

**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN AGRICULTURA ECOLÓGICA**

**USO DE BIOFERMENTOS COMO ESTRATEGIA PARA EL  
INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCCIÓN DE  
COSTOS EN COOPEATENAS, ATENAS, COSTA RICA**

**LAURA LORENA RODRÍGUEZ SOLANO**

**Heredia, 2024.**

**Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Posgrado en Agricultura Ecológica de la Escuela de Ciencias Agrarias, para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica.**

# **USO DE BIOFERMENTOS COMO ESTRATEGIA PARA EL INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCCIÓN DE COSTOS EN COOPEATENAS, ATENAS, COSTA RICA**

**LAURA LORENA RODRÍGUEZ SOLANO**

**Tesis presentada para optar al grado de *Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.**

## MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

[M.Sc. Randall Gutiérrez Vargas /Dra. Damaris Castro García /Dr. Jorge Herrera Murillo/ Dr. José Vega Baudrit /Dr. Greivin Rodríguez Calderón/ Dra. Rocío Castillo Cedeño]

Representante del Consejo Central de Posgrado

Ph. D. Martha Orozco Aceves

Coordinadora Maestría en agricultura Ecológica

M. Sc. Manuel H. Amador Benavides

Tutor de tesis

M. Sc. José Alonso Calvo Araya

Miembro del Comité Asesor

M. Sc. Eduardo Barrantes Guevara

Miembro del Comité Asesor

Laura Lorena Rodríguez Solano

Sustentante

**Descriptorios**

Café, biofermento, compost, diversidad, microorganismos, fertilización.

## Resumen

La actividad cafetalera busca constantemente herramientas amigables con el ambiente que ayuden a construir sistemas agrícolas sostenibles en el tiempo y que sean económicamente viables. Lo anterior ha sido especialmente importante de cara a la necesidad de una mayor producción que se ha traducido en una demanda considerable en el uso de insumos sintéticos, con el fin de obtener producciones rentables. La elaboración de biofermentos y abonos orgánicos; por ejemplo, *compost*, a partir de insumos naturales promueve una fertilización amigable con el ambiente y el reciclaje de elementos, buscando que el caficultor pueda elaborar sus propios insumos para comprobar que puede disminuir la carga de fertilizantes sintéticos y reducir costos. Por tal motivo la Dirección de Investigación y Transferencia de la sede de Atenas de la Universidad Técnica Nacional (UTN) en conjunto con la Cooperativa Agropecuaria Industrial y de Servicios Múltiples de Atenas (COOPEATENAS R. L.) unieron esfuerzos para realizar investigación sobre bioinsumos que ayuden a aumentar productividad y bajar costos económicos, específicamente por medio de la elaboración de biofermentos (biofermento Biodiamante) y abono orgánicos tipo *compost*.

En el presente trabajo se es el efecto de dichos insumos en 3 fincas de socios de la Cooperativa COOPEATENAS, para lo cual se aplicaron cuatro tratamientos: T1 (Biofermento Biodiamante aplicado vía foliar + Fórmula completa aplicada al suelo), T2 (Biofermento Biodiamante aplicado vía foliar + Biofermento Biodiamante aplicado al suelo), T3 (Biofermento Biodiamante aplicado vía foliar + Compost) y T4 (Manejo Convencional de la Cooperativa) durante un ciclo de cultivo. El experimento tuvo un diseño en bloques completamente aleatorizados. Primeramente se caracterizaron tanto química como microbiológicamente los insumos evaluados; tanto el biofermento Biodiamante y *compost*. Posterior a la aplicación de los tratamientos, se realizaron análisis de las propiedades químicas del suelo, análisis de actividad microbiana del suelo. Al final del ciclo de cultivo se realizaron análisis de

rendimiento (fan/ha), análisis de calidad de café (aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo y balance) y análisis económico del plan de manejo con bioinsumos.

Las variables cuantificadas no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. No obstante, el T3 (Biofermento Biodiamante aplicado vía foliar + Compost) presentó tendencias favorables; por ejemplo, una mayor diversidad microbiana edáfica respecto a los demás tratamientos y el control. En cuanto a rendimiento el T3, obtuvo un valor de 16,2 fanegas/ha y el tratamiento control T4 (Manejo convencional de la Cooperativa) de 13,6 fan/ha. Con respecto al análisis económico, la aplicación por hectárea del tratamiento T3 tuvo un costo de 128.000 colones, mientras que el T4 un monto de 195.000 colones.

Si bien no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos, la aplicación de los bioinsumos se tradujo en resultados similares al tratamiento utilizado por la Cooperativa (T4). Los resultados que se alcanzaron estimulan el empleo de estos insumos como complementos en fertilización química convencional de los sistemas agrícolas cafetaleros.

## Abstract

The coffee industry is constantly searching for environmentally friendly tools that will help to build sustainable agricultural systems that are economically profitable over time. The need for increased production has led to a considerable demand in the use of synthetic fertilizers, in order to obtain profitable production. The elaboration of bioferments from natural supplies promotes environmentally friendly fertilization, in addition to promoting the recycling of elements. And also seeking that the coffee farmers can produce their own bioferments to prove that they can reduce the load of synthetic fertilizers and reduce costs. For this reason, the Direction of Research and Transfer of the Atenas branch of the National Technical University (UTN) in conjunction with the Athens Agricultural, Industrial and Multiple Services Cooperative (COOPEATENAS R. L) joined efforts to increase productivity and lower economic costs through the elaboration of bioferments.

In this paper, the effect of these bioferments was evaluated in 3 farms of members of the Coopeatenas Cooperative. A total of four treatments T1 (Foliar Bioferment + Complete Formula), T2 (Foliar Bioferment + Soil Bioferment), T3 (Foliar Bioferment + Compost) and T4 (Conventional Management of the Cooperative) of coffee were evaluated during a crop cycle using a completely randomized block design.

Soil chemical properties analysis, soil microbial activity analysis, performance analysis (fan/ha), coffee quality analysis (aroma, flavor, residual flavor, acidity, body and balance) and economic analysis were carried out. The treatments applied showed no significant differences between them. However, the application of bioferment mixed with compost showed a tendency towards greater diversity and higher performance of bushels per hectare. In general, the biosupplies evaluated in this study showed promising results. The results obtained, promote the use of these supplies as a complement to conventional chemical fertilization of the agricultural system.

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer a Dios, por darme la oportunidad de llegar hasta aquí.

A la Dirección de Investigación y Transferencia de la sede de Atenas de la Universidad Técnica Nacional (UTN) y la Cooperativa Coopeatenas R. L., por el apoyo recibido para el desarrollo de la Investigación.

Al CENIBiot-CENAT a través de M Sc. Emanuel Araya, por todo el conocimiento, tiempo y ayuda recibida.

A todos los compañeros de Coopeatenas, Ing. Wilfredy Vargas, Don Omar, gracias por el tiempo y toda la colaboración durante el proceso de investigación.

Quiero agradecer al M. Sc. Manuel Amador, por su acompañamiento en calidad de tutor de mi tesis, gracias por la confianza depositada en mí.

A la coordinadora de la Maestría en agricultura Ecológica Ph. D. Martha Orozco Aceves, por todo su apoyo incondicional en el proceso.

Al M. Sc. Brayan Alemán, por el apoyo recibido.

A todas las personas que estuvieron involucradas en este proceso.

A mi familia, por la comprensión, amor y apoyo incondicional.

**Dedicatoria**

Dedico mi trabajo a todas y todos los agricultores que diariamente trabajan el suelo y buscan herramientas sostenibles para hacer posible la producción. Luchando sin descanso en el camino hacia la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

## Índice

Capítulo I. Introducción.....	1
Objetivos de la investigación .....	5
Objetivo general .....	5
Objetivos específicos .....	6
Capítulo II. Marco teórico .....	7
Cultivo del café .....	7
Taxonomía .....	7
Especies y cultivares .....	8
Sistemas de producción.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Definición de biofermento.....	9
Mecanismos de acción de los biofermentos .....	9
Generación de metabolitos secundarios.....	10
Efecto masa. ....	10
Efecto antagonista directo. ....	10
Quelación orgánica.....	11
Insumos que se utilizan en la fabricación de biofermentos .....	11
Boñiga. ....	11
Suero de leche. ....	12
Melaza. ....	12
Inóculo microbial.....	12
La fermentación.....	13
Composición microbiológica de los bioles.....	14
Bacterias. ....	14

Lactobacillus sp.....	14
Bacillus sp. ....	15
Actinomicetes.....	15
Hongos.....	16
Levaduras.....	16
Calidad de los biofermentos.....	17
Abonos orgánicos.....	17
Compostaje.....	18
Herramientas biotecnológicas para medición microbiana.....	19
Capítulo III. Metodología.....	20
Ubicación del estudio.....	20
Manejo del cultivo.....	20
Descripción de los bioinsumos.....	21
Biofermento Biodiamante.....	21
Compost enriquecido.....	22
Tratamientos.....	23
Frecuencia de aplicación.....	23
Diseño experimental.....	24
Muestreo.....	25
Suelo.....	25
Biofermento Biodimante.....	26
Compost enriquecido.....	26
Variables a evaluar.....	27
Propiedades del suelo.....	27

Análisis de diversidad microbiana .....	27
Análisis de rendimiento .....	28
Análisis de calidad del café .....	28
Análisis de catación .....	29
Análisis económico .....	30
Análisis estadístico.....	30
Capítulo IV. Resultados y discusión.....	32
Caracterización de biofermento Biodiamante.....	32
Caracterización química.....	32
Caracterización biológica.....	33
Caracterización del compost enriquecido .....	36
Caracterización química.....	36
Caracterización microbiológica.....	37
Evaluación del efecto del biofermento Biodiamante y compost enriquecido .....	38
Propiedades químicas del suelo .....	38
Diversidad microbiana del suelo.....	40
Índice de Shannon .....	40
Análisis por fincas y tratamientos. ....	40
Análisis por fincas individuales .....	42
Finca 1.....	42
Finca 2.....	43
Finca 3.....	44
Distancia de Bray-Curtis.....	45
Rendimiento .....	47

Análisis de calidad de café .....	50
Análisis de catación.....	54
Análisis económico .....	57
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones .....	58
Conclusiones .....	58
Recomendaciones.....	59
Bibliografía .....	61
Anexos.....	74

## Lista de tablas

Tabla 1 Taxonomía del café .....	7
Tabla 2 Fincas participantes en la investigación .....	20
Tabla 3 Productos fitosanitarios utilizados en el paquete de manejo convencional de las fincas cafetaleras de la cooperativa, COOPEATENAS.....	21
Tabla 4 Composición de la fórmula del biofermento Biodiamante para producir 160 litros.....	22
Tabla 5 Tratamientos evaluados en la investigación .....	23
Tabla 6 Aplicaciones y muestreos realizados para analizar las propiedades químicas y comunidades microbianas.....	24
Tabla 7 Propiedades del café a evaluar en análisis de catación .....	29
Tabla 8 Composición química del biofermento Biodiamante.....	33
Tabla 9 Composición química del compost enriquecido elaborado en COOPEATENAS.....	36
Tabla 10 Propiedades químicas del suelo de las tres fincas experimentales de acuerdo con tratamientos de manejo aplicados .....	38
Tabla 11 Resultados de calidad para zaranda 15 finca/tratamiento (promedio de todos los muestreos por finca). .....	50
Tabla 12 Resultados de calidad para zaranda 16 en finca/tratamiento (promedio de todos los muestreos por finca). .....	51
Tabla 13 Resultados de calidad para zaranda 17 en finca / tratamiento (promedio de todos los muestreos por finca).....	52

Tabla 14 Resultado de Peso oro por finca / tratamiento (promedio de todos los muestreos por finca)...	53
Tabla 15 Resultado de análisis de catación de café para finca 2 .....	56
Tabla 16 Costo de tratamiento por hectárea.....	57

## Lista de figuras

Figura 1 Diagrama del diseño experimental .....	25
Figura 2 Índices de Shannon reportados para las tres muestras de biofermento Biodiamante * .....	34
Figura 3 Promedio del Índice de diversidad de Shannon por finca y tratamiento, el promedio comprendió tres muestreos* .....	40
Figura 4 Índice de diversidad microbiana de cada tratamiento en los tres muestreos para la finca 1* ....	43
Figura 5 Índice de Shannon para medir diversidad microbiana de suelo aplicado con los tratamientos en los tres muestreos realizados en la finca 2* .....	44
Figura 6 Índice de Shannon para medir diversidad microbiana de suelo aplicado con los tratamientos en los tres muestreos realizados en la finca 3* .....	45
Figura 7 Análisis de conglomerados basados en la distancia de Bray- Curtis de las comunidades microbianas presentes en el biofermento Biodiamante y en suelos aplicados con los tratamientos experimentales en tres fincas a lo largo de tres muestreos .....	46
Figura 8 Resultados globales de fanegas/ha/finca/tratamiento (promedio de todos los muestreos por finca $\pm$ DE) .....	48

**Lista de anexos**

Anexo 1. Descripción y costo por litro de los bioles utilizados para fabricación de la fórmula del biofermento Biodiamante.....	74
Anexo 2. Detalle del costo por litro y detalle de insumos que se utilizan para la fabricación de la fórmula biofermento Biodiamante.....	75
Anexo 3. Descripción y costo por litro de MM- Pasto y costo por litro de la base líquida .....	77
Anexo 4. Descripción y costo por litro del MM-pasto Algasoil, preparación para 50 litros .....	78
Anexo 5. Costo de Biocat G (ácidos húmicos y fulvicos) preparación 50 litros .....	78
Anexo 6. Descripción y costo de los insumos utilizados en el paquete de manejo convencional de Coopeatenas. ....	78
Anexo 7. Costos de fertilización granular .....	79

## Capítulo I. Introducción

La actividad cafetalera se ha constituido en un factor primario de generación de empleo, comercio exterior y divisas (Hall, 1991). De acuerdo con Granados (1994):

El café (*Coffea arabica*) en su condición natural, fue una especie del bosque tropical. La planta es nativa de las selvas de Etiopía, en donde crecía como parte del estrato arbustivo de la floresta. En el bosque tropical esta especie comparte el ambiente con muchas especies, siendo por ello corto el número de cafetos en el medio. El paso del ecosistema natural, del que la planta de cafeto alguna vez fue parte, al agro-sistema que llamamos cafetal, supone, necesariamente, exigencias importantes (s. p.).

La producción de café en Costa Rica está estrechamente vinculada a la identidad nacional del país y proporciona 150,000 empleos directos durante la cosecha; sin embargo, también representa hasta un 1,56 % de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero (GEI) de Costa Rica. (NAMA Café de Costa Rica, 2019). Ante esta situación: “El Gobierno costarricense colabora con el sector privado y los socios internacionales para desarrollar Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMAs por sus siglas en inglés). La primera NAMA en implementación tanto a nivel internacional como nacional fue la NAMA Café” (NAMA Café de Costa Rica, 2019, s. p.). Su objetivo es reducir las emisiones de GEI y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos tanto a nivel de plantaciones de café como de beneficios de café (NAMA Café de Costa Rica, 2019).

Para reducir la huella de carbono del sector y mantener una producción sostenible de café, se aumento del número de plantas por hectárea; sin embargo, esto se ha traducido en un incremento considerable en la en el uso de insumos sintéticos, con el fin de obtener producciones rentables. Para contrarrestar lo anteriormente expuesto, las NAMA proponen reducir el uso de fertilizantes sintéticos, usar agua y energía de manera eficiente en el procesamiento de este grano, realizar estudios de

factibilidad, diseñar proyectos para la implementación de tecnologías bajas en emisiones, entre otros (NAMA Café de Costa Rica, 2019). Con base en lo anterior, la actividad cafetalera busca constantemente herramientas amigables con el ambiente que ayuden a construir sistemas agrícolas sostenibles en el tiempo y que sean económicamente rentables. Específicamente, se ha planteado el uso de biofermentos para sustituir al menor de forma parcial el uso de dichos fertilizantes.

Según Pacheco *et al.* (2017): “Los biofermentos son el producto de un proceso de fermentación de materiales orgánicos, que se origina a partir de la intensa actividad de microorganismos” (p. 4). Los microorganismos presentes en los biofermentos desempeñan un papel importante en la agricultura, además de la participación en la producción de alimentos, como los lactobacilos y levaduras (Pacheco *et al.*, 2017). Los biofermentos son un excelente sustituto de los fertilizantes químicos altamente solubles de la agroindustria. “Constituyen una de las principales alternativas de las familias productoras orgánicas o ecológicas por su facilidad de elaboración y sus efectos positivos en la nutrición de las plantas y del suelo” (Pacheco *et al.*, 2017, p. 4).

De acuerdo con León *et al.* (2016) la aplicación de biofermentos a base de microorganismos benéficos en conjunto con fuentes alternativas de nutrición como los abonos orgánicos pueden mantener la fertilidad del suelo y renovar las extracciones realizadas por las cosechas (Saborit *et al.*, 2013). Estas prácticas complementan la nutrición mineral a fin de mejorar la fertilidad del suelo y con ello el desarrollo vegetativo de las plantas buscando producciones sostenibles (Armenta *et al.*, 2010).

Los *microorganismos de montaña* (MM) son la base en la formulación de los biofermentos. De acuerdo con Araya (2010) los MM:

- Son un inoculante complejo, generalmente proveniente de la captura y multiplicación de microorganismos, obtenidos de zonas ricas en biodiversidad microbiana como el mantillo del sotobosque (Restrepo, 2001).
- Los inóculos de microorganismos son nativos de la región, de bajo costo y de fácil disponibilidad (Quirós *et al.*, 2004). El MM puede aplicarse tanto en cultivos de ciclo corto (hortalizas y granos), como en cultivos bianuales y perennes (café, cacao y frutales).
- Otros beneficios del MM son que los microorganismos mejoran la calidad de los suelos; ya que al entrar en contacto con la materia orgánica (MO) segregan sustancias beneficiosas para las plantas, tales como: vitaminas, ácidos orgánicos y minerales (Montaño *et al.*, 2010). Además, se estima que son una potencial fuente de sustancias bioactivas, debido a su capacidad de producir metabolitos secundarios.

