

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SEDE DEL ATLÁNTICO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROLIMENTARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Efecto de la fertilización orgánica, inorgánica y su combinación sobre el crecimiento vegetativo y variables de nutrición suelo-planta de banano dátil, (*Musa AA*), en condiciones de invernadero Pococí, Costa Rica.

TESIS PARA OPTAR POR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO
CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA

SUSTENTANTE

Víctor Farulla Barrantes

TURRIALBA, COSTA RICA

2023

TRIBUNAL DEL TRABAJO FINAL


Efecto de la fertilización orgánica, inorgánica y su combinación sobre el crecimiento vegetativo y variables de nutrición suelo-planta de banano dátil, (*Musa AA*), en condiciones de Invernadero Pococí, Costa Rica.

Proyecto de Graduación aprobado por el Tribunal del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de licenciado en Agronomía


FIRMANTES




Presidente del Tribunal
M.L. Guillermo González Campos




Directora del Trabajo Final de Graduación
Laura Rodríguez Solano. M.Sc



Miembro del Tribunal
Erick Bolaños Céspedes. M.Sc



Miembro del Tribunal
Rafael Segura Mena. Ph D



Representante de la Carrera de Agronomía
Eduardo Granados Brenes. Ph D



Sustentante
Víctor Farulla Barrantes. Bach

DEDICATORIA

A Dios y mi familia por ser una inspiración para continuar creciendo en mi carrera.

AGRADECIMIENTO

A la Gerencia y Subgerencia General de la Corporacion Bananera Nacional S.A por haber dado consentimiento para desarrollar este trabajo. Al Dr. Jorge Sandoval e Ing. Walter Herreras Brenes en especial a la Direccion de Asistencia Técnica y Dirección de investigaciones de CORBANA S.A por haber participado en desarrollo y conclusión del presente proyecto.

ÍNDICE

1. Introducción.....	3
2.Objetivos	8
2.1 General	8
2.2 Específicos.....	8
3.Hipótesis	9
4.Antecedentes	9
4.1 Cultivo de banano dátil clasificación taxonómica y morfología.....	9
4.1.2 Época de aplicación recomendada.....	10
4.1.3 Biofermentos y calidad de suelo.	11
4.1.4 Materiales para la etapa sólida.	12
4.1.5 Materiales para la etapa líquida.	13
4.1.6 Elaboración del biofermento fase sólida según Araya y Bolaños (2014).	13
4.1.7 Elaboración del biofermento fase líquida:	13
4.1.8 índices de calidad de en un biofertilizante según Araya y Bolaños (2014).....	14
4.1.9 Diversidad microbiana y riqueza microbiológica (Índice de Shannon y Weaver)...	14
4.2.1 Inocuidad de patógenos de cultivos:	14
4.2.2 Interacciones de los biofermentos en la nutrición vegetal.	15
4.2.2 Investigaciones previas con fertilización orgánica.	16
5. Materiales y Métodos.....	17
5.1 Localización	17
5.2 Tipo de investigación	17
5.3 Material experimental	18
5.6 Variables de respuesta por evaluar y técnica de recolección de datos.....	23
5.7 Descripción de la unidad experimental.....	25
5.8 Diseño experimental.....	25
6.Resultados y discusión.....	27
6.1 Análisis comparativo del aporte nutricional de la fertilización orgánica vs fertilización inorgánica	28
6.2 Variables biométricas evaluadas en el ensayo banano dátil (AA) bajo condiciones de invernadero.	36

