes tratamientos con respecto a las variables: pH, DBO₅, DQO y SST. al realizar las pruebas estadísticas, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados ni con relación al testigo, con un nivel de confianza del 95%.

1. pH: a pesar de que se observa un comportamiento favorable para los tratamientos 2 y 3, correspondientes a las dosis más bajas del producto Aquaclean™, AFC-32®, que representan el 16.5% aproximadamente con respecto al resultado de la muestra inicial, esta diferencia no alcanza a ser estadísticamente significativa con los resultados del testigo que incrementó en un 9.5% ni con el resto de los tratamientos que alcanzaron incrementos cercanos al 15%.

DBO₅: El T1 alcanzó el nivel más alto de eficiencia con un 68%, mientras que el T4 y el testigo redujeron los niveles de esta variable aproximadamente a 63 y 50% respectivamente con respecto al resultado de la muestra inicial, sin embargo, dichos valores no generaron diferencia estadística significativa. Los niveles alcanzados por el testigo podrían deberse quizás a los microorganismos naturales presentes en las

aguas tratadas, según lo reportado por Puerta, Marín y Osorio (2012) donde encontraron diferentes tipos de microorganismos descomponedores de la materia orgánica en el mucílago resultante del beneficio del café.

Tabla 3. Análisis químico de laboratorio de las aguas mieles del beneficio.

pH					
MUESTREOS	TRATAMIENTOS				
	T0	T1	T2	T3	T4
17 DE MAYO (INICIAL)	3,88	3,88	3,88	3,88	3,88
17 DE JUNIO	4,06	3,89	3,83	3,84	3,84
15 DE JULIO (FINAL)	4,25	4,46	4,53	4,52	4,46
	A	A	A	A	A
Duncan Alpha: 0.05 P Valor= 0.997, DS= 0,29, CV= 0,071					

DBO5 (miligramos de oxígeno diatómico por litro)					
MUESTREOS	TRATAMIENTOS				
	T0	T1	T2	T3	T4
7 DE MAYO (INICIAL)	14445	14445	14445	14445	14445
17 DE JUNIO	10795	6832	6682	6435	6904
15 DE JULIO (FINAL)	7145	4570	4805	5035	5330
	A	A	A	A	A
Duncan Alpha: 0.05 P Valor= 0,999 DS= 4288,98 CV= 0,48					

DQO (mg O ₂ /l)					
MUESTREOS	TRATAMIENTOS				
	T0	T1	T2	T3	T4
17 DE MAYO (INICIAL)	23400	23400	23400	23400	23400
17 DE JUNIO	17205	10940	11750	9970	14460
15 DE JULIO (FINAL)	11010	11620	15110	9000	13750
	A	A	A	A	A
Duncan Alpha: 0.05 P Valor= 0,980 DS= 5916,80 CV= 0,37					

SST (mg/l)					
MUESTREOS	TRATAMIENTOS				
	T0	T1	T2	T3	T4
17 DE MAYO (INICIAL)	7860	7860	7860	7860	7860
17 DE JUNIO	5830	5033	5167	5033	4733
15 DE JULIO (FINAL)	3800	4533	4300	4100	4667
	A	A	A	A	A
Duncan Alpha: 0.05 P Valor= 0,999 DS= 1662,77 CV= 0,29					

Fuente: elaboración propia.

3. DQO: El tratamiento tres redujo los indicadores de esta variable en 61% frente a los resultados de la muestra inicial, el testigo por su parte redujo este indicador en 52% debido quizás a las mismas razones expuestas por Puerta, Marín y Osorio (2012). Los otros tratamientos mostraron menos eficiencia que el testigo. Al final estas diferencias no mostraron significancia estadística.

4. SST: El testigo mostró los rendimientos más altos en la reducción de los niveles de esta variable con un 51% aproximadamente frente al valor de la muestra inicial, sin embargo, la diferencia frente al resultado del resto de tratamientos no mostró estadísticas significativas al realizar el análisis de varianza.

Resultados similares a los de la presente investigación fueron obtenidos por Salazar (2019) al encontrar reducciones del 60% y 48% en los indicadores de DQO y DBO₅ respectivamente, teniendo en cuenta que en dicho estudio se utilizó un biodigestor como medio para descontaminar las aguas mieles en donde solo se utilizó estiércol de ganado como inóculo de microorganismos, sin embargo, uno de los mejores resultados sigue siendo el reportado por Zambrano, Rodríguez, Orozco y López (2015), quienes encontraron reducciones del 87 y 88% aproximadamente en los niveles de DQO y DBO₅ en un reactor metanogénico tipo filtro anaeróbico con un sistema de flujo ascendente para tratar este tipo de aguas, donde también solo se utilizó estiércol de ganado como inóculo.