Por otro lado, una importante fuente alternativa de nutrientes, muy utilizada en agricultura orgánica o ecológica son los abonos orgánicos, los cuales son enmiendas que se incorporan al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas, y biológicas:

Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y de los microorganismos aerobios, esto mejora su multiplicación. Los microorganismos influyen en muchas propiedades del suelo y también ejercen efectos directos en el crecimiento de las plantas (Taylor, 2014, s. p.).

Tanto los biofermentos como los abonos orgánicos contienen una importante base de microorganismos benéficos importante, los cuales son los responsables de estimular la capacidad fotosintética de las plantas, ya que promueven un mayor desarrollo foliar, reflejado en el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos, restableciendo el equilibrio microbiológico del suelo y mejorando sus condiciones físico-químicas (Montaño *et al.*, 2010).

Esto los convierte en una alternativa accesible para cualquier productor agrícola, de fácil fabricación y aplicación, dando como resultados rendimientos agrícolas ostentan resultados con una calidad superior, ya que la cosecha obtenida no está contaminada con sustancias químicas, lo que también contribuye a preservar el medio ambiente (Montaño *et al.*, 2010). Actualmente diversos sistemas productivos en el país han comenzado a utilizar biofermentos y abonos orgánicos dentro de su plan de manejo de cultivos para aumentar productividad y bajar costos. Uno de estos es la Cooperativa Agropecuaria Industrial y de Servicios Múltiples de Atenas (COOPEATENAS R. L) que agrupa 1300 productores y servicios múltiples de la zona de Atenas, Alajuela. Su labor principal se basa en la producción, cosecha y comercialización de café de la más alta calidad. Ofrecen servicios de supermercado, estación de servicio, centro automotriz, minisupermercado, almacén de suministros agrícolas, entre otros.

COOPEATENAS se funda el 15 de diciembre de 1968 con un grupo de caficultores que toman consciencia de su difícil situación al competir frente a beneficiarios privados existentes. Su objetivo principal es mejorar la calidad de vida de sus asociados, colaboradores y la comunidad, integrando a la gestión de la cooperativa el respeto por los valores y por el ambiente. Es por esta consciencia ambiental y ante el alto costo de los insumos químicos requeridos en sus plantaciones de café (Procomer, 2021) que la Cooperativa muestra una gran preocupación en disminuir y sustituir el uso de productos tóxicos en sus cultivos. Esto sin perder la calidad de taza al utilizar insumos más económicos.

Por esta razón, se crea la planta de producción de biofermentos, ubicada en las instalaciones de la Cooperativa en el sector del Beneficio El Diamante, en Bajo Cacao de Atenas, con el objetivo de producir insumos para los asociados a manera de reducir costos y disminuir la contaminación por aplicación de insumos químicos. Mediante capacitación externa e injerencia del Instituto del Café de Costa Rica (Icafé) desarrollaron un biofermento para evaluar la respuesta en el cultivo. El biofermento lleva por nombre Biodiamante.

El biofermento Biodiamante está compuesto por MM nativos de las fincas de la Cooperativa, como se mencionó anteriormente tiene múltiples beneficios para los suelos. Además del MM, el biofermento Biodiamante se compone por semolina de arroz, melaza, suero de leche, y es enriquecido con otros biofermentos a base de minerales, algas y ácidos fúlvicos. Un factor muy beneficioso es que el costo de producción de los biofermentos, es de aproximadamente \$1 por litro. Esto se debe a que se elabora con materias primas muchas veces proporcionadas por las propias fincas.

Cabe mencionar que entre finales de 1986 e inicios de 1987 la Cooperativa empezó a trabajar en la producción de abono orgánico tipo *compost* utilizando la cáscara del café como insumo principal, siendo éste uno de los desechos de la industria. El principal objetivo de este proyecto ha sido vender el abono orgánico a los asociados a un precio bajo, así como contribuir con el ambiente en la reducción de contaminantes.

La Cooperativa realiza un proceso de evaluación continua de las tecnologías ecológicas desarrolladas (biofermento Biodiamante, *compost*), para asegurar su contribución a proporcionar los requerimientos y exigencias del cultivo y ofrecer a los asociados nuevas opciones de manejo, para sustituir insumos químicos y producir un cultivo diferenciado. Para lograr lo anterior, se ha buscado la colaboración de varias instituciones que apoyen las evaluaciones del biofermento Biodiamante y el *compost*, de tal manera que, la Universidad Técnica Nacional (UTN), sede Atenas en colaboración con el Centro Nacional de Biotecnología (CENibiot) se unen al esfuerzo de COOPEATENAS R.L, para colaborar en el desarrollo de la investigación plasmada en el presente documento.

## **1.1 Objetivos de la investigación**

### **1.1.1 Objetivo general**

Desarrollar una alternativa a la fertilización tradicional para COOPEATENAS en el cultivo de café, mediante el análisis sobre el uso y respuesta del café a la aplicación de biofermentos y *compost*

enriquecido, evaluando el impacto en productividad, calidad final e impacto económico en fincas de asociados y asociadas.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Los objetivos específicos de la investigación son los siguientes:

1. Caracterizar química y microbiológicamente, el biofermento Biodiamante y el *compost* enriquecido que se utilizan como sustitutos de insumos químicos en el cultivo del café en COOPEATENAS.
2. Evaluar el efecto del biofermento Biodiamante y el *compost* enriquecido de la Cooperativa sobre la actividad microbiana del suelo, rendimiento y calidad del café.
3. Medir el impacto económico del uso de los biofermentos respecto al manejo que se utiliza actualmente en la cooperativa, determinando la influencia en los costos de producción y precio final del café.

## Capítulo II. Marco teórico

### Cultivo del café

#### *Taxonomía*

El cultivo de café pertenece al género *Coffea*, el cual cuenta con aproximadamente 100 especies (Tabla 1). No obstante, sólo algunas: “Son cultivadas comercialmente, destacándose las dos primeras según el siguiente orden: *C. arabica* L., *C. canephora* Pierre exFroehner y *C. liberica* Bull exHiern” (Alvarado y Rojas, 1994, s. p.).

**Tabla 1.**  
*Taxonomía del café.*

<b>Taxonomía</b>	<b>Nombre</b>
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Sub-División	Angiospermae
Clase	Magnoliata
Sub-clase	Asteridae
Orden	Rubiales
Genero	Rubiaceae
Principales especie (s)	<i>C. arabica</i> , <i>C. canephora</i> , <i>C. liberica</i>

Fuente: Alvarado y Rojas (1994).

### **Especies y cultivares**

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2008):

De las especies que se explotan comercialmente, *C. arabica* es la más conspicua a nivel mundial, no sólo por el área sembrada y la cantidad suplida en el mercado, sino por la excelente calidad de su bebida. El café comercializado a nivel mundial proviene de *C. arabica* o arábicas del *C. canephora* o robustas y, en menor escala del *C. liberica*. El café de Costa Rica es, en su totalidad, del tipo arábico que forma parte del grupo de *otros suaves*, considerado entre los mejores del mundo. Las variedades o cultivares de uso comercial en nuestro país son de porte bajo dada su adaptabilidad a diferentes condiciones de clima y suelo, por su parte las hace más manejables y con alta capacidad de producción. El área cultivada de éstas en el país alcanza el 91.15 % a su superficie total sembrada de café (p. 9).

### **Problemática de la producción**

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (2008) afirma que:

En general, los suelos destinados a la producción de café requieren la utilización de fertilizantes aplicados tanto directamente al suelo como por vía foliar para lograr niveles satisfactorios de producción. No obstante, el alto costo de los fertilizantes y la escasa rentabilidad del producto, como consecuencia de los bajos precios prevalecientes en el mercado internacional, hacen más imperiosa la necesidad de racionalizar su uso (p. 12).

Con este propósito deben emplearse las fórmulas y las dosis adecuadas, así como nuevas estrategias, por ejemplo, el uso de biofermentos.

## **Definición de biofermento**

El biofermento es un abono orgánico líquido obtenido de la fermentación anaeróbica. Estos productos se elaboran a partir de insumos naturales de fácil obtención: residuos vegetales, estiércoles, melaza e inóculos microbiales (Uribe, 2003).

Según Ruiz (2005), los biofermentos aportan nutrientes o alguna acción de prevención contra plagas y enfermedades, siendo una fuente orgánica de fitorreguladores y, a diferencia de los nutrientes, en pequeñas cantidades. El biofermento es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para: enraizamiento (aumenta y fortalece la base radicular), acción sobre el follaje (amplía la base foliar), mejora la floración y activa el vigor y poder germinativo de las semillas, traduciéndose todo esto en un aumento significativo de las cosechas (Ruiz, 2005, s. p.).

Por esto, surge un creciente interés en su uso, ya que se convierten en: «Una solución sostenible para depender menos de los fertilizantes sintéticos, e intentar reducir los costos» (Galindo y Jerónimo, 2005, s. p.). No obstante, su popularización en el ámbito nacional ha producido como consecuencia la aplicación de métodos de producción no estandarizados.

Esto se relaciona con la carencia de: “Suficientes bases científicas que demuestren no sólo su efectividad, tanto en la planta como en el suelo, sino que permitan tener o generar información sobre su modo de acción y garanticen aspectos de calidad e inocuidad” (Galindo y Jerónimo, 2005, s. p.).

## ***Mecanismos de acción de los biofermentos***

Según Campos y Meneses (2008), los biofermentos: “Son una fuente microbial, enriquecida por metabolitos secundarios producidos por los diferentes microorganismos presentes” (s. p.). A partir de las pocas investigaciones sobre sus efectos, se deduce que las posibles formas de acción se basan en el

comportamiento de las poblaciones microbiales presentes, lo que puede mejorar la producción de las plantas. En los siguientes apartados se presentan algunas hipótesis sobre su modo de acción:

**Generación de metabolitos secundarios.** A lo largo de su ciclo de vida los microorganismos:

- Liberan sustancias, las cuales en algunos casos poseen efectos biocidas (Lampkin, 2001).
- En otros casos la liberación de metabolitos secundarios induce a la planta a producir fitoalexinas, como es el caso de la quitina y su derivado el quitosano, que en algunos estudios se han utilizado para inducir resistencia en plantas (Lampkin, 2001).
- La activación de estos procesos de defensa e inducción de resistencia se inician debido a que algunas moléculas presentes en la superficie de los patógenos, así como moléculas secretadas por los mismos, conocidas como Elicitores, inducen una activación de los mecanismos de defensa en las plantas (Araya, 2010). Un ejemplo de esto lo menciona Jankiewicz (2003):

Con el caso del pepino en donde al ser infectado con cualquiera de los hongos *Colletotrichum lagenarium*, *Cladosporium cucumerinum*, o la bacteria *Pseudomonas lachrymans* se logró desarrollar resistencia no sólo contra el patógeno que infectó la planta, sino también contra todos los patógenos pertenecientes a dichos géneros (Araya, 2010, p. 10).

**Efecto masa.** La aplicación de un inóculo microbial (al suelo o follaje) implica una alta carga microbiana que según su composición y cantidad realiza un efecto inundativo de microorganismos. Esto tiene un efecto de competencia contra la población nativa (la cual muchas veces expresa en mayor cantidad a los patógenos (Mendoza *et al.*, 2017).

**Efecto antagonista directo.** Según Lampkin (2001, citado por Araya, 2010), la acción directa por antagonismo se presenta cuando: “Organismos específicos son incompatibles con patógenos, por lo cual el inocular con estos microorganismos, permite la supresión fitopatógeno. Entre las bacterias más

estudiadas como antagonistas de fitopatógenos se encuentran *P. fluorescens* y *Bacillus subtilis*" (p. 10).

**Quelación orgánica.** Producto de la actividad microbiana se pueden liberar gran cantidad de metabolitos (aminoácidos, ácidos orgánicos), los cuales poseen la cualidad de ser quelatantes naturales, al adherirse a los metales cubriéndolos e impidiendo que reaccionen con otros elementos (WALCO, 1997). Esto permite que los minerales sean absorbidos con mayor rapidez por las plantas. También la materia orgánica (MO) puede retener quelatos, logrando así regular la liberación de oligoelementos; evitando niveles tóxicos de microelementos (Lampkin, 2001). Facilitando la asimilación de nutrientes debido a que la molécula mineral con tamaño muy pequeño y bajo peso molecular adquiere carácter orgánico y de esta forma es fácilmente identificada por la planta. Dicha facilidad y velocidad de absorción es lo que caracteriza a la nutrición quelatada de resolver rápidamente deficiencias en plantas, logrando la estabilización nutricional (ORIOUS s. f.).

### ***Insumos que se utilizan en la fabricación de biofermentos***

Existen varias metodologías y recetas para la fabricación de biofermentos, las cuales varían en ingredientes orgánicos, inóculos microbiales, fuentes energéticas, tipo de fermentación y duración, lo cual influye en el producto final (Araya, 2010). A continuación, se detallan algunas de las materias primas, características y propiedades de los que se utilizan usualmente para la formulación de biofermentos.

**Boñiga.** Por su disponibilidad y eficacia es una de las materias primas que más se utilizan. Según Araya (2010):

Los estiércoles de animales bovinos en forma fresca contienen un porcentaje medio de nitrógeno (1,67 %) (CEDECO 2005), el cual es soluble en un 70 %, del cual 20 % está en forma de proteína y 30 % en forma de urea y amoníaco (p. 12).

Lo anterior la hace una materia que se utiliza en procesos de compostaje y elaboración de otros abonos orgánicos más acabados (Solórzano y Alvarado, 2002). La boñiga se emplea ampliamente:

“Como fuente de microorganismos: levaduras, hongos, bacterias los cuales juegan un papel primordial en el proceso de fermentación al digerir y metabolizar los ingredientes del biofermento, liberando elementos nutritivos, disponibles para las plantas (Mazariegos y Colindres, 2002)” (Araya, 2010, p. 12).

Sin embargo, presenta el inconveniente de ser una fuente de bacterias patógenas para animales y humanos como *Escherichia coli* y *Salmonella* sp. Por esto, es necesario tomar medidas para evitar problemas en la salud humana.

**Suero de leche.** Es un subproducto del proceso de elaboración del queso. Una vez que la leche cuaja:

Se separa la caseína de la grasa, obteniéndose una fase acuosa, la cual recibe el nombre de suero o lactosuero. Es utilizado como un nutriente en aplicaciones foliares, así como en la elaboración de abonos orgánicos fermentados; como fuente de grasas, vitaminas, proteínas, aminoácidos y de microorganismos (Araya, 2010, p. 13).

**Melaza.** Es un subproducto del proceso de la industria azucarera y se obtiene:

Al separar el azúcar refinado del azúcar crudo, al terminar el proceso se obtiene un jarabe oscuro viscoso constituido en un 94 %, por carbohidratos, además de un 4-10 % de proteína (Talavera *et al.*, 1996). Por su alto contenido de carbohidratos (sacarosa, glucosa, levulosa, maltosa, lactosa y azúcares reductores), el alto contenido de potasio, calcio, magnesio y micronutrientes, principalmente boro, la melaza es una rica fuente energética para los microorganismos (Araya, 2010, p. 14).

**Inóculo microbial.** Uno de los puntos clave en la formulación de biofermentos es el uso de inoculantes microbianos, consisten en poblaciones complejas de microorganismos, bacterias, levaduras,

hongos, los cuales al estar en presencia de carbohidratos y sales minerales se multiplican en varios órdenes de magnitud (Galindo *et al.*, 2007).

Las poblaciones de microorganismos antagonistas *versus* las de patógenos se incrementan, lo cual incide en una reducción de las enfermedades. Ejemplos de microorganismos antagonistas son el hongo *Trichoderma sp.*, actinomicetes y microorganismos que producen antibióticos tóxicos para bacterias fitopatógenas u otros patógenos (Madigan *et al.*, 2004).

La complejidad de las poblaciones microbiales en los biofermentos, tanto por diversidad como cambios de biomasa en el tiempo, implican que las cantidades y diversidad de los diferentes metabolitos (vitaminas, fitohormonas, factores de crecimientos, antibióticos) van a variar de forma similar dependiendo de la cantidad y tipo de microorganismos presentes en un inóculo microbial (Araya, 2010).

Por tanto, la composición poblacional en un hábitat concreto está determinada en gran parte por las características físicas y químicas de ese medio (Madigan *et al.*, 2004). En el caso de biofermentos es probable que la síntesis de elicitores y secreciones enzimáticas liberadas por los diferentes hongos y bacterias, inhiban el desarrollo de organismos patógenos cuando sean aplicados sobre las plantas.

Para lograr un efecto sustancial con las aplicaciones de inoculantes microbianos, estos deben presentar poblaciones iniciales altas para asegurar un efecto inundativo, tanto poblacional, así como una cantidad considerable de metabolitos secundarios, sustancias bioactivas y biocidas a patógenos, de forma que se logren los efectos positivos sobre la producción y protección de los cultivos (pp. 16-18).

### **La fermentación**

La fermentación es el proceso al cual el biofermento debe someterse para transformar sus materias primas y obtener el producto final. Araya (2010) menciona: “Es un proceso catabólico de

oxidación incompleta, totalmente anaeróbico, siendo el producto final un compuesto orgánico. La fermentación típica es llevada a cabo por las levaduras (Mazariegos y Colindres, 2002)” (p. 20).

El proceso de fermentación es anaeróbico ya que se produce en ausencia de oxígeno; ello significa que el aceptor final de los electrones de la nicotinamida adenina dinucleótida (NADH) producido en la glucólisis no es el oxígeno, sino un compuesto orgánico que se reducirá para poder reoxidar el NADH a NAD<sup>+</sup>.

Al iniciar el proceso de fermentación, la MO cuenta con largas cadenas estructurales de carbono, las cuales en las primeras etapas son degradadas por bacterias anaeróbicas facultativas, tolerantes a acidez y temperatura, para formar cadenas más cortas y simples, mediante la liberación de hidrógeno y dióxido de carbono, logrando convertirlas en ácidos orgánicos (Pirt, 1975).

### ***Composición microbiológica de los biofermentos***

#### **Bacterias.**

Las bacterias son organismos procariotas unicelulares; la mayor parte de ellas presenta forma esférica cocos o de bastón bacilos y son importantes debido a que algunas realizan funciones específicas como la oxidación del amoníaco a nitratos, mientras que otras intervienen en el proceso general de descomposición de materiales orgánicos (Thompson y Troeh, 1988).