6.3 Análisis de pH, MO y acidez analizados en el suelo donde creció la planta de banano dátil.....	52
6.4 Análisis de macroelementos en el suelo donde creció la planta de banano dátil	60
6.5 Variables químicas del tejido foliar de la planta de banano dátil	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Aportes de nutrientes en el Cultivo de Banano dátil, baby banana.....	11
Cuadro 2. Descripción detallada de los tratamientos aplicados en ensayo.....	21
Cuadro 3. Análisis nutricional y características químicas del biofermento.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición espacial de los tratamientos ensayo de banano dátil.....	26
Figura 2. Media general y contrastes ortogonales para la variable altura en centímetros de la planta de banano dátil.....	37
Figura 3. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para la variable circunferencia de la planta en centímetros de la planta de banano y análisis estadístico.....	39
Figura 4. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para la variable longitud raíz centímetros planta de banano dátil.....	41
Figura 5. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para el peso de hojas y pseudotallo del banano dátil.....	44
Figura 6. Media general de los tratamientos y contrastes ortogonales para peso seco de raíz de la planta de banano dátil.....	47
Figura 7. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para peso seco total de la planta de banano dátil.....	50
Figura 8. Promedio del pH y contrastes ortogonales de los tratamientos aplicados a la planta de banano dátil.....	53
Figura 9. Promedio y contrastes ortogonales de la acidez del suelo de los tratamientos de la planta de banano dátil.....	56
Figura 10. Promedio del % de materia orgánica de los tratamientos del suelo donde creció la planta de banano dátil.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Características químicas iniciales del suelo.....</i>	18
Tabla 2. <i>Descripción detallada de los tratamientos aplicados y en ensayo de banano dátil.....</i>	20
Tabla 3. <i>Resultados de la presencia (+) o ausencia (-) de los diferentes microorganismos benéficos.....</i>	30
Tabla 4. <i>Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para variables químicas de suelo macroelementos</i>	61
Tabla 5. <i>Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para variables de químicas del suelo microelementos</i>	65
Tabla 6. <i>Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para variables química foliares macroelementos.....</i>	70
Tabla 7. <i>Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para variables química foliares microelementos</i>	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis estadístico de las variables biométricas.....	89
Anexo 2. Análisis estadístico de los elementos foliares.....	91
Anexo 3. Análisis estadístico de los elementos del suelo.....	95

Resumen

Se evaluó el efecto de la fertilización orgánica (biofermentos), inorgánica (fertilización mineral) y su combinación sobre el crecimiento vegetativo y variables de nutrición suelo-planta de banano dátil. Dicho ensayo fue dispuesto en el invernadero del Centro de Investigaciones de la Corporación Bananera Nacional ubicado en La Rita de Pococí, mediante un diseño de bloques al azar bajo condiciones semi-controladas; por consiguiente, se desinfectó suelo proveniente de una finca en producción de cultivo de banano dátil ubicada al oeste del río Reventazón con características ándicas. Asimismo, se examinaron variables de la planta, tales como: altura diámetro, longitud y peso seco de raíz, así como, parte aérea y peso seco total. Se determinó contenido de elementos nutricionales foliares (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, B, Cu, S) y elementos de suelo (P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, B, Cu, S); adicionalmente, contenido %MO. La determinación se efectuó al inicio del ensayo y 5 meses después de la siembra, además de la caracterización biológica y química del contenido del biofermento utilizado durante la aplicación. En consecuencia, el análisis estadístico comparativo de contrastes ortogonales se aplicó mediante el programa estadístico “emmeans” para determinar la significancia de los efectos por medio del criterio de Fisher con un nivel de confianza del 95%. Las comparaciones realizadas fueron: 1. Efecto simple de la fertilización orgánica vs la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica; 2. Efecto de la fertilización orgánica con dosis de fertilización inorgánica mineral al 50% vs 100%; 3. El efecto general de la fertilización orgánica; 4. Efecto de la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica vs la fertilización inorgánica; 5. Efecto de la fertilización inorgánica. El efecto de la fertilización orgánica-inorgánica propició mayor altura, longitud de raíz, biomasa

radicular, aérea y biomasa total de la planta; además, mayor K y menos P, Mn y Fe en el suelo en comparación con la fertilización exclusivamente inorgánica. La fertilización orgánica causó un efecto de amortiguamiento de la acidez y un aumento en la disponibilidad de microelementos en el suelo como: Cu, Zn y B con respecto a los tratamientos no aplicados. Aunado a esto, se observó un aumento de acidez al aplicar la fertilización inorgánica y mayor disponibilidad del Fe y Mn. Por otro lado, ninguna de las variables evaluadas de suelo ni foliares (a excepción del Mg y Mn) mostraron significancias estadísticas cuando se comparó el efecto simple de la fertilización orgánica contra el efecto de la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica. Finalmente, se presentó una mayor cantidad de B y menos Mn en el tejido foliar de planta en los tratamientos a los que se les aplicó la fertilización orgánica con respecto a los no aplicados. Los resultados obtenidos sugieren una respuesta favorable en el desarrollo y contenidos nutricionales suelo-planta al utilizar la fertilización orgánica y la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica, por lo que conviene estudiar estos efectos a nivel de campo.