A pesar de que el olor de las aguas no fue una variable que se consideró para la presente investigación, podría decirse que esta característica se mantuvo normal a lo largo del proceso en las aguas de los tratamientos estudiados a diferencia del testigo que produjo olores putrefactos al final del periodo de retención hidráulica.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Fioravanti et al (2004), donde los olores pasaron de un nivel putrefacto a un nivel fuerte de fermentación, al aplicar microorganismos eficientes en un estudio realizado en lodos sépticos producidos en la Universidad EARTH, en Costa Rica.

Resultados positivos, pero en menor porcentaje también fueron encontrados por Benítez (2018), quien reporta disminuciones en los niveles de DBO y DQO de 15.2% y 39.9% respectivamente, en aplicaciones con ACF-32 en aguas de lavado de café. El pH por su parte, también tuvo un incremento del 8.2% en dicha investigación, el cual también fue menor al encontrado en el presente experimento que fue del 16.5%.

En un estudio realizado con Bacthon SC, Posada y Mosquera (2007) en un trabajo de investigación realizado para mejorar la calidad de los vertimientos arrojados a las corrientes de agua y cumplir la norma de vertimiento en una industria de pinturas a base de agua, encontraron que la aplicación de este producto puede degradar las sustancias presentes en las aguas residuales de los efluentes de dicha industria hasta en un 73% de su contenido, mejorando notablemente la calidad de sus efluentes.

Resultados similares a los encontrados en la presente investigación fueron encontrados por Cardona y García (2008), en un estudio sobre la evaluación del efecto de los EM sobre la calidad de un agua residual doméstica, donde reportan no haber encontrado diferencias significativas entre la no aplicación de EM y la aplicación de estos en diferentes dosis para las variables pH, DQO, SST, compuestos nitrogenados y contenidos de otros minerales, a excepción de los contenidos de S² y coliformes fecales, así como también el aumento en los recuentos de levaduras y mayor DBO en los tratamientos.

B. Mejoramiento de la calidad del suelo a partir de la aplicación de Aquaclean™, ACF-SR Plus® y Bacthon® sc.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las dosis aplicadas de los diferentes productos utilizados, ni tampoco con la recomendación de Cenicafé para la producción de almácigos, que permitan dar una recomendación técnica efectiva para el uso de microorganismos eficientes en la etapa de producción de almácigos de café. Los resultados de las mediciones de las cuatro variables se pueden observar en las tablas 4, 5, 6 y 7.

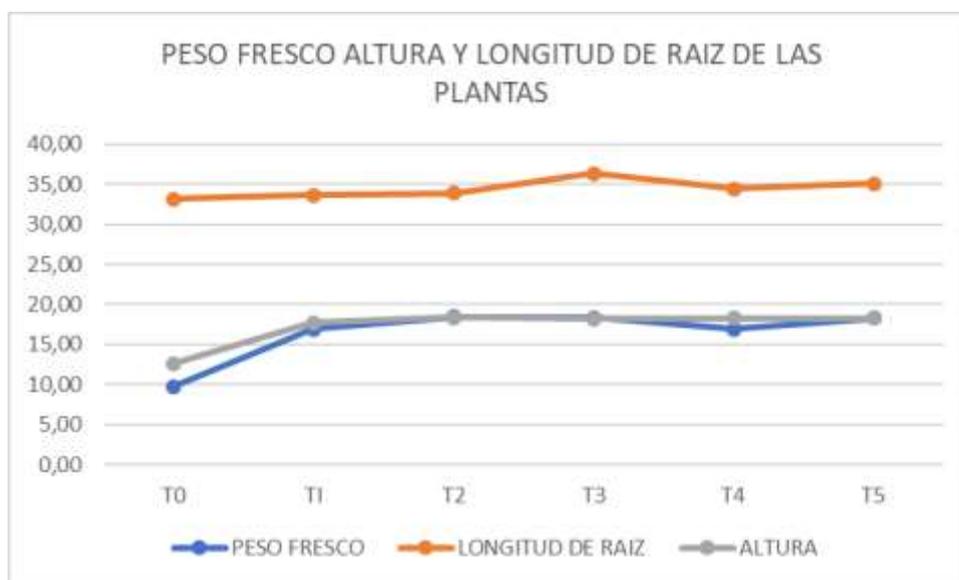
1. Altura de las plantas. La mayor diferencia en esta variable se da entre los tratamientos T2 y T1, donde el promedio de las plántulas del tratamiento dos solo superó en 3.6% la altura promedio de las plantas del tratamiento uno., por lo que se puede concluir que la altura de las plántulas de café tuvo un comportamiento muy similar en todos los tratamientos a excepción del testigo. Las diferencias estadísticas se presentaron entre el testigo versus el resto de los tratamientos, pero no entre ellos (figura 4).