***Lactobacillus sp.*** “Las bacterias ácido lácticas (BAL) son cocos o bacilos Gram positivo, anaerobios que producen, principalmente, ácido láctico por la fermentación de carbohidratos” (Ramírez *et al.*, 2011, s. p.).

Dentro de los metabolitos generados por la fermentación láctica se encuentran las bacteriocinas que son proteínas con la cualidad de ser bactericidas. Asimismo, los ácidos orgánicos producidos

por las BAL reducen el pH que inhibe a las bacterias Gram positivas y Gram negativas. Cuando el pH es menor a 4,50, la presencia de microorganismos patógenos es mínima (Molina, 2012, s. p.).

Las BAL son capaces de eliminar los malos olores generados por materiales en descomposición (Quirós *et al.*, 2004). Una característica básica de los *Lactobacillus* es su capacidad antagónica contra bacterias putrefactoras, como *Erwinia* sp. cuyo control se cree podría ser por la producción de nisina, antibiótico producido por las bacterias lácticas .

### ***Bacillus* sp.**

El género *Bacillus* pertenece a la familia *Bacillaceae*, incluye más de 60 especies de bacilos. Son anaerobios o aerobios facultativos. Las células bacterianas de este género tienen un amplio tamaño que varía 0,5 a 2,5  $\mu\text{m}$  x 1,2-10  $\mu\text{m}$ . Este género se encuentra comúnmente en suelos y plantas donde tienen un papel importante en ciclo del carbono y el nitrógeno. Son habitantes comunes de aguas frescas y estancadas, son particularmente activos en sedimentos. (Cuervo, 2010)

### **Actinomicetes.**

Los actinomicetos representan un grupo ubicuo de microorganismos ampliamente distribuido en ecosistemas naturales y tienen gran importancia en la participación de la degradación de materia orgánica, además de ciertas propiedades fisiológicas que los hacen particulares (Franco-Correa 2009). En un principio los actinomicetos se incluyeron entre los hongos porque su morfología y desarrollo presentaban gran similitud, dotados de un micelio verdadero; debido a esto se les denominó "hongos radiados". Sin embargo, hoy en día, y dado su carácter procariótico, se sustenta muy bien su clasificación como bacterias (Koneman 2001)

Los actinomicetos también han sido descritos como agentes de biocontrol por la capacidad de producir enzimas biodegradativas como quitinasas, glucanasas, peroxidasas y otras, involucradas en el papel del micoparasitismo que llevan a cabo estos microorganismos (Franco-Correa 1999). El género *Streptomyces* ha sido descrito como colonizador de la rizosfera, capaz de ejercer biocontrol sobre hongos fitopatógenos, producir sideróforos, sustancias promotoras del crecimiento vegetal *in vitro*, promover la nodulación y ayudar a los bacteriodes de *Rhizobium* a la asimilación del hierro en la fijación de nitrógeno en leguminosas, lo cual contribuye indirectamente a la promoción de crecimiento vegetal (Franco-Correa, 2009)

### **Hongos.**

Este grupo pueden representar el 70% de la población microbiana y después de las bacterias constituyen el segundo grupo de microorganismos más grande del suelo, todos son eucariotas heterótrofos y se incluyen entre las especies que necesitan nitrógeno, ya sea en forma de sales minerales o de compuestos orgánicos nitrogenados, pues están desprovistos de capacidad fijadora (Wild, 1992). Las especies edáficas presentan gran diversidad en cuanto a exigencias en sustratos carbonados, variando desde los que pueden utilizar hidratos de carbono, alcoholes y ácidos orgánicos sencillos hasta los que son capaces de descomponer compuestos polimerizados, como la celulosa y la lignina. (Feijoo, 2016).

### **Levaduras.** Según Suarez et al., (2016):

Las levaduras son organismos eucariotas con gran diversidad respecto a su tamaño, forma y color. Son consideradas hongos unicelulares y generalmente sus células son ovaladas, pero

también pueden encontrarse en forma esférica, cilíndrica o elíptica. Son mayores que las bacterias, alcanzando un diámetro máximo de entre cuatro y cinco  $\mu\text{m}$ . Se reproducen por fisión binaria o gemación y algunas pueden ser dimórficas o bifásicas y crecen como micelio bajo condiciones ambientales especiales. Son resistentes a antibióticos, sulfamidas y otros agentes antibacterianos de forma natural (s. p.).

### **Calidad de los biofermentos**

La calidad de los biofermentos es uno de los temas primordiales en el proceso de producción; sin embargo, ésta va a depender de:

La variabilidad de los diferentes insumos con los que se elaboran, así como del proceso de fermentación mediante el cual se producen (fermentación aeróbica o anaeróbica) y del inóculo microbial inicial. Esto está directamente relacionado con el tipo de proceso e inóculo, lo cual determinará la composición de las poblaciones microbianas dominantes (p. 26).

Durante su producción debe mantenerse su inocuidad, asimismo:

Se debe eliminar o reducir al mínimo permitido, la presencia de microorganismos patógenos para el hombre como *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, entre otros (Soto y Meléndez, 2004).

Además, es necesario asegurarse que los niveles de coliformes sean lo más bajos posibles. Esto se logra regulando el pH del biofermento; niveles inferiores a 3,5-4,0 aseguran la inocuidad del biofermento, respecto a presencia de coliformes según Uribe (2003) (Araya, 2010, p. 25).

### **Abonos orgánicos**

Los abonos orgánicos son todos aquellos materiales de origen orgánico (restos animales o vegetales), que se aplican a las plantas de manera directa o indirecta para favorecer su crecimiento y además aumentar su producción. Se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas,

químicas y biológicas. Mejorando así la estructura del suelo debido a que la MO es considerada como un agente activo que favorece la agregación a través de mecanismos físicos y químicos (Arreola *et al.*, 2004). Los abonos orgánicos no siempre tienen las mismas características físicas y químicas, ya que esto dependerá del contenido nutricional de los materiales con los que se elaboran (López, 2020).

### **Compostaje**

Según Escobar Escobar *et al.*, (2012):

Se refiere a la mezcla de MO en descomposición (restos de cosecha, broza de café, estiércol, pasto, entre otros) en condiciones aeróbicas (con presencia de oxígeno) (FAO, 2013). La MO es biotransformada mediante reacciones de óxido-reducción catalizadas por enzimas microbianas. En este proceso, los microorganismos utilizan la MO como nutriente para su desarrollo, produciendo su descomposición (mineralización), hasta moléculas orgánicas e inorgánicas, más sencillas, siendo el proceso de humificación, el paso en el cual, se crean nuevas macromoléculas, a partir de moléculas sencillas, formadas en la descomposición. El proceso en conjunto produce fundamentalmente calor, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y compuestos húmicos (s. p.).

No obstante, García (2019) menciona que el abono orgánico por sí solo no es suficiente para lograr el nivel de producción que el agricultor desea, por lo que es necesario realizar una estrategia de manejo incorporando diferentes herramientas como los biofermentos. Así, se trabaja de manera conjunta en incrementar:

La cantidad y diversidad de la flora microbiana benéfica liberando paulatinamente los nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo, ya que se les considera como fertilizantes de liberación lenta cuya acción se prolonga con el tiempo favoreciendo la producción de alimentos (s. p.).

## Estimación de la diversidad microbiana

El índice de Shannon-Weaver (H) es de los más utilizados para cuantificar la biodiversidad específica. “El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa” (Pla, 2006, s. p.). Conceptualmente, esta es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad. El índice de Shannon se define como (Shannon y Weaver, 1949):

$$H = - \sum_{i=1}^S \pi_i \ln \pi_i$$

De acuerdo con Pla (2006):

La diversidad máxima ( $H_{\max} = \ln S$ ) se alcanza cuando todas las especies están igualmente presentes. Un índice de homogeneidad asociado a esta medida de diversidad puede calcularse como el cociente  $H/H_{\max} = H/\ln S$ , que será uno si todas las especies que componen la comunidad tienen igual probabilidad ( $p_i = 1/S$ ) (Pla, 2006).

El antilogaritmo de H ( $e^H$ ) cuantifica el número de especies, igualmente abundantes, suficiente para producir el mismo grado de incertidumbre, o sea el mismo valor de H. Cuanto mayor sea la diferencia entre  $e^H$  y S, el total de especies, menos diversa será la comunidad. Esta cuantificación puede ser útil al comparar gráficos de dispersión del índice de Shannon en función de la riqueza en varias comunidades (s. p.).

Con datos muestrales,  $H_{\max} = \ln(r)$  indica qué índice de diversidad de Shannon podría haberse alcanzado con las especies presentes, mientras  $S_H = e^H$  indica cuántas especies equiabundantes serían necesarias para obtener ese índice observado. Un H menor que 2 se considera baja diversidad, H de 2-3 diversidad normal y H mayor que 3 como diversidad alta (Borglin *et al.*, 2012).

### Capítulo III. Metodología

#### Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en el periodo comprendido entre mayo de 2019 a enero de 2020, en tres fincas cafetaleras de socios de COOPEATENAS, R. L. Estas fincas se ubican en la provincia de Alajuela, en el cantón de Atenas. En la Tabla 2 se describen las coordenadas geográficas medias y características básicas de cada finca.

**Tabla 2.**

*Fincas participantes en la investigación.*

<b>Finca</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Ubicación</b>	San Isidro	Morazán	Estanquillos
<b>Coordenadas geográficas medias</b>	9°59'42» latitud norte y 84°25'58» longitud oeste, a una altura de 820 m s. n. m.	9°59'56» latitud norte y 84°24'38» longitud oeste, a una altura de 870 m s. n. m.	9°59'08» latitud norte y 84°27'19» longitud oeste, a una altura de 1100 m s. n. m.
<b>Variedad de Café</b>	Caturra - Catuaí	Pacamara - Anacafé 14 y Maselleza	Esperanza 1
<b>Condición</b>	Finca bajo sombra de Poró y Eucalipto	Finca bajo sombra de Poró y Eucalipto	Sin sombra, finca recién Sembrada.

#### Manejo del cultivo

Las fincas evaluadas se encontraban bajo un sistema convencional de manejo agronómico (paquete tecnológico de fertilizantes y plaguicidas sintéticos). Al ser parte de una Cooperativa, los socios deben ajustarse al paquete de manejo estándar de fertilización, el cual consiste en fórmula completa: 22-3-15-6(MgO)-0,2(B) + 22 % N – 4(MgO) y la aplicación foliar de productos sintéticos para efectos de manejo fitosanitario (Tabla 3). Si bien la cooperativa trabaja bajo un sistema de fertilización convencional

(uso de agroquímicos) existe una necesidad muy grande de buscar alternativas sostenibles para los asociados. Por esta razón se plantea esta investigación, en donde se abre un espacio a la exploración de insumos biológicos que representen un manejo sostenible del sistema agrícola cafetalero así como bajar los costos de aplicación de los insumos.

El ensayo se realizó entre los meses de Julio y Noviembre de 2019.

**Tabla 3.**

*Productos fitosanitarios utilizados en el paquete de manejo convencional de las fincas cafetaleras de la cooperativa, COOPEATENAS.*

<b>Producto comercial</b>	<b>Descripción</b>	<b>Composición</b>
Opera® 18,3 SE	Fungicida	Estrobilurina, triazol y epoxiconazole
COSMO-IN	Surfactante e hipotensor que aumenta la dispersión, humectación y penetración de los agroquímicos	Alcohol Etoxilado
COSMO-AGUAS®	Regulador de pH	Citratos y edetatos quelatantes
TriadAMIN®	Fertilizante foliar orgánico mineral alto en aminoácidos libres	Aminoácidos libres Elementos menores quelatados

### **Descripción de los bioinsumos evaluados**

#### ***Biofermento Biodiamante***

El biofermento Biodiamante está compuesto por microorganismos de montaña (MM), semolina de arroz, melaza y suero de leche. Es enriquecido con la mezcla de varios biofermentos de fósforo (P),

potasio (K), magnesio (Mg), boro (B), zinc (Zn), calcio (Ca), y silicio (Si) (Tabla 4). Además de la incorporación de algas y ácidos fúlvicos, productos preparados también en la biofábrica. El equipo técnico de la Cooperativa ha realizado la estandarización del proceso de elaboración del biofermento.

**Tabla 4.**

*Composición de la fórmula del biofermento Biodiamante para producir 160 litros.*

Descripción	Cantidad (l)
Bio fósforo	20,00
Bio potasio	20,00
Bio magnesio	20,00
Bio manganeso	20,00
Bio boro	20,00
Bio zinc	20,00
Bio calcio	20,00
Bio silicio	20,00
<b>Total</b>	<b>160,00</b>

Fuente: Coopeatenas (2019).

Las aplicaciones de biofermento dirigidas

al suelo consistieron en una mezcla de 20 % Biodiamante, 10 % algas, 10 % ácidos fúlvicos y 60 % agua.

Si las aplicaciones eran foliares se preparó una variante con 5 % Biodiamante, 1 % algas, 1 % ácidos fúlvicos, 93 % agua. Cabe mencionar que el biofermento Biodiamante se formula en la planta de biofermentos de la Cooperativa cada vez que se requiera para las diversas aplicaciones, esto con el fin de mantener su calidad.

### ***Compost enriquecido***

Por otro lado, COOPEATENAS consideró pertinente analizar la respuesta de los cafetos a la aplicación de *compost* elaborado por la propia Cooperativa a base de broza de café, enriquecido con 3 %

de Kmag (fertilizante inorgánico granulado a base de sulfato de potasio y sulfato de magnesio), y 3 % de Nutram (nitrato de amonio 33%).

### Tratamientos

Los tratamientos para evaluar durante el ensayo consistieron en una combinación de los fertilizantes biofermento Biodiamante (aplicado al suelo y/o vía foliar), compost enriquecido o fertilizante sintético de acuerdo con la Tabla 5. Se incluyó un tratamiento testigo que consistió en el paquete convencional usado de manera generalizada por los socios de la Cooperativa.

**Tabla 5.**

*Tratamientos evaluados en la investigación.*

#	Tratamiento	Dosis por planta
1	Biodiamante vía foliar	250ml
	Fórmula Completa al suelo	85 g
2	Biodiamante vía foliar	250 ml
	Biodiamante al suelo	400 ml
3	Biodiamante vía foliar	250 ml
	Compost enriquecido	1 kg
4	Fórmula Completa al suelo	85 g
	TriadAMIN -CosmoFoliar -Opera-	80 ml
	Cosmo In-Cosmo Aguas	

### ***Frecuencia de aplicación***

Los tratamientos fueron aplicados una vez al mes (Tabla 6). En las aplicaciones foliares se utilizó bomba de espalda de motor. Para el tratamiento 2 que requería la aplicación de Biofermento al suelo,

se utilizó bomba de espalda manual sin boquilla (aplicación tipo drench). El compost se aplicó de manera manual, colocándolo en la franja tradicional de aplicación. La fórmula completa se aplicó de manera manual en la franja de aplicación de las fincas. El horario de aplicación para todos los tratamientos comprendió entre las 6:00am y 9:00am del mismo día, con el fin de evitar niveles altos de radiación solar que pudiesen afectar la calidad del biofermento.

**Tabla 6.**

*Aplicaciones y muestreos realizados para analizar las propiedades químicas y comunidades microbianas.*

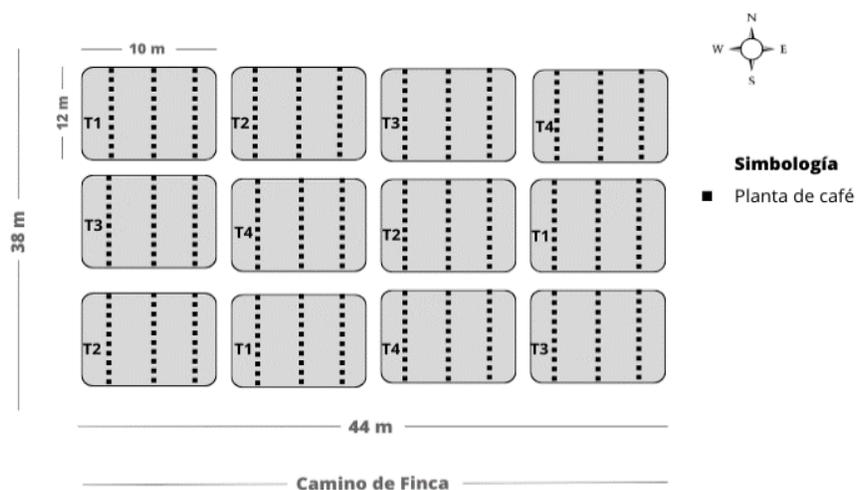
MESES	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Aplicación	1	2	3	4	
Evaluaciones	X		X		X

### Diseño experimental

En cada una de las tres fincas se estableció un diseño experimental que consistió en bloques aleatorizados completamente, constituidos por parcelas de  $10 \times 12 \text{ m}^2$ , con un área total de  $120 \text{ m}^2$  por parcela. Los tratamientos se asignaron al azar a los bloques (Figura 1) para establecer tres repeticiones por tratamiento. En el ensayo se evaluó el tipo de manejo con cuatro niveles correspondientes a las cuatro combinaciones de productos fertilizantes. Lo anterior constituye un total de 12 unidades experimentales (ue). La ue está formada por 30 plantas de las cuales se tomaron 10 plantas que corresponden a las unidades observacionales. El resto de las plantas tuvieron la función de crear un amortiguamiento entre tratamientos y bloques.

Figura 1.

Diagrama del diseño experimental.



## Muestreo

### Suelo

Se realizaron tres evaluaciones en el periodo de investigación donde se colectaron muestras de suelo, con el fin de realizar análisis químicos y análisis de diversidad microbiana para cada una de las tres fincas. En cada una de las 12 unidades experimentales (por finca) se tomaron dos muestras compuestas de 500 g de suelo, una para realizar análisis químicos y otra para realizar los análisis de diversidad microbiana. Se recolectaron 24 muestras de suelo por finca por muestreo para un total de 72 entre las tres fincas, teniendo un total de 216 muestras en los 3 muestreos.

En cada uno de los tres muestreos, las muestras fueron empacadas, identificadas y colocadas en bolsas plásticas estériles. Las muestras tomadas para los análisis de diversidad microbiana se transportaron el mismo día en cadena de frío (por medio de hieleras) al Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas (CENIBiot). El CENIBiot es un laboratorio del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT-Conare) que trabaja en el escalamiento biotecnológico. Las muestras para análisis

químico se transportaron el mismo día al laboratorio Agroanálisis de Costa Rica: laboratorio Químico Grecia, Alajuela, C. R.