1. Introducción

El banano dátil o Pisang Mas (*Musa AA*) es un cultivar originario de Malasia; también es conocido como Lady finger o Baby banana, este cultivo ha tenido un auge en los últimos años en productores de mediana escala en Costa Rica (Smith et al.,2010)

Meoño (2017), menciona que este cultivar muestra una demanda de crecimiento en Costa Rica y una buena aceptación en los mercados internacionales. Asimismo, cita que el precio del banano dátil puede llegar a superar el de los bananos Cavendish convencionales debido a que hay ciertos atributos que le favorecen en el mercado y le dan ventaja; por ejemplo, los sólidos solubles (% de brix) que hay en pulpa, firmeza y color de la cáscara al madurar.

De acuerdo con el informe de exportación del banano dátil, registrado en el Informe Anual de Estadísticas de Exportación Bananera de Corporación Bananera Nacional S.A (2017) desde el año 2000 se ha presentado un aumento en las exportaciones de dicho cultivo, provenientes de Costa Rica. Adicionalmente, Villalobos (2017) concluye que para el año 2016, la cantidad de productores de banano dátil (*Musa AA*) en la región del Caribe de Costa Rica superaba los 115 productores dedicados al cultivo y comercialización de dicho cultivar. En dicho estudio se estimaron 558,6 ha cultivadas.

Consecuente con dicho crecimiento, es necesario realizar un aporte a la productividad y aprovechamiento de los recursos en los sistemas agrícolas a este sector creciente de productores de banano dátil; esto se puede lograr por medio de tecnologías alternativas, como el uso de microorganismos. Chandra (2020) menciona que la

agricultura moderna busca optimizar el uso de los recursos naturales; para esto se deben utilizar opciones que permitan aumentar la sostenibilidad y la productividad y rentabilidad de los agro-sistemas. El aprovechamiento del fertilizante mejoraría la productividad y disminución de costos; pues, la fertilización es uno de los rubros más importantes y costosos en los sistemas agrícolas. Según Medina (2010) la fertilización representa un 12% del costo de producción del cultivo de banano de exportación y es el tercer rubro de importancia después de materiales de empaque y del control de sigatoka negra.

En concordancia con lo citado, se debe optimizar el recurso económico en los sistemas agrícolas de producción de banano dátil. El uso de biofermentos y microorganismos han demostrado ser recursos valiosos para la disminución de costos en la fertilización, al ser utilizado como complemento en la nutrición del cultivo de banano Cavendish.

Algunos de los motivos para la búsqueda de alternativas ante la aplicación exclusiva de fertilizantes químicos es su posible impacto negativo al ambiente y su ascendente costo. La agricultura juega un papel importante en la satisfacción de las demandas alimentarias de una creciente población humana, lo que también conduce a una progresiva dependencia de fertilizantes químicos y pesticidas (Santos et al., 2012)

Kaushik (2019) menciona que los fertilizantes químicos tienen un alto costo y son utilizados comúnmente debido a su rápida acción. A pesar de sus beneficios, su implementación prolongada puede causar daños al ambiente y acidificar el suelo, lo que reduce la capacidad de retención de minerales; contrariamente a los fertilizantes orgánicos (biofermentos entre ellos), cuyo costo es menor y promueven la salud del suelo

y la disponibilidad de nutrientes. Es por esto por lo que el presente trabajo pretende buscar opciones a la fertilización exclusivamente inorgánica.

Los biofermentos contienen una mezcla de microorganismos benéficos de montaña que son capaces de liberar fitohormonas beneficiosas que promueven el desarrollo fisiológico y aumentan la disponibilidad de nutrientes que hay en el suelo (Kumar, 2019). De esta manera, la aplicación de biofermentos pretende estimular el crecimiento del cultivo del banano dátil y aprovechar los recursos existentes en el suelo.

La presente investigación explora las formas alternativas de la nutrición, como lo es el uso de la fertilización orgánica (biofermentos) en acompañamiento de la fertilización inorgánica (fertilización exclusivamente mineral) para sistemas de producción del cultivo de banano dátil en Costa Rica.