Figura 3. Desarrollo de las plántulas de café en los diferentes tratamientos.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Comportamiento del peso fresco, longitud de raíz y altura de las plantas.



Fuente: elaboración propia.

2. Longitud de raíz. Es importante anotar que al momento del muestreo destructivo todas las raíces principales de las plantas habían traspasado la bolsa. En la figura 4 se puede observar un desarrollo de raíces muy similar en todos los tratamientos, incluido el testigo. El ANOVA para esta variable permitió determinar que no existe diferencias significativas, por lo que se puede concluir los productos evaluados en el presente estudio no influyen en la longitud de las raíces de las plántulas de café.

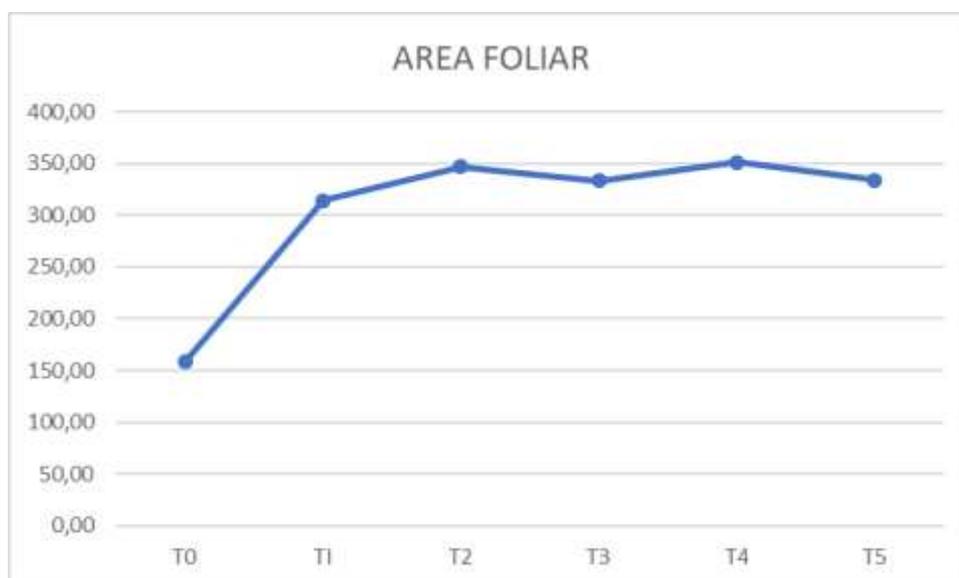
3. Peso fresco de la planta. En la figura 4 se puede observar el comportamiento de los tratamientos respecto a esta variable, donde se puede apreciar la similitud de los resultados. Las diferencias estadísticas en esta variable también corresponden a la del testigo frente al resto de los tratamientos, pero no se evidencia la diferencia entre estos (anexo 11).

Figura 5. Desarrollo de raíces de plántulas de café por tratamiento.



Fuente: elaboración propia.

Figura 6: comportamiento del Área foliar en los diferentes tratamientos.



Fuente: elaboración propia.

4. Área foliar. Con respecto a esta variable, la mayor diferencia se pudo observar entre los promedios del T4 y el T1 (figura 6), que representa un porcentaje de 10.5%, sin embargo, esta diferencia no alcanza a ser estadísticamente

significativa en la prueba de ANOVA (anexo9). Solo se encontró diferencia estadística entre el grupo de los tratamientos T1 al T5 frente al testigo.