### ***Biofermento Biodimante***

Para realizar el análisis químico del biofermento Biodiamante, se tomó una muestra de 500 ml en un recipiente estéril. La muestra se transportó el mismo día al laboratorio Agroanálisis de Costa Rica: laboratorio Químico Grecia, Alajuela, C. R. Además, en el transcurso de la investigación se tomaron tres muestras de 500 ml de biofermento Biodiamante para realizar un análisis de diversidad microbiana. Esto con el fin de monitorear su calidad. Las muestras se empacaron en botellas estériles y se transportaron en frío al CENIBiot el mismo día de realizado el muestreo.

### ***Compost enriquecido***

Se tomó una muestra de 500 g de compost enriquecido para realizar análisis químico. Con el fin de determinar las propiedades químicas del suelo se realizaron las rutinas analíticas para medir acidez, pH, Ca (cmol(+)/L), Mg (cmol(+)/L), K (cmol(+)/L), P (mg/L), Zn (mg/L), Cu (mg/L), Fe (mg/L), Mn (mg/L). Las muestras se transportaron el mismo día al laboratorio Agroanálisis de Costa Rica: laboratorio Químico Grecia, Alajuela, C. R.

Además se realizó un análisis de actividad microbiana del compost, para lo cual se tomó una muestra de 500 g, la que se empacó en bolsa estéril y se llevó al Laboratorio de Microbiología del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA-UCR).

## **Variables a evaluar**

### ***Propiedades químicas del suelo***

Se determinaron las propiedades químicas del suelo aplicado con los tratamientos de acuerdo con lo descrito en las secciones anteriores. Por otro lado, se realizó un análisis de diversidad microbiana como se describirá a continuación.

### ***Análisis de diversidad microbiana***

El CENibiot analizó las muestras de suelo y de biofermento Biodiamante mediante la extracción de ADN. Esta extracción se realizó con un protocolo modificado de Biver y Vandebol (2012). El ADN obtenido se cuantificó para normalizar la concentración a 75 ng/uL para el siguiente paso que es la amplificación por PCR (reacción en cadena de la polimerasa) de la región 16S ribosomal. El ARN ribosomal 16S (o 16S rRNA) es el componente de la subunidad 30S de los ribosomas en los procariontes. Los genes que lo codifican se conocen como genes que se utilizan para la reconstrucción de filogenias y en este caso se empleó para determinar el perfil de comunidades microbianas por el método de *terminal restriction fragment length polymorphisms* (T-RFLP por sus siglas en inglés) o *polimorfismos en la longitud de fragmentos digeridos terminales*. El T-RFLP se usa para obtener el perfil de las comunidades microbianas en muestras ambientales o con cierto grado de complejidad, en el cual se sospecha la presencia de múltiples organismos.

Finalmente, los productos de PCR de la región 16S se digirieron con la enzima de restricción denominada *HhaI*, para después observar los perfiles mediante electroforesis capilar de fluorescencia. El resultado es una imagen gráfica donde el eje x representa los tamaños del fragmento y el eje y representa su intensidad de fluorescencia. La cantidad de fragmentos indica la diversidad microbiana dentro de una muestra del mismo origen. Por otro lado, la cantidad de fragmentos diferentes entre muestras de distintos orígenes revela la diversidad intermuestras.

Una vez realizado el método T-RFLP se obtuvo la abundancia relativa (AR) de los TRF en cada perfil y finalmente se calcularon los coeficientes de similitud de Bray-Curtis (Bray y Curtis, 1957) y el índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ) (Shannon y Weaver, 1949) tanto para las muestras de suelo como para las muestras de biofermento Biodiamante.

### ***Análisis de rendimiento***

Al final del ciclo de cultivo se procedió a la cosecha de los frutos. Con la información obtenida se contabilizó la producción de frutos en fanegas/ha para cada tratamiento de manera individual en cada una de las fincas por separado.

### ***Análisis de calidad del café***

Para evaluar la calidad del café se procedió a tomar una muestra de grano fresco por cada tratamiento en cada una de las fincas, para evaluar la composición por granulometría. El análisis lo realizó el personal de la Cooperativa.

De acuerdo con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2010):

La Granulometría se define como el procedimiento de partición de un lote de grano por su diferencia de tamaño, asignando valores aceptados para gradación comercial de calidad. El grado se asigna por el tamaño del grano predominante en el lote de café comercial.

Para la medición del tamaño del grano se utilizaron zarandas con perforaciones, las cuales son numeradas consecutivamente del 11 al 20 para tamices de perforación redonda. Los tamices numerados del 10 al 13 son aquellos de perforación oblonga (ISO/TC34, Technical Committee, 1991) (s. p.).

Para efectos del ensayo se utilizaron las zarandas Z15, Z16 y Z17, las cuales se usan como referentes para un café de buena calidad según la Cooperativa COOPEATENAS.

### **Análisis de catación**

Por medio de este análisis se evaluaron las propiedades de fragancia y aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, dulzor, uniformidad, tasa limpia y puntuación del catador (Tabla 7). A través de los catadores de la Cooperativa se evaluó cada una de las 10 propiedades, cada propiedad se califica con una puntuación de 1 a 10 y luego se suman. Los cafés con puntaje de entre 90 y 100 son catalogados como cafés de Especialidad Exquisitos, entre 85 y 89.99 como cafés de especialidad excelentes y entre 80 y 84.99 son cafés de especialidad muy buenos. Si se tiene menos de 80 puntos no es considerado café de especialidad y estaría en la categoría de café comercial. Para realizar el análisis se tomó una muestra por cada uno de los 4 tratamientos en cada una de las fincas evaluadas.

**Tabla 7.**

*Propiedades del café a evaluar en análisis de catación.*

<b>Propiedad a evaluar</b>	<b>Descripción</b>
1. Fragancia (F) y aroma (A)	(F) Aroma que tiene el café recién molido (en seco). (A) Olor del café al infusionarse con agua caliente.
2. Sabor	Impresión que combina todas las sensaciones de las papilas gustativas incluyendo los aromas retro nasales (de la boca a la nariz).
3. Sabor residual	Sensación de sabor a café que perdura en la boca luego de ser bebido. Si es muy corto o desagradable hace que la puntuación baje.
4. Acidez	Nota del sabor que considera los elementos ácidos del grano que hacen que el café no sea una bebida plana.
5. Cuerpo	Sensación que deja el café en la boca.

---

6. Balance	Equilibrio de los diferentes aspectos del sabor: post gusto, acidez y cuerpo.
7. Dulzor	Plenitud del sabor, se da por la presencia de los azúcares naturales del grano o adquiridos durante el secado. Es lo contrario a amargo.
8. Uniformidad	Consistencia que tiene el café en todas las tazas degustadas con la misma muestra de café.
9. Tasa limpia	No hay impresiones negativas desde el primer sorbo hasta el sabor residual.
10. Puntuación del Catador	Valoración del catador.

---

Fuente: Taste Pura Vida (2021).

### ***Análisis económico***

Se realizó un estudio financiero para medir los costos de cada tratamiento y también se comparó con su valor a la cosecha. De esta manera se establecieron balances económicos para evaluar la potencialidad del biofermento como opción económica en la producción de café. Analizando así, los insumos evaluados y su impacto en el costo final, comparándolos con el manejo convencional de la finca.

### ***Análisis estadístico***

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas en cada una de las áreas experimentales se realizó un análisis de la varianza (ANDEVA) utilizando el siguiente modelo lineal:

$$y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \text{ con } i = 1,2,3,4 \text{ y } j = 1,2,3.$$

Donde  $\mu$  corresponde a la media general,  $t_i$  el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento,  $\beta_j$  el efecto del  $j$ -ésimo bloque y  $\varepsilon_{ij}$  representan, errores normales e independientes con esperanza cero y varianza común  $\sigma^2$ .

Para cada modelo se comprobaron los supuestos del ANDEVA con los gráficos diagnósticos y pruebas correspondientes. En caso de que no se cumplieran los supuestos del ANDEVA se escogió el modelo con base en los criterios de Akaike (AIC) y de información Bayesiano (BIC) más adecuado. En las variables donde existan diferencias estadísticas entre los tratamientos se realizaron comparaciones de medias a través de la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ( $p \leq 0.05$ ). Se utilizó Infostat como la herramienta informática para el análisis de los resultados.

## Capítulo IV. Resultados y discusión

### Caracterización del biofermento Biodiamante

#### *Caracterización química*

La composición química del Biofermento Biodiamante, se detalla en la Tabla 8. Los resultados obtenidos para los macroelementos, presentan valores típicos correspondientes a un biofermento. Se aprecia al potasio (K) con un valor mayor de 0,7 % superior a los demás elementos. Es probable que el alto contenido de K se deba al uso de melaza, ingrediente utilizado en la preparación, rico en esta materia prima. Estos resultados coinciden con análisis de biofermentos realizados por Pacheco (2003), en donde el K se presenta en alta concentración. En cuanto a los demás elementos, los valores estuvieron por debajo del 0,4 %. Se encontró para el nitrógeno (N) total una concentración de 0,21 % y la concentración de P fue 0,205 %. Según Solano *et al.* (2009), al inicio de la fermentación el N se encuentra en cantidades mayores y después de la fermentación disminuye porque los microorganismos lo utilizan para su reproducción y síntesis de proteínas. No obstante, Pacheco (2003) y León (2015) mencionan que la actividad microbiana puede generar variabilidad en la composición química de los biofermentos. En la Tabla 8 se puede observar que para los microelementos analizados, el Hierro (Fe) es el elemento con valores superiores a 400 mg/kg, seguidos por Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Manganeseo (Mn).

En general el biofermento presentó niveles bajos de todos los elementos (Tabla 8); sin embargo, la acción principal de los biofermentos no se centra en su contenido nutricional, sino en su carga de microorganismos benéficos. Caracterizándose por ser una fuente orgánica de fitoreguladores, los cuales en pequeñas cantidades son capaces de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas. Por esta razón, pueden ser utilizados en una gran variedad de cultivos, complementando la nutrición e incrementando la calidad de las cosechas. Por su riqueza en compuestos orgánicos que estimulan el crecimiento, aplicado al suelo mejora la actividad microbiana y estructura,

incrementando el desarrollo radicular de las plantas gracias a las hormonas y precursores hormonales que contiene (Rivas, 2016).

**Tabla 8.**

*Composición química del biofermento Biodiamante.*

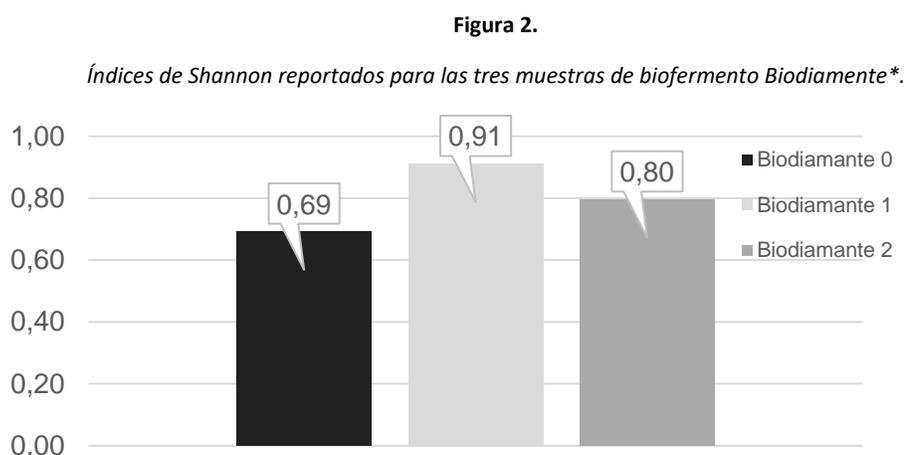
<b>Elemento</b>	<b>Concentración (%)</b>	<b>Método</b>
Nitrógeno Total (N) m/m	0,210	AOAC 993.13
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) m/m	0,205	AOAC 958.01
Potasio (K <sub>2</sub> O) m/m	0,719	AOAC 958.02
Magnesio (MgO) m/m	0,418	AOAC 984.01
Boro (B) mg/Kg	486	AOAC 982.01
Azufre (S) m/m	0,483	AOAC 980.02
Calcio (CaO) m/m	0,458	AOAC 945.04
Hierro (Fe) mg/Kg	289	AOAC 980.01
Zinc (Zn) m/m	0,249	AOAC 975.02
Manganeso (Mn) mg/Kg	0,111	AOAC 972.02
Cobre (Cu) mg/Kg	1120	AOAC 975.01
Materia Orgánica (M.O)	63	Combustión

Fuente: Coopeatenas (2019).

### ***Caracterización microbiológica***

Para las tres muestras de biofermento Biodiamante se reportaron valores bajos del índice de diversidad de Shannon ( $H' < 1$ ; entre 0,69 a 0,91) (Figura 2). Esto podría ser el resultado de una baja diversidad microbiana presente en el MM utilizado como insumo para preparar los biofermentos. Sin

embargo, generalmente la diversidad de especies del MM es alta; según Higa (2013) los MM contienen alrededor de 80 especies de microorganismos de unos 10 géneros, que pertenecen básicamente a cuatro grupos: bacterias fotosintéticas, actinomicetes, bacterias productoras de ácido láctico y levaduras. Cumpliendo así, roles benéficos en los procesos biológicos de los suelos y pueden ser encontrados en la capa superficial y orgánica de todo suelo de un ecosistema natural donde no haya habido intervención depredadora del hombre.



\*Biodiamante 0: primer, Biodiamante 1: segundo muestreo Biodiamante 2: tercer muestreo.

Al comparar la diversidad microbiana de las tres muestras de biofermento Biodiamante no se observaron diferencias significativas, lo cual es un resultado importante, ya que indica que el proceso de fabricación está estandarizado, teniendo como resultado un producto con características constantes en lotes de producción diferentes.

La mayoría de las formulaciones de biofermentos a base de microorganismos eficientes, tienen como ingredientes melaza, agua sin cloro y MM activados (Campo-Martínez *et al.*, 2014). Sin embargo, UI y Bano (2016), indican que es necesario agregar fuentes de carbohidratos como cascarilla de arroz, melaza, o bagazo de caña para estimular el crecimiento microbiano, aspecto que no fue considerado en

la fabricación del biofermento evaluado, pudiendo incidir este aspecto en una baja biodiversidad microbiana.

En investigaciones realizadas como la de Zeballos (2017) se obtuvo una baja diversidad de microorganismos en bioestimulantes derivados de biofermentos, debido a que los ingredientes variaron el ambiente de crecimiento para su óptimo desarrollo. Lo anterior concuerda con la presente investigación. Una hipótesis que explicaría la baja diversidad microbiana encontrada en el Biodiamante es que los microorganismos encontraron condiciones desfavorables para reproducirse debido a la interferencia con algunos otros ingredientes de la formulación final. Por ejemplo Ramos (2016), encontró variaciones en comunidades de microorganismos de acuerdo con los tipos de sales minerales usadas como ingredientes de los biofermentos.

Se debe aclarar que una baja diversidad microbiana no se relaciona directamente con la efectividad que se espera del biofermento sobre el rendimiento del cultivo, ya que los beneficios están dados por la presencia de los microorganismos benéficos específicos y por el incremento en la actividad y dinámica enzimática del suelo (Hernández-Flores *et al.*, 2013) y no tanto por la diversidad microbiana del biofermento como tal. Umaña (2017) analizó el potencial de los MM como biofermentos, a través de lo cual, se pudo establecer que la introducción de MM al suelo incrementa la actividad biológica, mejora las propiedades químicas del suelo y finalmente la calidad de los cultivos.

Los resultados de la caracterización microbiológica del Biodiamante mediante T-RFLP, construyendo análisis de similaridad mediante distancia de Bray-Curtis se informan posteriormente en conjunto con los análisis de diversidad microbiana.

## Caracterización del compost enriquecido

### Caracterización química

La composición química del compost enriquecido se detalla en la Tabla 9. Se encontró para el N total una concentración de 2,64 %. Con relación al P, la concentración fue 0,476 %. Las concentraciones de MgO y K<sub>2</sub>O, de 0,529 % y 2,44 % respectivamente. Según Paul y Clark (1996) el nivel óptimo de N en un abono orgánico debe ser mayor de 2 % y de 0,15-1,5 % para P. Además, mencionan características idóneas respecto al color que debe ser negro a café oscuro, así como una humedad menor al 40 %. De acuerdo con lo anterior, el abono enriquecido de presenta características óptimas, lo cual es muy beneficio para los suelos que reciben estos sustratos.

**Tabla 9.**

*Composición química del compost enriquecido elaborado en COOPEATENAS.*

Elemento	Concentración	Método
Nitrógeno Total (N) m/m	2,64%	AOAC 993.13
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) m/m	0,476%	AOAC 958.01
Potasio (K <sub>2</sub> O) m/m	2,44%	AOAC 958.02
Magnesio (MgO) m/m	0,529%	AOAC 984.01
Boro (B) m/m	108 mg/kg	AOAC 982.01
Azufre (S) m/m	0,334%	AOAC 980.02
Calcio (CaO) m/m	2,89%	AOAC 945.04
Hierro (Fe) m/m	1,97%	AOAC 980.01
Zinc (Zn) m/m	41,0 mg/kg	AOAC 975.02
Manganeso (Mn) m/m	406mg/kg	AOAC 972.02
Cobre (Cu) m/m	67.8mg/kg	AOAC 975.01

Materia Orgánica (M.O)	60,62%	Combustión
------------------------	--------	------------

Fuente: Coopeatenas (2022).

Una ventaja de las aplicaciones de *compost* es que estos liberan lentamente los nutrientes y el carbono presente es de fácil asimilación por parte de los microorganismos. Debido a lo anterior el *compost* nutre el suelo de manera sostenida. Lo anterior es mencionado por Soto y Muñoz (2002): señalan que el *compost* libera los nutrimentos lentamente teniendo como ventaja la reducción en pérdidas por lixiviación y volatilización y constituyendo una fuente de nutrimentos a largo plazo» (s. p.).