Consecuente con lo mencionado, hay una necesidad de reducción de carga química y una creciente demanda de prácticas amigables con el ambiente por parte de los mercados; esto obedece a que los consumidores han adquirido conciencia de los efectos negativos que causan los excesos de agroquímicos sobre su entorno (Ramírez, 2018).

Se debe considerar también la contaminación ambiental y la afectación a la salud humana por parte del uso indiscriminado de agroquímicos; por ejemplo, el agua contaminada por actividad agrícola puede contener en ocasiones altos niveles de plaguicidas y nitratos que podrían conducir a enfermedades crónicas y riesgos de salud serios, como el cáncer (Ahmed et al., 2017).

Por consiguiente, el uso de técnicas alternativas a la agricultura convencional puede favorecer la sostenibilidad de los sistemas agrícolas del banano dátil. Villalobos (2017) afirma que para realizar un manejo eficiente de los recursos y aumentar la productividad del banano dátil es necesario hacer un diagnóstico de la realidad y las necesidades de dicho cultivo; dentro de las cuales está la disminución del impacto de los insumos agrícolas, que mantienen o aumentan la productividad de los agro-sistemas.

Un factor social que le da relevancia al presente trabajo es el soporte técnico a los productores de banano dátil, ya que, la actividad de este cultivo está comúnmente asociada a productores con áreas pequeñas y medianas, algunas veces muy focalizadas en limitaciones económicas y necesidades técnicas muy específicas (Vargas et al., 2019). Dichos productores tienen en promedio de 3 a 4 hectáreas de cultivo de banano dátil; principalmente, su destino es exportación (Villalobos, 2017). La ayuda tecnológica a estos productores fomentaría la exportación y la dinamización de la economía en las comunidades donde se cultiva el banano dátil; explorar alternativas que mitiguen efectos negativos de la nutrición exclusivamente inorgánica, aumenten la sostenibilidad es una herramienta para responder a las necesidades del mercado.

Debido a dichos factores técnicos, sociales y económicos conviene buscar opciones tecnológicas que permitan optimizar los recursos disponibles, tales como: la racionalización de fertilizantes, el aumento de la productividad, la optimización de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, por medio de microorganismos, y el uso de biofermentos.

El enriquecimiento del suelo con microorganismos, proveniente de los biofermentos, representa una alternativa a considerar en la nutrición del banano dátil. El suelo mantiene una variedad de microbiomas con características microbiológicas complejas y muy específicas. Por un lado, muchos microorganismos viven en el espacio entre las partículas de suelo, pero, otros viven en asociación con la planta. El área superficial de la raíz (rizoplano) y el área más cercana a ella (rizosfera) son lugares relevantes para el crecimiento microbiano y tienen una estrecha relación en la asimilación de nutrientes y crecimiento de la planta (Chaparro, 2012).

Dado el impacto económico, social y ambiental del cultivo del banano dátil en la zona Atlántica de Costa Rica se exploraron alternativas ya mencionadas en la nutrición de este cultivo. En primera instancia, se estudió el uso de la fertilización exclusivamente química o mineral, llamada en adelante fertilización inorgánica, en combinación con el uso de biofermentos, conocida en adelante como fertilización orgánica. Para esto, se estableció un ensayo donde se evaluó la fertilización orgánica en acompañamiento con la fertilización inorgánica, bajo condiciones semi-controladas. Dicho ensayo instauró una base de conocimiento sobre la combinación de la nutrición orgánica-inorgánica en el cultivo de banano dátil en sus primeras etapas.

2. Objetivos

2.1 General

Evaluar el efecto de la fertilización orgánica, inorgánica y su combinación sobre el crecimiento vegetativo y variables de nutrición suelo-planta del cultivo de banano dátil (AA) como alternativa al uso de fertilizantes exclusivamente inorgánicos.

2.2 Específicos

Caracterizar las poblaciones microbiológicas benéficas y el contenido nutricional de un biofermento utilizado en el cultivo de banano dátil (AA).

Establecer el efecto simple y combinado de la fertilización orgánica con dos dosis de aplicación de fertilización inorgánica sobre las variables de crecimiento de la planta de banano dátil (AA).