Muchos son los estudios que reportan resultados exitosos en el desarrollo de plantas tratadas con microorganismos eficientes. Los registrados por Álvarez y Damiao (2018), son un ejemplo claro de las bondades de estos microorganismos. Estos autores afirman que, al inocular microorganismos eficientes en el sustrato, las plántulas de café tuvieron un rendimiento superior en el desarrollo de su área foliar y la altura, en comparación con el testigo al cual solo se le aplicó agua. En los resultados de la presente investigación, la mezcla de la actual tecnología de aplicación de fósforo al sustrato de la bolsa, más la aplicación de microorganismos eficientes contenidos en los productos Aquaclean™ ACF-SR Plus® y/o Bacthon SC, no muestran resultados superiores a la sola aplicación de la tecnología mencionada, desarrollada por Cenicafé, que recomienda la aplicación de 2 gramos de P_2O_5 a cada bolsa a los dos y cuatro meses después de enchapolar (Ávila, 2010).

Resultados similares a los obtenidos por Álvarez y Damiao (2018), Valdés, Cayetano, Leyva y Camacho, (2004), reportan unos resultados supremamente mejores al inocular microorganismos para la producción de plántulas de Pino Australiano (*Casuarina equisetifolia*). Los resultados obtenidos al inocular la bacteria Frankia (fijadora de Nitrógeno) y el hongo micorrízico arbuscular *Glomus intrarices* o el hongo ectomicorrízico *Pisolithus tinctorius* superaron entre un 750 y 1093% los resultados obtenidos con el testigo y con la aplicación de auxinas, en cuanto a las variables peso seco de la planta, y volumen de la parte aérea.

Resultados similares a los anteriores se dieron en el desarrollo de plántulas de cacao (*Teobroma cacao L.*) en vivero al inocular al suelo rizo bacterias (*Trichoderma*) y hongos formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA), en un estudio realizado por: Cortés, Vesga, Sigarroa, Moreno y Cárdenas (2015), al encontrar diferencias significativas en las variables: altura, peso seco de la parte aérea y diámetro del tallo.

Pese a los efectos de las experiencias mencionadas anteriormente la literatura ofrece también el resultado de otros trabajos donde la aplicación de microorganismos eficientes (ME) no ha tenido los resultados esperados, como es el caso de los obtenidos por Peñafiel (2005) en un cultivo de Pepino, donde reporta que no existe diferencia significativa entre la aplicación de diferentes dosis de ME mezclados con melaza comparados con el testigo en variables de altura y rendimiento del cultivo; por su parte, Díaz, Castellanos, Sarduy, Toledo, Silva, Prado, Parets y Rossato (2016) encontraron efectos muy similares en la medición de las variables altura, diámetro del tallo, biomasa fresca en la parte aérea y en la raíz de las plántulas de tomate al comparar los resultados de la aplicación de roca fosfórica con la aplicación de cachaza de caña de azúcar mezclada con Azotofos (Mezcla en soporte húmico de *Pseudomonas sp.* y *Azotobacter chroococcum*). En este estudio si se encontraron diferencias con el testigo, pero no con los tratamientos descritos anteriormente.

C. Efectos económicos y ambientales

Los productos estudiados en el presente experimento para tratar las aguas mieles, al ser utilizados con la metodología propuesta no representan ningún tipo de beneficio ambiental y el proceso de descontaminación resulta económicamente

inviabiles al incurrir en gastos adicionales por la compra del insumo y la mano de obra para su aplicación.

De igual forma en la segunda fase del proyecto, podría decirse que la aplicación de los productos biológicos ensayados bajo la metodología de la presente investigación no generaron efectos económicos ni ambientales que justifiquen su aplicación, ya que el desarrollo de los órganos de la planta no representa incrementos estadísticamente significativos con respecto a los resultados obtenidos con la aplicación de la tecnología propuesta por Ávila, et al (2010) y que por el contrario, la aplicación adicional de estos productos biológicos a la tecnología propuesta por el anterior autor, resulta también económicamente inviable por las mismas razones mencionadas para la primera fase.

IV Conclusiones y Recomendaciones

Bajo las condiciones de la presente investigación, no se encontraron diferencias significativas en las variables estudiadas entre los diferentes tratamientos aplicados a las aguas mieles, por lo que se puede concluir que la aplicación de los productos biológicos **Aquaclean™**, **ACF- 32®** y **Bacthon® SC** no influyen en el aumento del pH, ni en la disminución de los niveles de DBO5, DQO y SST.