Adicionalmente, varios autores señalan respecto al efecto de estas enmiendas orgánicas sobre las propiedades químicas: «En una evaluación de cuatro años sobre los efectos de la aplicación de fertilizantes sintéticos y orgánicos, encontraron incrementos en las concentraciones de C, P, K, Ca y Mg en los sistemas que recibieron abonos orgánicos continuamente» (Soto y Muñoz, 2002, p. 4). Douds *et al.* (1997) también encontraron incrementos en los: «Contenidos de P y K disponibles luego de tres años de aplicación de *compost* de estiércol de gallina, ganado vacuno y follaje, además detectaron un efecto significativo en las poblaciones de micorrizas, específicamente de *Glomus sp.* y *G. etunicatum*» (s. p.).

Con base en lo anterior, es posible establecer que existe la posibilidad de que la adición del *compost* enriquecido se traduzca en suelos más saludables en las fincas cafetaleras de socios de COOPEATENAS.

### **Caracterización microbiológica**

La tasa de respiración del *compost* enriquecido presentó un valor de 257 mg C-CO<sub>2</sub>/Kg día. Según Ayuso *et al.* (1996), mientras más estable es la MO, la emisión de CO<sub>2</sub> y la actividad microbiana son menores ya que existe menos material de fácil descomposición lo que impide la degradación por

parte de los microorganismos. Por lo que, en el contexto de abonos orgánicos, se estaría hablando de un abono estable adecuado para aplicar en el cultivo de café. El desprendimiento de CO<sub>2</sub>, medido a través de la determinación de la respiración microbiana, puede considerarse como uno de los parámetros más sensibles a los cambios que ocurren en la transformación de la MO, detectándose en el proceso una fase inicial de mineralización rápida, donde tiene lugar la descomposición por los microorganismos de los compuestos fácilmente disponibles y otra fase final donde la mineralización es lenta; indicando el agotamiento de nutrientes para la microbiota involucrada en la descomposición (Acosta *et al.*, 2006).

Es importante mencionar que el establecimiento de prácticas agrícolas que permitan la disposición adecuada de desechos orgánicos, constituye una vía para reciclar tales residuos y así aminorar impactos negativos al ambiente. Esto permite que los residuos se reincorporen en el ciclo productivo convirtiéndose en nutrimentos para las plantas y organismos del suelo. Lo anterior ofrece valor a la cadena productiva de los socios de COOPEATENAS, quienes buscan la reutilización de materiales en beneficio del ambiente.

### **Evaluación del efecto del biofermento Biodiamante y compost enriquecido**

#### ***Propiedades químicas del suelo***

La composición química del suelo de las tres fincas experimentales no difirió de acuerdo con los tratamientos aplicados, ya que ninguno de los elementos analizados presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) (Tabla 10).

**Tabla 10.**

*Propiedades químicas del suelo de las tres fincas experimentales de acuerdo con tratamientos de manejo aplicados.*

Finca/tratamiento*	pH	ACIDEZ	Ca (cmol(+)/L)	Mg (cmol(+)/L)	K (cmol(+)/L)	P (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
F1T1	4,5	13,05	8,21	4,38	1,27	42,4	4,4	13,6	379,0	39,7

F1T2	4,8	14,72	8,72	4,34	0,94	41,49	4,90	11,97	299,33	40,30
F1T3	4,4	14,27	6,05	3,42	0,88	72,53	4,43	16,70	512,67	48,27
F1T4	4,6	14,01	7,66	4,05	1,03	52,14	4,57	14,09	397,00	42,74
F2T1	4,4	13,84	6,09	2,85	1,39	87,81	5,50	14,27	446,33	58,90
F2T2	4,6	15,81	4,52	2,51	0,95	85,3	5,7	14,9	462,7	58,8
F2T3	4,2	17,16	4,82	2,58	1,31	114,39	5,00	15,57	499,33	62,17
F2T4	4,2	16,33	4,78	2,67	1,35	118,76	5,73	17,50	481,33	64,47
F3T1	5,5	1,37	27,55	8,57	3,03	72,42	10,13	5,37	39,77	70,37
F3T2	5,8	0,28	28,56	8,76	2,29	82,8	10,0	4,7	34,1	49,3
F3T3	5,3	3,70	22,34	7,39	3,37	82	9,9	6,87	133,7	96,07
F3T4	6,3	0,49	24,03	8,33	4,56	203,07	14,27	4,13	43,97	52,80

\*F = finca, T = tratamiento.

Los resultados aquí expuestos coinciden con otras investigaciones; por ejemplo, Ortega (2013) evaluó dos recetas de biofermentos utilizando como base el mantillo de áreas boscosas. Realizó análisis químico del suelo (además de análisis de biomasa y respiración microbiana). Como resultado de la aplicación de los dos biofermentos se determinó un aumento de la respiración ( $p = 0,0152$ ) y una disminución para la biomasa microbiana ( $p = 0,0496$ ). No obstante, la aplicación de biofermentos no afectó la concentración de elementos en el suelo ( $p > 0,05$ ). El autor concluyó que se requiere un mayor tiempo de evaluación para determinar si el uso de estos biofermentos podría tener algún efecto sobre las variables químicas y físicas del suelo. Por lo tanto, es recomendable continuar con el monitoreo de las características químicas del suelo en las fincas experimentales para verificar cambios en el tiempo.

## Diversidad microbiana del suelo

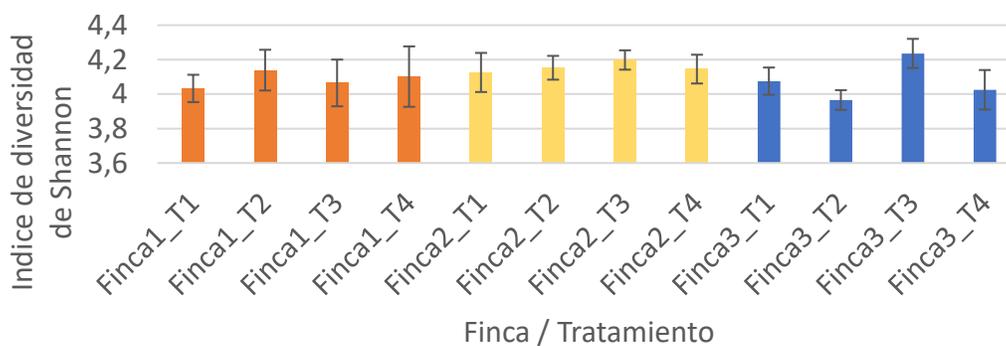
### Índice de Shannon

#### Análisis por fincas y tratamientos

La diversidad microbiana del suelo de las parcelas bajo los tratamientos para cada una de las fincas no fue estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) (Figura 3). El suelo aplicado con el tratamiento 3 (biofermento Biodiamante vía foliar más *compost* aplicado al suelo) presentó una tendencia a presentar mayor diversidad microbiana, esto en el caso de las fincas 2 y 3. Las anteriores presentaron valores de índice de diversidad de Shannon de 4.197 y 4.236 respectivamente. En contraste, en la finca 1, el tratamiento 2 (biofermento Biodiamante aplicado vía foliar y al suelo) presentó un valor mayor de diversidad, específicamente de 4,139.

**Figura 3.**

*Promedio del Índice de diversidad de Shannon por finca y tratamiento, el promedio comprendió tres muestreos\*.*



\*T1: Biodiamante vía foliar + Fórmula Completa, T2: Biodiamante vía foliar + Biodiamante al suelo, T3: Biodiamante vía foliar + Compost enriquecido y T4: Formula completa de finca.

En las tres fincas, los valores más altos de diversidad se presentaron en los tratamientos donde se aplicaron insumos orgánicos y no en los tratamientos donde se aplicaron insumos sintéticos. En ambos casos, este fenómeno podría explicarse por la aplicación de bioestimulantes microbianos y en

mezcla; tanto en el Biodiamante como en el *compost*, los cuales aportan un inóculo microbiano al suelo, además de propiciar condiciones favorables para la reproducción de las comunidades microbianas nativas. Los resultados sugieren la presencia de efectos positivos en la biología edáfica por la adición de los insumos evaluados en el tiempo. Desde el punto de vista microbiológico, la aplicación de enmiendas orgánicas como los biofermentos y/o el *compost* genera importantes cambios; por ejemplo: «Un incremento de carbono orgánico introduce nuevos microorganismos en el suelo modificando su biomasa y estructura microbiana» (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2020).

Es probable que el *compost* en mezcla con el biofermento actuara como fuente de energía que promovió la actividad microbiana en suelo. Además, esta enmienda constituye un soporte y alimento para los microorganismos, lo que mejora la actividad biológica del mismo. La aplicación de *compost* (como el elaborado en COOPEATENAS) podría potencialmente modificar la estructura microbiana del suelo, favoreciendo la abundancia de bacterias benéficas.

Es importante señalar que cada una de las fincas experimentales presentaba sus particularidades y esto tuvo influencia en el efecto de los tratamientos probados, lo que a su vez influyó en las variables medidas, como fue el índice de diversidad microbiana. No obstante, el uso de tratamientos alternativos como el T1, T2 y T3 favorecieron la diversidad microbiana, a pesar de no detectarse diferencias significativas con respecto al tratamiento de fertilización convencional (T4), por lo menos en el corto plazo. Es posible hipotetizar que las diferencias en la diversidad microbiana encontrada en los tratamientos orgánicos evaluados, podría incrementarse y diferenciarse del tratamiento convencional con el paso del tiempo.

## **Análisis por fincas individuales**

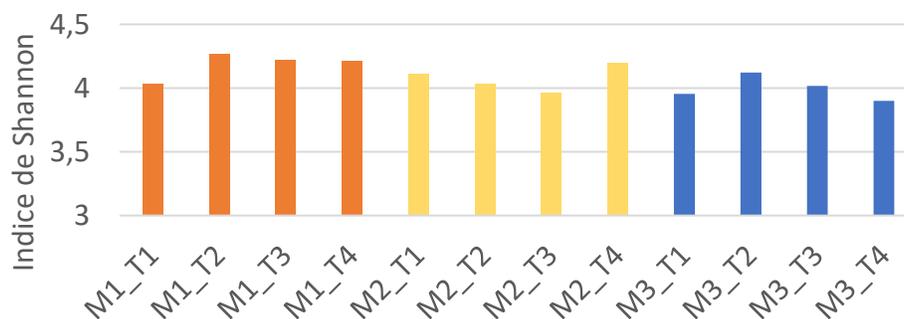
### ***Finca 1***

La diversidad microbiana del suelo aplicado con los insumos evaluados no presentó diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los tres muestreos ( $p > 0.05$ ). Además, no se detectó alguna tendencia emergente en el comportamiento del índice de diversidad de Shannon (Figura 4). Esto indica cierta estabilidad del ambiente edáfico a través del tiempo, posiblemente debido a la ausencia de perturbaciones fuertes del sistema productivo. Esto es interesante, ya que existe una fuerte correlación entre los microorganismos y las condiciones ambientales del ambiente que ocupan. Estas pueden estar definidas por distintas variables entre las que se encuentran temperatura, humedad, radiación, pH, salinidad, tipo de suelo, porcentaje de MO, cantidad y tipo de nutrientes: «Estos parámetros condicionan las especies microbianas que se establecen en un hábitat y a su vez, estas especies ejercen una evidente influencia sobre el ambiente» (Urbieta, 2013, s. p.). Algo importante de mencionar es que, a lo largo de los diferentes muestreos la diversidad se mantuvo constante. Según Ricotta (2005), las ventajas de que un ecosistema presente una alta diversidad se basa en términos de su capacidad productividad, resiliencia y resistencia. La resiliencia toma importancia debido a que es un el indicador general del funcionamiento del ecosistema, y se refiere a la capacidad de una comunidad para resistir o recuperarse ante una perturbación. De manera que si ocurre una perturbación en la cual la diversidad disminuye, pero el sistema mantiene un rango de funciones claves, entonces el sistema es resiliente (Griffiths *et al.*, 1997).

Esto podría indicar que, si una comunidad tiene suficiente diversidad de especies, pudiese perder algunas de ellas durante una perturbación, y, sin embargo, no se afectaría significativamente el funcionamiento, entonces el nivel de resiliencia es alto y el funcionamiento del ecosistema no será afectado a largo plazo (Ricotta, 2005) (Zamora *et al.*, 2012, p. 4).

Figura 4.

Índice de Shannon para medir diversidad microbiana de suelo aplicado con los tratamientos en los tres muestreos realizados en la finca 1\*.



\*T1: Biodiamante vía foliar + Fórmula Completa, T2: Biodiamante vía foliar + Biodiamante al suelo, T3: Biodiamante vía foliar + Compost enriquecido y T4: Fórmula completa de finca.

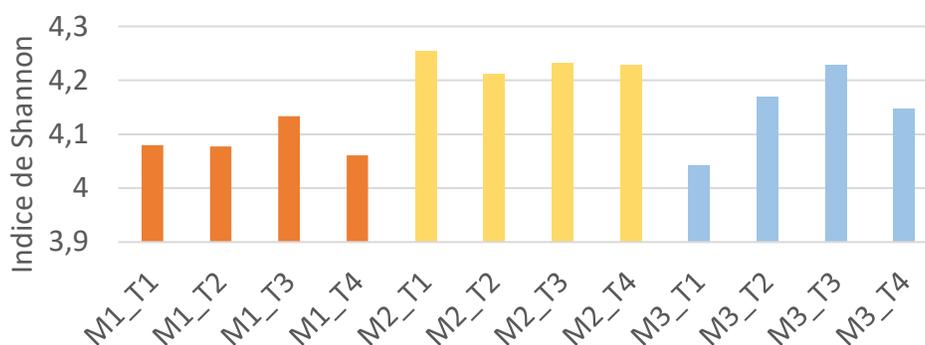
## Finca 2

La diversidad microbiana registrada en suelo no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) de acuerdo con los tratamientos aplicados (Figura 5). En la finca 2, la máxima diversidad microbiana se presentó en suelo aplicado con el tratamiento 1 (Biodiamante más fórmula completa) durante el segundo muestreo, seguido por los tratamientos 3 y 4 (Biodiamante más compost enriquecido y Fórmula completa de finca, respectivamente) en el mismo muestreo (Figura 5).

En esta finca, se presentaron los valores máximos de índice de Shannon en el muestreo 2 en todos los tratamientos, esto sugiere el efecto de algún factor ambiental que fue favorable para la expresión de la comunidad microbiana edáfica. El muestreo 2 se realizó en el mes de setiembre, en el cual las condiciones ambientales fueron más húmedas y con más lluvias en comparación con los muestreos 1 y 3, lo que pudo promover la reproducción microbiana y una mayor expresión de la diversidad. Durante los muestreos 1 y 3, se presentaron valores máximos de diversidad en el T3 (Biodiamante vía foliar más *compost* enriquecido), lo cual sugiere un efecto diferenciado y positivo de los insumos alternativos sobre las propiedades microbiológicas del suelo. Para confirmar la tendencia, es necesario continuar con el monitoreo en las parcelas aplicadas con dichos insumos.

Figura 5.

Índice de Shannon para medir diversidad microbiana de suelo aplicado con los tratamientos en los tres muestreos realizados en la finca 2\*.



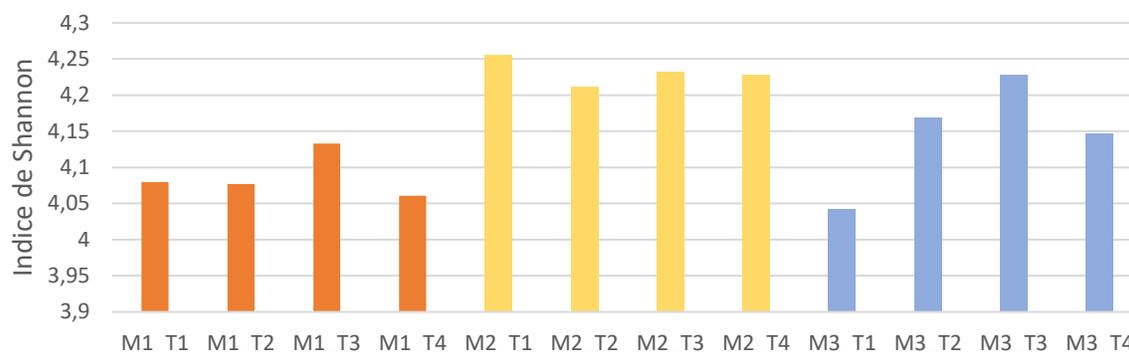
\*T1: Biodiamante vía foliar + Fórmula Completa, T2: Biodiamante vía foliar + Biodiamante al suelo, T3: Biodiamante vía foliar + Compost enriquecido y T4: Formula completa de finca.

### Finca 3

La diversidad microbiana (índice de Shannon) de suelo aplicado con los diversos tratamientos en los tres muestreos no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos durante los tres muestreos (Figura 6). Se puede apreciar que en el segundo muestreo se presentaron los valores más altos de índice de diversidad, nuevamente este muestreo coincide con la temporada de lluvias, lo cual pudo favorecer la expresión de la genética de la comunidad microbiana. Por otro lado, en el caso de los muestreos 1 y 3, se presentó una tendencia en el tratamiento 3 (Biodiamante vía foliar + Compost enriquecido) a presentar valores máximos de diversidad microbiana.

Figura 6.

Índice de Shannon para medir diversidad microbiana de suelo aplicado con los tratamientos en los tres muestreos realizados en la finca 3\*.



\*T1: Biodiamante vía foliar + Fórmula Completa, T2: Biodiamante vía foliar + Biodiamante al suelo, T3: Biodiamante vía foliar + Compost enriquecido y T4: Formula completa de finca.

Inicialmente la finca 3 no presentaba cobertura vegetal, siendo la plantación más joven respecto a la finca 1 y 2, lo cual puede explicar la diversidad microbiana más baja de los tres muestreos.

A manera general no se visualiza un comportamiento similar en las tres fincas, el índice de diversidad fue heterogéneo a lo largo de los muestreos en todos los casos.