Establecer el efecto simple y combinado de la fertilización orgánica con dos dosis de aplicación de fertilización inorgánica sobre las variables químicas de nutrición del suelo y planta de banano dátil (AA).

3. Hipótesis

Hipótesis nula: No existen diferencias estadísticamente significativas, ni en el crecimiento vegetativo de las plantas de banano ni en las variables seleccionadas de nutrición suelo-planta en donde ellas crecieron cuando fueron tratadas con fertilización orgánica, inorgánica o su combinación.

4. Antecedentes

4.1 Cultivo de banano dátil clasificación taxonómica y morfología.

Según la clasificación taxonómica de la planta de banano dátil mencionada en Lombeyda Lombeida, Quiñonez Loza (2016):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Zingiberales

Familia: Musacea

Género: Musa L

Especie: Musa Acuminata

Dentro de las características morfológicas que distinguen la planta del banano dátil se encuentran su pseudotallo descrito por su forma delgada y una altura que puede llegar hasta 6.0 m de altura; sus hojas son angostas y erectas y se identifican por su color característico verde claro con presencia de manchas café y colores marrones en la base del peciolo. Este cultivar muestra una menor afectación de plagas y enfermedades en comparación con los cultivares del subgrupo Cavendish y los plátanos pertenecientes al tipo Hartón. (Bolaños et al., 2017).

De acuerdo con Meoño (2017), el banano dátil tiene un crecimiento más acelerado que el Cavendish convencional. La edad de cosecha del racimo del banano dátil se presenta entre las semanas 4 y 6, posterior a la emisión de la inflorescencia; en oposición al desarrollo del racimo de banano comercial Cavendish, cuya cosecha se da en promedio a las 12 semanas después de la inflorescencia. Se describe también que el dátil es susceptible a la sigatoka amarilla, sin embargo, muestra tolerancia a la sigatoka negra, causada por *Pseudocercospora fijiensis* (Daniells, 1997)

4.1.2 Época de aplicación recomendada

El manual de prácticas agrícolas del cultivo del dátil, confeccionado por CORBANA S.A (2017) menciona los siguientes aportes ha/año de elementos para la producción de dátil; para una población de 1750 plantas/ha se recomienda aplicar 72 kg de nitrógeno (N), 103 kg de potasio (K_2O), 37 kg de fósforo (P_2O_5), 13 kg de magnesio (MgO), 18 kg de calcio (Ca), 7 kg de azufre (S) y 5 kg de silicio (SiO_2) durante un año.

Cuadro 1: Aportes de nutrientes en el Cultivo de Banano dátil, Baby Banana. (Bolaños et al.,2017).

Fórmulas	Número de ciclos	ptas/ha	Dosis g/up	Sacos ha/ciclo	Total anual sacos/ha	Nutrientes (Kg/Ha/año)								
						N	K2O	P2O5	MgO	CaO	S	Zn	B	SiO2
8,4-0-30,0,0-6,3-3,8(S) [Veraniega]	4	1750	22	0,8	3,1	12,9	46,2	0,0	9,6	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0
8,1-32,0-6,0-3,2-1,4(S)-15,8(CaO)-4,5(SiO2) [Inicio]	3	1750	22	0,8	2,3	9,4	6,9	36,9	3,6	18,2	1,6	0,0	0,0	5,2
26-0-26 (Llenado)	5	1750	22	0,8	3,9	50,0	50,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Carbonato de Calcio (según el análisis de suelo)	1	1750	300	10,5	10,5					294,0				
TOTAL (Sin la enmienda)	12				9	72	103	37	13	18	7	0	0	5

El cuadro anterior menciona los aportes nutricionales requeridos para el cultivo de banano dátil. En el presente trabajo se utilizó la fórmula 8,1-32-6-3,2 (Mg)-1,4 (S)-4,5 (SiO2) acorde con la recomendación correspondiente a la etapa fenológica de las plantas aplicadas en el ensayo.