Sin ser significativas las diferencias encontradas, la dosis más baja y constante aplicada de **Aquaclean™**, **ACF- 32®** logró disminuir en un 61% los niveles de DQO, mostrando el mejor comportamiento para esta variable.

Para la variable DBO, el tratamiento que mejor se comportó fue el que representa la dosis más alta de **Aquaclean™**, **ACF- 32®**, reduciendo los niveles de esta variable en un 67%.

La aplicación adicional de los productos biológicos evaluados, al sustrato tratado con Fósforo en plántulas de café en estado de almácigo, no generó incremento que representara significancia estadística en el desarrollo de los órganos de dichas plántulas.

La utilización de los productos biológicos evaluados en la presente investigación, bajo la metodología utilizada, genera incrementos económicos por la adquisición del insumo y la mano de obra para su aplicación en ambos procesos, lo que hace que no se justifique su implementación.

Los efectos ambientales obtenidos al tratar las aguas mieles con los productos biológicos utilizados y bajo la metodología empleada, no representan estadísticamente diferencias que puedan recomendar su aplicación.

Agradecimientos:

Los autores agradecen a la Empresa EXFOR SAS, por los aportes económicos otorgados a esta investigación.

Bibliografía

Aquaclean ACF-32., (2016). Hoja de seguridad. En Blueplanetlabs. Recuperado de www.blueplanetlabs.com. 2016

Arcila, F. (1979). Perjuicios Causados por los Residuos del Beneficio de Café. Avances técnicos Cenicafé Nro. 96, 2.

Ávila, W.; Sadeghian, S.; Sánchez, A.; Castro, H. (2010). Respuesta del café al fósforo y abonos orgánicos en la etapa de almácigo. Cenicafé, 61(4):358-369. 2010

Álvarez, J. y Damiao, J., (2018). Producción de posturas de café con la aplicación de microorganismos eficientes en Angola. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852018000200004 Centro Agrícola, 45 (2).

- Álvarez, J. (1991). Desulpado de café sin agua. Chinchiná (Colombia), CENICAFE. Avances Técnicos Cenicafé Nro. 164,6.
- Benítez, R. (2018). Validación en suelos y aguas de procesos de biorremediación bacteriana. En: II Simposio Regional de Biotecnología y Agroindustria y V Seminario Nacional de Biotecnología. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, p. 9, Pereira, Colombia. 2018.
- Cortés, S., Vesga, N., Sigarroa, A., Moreno, L., Cárdenas, D. "Sustratos inoculados con microorganismos para el desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en etapa de vivero." BIOAGRO, vol. 27, no. 3, 2015, p. 151, 8 Mar. 2020.
- Cardona, J. y García, L. (2008). Evaluación de los efectos de los microorganismos eficaces EM sobre la calidad de un agua residual doméstica (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Díaz, I., Castellanos, L., Sarduy, M., Toledo, L., Silva, C., Prado, R., Parets, E. y Rossato L. (2016). Fuentes de fósforo, cachaza y microorganismos sobre las variables morfométricas en plántulas de tomate. Centro Agrícola. 43 (3): 22-29.
- FAO. 2009. Glosario de biotecnología para la agricultura y la alimentación. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/004/y2775s/y2775s00.htm>
- Farfán, F.; Serna, C.; y Sánchez P. (2015). Almácigos para caficultura orgánica, Alternativas y costos. Avances técnicos Cenicafé, Nro. 452,3.
- Fioravanti, M., Vega, N., Hernández, C., Okumoto, S., Yeomans, J. (2004). Eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en la estabilización de lodos sépticos para su uso agrícola. Tierra Tropical (2005) 1 (1): 69-76.
- Fontúrbel, F e Ibáñez, C., (2004). Empleo del metabolismo microbiano para la descontaminación de aguas. Universidad Loyola, La Paz, Bolivia. Biología.org, No 17: 1- 6. 2004
- Garavito, A.; Puerta, G.I. (1998). Utilización del Mucílago de café en la alimentación de cerdos. Avances técnicos Cenicafé, Nro. 248,12.
- Innovación para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café, (2018). En Universidad del Quindío. Recuperado de: <https://noticias.uniquindio.edu.co/innovacion-para-tratamiento-de-aguas-residuales-del-beneficio-del-cafe/>
- Lira, S. R. H. 2017. Uso de Biofertilizantes en la Agricultura Ecológica. Serie Agricultura Orgánica Núm. 14. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 9 p. Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/uso-de-biofertilizantes-en-la->