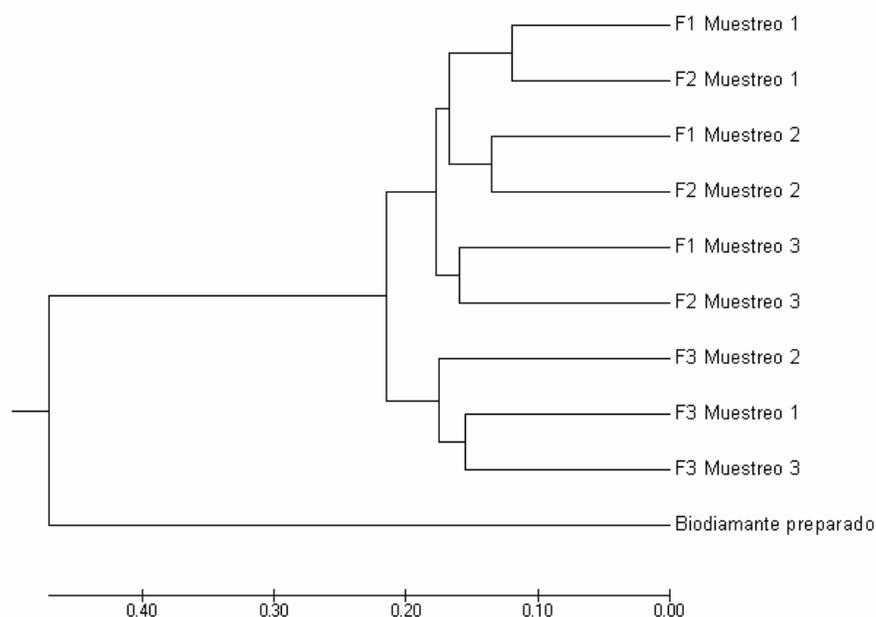
### Distancia de Bray-Curtis

### Análisis por fincas y tratamientos

El análisis de similitud de las comunidades microbianas utilizando análisis de conglomerados y distancia de Bray-Curtis incluyó el análisis del biofermento Biodiamante. En el dendrograma de este análisis (Figura 7) se muestra la rama del biofermento unida al resto de las muestras de suelo solo por el nodo principal. Lo anterior, indica una alta disimilitud entre las comunidades microbianas presentes en el biofermento con respecto a las muestras de suelo aplicadas con los tratamientos. La muestra de Biodiamante presenta un consorcio de microorganismos que representan habitantes naturales de sistemas edáficos; sin embargo, tuvo una estructura diferente a la de los suelos agrícolas del estudio.

Figura 7.

Análisis de conglomerados basados en la distancia de Bray- Curtis de las comunidades microbianas presentes en el biofermento Biodiamante y en suelos aplicados con los tratamientos experimentales en tres fincas a lo largo de tres muestreos.



En las fincas 1 y 2 se presentó mayor similitud en las comunidades microbianas a lo largo del tiempo (durante los muestreos). Estas fincas presentaron la característica en común de tener cobertura en el suelo y ser cafetales manejados con sombra. Por el contrario, la finca 3 no presentaba cobertura en el suelo, siendo una finca sin árboles de sombra, con una mayor exposición del suelo a la luz solar directa. Estas diferencias en los agroecosistemas pueden tener injerencia en las características de las comunidades microbianas, lo que puede explicar la separación de las muestras de la finca 3 (Di Ciocco *et al.*, 2014).

Es bien conocido que la cobertura vegetal tiene efectos positivos sobre el suelo, reduciendo la temperatura y frenando la evaporación directa, reduciendo la escorrentía en favor de la infiltración al retener el agua, captura la humedad del aire y protege al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, que destruyen el sistema poroso superficial (Kirilovsky, 2016, s. p.).

Por otro lado, la calidad y cantidad de cobertura en los suelos agrícolas se relaciona con el flujo de sustancias orgánicas que influyen sobre la oxidación del carbono orgánico nativo del suelo. Esto modifica las características físicas del suelo, aportando carbono y nitrógeno fácilmente disponibles para el crecimiento de los microorganismos.

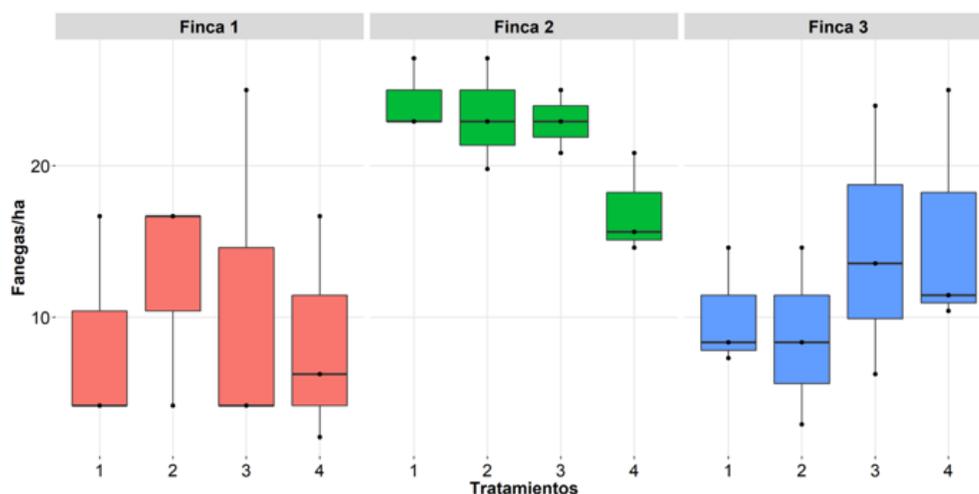
### **Rendimiento**

No se presentaron diferencias significativas en los rendimientos (fanegas/ha) registrados en las parcelas experimentales ( $p > 0.05$ ) en las fincas individuales. En las tres fincas, se observó una tendencia a un mayor rendimiento en el tratamiento 3 (biofermento Biodiamante aplicado vía foliar más *compost* enriquecido) (Figura 8). Esto se espera debido a que los biofermentos en conjunto con *compost* favorecen los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas a través del mejoramiento de la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, el incremento de la absorción y asimilación de elementos minerales y el aumento de la tolerancia de las plantas al estrés, todo lo cual conduce a la obtención de mayores rendimientos (Ardisana, 2020, s. p.).

El tratamiento 3, además de ser una mezcla de *compost* más biofermento, está enriquecido con algas y ácidos húmicos que son bioestimulantes. Los rendimientos que se obtienen con el empleo de productos bioestimulantes por lo general se atribuyen no a la concentración de nutrientes presentes en ellos, sino al aporte de ácidos húmicos, por ejemplo. Estas sustancias activan el metabolismo vegetal, incidiendo favorablemente en la absorción y asimilación de nutrientes, la absorción de agua, e incrementando la tolerancia a distintos tipos de estrés (Canellas *et al.*, 2015, s. p.). Asimismo, la incorporación de algas, aporta aminoácidos, vitaminas y fitohormonas, actuando sobre el metabolismo general de las plantas, lo que favorece su crecimiento y desarrollo (Furlan *et al.*, 2019).

Figura 8.

Resultados globales de fanegas/ha/finca/tratamiento (promedio de todos los muestreos por finca  $\pm$  DE).



\*T1: Biodiamante vía foliar + Fórmula Completa, T2: Biodiamante vía foliar + Biodiamante al suelo, T3: Biodiamante vía foliar + Compost enriquecido y T4: Fórmula completa de finca.

Globalmente, se presentó la tendencia a obtener mayores rendimientos en la finca 2 (21,8 fanegas/ha), la cual presentó características como un historial de buenas producciones en el tiempo, árboles con manejo de sombra controlada, manejo agronómico más intensivo respecto a la F1 y F3. Es posible que el manejo de la sombra tenga un efecto beneficioso en el cultivo de café de esta finca. De acuerdo con la tipología desarrollada por Moguel y Toledo (1999), pueden distinguirse cinco tipos básicos de sistemas de producción cafetaleros, que varían según la cantidad de sombra y el tipo de dosel: i) Rústico Tradicional o «de montaña», ii) Policultivo Tradicional, iii) Policultivo Comercial, iv) Monocultivo Sombreado y v) Monocultivo sin Sombra o café bajo sol.

La sombra contribuye a la disminución de la pérdida de suelo, conservando así la capa productiva, tal como lo registra Bermúdez (2003, citado por Salamanca, 2017), quien comparó la pérdida de suelo en cafetales a libre exposición y bajo sombra de *Erythrina poeppigiana*, encontrando valores de 336 y 59 kg/ha/año, respectivamente. Así mismo el incremento de la MO del suelo en cafetales con sombra se traduce en un mejoramiento de las características de éste, especialmente mayor humedad y porosidad total, y menores valores de compactación, densidad aparente y

temperatura, favoreciendo el desarrollo del café (Salamanca, 2017). Todo lo anterior en beneficio de un mayor rendimiento.

Por otro lado, algunos beneficios de la descomposición de la hojarasca proveniente de los árboles de sombra sobre el cultivo de café son:

Aportes importantes de nutrientes, principalmente de N, Ca, Mg y elementos menores como el Z, disminuyendo la utilización de fertilizantes químicos. La sombra además de aportar MO, controla el crecimiento acelerado de arvenses, lo cual se ve reflejado en la disminución de costos de producción (Salamanca, 2017, s. p.).

La finca 1 se encuentra inmersa en una zona con gran cantidad de árboles, los cuales no se podan y el manejo agronómico no es tan intensivo. Por otra parte, la finca 1 correspondería al tipo rústico, donde el sotobosque de los bosques naturales se tala y se siembra el café bajo el dosel de los árboles originales asociándose con un consumo de insumos muy bajo.

Aunque la sombra asociada con el café es beneficiosa, esta puede ser contraproducente para el cultivo si no se maneja de forma correcta. Según Salamanca (2017), puede bajar la producción del café si no se utiliza el sistema de sombra adecuado. La proliferación de enfermedades y plagas adaptadas a humedad alta y/o sombra son más comunes. Además, se pueden presentar daños en las plantas por la caída de ramas. Un manejo inadecuado de la sombra en la finca 1 podría explicar el rendimiento en esta finca (10,07 fanegas/ha), el cual fue el más bajo de las tres fincas.

La finca 3 es una plantación reciente, con muy pocos árboles de sombra y suelo desnudo. Es importante considerar la combinación de las plantas de café con árboles que provean sombra. Estos dan paso a la formación del bosque secundario que brinda beneficios ambientales como protección del suelo contra la erosión, mantenimiento de aguas, un ambiente apropiado para la vida silvestre (Salamanca, 2017). Con la descomposición de la hojarasca proveniente de la sombra, el cafetal recibe aportes de

nutrientes (N, Ca, Mg, elementos menores), importantes para su desarrollo. Se puede considerar que esta finca tiene un manejo medianamente adecuado, situándose entre la finca 1 y 2, lo cual puede vincularse también a un rendimiento medio (12,2 fanegas/ha), teniendo como extremos los obtenidos en las fincas 1 y 2.

### Análisis de calidad de café

La variable de tamaño de grano no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre fincas. Al revisar los resultados por tratamiento, se observaron diferencias únicamente en el caso de la finca 1, específicamente se registraron tamaños de grano menores en los tratamientos 2 y 4, (12,57 % y 11,92 %, respectivamente) (Tabla 11) al utilizar la zaranda 15. En las fincas 2 y 3 no se observaron diferencias en granos tamizados con zaranda 15 de acuerdo con los tratamientos aplicados.

**Tabla 11.**

*Resultados de calidad para zaranda 15 finca/tratamiento (promedio de todos los muestreos por finca).*

	Tratamiento	Tamaño promedio de grano (%)	n	E.E	
Finca 1	1	17,42	3	0,58	A
	3	15,78	3	0,58	A
	2	12,57	3	0,58	B
	4	11,92	3	0,58	B
Finca 2	2	13,14	3	1,15	A
	3	12,57	3	1,15	A
	4	12,18	3	1,15	A
	1	10,28	3	1,15	A
Finca 3	2	22,05	3	2,03	A
	3	20,75	3	2,03	A

1	18,57	3	2,03	A
4	16,12	3	2,03	A

\*T1: Biodiamante vía foliar + Fórmula Completa, T2: Biodiamante vía foliar + Biodiamante al suelo, T3: Biodiamante vía foliar + Compost enriquecido y T4: Fórmula completa de finca.

Los resultados para la zaranda 16 (Tabla 12), indican tendencias de los tratamientos 1 y 3 a presentar diferencias; granos más grandes y más pequeños, respectivamente, únicamente en la finca 3.

En las fincas 1 y 2 no se observaron diferencias en tamaños de grano tamizados con zaranda 16 de acuerdo con los tratamientos aplicados.

**Tabla 12.**

*Resultados de calidad para zaranda 16 en finca/tratamiento (promedio de todos los muestreos por finca).*

	Tratamiento	Tamaño promedio de grano (%)	n	E.E		
Finca 1	2	11,58	3	0,56	A	
	3	10,69	3	0,56	A	
	1	9,52	3	0,56	A	
	4	9,31	3	0,56	A	
Finca 2	2	14,28	3	1,22	A	
	3	13,52	3	1,22	A	
	4	13,04	3	1,22	A	
	1	12,57	3	1,22	A	
Finca 3	3	14,48	3	0,73	A	B
	2	12,57	3	0,73	A	B
	4	11,63	3	0,73	A	B
	1	11,14	3	0,73		

\*T1: Biodiamante vía foliar + Fórmula Completa, T2: Biodiamante vía foliar + Biodiamante al suelo, T3: Biodiamante vía foliar + Compost enriquecido y T4: Fórmula completa de finca.

Los resultados para la zaranda 17 (Tabla 13) indican diferencias de los tratamientos 1 y 4 en la finca 1. granos de menor tamaño se produjeron en plantas aplicadas con el tratamiento 1 (61 %, 32 %), mientras que los granos de mayor tamaño se produjeron en plantas aplicadas con el tratamiento 4 (68 %, 76 %). Por otro lado, en la finca 2 los granos cosechados de plantas aplicadas con los tratamientos 1 y 2 presentaron diferencias, en este caso, los granos cosechados de plantas aplicadas con el tratamiento 1 fueron de mayor tamaño (67,14 %), mientras que los en plantas aplicadas con el tratamiento 2, los granos presentaron tamaño mayores (59,42 %). Finalmente, en la finca 3 no se presentaron diferencias en granos de plantas aplicadas con los diferentes tratamientos, al ser pasados por la zaranda 17.

**Tabla 13.**

*Resultados de calidad para zaranda 17 en finca / tratamiento (promedio de todos los muestreos por finca).*

	Tratamiento	Tamaño promedio de grano (%)	n	E.E		
<b>Finca 1</b>	4	68,76	3	1,08	A	
	2	66,18	3	1,08	A	B
	3	65,98	3	1,08	A	B
	1	61,32	3	1,08		B
<b>Finca 2</b>	1	67,14	3	1,61	A	
	4	62,85	3	1,61	A	B
	3	61,52	3	1,61	A	B
	2	59,42	3	1,61		B
<b>Finca 3</b>	4	58,7	3	3,42	A	
	1	58,28	3	3,42	A	
	2	51,36	3	3,42	A	

3	50,31	3	3,42	A
---	-------	---	------	---

\*T1: Biodiamante vía foliar + Fórmula Completa, T2: Biodiamante vía foliar + Biodiamante al suelo, T3: Biodiamante vía foliar + Compost enriquecido y T4: Fórmula completa de finca.

Globalmente, para lo que respecta a la variable peso/oro en kg no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ) en ninguna de las fincas (Tabla 14).

**Tabla 14.**

*Resultado de Peso oro por finca / tratamiento (promedio de todos los muestreos por finca).*

	Tratamiento	Peso oro promedio (g)	n	E.E	
Finca 1	4	2,31	3	0,04	A
	2	2,24	3	0,04	A
	1	2,24	3	0,04	A
	3	2,15	3	0,04	A
Finca 2	3	2,26	3	0,03	A
	1	2,25	3	0,03	A
	2	2,24	3	0,03	A
	4	2,20	3	0,03	A
Finca 3	1	2,32	3	0,02	A
	4	2,30	3	0,02	A
	2	2,23	3	0,02	A
	3	2,20	3	0,02	A

\*T1: Biodiamante vía foliar + Fórmula Completa, T2: Biodiamante vía foliar + Biodiamante al suelo, T3: Biodiamante vía foliar + Compost enriquecido y T4: Fórmula completa de finca.

**Análisis de catación**

Según los resultados del análisis de catación es posible indicar que los atributos de aroma, cuerpo, acidez y puntaje no fueron significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos aplicados en la finca 2 (

Tabla 15). En la investigación sólo se analizó la producción de la finca 2, no se realizaron evaluaciones en la finca 1 y finca 3 debido a que por error humano se descartaron las muestras.

Este tipo de evaluaciones sensoriales permiten determinar la influencia de diversos factores y condiciones de procesamiento en las características de calidad del café. Según diversos autores como Ruiz *et al.* (2016), los atributos de acidez y sabor están muy relacionados a cafés producidos en altitudes mayores, los cuales tienen buena calidad de bebida, con características de cuerpo completo, acidez ligera y buen aroma. La altitud (y características ambientales vinculadas a la altitud) determina la calidad del café, aumenta la intensidad de las propiedades organolépticas del aroma, cuerpo, acidez y sabor.

Además de la altitud, Guambi (2016) menciona que temperaturas altas conducen a una menor concentración de precursores de aroma. Asociado con que temperaturas no diferenciadas entre el día y la noche dan lugar a un grano de baja calidad, poco aroma y sabor en el café. Un grano de baja calidad no ofrece variedad de aromas, en contraposición a un café fresco y de mejor calidad con el cual se puede diferenciar, de manera práctica, los aromas y sabores, lo que permite encontrar diferencias significativas de acuerdo con su origen.

Sin lugar a duda las características organolépticas del café dependen del genotipo, ambiente y manejo en pre cosecha y poscosecha. Respecto a la altitud, ANACAFE (2015) indica que es un factor determinante en la calidad de taza, independientemente de la variedad; el cuerpo, aroma y fineza se acentúan a medida que se incrementa la altitud, mientras que la acidez se manifiesta de manera discreta. Salazar *et al.* (2015) indican que las mejores calificaciones sensoriales se obtienen a mayores altitudes. Lo que nos podría hacer pensar que la finca 3 sería una de las fincas con las mejores calificaciones dada su altitud de 1100 m.s.n.m respecto a la finca 1 y 2 a 820 y 800 m.s.n.m respectivamente.

Tabla 15.

Resultado de análisis de catación de café para finca 2.