4.1.3 Biofermentos y calidad de suelo.

Los biofermentos son elaborados con diferentes microorganismos que tienen un efecto tangible sobre algunos procesos de descomposición y de síntesis que se dan en el suelo; para su crecimiento se colocan en medios de cultivo específicos con el fin de adicionarlos a un soporte o sustrato inerte que aporte la fuente energética para la sobrevivencia y multiplicación de los microorganismos; además poseen una alta carga microbiológica y bajos contenidos nutricionales. Es por lo anterior que, tanto las bajas cantidades de materia orgánica en el suelo, así como la utilización de agroquímicos y la mecanización pueden llegar a limitar su eficacia (Castro-Barquero; González-Acuña, 2021).

Los microorganismos provenientes de los biofermentos se encargan de mejorar la calidad del suelo porque ayudan a restablecer y mejorar algunas características físicas, químicas y biológicas de este. Dentro de estas características están las descritas por García et al. (2012), el cual establece los siguientes indicadores de calidad de suelo.

Físicos: las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad son: la estructura, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la infiltración, la profundidad del suelo superficial, la capacidad de almacenamiento del agua y la conductividad hidráulica saturada.

Químicos: entre ellos se encuentran la disponibilidad de nutrientes, el carbono orgánico total, el carbono orgánico lábil, el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de absorción de fosfatos, la capacidad de intercambio de cationes, los cambios en la materia orgánica, el nitrógeno total y el nitrógeno mineralizable.

Biológicos: incluyen funciones como la tasa de respiración, el ergosterol y otros subproductos de los hongos; asimismo, las tasas de descomposición de los residuos vegetales y el N y el C de la biomasa microbiana. (García et al., 2012, p.125)

Por consiguiente, Tencio (2017) menciona que hay dos etapas en la elaboración de abonos orgánicos o biofermentos: la etapa líquida y la sólida, las cuales se describen a continuación:

4.1.4 Materiales para la etapa sólida:

Se utilizan 3,75 litros de melaza y un contenedor de 20 litros de volumen para diluir la mezcla; además, 40 kilogramos de semolina de arroz, 150 kilogramos de suelo de montaña y un contenedor de plástico de 200 litros con tapa hermética.

4.1.5 Materiales para la etapa líquida:

Se utilizan 8 kilogramos de material sólido, 3,75 kilogramos de melaza, disueltos en 20 litros de agua; 200 litros de agua sin cloro (de río o de lluvia), contenedor de plástico de 200 litros y un saco limpio.

4.1.6 Elaboración del biofermento fase sólida según Araya y Bolaños (2014):

Araya y Bolaños (2014) describen que en el proceso de elaboración de biofertilizantes se debe tener una base de microorganismos (M-matriz); para esto, se requiere la materia prima; esto es, el mantillo obtenido de un bosque primario o secundario, que se encuentre cerca para aprovechar los microorganismos nativos. Dicho mantillo se mezcla con una fuente proteica (semolina) y la fuente de energía (melaza).

De acuerdo con dicho autor se coloca una capa de suelo de montaña y se añaden 45 kilogramos de semolina; la cual se mezcla con el mantillo de montaña y la melaza, previamente disuelta en agua. Posteriormente, se agrega agua a dicha mezcla hasta que obtenga un 40 % de humedad. Luego de esto, la mezcla se introduce poco a poco en un estañón, el cual debe compactarse bien para sacarle el aire. Una vez lleno el estañón y compactado el material, se tapa herméticamente y se guarda a la sombra durante 30 días.

4.1.7 Elaboración del biofermento fase líquida:

Se agregan 8 kilogramos de mantillo sólido dentro de un saco limpio, este se amarra y se ingresa el saco en un estañón con 200 litros de agua y se le añade un galón de melaza. Asimismo, se cubre con una tela para protegerlo de los insectos. A continuación, se almacena en un lugar fresco y, en consecuencia, a los 4 días se

formarán los hongos, a los 8 días las bacterias y a los 15 días las levaduras. Cabe destacar que es recomendable aplicar después de los 15 días.

4.1.8 índices de calidad que se evalúan en un biofertilizante según Araya y

Bolaños (2014):

Araya y Bolaños (2014) mencionan que para llevar un buen control de calidad de los biofertilizantes se debe implementar un análisis de ADN. Esto con el objetivo de determinar la diversidad y riqueza microbianas benéficas y prestar atención a que sean productos libres de patógenos para la salud humana y para los cultivos con los siguientes indicadores:

4.1.9 Diversidad microbiana y riqueza microbiológica (Índice de Shannon y Weaver):

Considera la cantidad de especies de microorganismos presentes en la muestra (la riqueza) también la cantidad relativa de individuos en cada una de esas especies (abundancia) cabe señalar el valor óptimo de diversidad es entre 2 y 5.