- Morales, C. y Mejía, C., 2015. Evaluación del desempeño de un biodigestor para el tratamiento de la mezcla agua-mucílago de café obtenida por desmucilagador mecánico (tesis de maestría). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Oliveros, C.; Sanz, J.; Ramírez, C.; Tibaduisa, C. (2013). ECOMILL ® Tecnología de bajo impacto ambiental para el lavado del café. Avances Técnicos Cenicafé Nro. 432, 8.
- Orius Biotecnología, (2006). Bacthon sc; el regenerador del suelo y sus cultivos. En Orius Biotecnología. Recuperado de: <https://www.resusa.co.cr/images/material/Bioestimulantes/Bacthon/Folleto%20Bacthon.pdf>
- Para desintoxicar el suelo y las raíces, para bionutrir las plantas, 2017. En: Orius Biotech USA. Recuperado de: <https://www.oriusbiotech.com/agricola/bacthon-sc>
- Posada, L. y Mosquera, S. (2007). Biodegradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales de una empresa de pinturas (tesis de pregrado). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Peñañiel, B. (2005). Evaluación de diferentes dosis de microorganismos eficientes ME en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) híbrido de Atar – Ha 435 (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Puerta, G., Marín, J., Osorio, G. (2012). Microbiología de la fermentación del mucílago de café según su madurez y selección. Revista Cenicafé 63(2): 58 – 78. 2012.
- Ramírez, C.; Oliveros, C.; Sanz, J. (2015). Manejo de lixiviados y aguas de lavado en el proceso de beneficio húmedo del café. Revista Cenicafé 66(1): 46-60. 2015.
- Rincón, N.; Olarte, M. y Pérez, J. (2012). Determinación del área foliaren fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. En: Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad nacional de Colombia Medellín 65(1). Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n1/v65n1a10.pdf>.
- Roa, G.; Oliveros, C.; Álvarez, J.; Ramírez, J.; Sanz, J.; Dávila, M.; Álvarez, J.; Zambrano, D.; Puerta, G. Rodríguez, N. (1999). Beneficio Ecológico del café. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. 1999. 300p.
- Roa, G; Oliveros, C.; Álvarez, J.; Ramírez, C.; Sanz, J.; Álvarez, J. (1997). Desarrollo de la tecnología BECOLSUB para el Beneficio ecológico del café. Avances Técnicos Cenicafé Nro. 238,8.

- Rodríguez, N.; Sanz, J.; Oliveros, C.; Ramírez, C. (2015). Beneficio del café en Colombia. Chinchiná (Colombia), CENICAFE. 2015. 37p.
- Sadeghian, S., Mejía, B. y Arcila, J. (2007). Composición elemental de los frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha. Avances técnicos Cenicafé No 364,8.
- Salazar, L. (2019). Medición De La Producción De Biogás Y La Remoción De Dqo Y Dbo5 A Partir De La Digestión Del Mucílago De Café Inoculado Con Estiércol Bovino En El Municipio De Suaita, Santander (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Tecnología Blue Planet para la restauración natural, (s.f.). En Blueplanetlabs. Recuperado de: www.blueplanetlabs.com
- Torriente D. 2010. Aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de la caña de azúcar. Perspectivas de su uso en Cuba. Cultivos Tropicales 31: 19-26
- Valdés, M., Cayetano R., Leyva, M., Camacho, A., (2004). Promoción del crecimiento en vivero de *Casuarina equisetifolia* (L.) por microorganismos simbiotes. Terra Latinoamericana: Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57322209>> ISSN.
- Vásquez, G.; Torres, J.; Quesquén, C.; Alvarado, J. (2019). Identificación de Microorganismos Descomponedores de la Materia Orgánica en el Centro Académico de Investigación y Ecoturismo Biodiversidad de la UNSM – T (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Velazco, J., (2014). Los biofertilizantes en la producción de la caña de azúcar. En: Agroproductividad, Índice de revistas mexicanas de divulgación científica y tecnológica. México, 7(2): 63-67. 2014
- Zambrano D., Rodríguez N., Orozco P., López U. (2015). Evaluación de un reactor metanogénico tipo filtro anaeróbico de flujo ascendente para tratar aguas mieles del café. Revista Cenicafé 66(1): 32-45. 2015.
- Zuluaga, J. y Zambrano, D., (1993). Manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café para el control de la contaminación. Avances técnicos Cenicafé Nro. 187, 4.