<b>Aroma</b>					
	Tratamiento	Promedio	n	E.E.	
Finca 2	1	8,17	3	0,19	A
	3	8,17	3	0,19	A
	4	8	3	0,19	A
	2	8	3	0,19	A
<b>Cuerpo</b>					
	Tratamiento	Promedio	n	E.E.	
Finca 2	3	8	3	0,08	A
	2	8	3	0,08	A
	1	8	3	0,08	A
	4	7,83	3	0,08	A
<b>Acidez</b>					
	Tratamiento	Promedio	N	E.E.	
Finca 2	2	7,67	3	0,24	A
	1	7,67	3	0,24	A
	4	7	3	0,24	A
	3	7	3	0,24	A
<b>Puntaje</b>					
	Tratamiento	Promedio	N	E.E.	
Finca 2	1	7,96	3	0,09	A
	2	7,92	3	0,09	A

3	7,79	3	0,09	A
4	7,71	3	0,09	A

### Análisis económico

Los costos de aplicación por hectárea para cada tratamiento fueron de T1 (0,25 L biofermento vía foliar+ 85 g fórmula completa) = ₡193.000, T2 (0,25 L biofermento vía foliar + 0,4 L biofermento al suelo) = ₡203.000, T3 (0,25 L biofermento vía foliar + 1 kg compost enriquecido) = ₡128.000 y T4 (85 g fórmula completa + 80 ml fórmula foliar) = ₡195.000 (Tabla 16). De los cuatro tratamientos evaluados el T3 (0,25 L biofermento foliar + 1 kg compost), fue el que presentó el menor costo de aplicación por hectárea. En cuanto a productividad, el T1 reportó 14,2 fan/ha, T2 = 14,7 fan/ha, T4 = 13,6 fan/ha. El tratamiento con la tendencia a un mayor rendimiento fue el T3 con 16,2 fanegas/ha. En la sección de anexos se incluye de manera detallada los costos de cada uno de los insumos utilizados para la fabricación del biofermento Biodiamante.

**Tabla 16.**

*Costo y rendimiento de cada tratamiento por hectárea.*

<b>Variable</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
Costo/aplicación/ha (₡)	193,000	203,000	128,000	195,000
Costo/aplicación/planta (₡)	38,6	40,6	25,6	39
Fanegas/ha	14,2	14,7	16,2	13,6

## Capítulo V. Conclusiones

### Conclusiones

El uso de prácticas como aplicación de biofermentos y *compost* en el cultivo de café es una estrategia para el incremento en la productividad y reducción de costos, observándose una tendencia al aumento en la diversidad de microorganismos en el suelo.

Como se analizó en el estudio, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. No obstante, la aplicación de biofermento aplicado por vía foliar en mezcla con *compost* aplicado al suelo, presentó una tendencia a la mayor diversidad y mayor rendimiento de fanegas por hectárea respecto a los demás tratamientos y el control. En cuanto a rendimiento el T3, obtuvo un rendimiento de 16,2 fanegas/ha y el tratamiento control (T4) de 13,6 fan/ha. Respecto al análisis económico, la aplicación por hectárea del tratamiento T3 tuvo un costo de 128.000 colones y el tratamiento T4 un monto de 195.000 colones.

En general, el biofermento Biodiamante evaluado en el presente estudio produjo resultados promisorios. Los resultados que se obtuvieron estimulan el empleo de estos insumos como complementos en fertilización química convencional del sistema agrícola.

La comunidad microbiana presente en las muestras del biofermento Biodiamante se encuentra alejada de las comunidades encontradas en los suelos analizados en las fincas. Sin embargo, entre fincas existe una mayor similitud entre las comunidades microbianas, quizás por la similitud entre condiciones edafo-ambientales. Aunque las comunidades del biofermento y suelos de las fincas se encuentran alejadas (por el origen de las materias primas), la aplicación de biofermentos es una estrategia para incorporar microorganismos al sistema suelo y así enriquecer a la comunidad microbiana del mismo.

Es necesario trabajar en mantener una alta diversidad en los suelos. Esto con el fin de favorecer la resistencia y resiliencia de los sistemas agrícolas cafetaleros.

Asimismo, sería valioso estudiar los mecanismos fisiológicos de acción de los biofermentos en las plantas de café (tanto en almácigo como en plantación comercial) como apoyo para la formulación de nuevos productos en la misma línea.

La incorporación de bioinsumos al sistema de manejo de las fincas cafetaleras es un proceso experimental que busca adoptar nuevas tecnologías en COOPEATENAS, una contribución para disminuir costos de producción y mayor estabilidad del agroecosistema del café en la región. El presente trabajo buscó dirigir esfuerzos hacia una educación en sostenibilidad, en busca de que los productores conozcan sobre las alternativas ecológicas que existen para manejar sus cultivos, así como los servicios ecosistémicos que sus propias fincas brindan. Por lo tanto, es necesario incorporar capacitaciones para sensibilizar a la población en entender que el objetivo final del cultivo no es únicamente el rendimiento de la planta, sino también la red de interacciones ecológicas presentes.

#### **IV. Recomendaciones**

Para tener una descripción cuantitativa de cuáles son los microorganismos presentes y su abundancia, se sugiere recurrir preferiblemente a métodos de metabarcoding de ADN de la región 16S de bacterias y, en especial, para la región ITS de hongos también. Con estos métodos se alcanzará un conocimiento más profundo de la dinámica de las comunidades de microorganismos durante el proceso de producción de biofermentos y de su efecto en el mejoramiento de los suelos y de los cultivos.

En investigaciones futuras se sugiere abordar de manera conjunta por medio de análisis las características físicas, químicas y biológicas del suelo debido a que tienen una influencia sobre el número y la actividad de las poblaciones microbianas. Las características del suelo, los historiales de manejo y su uso influyen sobre la diversidad y la abundancia de las comunidades microbianas. A través

de estos estudios se permite abrir una ventana al conocimiento de cómo funciona el ecosistema, lo que permite formular estrategias de manejo sustentables para los agroecosistemas.

Es necesario realizar más estudios sobre el tema de biofermentos en el cultivo de café, buscando comparar los resultados en esta investigación. Además, debe buscarse su inclusión en la producción agrícola como alternativa sostenible, sin olvidar la sostenibilidad económica y ecológica de los agroecosistemas cafetaleros. Se sugiere estudiar la distribución y diversidad de los microorganismos nativos con el fin de conocer el efecto de ésta biodiversidad en las aplicaciones a los sistemas productivos de café.

En estudios próximos se recomienda una evaluación integral del sistema agrícola cafetalero, en donde no se deje de lado que los microorganismos pueden ser sensibles a las perturbaciones del agroecosistema y esto puede incidir en su expresión y eficacia a nivel de campo.

Esta investigación es pionera en su campo, naciendo de la inquietud que tenía la Universidad Técnica Nacional en conocer a profundidad el trabajo de las bacterias benéficas en el agroecosistema. Y en conjunto con el Cenibiot se realiza un estudio del ADN de las comunidades microbianas, permitiendo tener más claridad sobre la acción de los microorganismos en el sistema agrícola cafetalero. Por tanto se sugiere profundizar en investigaciones futuras el rol y mecanismos de acción de estos microorganismos (provenientes de los biofermentos) en el suelo, para así conocer y profundizar en la actividad y aporte no solo en el cultivo de Café, sino en los diversos cultivos del país.

## VII. Bibliografía

- Acosta, Y.; Cayama, J.; Gómez, E.; Reyes, N.; Rojas, D. y García, H. (s. f.). *Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales (LISA). Luz Núcleo Punto Fijo*. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM).
- Alvarado, M. y Rojas, G. (1994). *Cultivo y beneficiado del café*. Editorial Euned.
- Arauz, L. F. (1998). *Fitopatología: un enfoque agroecológico*. Editorial UCR.
- Araya Alpízar, F. (2010). *Producción y caracterización de bioles para su uso en el cultivo de banano (Musa SP), Río Frío, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica*.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3168/Producci%3fb3n%20y%20caracterizaci%3fb3n%20de%20bioles%20para%20su%20uso%20en%20el%20cultivo%20de%20banano%20%28Musa%20sp%29%20Ri%20Fr%3ado%2c%20Sarapiqu%3ad%2c%20Heredia%2c%20Costa%20Rica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ardisana, E. (2020). *Influencia de bioestimulantes sobre el crecimiento y el rendimiento de cultivos de ciclo corto en Manabí, Ecuador*. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v41n4/1819-4087-ctr-41-04-e02.pdf>
- Armenta, A.; García, B.; Camacho, R.; Apodaca, L.; Montoya, G. y Nava, M. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56. Universidad Autónoma Indígena de México. Mochicahui.
- Arreola, E. J. A.; Palma, L. D. J.; Salgado, G. S.; Camacho CH. W.; Pastrana, A. L. (2004). Efecto de Cachaza enriquecida sobre la producción y la calidad de la caña de azúcar. *TERRA*, 22(3), 351-357

Asociación Nacional del Café (Anacafe). (2015). *Influencia de la variedad y la altitud en las características organolépticas del café*.

[https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Investigaciones\\_Organolepticas](https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Investigaciones_Organolepticas)

Ayuso, M.; Pascual, C. García y Hernández, T. (1996). Evaluation of urban wastes for agricultural use. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 42, 105-111.

Biver, S., y Vandenbol, M. (2012). Characterization of three new carboxylic ester hydrolases isolated by functional screening of a forest soil metagenomic library. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 40(2), 191-200. doi: 10.1007/s10295-012-1217-7.

Borglin, S.; Joyner, D.; Deangelis, K. M. (2012). Application of phenotypic microarrays to environmental microbiology. *Curr. Opin. Biotechnol*, 23, 41-48.

Campo-Martínez, A.; Acosta-Sánchez, R. L.; Morales-Velasco, S. y Prado, F. A. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (MM) en la producción de acelga en la Meseta de Popayán. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 12(1), 79-87.

Campos, V. y Meneses, J. M. (2008). *Evaluación de fertilizantes biológicos (Bioles) líquidos reforzados aplicados al suelo en el cultivo de banano* (Tesis de pregrado, Universidad Earth).

Canellas, L. P.; Olivares, F. L.; Aguiar, N. O.; Jones, D. L.; Nebbioso, A. y Mazzei, P. (2015). *Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture*. *Scientia horticulturae*, 196, 15-27.

Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (Cedeco). (2005). *Preparación y uso de abonos orgánicos: sólidos y líquidos (en línea)*. (Serie agricultura orgánica n.º 7).

[http://www.cedeco.or.cr/documentos/Abonos\\_organicos.pdf](http://www.cedeco.or.cr/documentos/Abonos_organicos.pdf)

- Cuervo, J. P. (2010). *Aislamiento y caracterización de bacillus spp como fijadores biológicos de nitrógeno y solubilizadores de fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/54683>.
- Di Ciocco, C. A.; Sandler, R. V.; Falco, L. B. y Coviella, C. E. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables fisicoquímicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(1), 0-0.
- Douds Junior, D. D.; Galvez, L.; Franke-Snyder, M.; Reider, C.; Drink-water, L. E. (1997). Effect of compost addition and crop rotation point upon VAM fungi. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 65, 257-266.
- Escobar Escobar, N.; Mora Delgado, J. y Romero Jola, N. J. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia natural*, 16(1), 75-88.
- FAO. (2013). *Manual de Compostaje del agricultor*.
- Feijoo, M. A. L. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(2), 31-40.
- Franco-Correa, M. (2009). Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización. *Revista Peruana de Biología*, 16(2), 239-242.
- Franco-Correa, M. (1999). Aislamiento, Caracterización y Evaluación de Actinomycetes inhibidores de algunos hongos fitopatógenos. Tesis de Maestría en Microbiología, Departamento de química, Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional de Colombia. págs. 86

- Furlan, A.; Bianucci, E.; Sequeira, M.; Álvarez, L.; Peralta, J. M. y Valente, C. (2019). Combined Application of Microbial and Non-Microbial Biostimulants to Improve Growth of Peanut Plants Exposed to Abiotic Stresses. En *Microbial Probiotics for Agricultural Systems*, Springer (pp. 239-56).
- Galindo, A. G. y Jerónimo, C. S. (2005). *Estudio sobre los abonos líquidos fermentados y su eficacia en la producción agrícola* (Tesis pregrado, Universidad Earth).
- Galindo, A. G.; Jerónimo, C. S.; Spaans, E. y Weil, M. (2007). Los abonos líquidos fermentados y su eficacia en plántulas de papaya (*Carica papaya*, L.). *Tierra Tropical*, 3(1), 91-96.
- Gamonal, L. E.; Vallejos-Torres, G. y López, L. A. (2017). Sensory analysis of four cultivars of coffee (*Coffea arabica*, L.), grown at different altitudes in the San Martin region-Perú. *Rev. Ciência Rural*, 47(9), 1-5. Doi:10.1590/0103-8478cr20160882
- García Delgado, C.; Barba, V.; Marín Benito, J.; Igual, J.; Sánchez Martín, M. y Rodríguez Cruz, M. (s. f.). Effects of the application of green compost, triasulfuron and prosulfocarb on soil microbial community. *Instituto de recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca (IRNASA-CSIC)*. Cordel de Merinas 40-52, 37008.
- García Vera, G. A. (2019). *Influencia de los abonos organicos sobre las propiedades de los suelos en el cultivo de maiz (Zea mays L)* (Bachelor's thesis, UTB).
- García, A. y Rivero, C. (2008). Evaluación del carbono microbiano y la respiración basal en respuesta a la aplicación de lodo papelero en los suelos de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron (Maracay)*, 34, 215-229.

Glosario de Agricultura Orgánica de la FAO. (2009). *Fertilización orgánica*.

<https://boletinagrario.com/ap-6,fertilizacion+organica,4939.html>

Granados, C. (1994). *El impacto ambiental del café en la historia costarricense*.

[https://www.researchgate.net/publication/28065277\\_El\\_Impacto\\_Ambiental\\_del\\_Cafe\\_en\\_la\\_Historia\\_Costarricense](https://www.researchgate.net/publication/28065277_El_Impacto_Ambiental_del_Cafe_en_la_Historia_Costarricense)

Griffiths, B.; Ritz, K. y Wheatley, R. (1997). Relationship between Functional Diversity and Genetic Diversity in Complex Microbial Communities. En H. Insam y A. Rangger (eds.), *Microbial Communities. Functional vs. Structural Approach*, 1, 1-9.

Guambi, L. A. D.; Talledo, D. S. F. y Ávila, E. L. G. (2016). Calidad organoléptica del café (*Coffea arabica*, L.) en las zonas centro y sur de la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista española de estudios agrosociales y pesqueros*, 244, 15-34.

Guhl, A. (2000). *Ecosystem Classification Maps Using Sparse Data Sets: The Ecological Zoning of Colombia Using the Holdridge Life Zone System*. Urbana-Champaign. University of Illinois.

Hall, C. (1991). *El café y el desarrollo histórico-geográfico de Costa Rica*. Editorial de Costa Rica.

Heredia Volquez, Y. (1996). *Cambios en propiedades químicas y físicas del suelo en 6 años de cultivo en callejones y comparación de 2 métodos de extracción de fósforo en Calliandra calothyrsus (Meissn), Erythrina poeppigiana (Walpers) O. F. Cook y Gliricidia sepium (Jacquin) Steud.*

Hernández-Flores, L.; Munive-Hernández, J. A.; Sandoval-Castro, E.; Martínez-Carrera, D. y Villegas-

Hernández, M. C. (2013). Effect of agricultural practices on soil bacterial populations in cropping systems in Chihuahua, Mexico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 353-365.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263127575002>

Hernández-Rodríguez, O. A.; Ojeda-Barrios, D. L.; López-Díaz, J. C. y Arras-Vota, A. M. (2020). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo: Effect of organic fertilizer on physical, chemical and biological soil properties. *Tecnociencia Chihuahua*, 4(1), 1-6.  
<https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/719>

Higa, T. (2013). *Reproducción de Microorganismos de Montaña - MM A2-02*, 21.  
<http://ingenieroambiental.com/index.phppagina=811>

Higa, T. y Parr, F. (1994). *Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment (en línea)*. <http://www.agriton.nl/higa.html>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2010). *Guía técnica para el beneficiado de café protegido bajo una indicación geográfica o denominación de origen*.  
<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/14124/BVE21011258e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ISO/TC34, Technical Committee. (1991). *Green Coffee-Size Analysis - Manual Sieving (Routine Method)*. International Organization for Standardization.

Kirilovsky, E. (2016). *El disturbio de la agricultura: su incidencia sobre microorganismos del suelo*.  
<http://rehip.unr.edu.ar/xmlui/handle/2133/12168>

Koneman E.W. 2001. *Diagnóstico Microbiológico: Texto y Atlas a Color*. Quinta Edición. Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina. pp. 10-16, 75-82

Lampkin, N. (2001). *Agricultura ecológica*. Mundi-Prensa.

- León Aguilar, R.; Torres García, A.; Peñarrieta Bravo, S.; Mero Muñoz, J. y Fosado Téllez, O. (2016). Efecto de la materia orgánica y microorganismos eficientes en el comportamiento productivo de la acelga. *Revista Espamciencia*, 7(2), 127-134.  
[http://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista\\_ESPAMCIENCIA/article/view/128/143](http://revistasespam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/128/143)
- Lozano, L. (2014). *Bacterias: un fertilizante natural para los suelos agrícolas*.  
<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1025&context=bi>
- Madigan, T.; Martinko, M. y Parker, J. (2004). *Biología de los microorganismos*. Pearson Prentice Hall.
- Mazariegos, S. R. y Colindres, C. O. (2002). *Producción de chile picante (Capsicum frutescens, L.) con y sin presencia de arvenses y bajo cinco concentraciones de abono líquido orgánico fermentado, en las Mercedes de Guácimo, Costa Rica* (Tesis pregrado, Universidad Earth).
- Mendoza Sánchez, S.; Zepeda Hernández, A.; Campeche Calixto, E. G. y Payán Zelaya, F. A. (2017). Aplicación de inóculos líquidos de microorganismos nativos en el suelo: efecto en el crecimiento de plántulas de maíz. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 161-168.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792017000200161&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000200161&lng=es&tlng=es).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2008). *Agrocadena de Café*.  
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-9314.pdf>
- Moguel, P. y Víctor, T. (1999). *Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of México*. *Conservation Biology*, 13(1), 11-21.
- Molina, J. (2012). *Microorganismos eficientes autóctonos (EMAs) en la productividad del cu*. (Trabajo de grado). Universidad Técnica de Ambato.

Montaño, N.; Sandoval, A.; Camargo, R. y Sánchez, L. (2010). *Los microorganismos: Pequeños Gigantes*.

[www.elementos.buap.mx/num77/pdf/15.pdf](http://www.elementos.buap.mx/num77/pdf/15.pdf)

Multiciencias. (2006). *Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos*.

NAMA Café de Costa Rica. (2019). *Acciones de Mitigación Nacionalmente, Apropiadas*.

<http://www.namacafe.org/nama-cafe-de-costa-rica>

ORIOUS. (s. f.). *La nutrición vegetal con quelatos en aminoácidos (en línea)*.

<http://www.oriusbiotecnologia.com/portal/content/view/17/7/>

Ortega Bonilla, M. (2013). *Evaluación del efecto de la aplicación de dos recetas de biofermentos (violes) sobre propiedades físicas, químicas y microbiológicas de un suelo dedicado al cultivo de banano (Musa AAA) en el Caribe de Costa Rica*. Práctica dirigida para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agronómica con énfasis en fitotecnia. Universidad de Costa Rica

Pacheco Rodríguez, F.; Borrero González, G. y Villalobos Rodríguez, M. (2017). *Evaluación de la calidad bioquímica resultante de biofermentos agrícolas para uso de familias productoras orgánicas*.

Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica, Instituto Nacional de Aprendizaje y Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica; Editorial Red de Coordinación en Biodiversidad.

<https://www.ina.ac.cr/AcercaINA/Documentos%20compartidos/Documentos%20Didacticos/4dic2.pdf>

Pacheco, F. (2003). *Producción, utilización y algunos aspectos técnicos de biofermentos*. ABONOS

ORGÁNICOS: Principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.

- Paucar García, H. (2018). *Efecto del compost y NPK en la población de grupos microbianos y en la producción de cacao Theobroma cacao, L., en Padre Abad- Ucayali*.  
[http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1560/HJPG\\_2018.pdf?isAllowed=y&sequence=4](http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1560/HJPG_2018.pdf?isAllowed=y&sequence=4)
- Paul, E. y Clark, F. (1996). *Soil microbiology and biochemistry* (2.<sup>a</sup> ed.). Academic.
- Pirt, S. J. (1975). Capítulo 4: Medios de Fermentación (en línea). En *Principles of Microbe and Cell Cultivation*. Blackwell Scientific Publications.  
[http://www.science.oas.org/Simbio/mbio\\_ind/cap4\\_mi.pdf](http://www.science.oas.org/Simbio/mbio_ind/cap4_mi.pdf)
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442006000800008&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800008&lng=es&tlng=es).
- Procomer. (2021). *Precios internacionales del café siguen aumentando*.  
[https://www.procomer.com/alertas\\_comerciales/exportador-alerta/precios-internacionales-del-cafe-continuan-aumentando/](https://www.procomer.com/alertas_comerciales/exportador-alerta/precios-internacionales-del-cafe-continuan-aumentando/)
- Quirós, P.; Albertin, B. y Blázquez, S. (2004). *Elabore sus propios abonos, insecticidas y repelentes orgánicos*. INA-OET.
- Ramírez, J.; Rosas, P.; Velázquez, M.; Ulloa, J. y Arce, F. (2011). Bacterias lácticas: importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Revista Fuente*, 2(7), 1-16.  
<http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-07/1.pdf>
- Restrepo, J. (2001). *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y Biofertilizantes foliares: experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil*. IICA.
- Ricotta, C. (2005). A note on functional diversity measures. *Basic Applied Ecology*, 6, 479-486.

- Rivas Santacruz, C. A. (2016). *Efecto de la aplicación de biol y caldo súper cuatro en el comportamiento agrómico del cultivo de pepino (Cucumis sativas L.) en época lluviosa en la zona de Mocache*.  
[https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4306/1/T.- UTEQ%20.0243.pdf](https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4306/1/T.-UTEQ%20.0243.pdf)
- Ruiz, D. (2005). *Agricultura Orgánica*. Editorial Terranova.
- Ruiz-Nájera, R. E.; Medina-Meléndez, J. A.; Gómez-Castañeda, J. C.; Sánchez-Yáñez, J. M.; Gómez-Alfaro, G. y Pinto-Molina, O. (2016). Estudio del sistema de producción de café (*Coffea arabica*, L.) en la región Frailesca, Chiapas. *Rev. CienciaUAT*, 10(2), 33.
- Saborit, R.; Meneses, P. y Cañizares, A. (2013). Efecto de las aplicaciones de Fitomas-y combinadas con la fertilización orgánica y mineral sobre los rendimientos agrícolas del cultivo del arroz en aniego. *Revista Infociencia*, 17(4).
- Salamanca, L. A. (2017). *Evaluación de la producción de café bajo sombra con especies arbóreas en el municipio de pajarito*. (Proyecto aplicado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD).  
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13725>
- Salazar, J., E. Burgos, y E. Bautista. (2015). Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Rev. Act. Agro*. 64(4):342-348.
- SAS Institute Inc. (2012). *SAS/STAT® User Guide. Version 12.1, Volume 1, Cary, N.C. SAS Institute Inc.*
- Solano-Rivas, O.; Faith-Vargas, M. y Guillén-Watson, R. (2009). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados a su productividad. *Tecnología en Marcha*, 23(1), 39-46.
- Solórzano, J. y Alvarado, G. (2002). Efecto de varios abonos orgánicos y el encalado en el contenido nutricional de un inceptisol cultivado con mora, variedad vino (*Rubus praecipuus* Bailey) en La

- Cima De Dota, Costa Rica. En S. J. Briceño, *Materia orgánica: características y uso de insumos orgánicos en suelos de Costa Rica*. EUNA.
- Soto, G. y Meléndez, G. (2004). Como medir la calidad de los abonos orgánicos. *Manejo integrado de plagas y agroecología (Costa Rica)*, 72, 91-97.
- Soto, G. y Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*, 65, 123-129.  
<http://docplayer.es/63070346-En-la-finca-sostenible-el-suelo-cumple.html>
- Suárez-Machín, C.; Garrido-Carralero, N. A. y Guevara-Rodríguez, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(1), 20-28.
- Talavera, V.; Zapata, L. M. y Sánchez, D. (1996). Utilización de bacterias y melaza en el cultivo de camarón (en línea). *Boletín Nivovita*, 1(1), 17-19. <http://www.industriaacuicola.com/PDFs/4.4-MelazayBacterias.pdf>
- Taste Pura Vida. (2021). *La Cata del Café de especialidad: su puntaje*. <https://tastepuravida.com/la-cata-del-cafe/>
- Taylor, J. (2014). *Advances in biorefineries*. Wood-head Publishing.
- Thompson, L. M. y Troeh F. R., (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Revert S.A. Barcelona. España, pp. 135-169.
- Ul Hassan, T. y Bano, A. (2016). Biofertilizer: a novel formulation for improving wheat growth, physiology and yield. *Pakistan Journal of Botany*, 48(6), 2233-2241.

- Umaña Carmona, S. (2017). *Ingeniería Ecológica: efecto del uso de microorganismos de montaña sobre el suelo con base en dos cultivos agrícolas* (Tesis Pregrado, Universidad de Costa Rica).
- Urbieta, M. (2013). *Diversidad Microbiana en Ambientes Volcánicos*. <http://docplayer.es/73600355-Diversidad-microbiana-en-ambientes-volcanicos.html>
- Uribe, L. (2003). *Inocuidad de abonos orgánicos*. En G. Meléndez y G. Soto (eds.) *Taller de Abonos Orgánicos*. Catie/UCR.
- Walco. (1997). *Todo sobre los quelatos (en línea)*. Cartilla.  
[http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Cartilla\\_Quelatos.pdf](http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Cartilla_Quelatos.pdf)
- Wild, A. (1992). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi-Prensa. Madrid. España, 1045 p.
- Zamora, A.; Malaver, N. y Ramos, J. (2012). Análisis funcional de microorganismos: un estimador de diversidad y estructura. *Acta Biol. Venez.*, 32(1), 57-86.  
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:IFUwLLxEUdoJ:saber.ucv.ve/ojs/index.php/revista\\_abv/article/view/5260/5064&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=cr](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:IFUwLLxEUdoJ:saber.ucv.ve/ojs/index.php/revista_abv/article/view/5260/5064&cd=4&hl=es&ct=clnk&gl=cr)
- Zeballos Heredia, M. F. (2017). *Caracterización de microorganismos de montaña (MM) en biofertilizantes artesanales* (Tesis de grado). Universidad Zamorano.



## Anexos

## Anexo 1.

*Descripción y costo por litro de los bioles utilizados para fabricación de la fórmula del biofermento*

*Biodiamante*

<b>Descripción</b>	<b>Cant. litros</b>	<b>Costo ¢/litro</b>	<b>Total</b>	<b>Litro biodiamante</b>
Bio Fósforo	20,00	¢59,54	¢1.190,74	
Bio Potasio	20,00	¢51,01	¢1.020,20	
Bio Magnesio	20,00	¢48,26	¢965,19	
Bio Manganeso	20,00	¢50,40	¢1.008,02	
Bio Boro	20,00	¢60,83	¢1.216,70	
Bio Zinc	20,00	¢99,95	¢1.999,06	
Bio Calcio	20,00	¢58,51	¢1.170,26	
Bio Silicio	20,00	¢71,83	¢1.436,67	
<b>Total</b>	<b>160,00</b>		<b>¢10.006,83</b>	<b>¢62,54</b>

## Anexo 2.

Detalle del costo por litro y detalle de insumos que se utilizan para la fabricación de la fórmula

biofermento Biodiamante

Descripción	Cant. (litro/kilo)	Costo (litro/kilo)	total	Precio por litro
Base líquida (litro)	200,00	¢31,22	¢6.243,72	
Roca fosfórica	10,00	¢625,91	¢6.259,09	
	210,00		¢12.502,81	¢59,54
<b>Bio Potasio</b>				
Descripción	Cant.(litro/kilo)	Costo(litro/kilo)	total	Precio por Litro
Base líquida (litro)	200,00	¢31,22	¢6.243,72	
Sulfato de potasio	8,00	¢545,79	¢4.366,33	
	208,00		¢10.610,05	¢51,01
<b>Bio magnesio</b>				
Descripción	Cant.(litro/kilo)	Costo(litro/kilo)	total	Precio por Litro
Base líquida (litro)	200,00	¢31,22	¢6.243,72	
Sulfato de magnesio	20,00	¢218,67	¢4.373,33	
	220,00		¢10.617,05	¢48,26
<b>Bio manganeso</b>				
Descripción	Cant.(litro/kilo)	Costo(litro/kilo)	total	Precio por Litro
Base líquida (litro)	200,00	¢31,22	¢6.243,72	
Sulfato de manganeso	6,00	¢689,82	¢4.138,92	

	206,00		₡10.382,64	₡50,40
<b>Bio Boro</b>				
Descripción	Cant.(litro/kilo)	Costo(litro/kilo)	total	Precio por Litro
Base líquida (litro)	200,00	₡31,22	₡6.243,72	
Borax	8,00	₡801,24	₡6.409,92	
	208,00		₡12.653,64	₡60,83
<b>Bio zinc</b>				
Descripción	Cant.(litro/kilo)	Costo(litro/kilo)	total	Precio por litro
Base líquida (litro)	200,00	₡31,22	₡6.243,72	
Sulfato de zinc	12,00	₡1.245,52	₡14.946,28	
	212,00		₡21.190,00	₡99,95
<b>Bio calcio</b>				
Descripción	Cant.(litro/kilo)	Costo(litro/kilo)	total	Precio por litro
Base líquida (litro)	200,00	₡31,22	₡6.243,72	
Agri Mag Floable	7,50	₡786,36	₡5.897,69	
	207,50		₡12.141,41	₡58,51
<b>Bio silicio</b>				
Descripción	Cant.(litro/kilo)	Costo(litro/kilo)	total	Precio por litro
Base líquida (litro)	200,00	₡31,22	₡6.243,72	
Tecnosilix WP	12,00	₡748,75	₡8.984,98	
	212,00		₡15.228,70	₡71,83

**Anexo 3.**

Descripción y costo por litro de MM- Pasto y costo por litro de la base líquida

<b>Cant</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cant.(litro/kilo)</b>	<b>Costo(litro/kilo)</b>	<b>Precio</b>	<b>Precio litro base líquida</b>
1,00	MM-Pasto	15,00	¢206,84	¢3.102,62	
80,00	Litros de suero	80,00	¢2,00	¢160,00	
20,00	Litros de agua	20,00	¢0,40	¢8,00	
4,00	Litros de melaza	4,00	¢115,00	¢460,00	
0,50	Ceniza	0,50	¢0,00	¢0,00	
<b>TOTAL</b>		<b>119,50</b>		<b>¢3.730,62</b>	<b>¢31,22</b>

<b>Cant</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cant.(litro/kilo)</b>	<b>Costo(litro/kilo)</b>	<b>Precio</b>	<b>Precio kilo MMP</b>
3,00	Sacos de semolina	135,00	¢165,39	¢22.327,65	
1,00	Pasto	45,00	¢0,00	¢0,00	
2,50	Sacos de hojarasca	50,00	¢0,00	¢0,00	
1,00	Bacteria EM	3,78	¢7.579,37	¢28.650,02	
2,00	Galones de agua	7,65	¢0,40	¢3,06	
3,00	Galones de melaza	11,36	¢115,00	¢1.305,96	
<b>TOTAL</b>		<b>252,79</b>		<b>¢52.286,69</b>	<b>¢206,84</b>

**Anexo 4.**

Descripción y costo por litro del MM-pasto Algasoil, preparación para 50 litros

<b>Cant</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cant. (litro/kilo)</b>	<b>Costo (litro/kilo)</b>	<b>Precio</b>	<b>Precio litro Algasoil</b>
50,00	Litros de base líquida	50,00	¢30,55	¢1.527,50	
5,00	Kilos de Algasoil	5,00	¢758,75	¢3.793,75	
		55,00		¢5.321,25	¢96,75

**Anexo 5. Costo de Biocat G (ácidos húmicos y fulvicos) preparación 50 litros**

<b>Cant</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cant. (litro/kilo)</b>	<b>Costo (litro/kilo)</b>	<b>Precio</b>	<b>Precio litro Biocat-G</b>
50,00	Litros de base líquida	50,00	¢30,55	¢1.527,50	
5,00	Kilos de Biocat G	5,00	¢1.134,53	¢5.672,64	
		55,00		¢7.200,14	<b>¢130,91</b>

**Anexo 6.**

*Descripción y costo de los insumos utilizados en el paquete de manejo convencional de Coopeatenas.*

<b>PRODUCTO</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO /ESTAÑÓN</b>	<b>COSTO /HECTÁREA</b>
COSMO AGUAS (125 GR)	¢1954	¢977	¢1954
COSMO IN (1 LITRO)	¢6207	¢1241,4	¢2482,8
FÓRMULA PREFLORACIÓN (2 KG)	¢9706	¢9706	¢19412
OPERA (1 LITRO)	¢26098	¢13049	¢26098

TRIADAMIN (1 LITRO)	₡7443	₡7443	₡14886
<b>TOTAL</b>	<b>51408</b>	<b>32416,4</b>	<b>64832,8</b>

### Anexo 7.

#### *Costos de fertilización granular*

<b>Fertilizante</b>	<b>Costo</b>
Kmag saco de 46 KG	₡16120
Nitrato de Amonio 46 Kg	₡9168
17-4-18-5-4 46 k	₡12000
<b>Total 138 kg</b>	<b>₡37 288</b>

## Glosario

- **Abono orgánico:** insumo orgánico constituido por sustratos de origen animal, vegetal o mixto, los cuales sufren un proceso de transformación microbiana para después añadirse al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas.
- **Actividad microbiana:** actividad de los microorganismos, la cual «se desarrolla en función de factores intrínsecos y extrínsecos al sistema suelo. Constituye un indicador de la dinámica del suelo y de la salud del recurso, pues una buena actividad microbiana puede ser el reflejo de óptimas condiciones físicas y químicas que permitan el desarrollo de los procesos metabólicos de bacterias, hongos, algas y actinomicetes y de su acción sobre los sustratos orgánicos» (Paucar García, 2018, s. p.).
- **Biofermento:** insumos orgánicos que se obtienen a partir de un proceso de fermentación de materiales orgánicos, originada por la intensa actividad de microorganismos.
- **Biofertilizante:** «Insumos formulados con uno o varios microorganismos, los cuales, de una forma u otra, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a los cultivos» (Lozano, 2014, s. p.).
- **Diversidad microbiana:** variaciones en el tamaño celular y la morfología, estrategias metabólicas, movilidad, división celular, biología del desarrollo, adaptación a diferentes ambientes, aspectos estructurales y funcionales de los microorganismos.
- **Fertilización orgánica:** «La utilización de un fertilizante orgánico natural que ayuda a proporcionar a las plantas nutrientes necesarios y mejorar la calidad del suelo creando un entorno microbiológico natural» (Glosario de Agricultura Orgánica de la FAO, 2009, s. p.).

- Fertilización química: fertilización por medio de sustancias inorgánicas y sustancias sintéticas que presentan nutrientes que pueden asimilar las plantas y que se adiciona al suelo para mantener, suplir e incrementar determinados elementos esenciales de este, para el crecimiento de las plantas.
- Inóculo microbial: mezcla de microorganismos benéficos estabilizados destinados para enriquecer otros materiales orgánicos: abonos orgánicos, biofermentos y suelo.
- Microorganismos benéficos: «Microorganismos que actúan a la vez como agentes de control biológico, con lo que reducimos aquellos microorganismos patógenos en el suelo y favorecemos los organismos útiles para los cultivos, con lo que aumentamos la producción de la planta» Araya Alpízar, 2010, s. p.).
- Planta de biofermentos: área destinada para la producción de bioinsumos. Aquí se realiza el proceso de las materias primas hasta obtener el producto final para aplicarse en campo.
- Productividad: describe la capacidad o el nivel de producción por unidad de superficie de suelo cultivada (hectárea).