4.2.1 Inocuidad de patógenos de cultivos:

Inocuidad: se determina la presencia de patógenos por medio de biología molecular.

Color: este puede variar entre color café oscuro, color rojizo y color ámbar.

Olor: debe ser agradable, con olor a fermentación alcohólica.

pH: el rango adecuado del biofertilizante debe estar entre 3 y 5.

Libre de larvas e insectos: los biofermentos deben estar en contenedores muy herméticos para evitar la entrada de larvas e insectos.

Actividad microbiana: en la primera etapa de elaboración, los biofertilizantes deben estar muy activos y se debe monitorear que el burbujeo sea abundante en los primeros 20 días. (Bolaños y Araya, 2014, p. 21).

4.2.2 Interacciones de los biofermentos en la nutrición vegetal.

La agricultura ha tenido una alta dependencia de fertilizantes e insumos químicos, lo cual ha provocado un detrimento en la calidad y la salud del suelo. Chaparro (2012) afirma que es necesario tener una buena calidad de suelo para lograr plantas productivas y libres de enfermedades. Asimismo, define la calidad del suelo como la capacidad de proporcionar una funcionalidad y un balance dentro del ecosistema con el objetivo de mantener la producción vegetal-animal en armonía con los recursos naturales; en consecuencia, los biofermentos resultan ser una alternativa a la conservación y restitución de la calidad del suelo.

Dentro de las posibilidades para el uso de las tecnologías con microorganismos mencionadas, están los biofermentos. Bhattacharjee (2014) afirma que estos aceleran los procesos microbianos en el suelo y mejoran el grado de disponibilidad de los nutrientes en tanto que las plantas puedan asimilarlos fácilmente.

Cabe señalar que, los microorganismos de los biofermentos tienen la capacidad de movilizar a los elementos nutricionalmente esenciales desde un ámbito inutilizable a uno utilizable. Consecuentemente en las últimas décadas, con base en el uso de

microorganismos, la tecnología ha mostrado resultados positivos, tanto para la restauración ecológica como para el desarrollo sostenible (Chandra, 2020).

4.2.2 Investigaciones previas con fertilización orgánica.

Sánchez (2013) evaluó 3 dosis y 2 frecuencias de biofertilizantes, en la cual observó que el rendimiento en el peso del follaje en seco, dentro del cultivo de orégano, fue influenciado positivamente con mejor crecimiento y desarrollo de las plantas con respecto al testigo con la fertilización inorgánica.

Con respecto a tesis referidas al cultivo de chile (*Capsicum Annum L*), Livicura y Lligui (2016) reportaron diferencias estadísticas en las variables del diámetro y el largo en el primer fruto de las plantas, que fueron aplicadas con los biofertilizantes (“biol básico” y “biol, enriquecido con minerales”), con relación al testigo sin aplicación de ningún biofertilizante (fertilización inorgánica). De manera que, el biol básico resulto ser el mejor tratamiento.

Consecuentemente, una investigación realizada por Xiu (2018) expone que el brócoli obtuvo un 30 % más de altura en las plantas aplicadas con biofermentos vía foliar a una concentración del 5 %, y el doble de rendimiento con respecto al testigo cuando se aplicó el biofermento a plantas de lechuga con esa misma concentración. Ortega (2013), encontró que la aplicación de biofermentos en banano Cavendish aumentó la respiración y la actividad biológica en los suelos que fueron tratados con biofermentos durante 3 años.

De la misma manera, un estudio realizado en la Corporación Bananera Nacional en el cultivo banano Cavendish encontró que la disminución de las dosis de fertilizante al

50%, en acompañamiento con biofermentos, logró mantener y, a su vez, aumentar la capacidad productiva del suelo (Ortega et al.,2019).

Finalmente, Ureña (2014), estudió el uso de biofertilizantes como una estrategia empresarial a largo plazo en la nutrición del banano Cavendish y explica que, al aplicar biofermentos en un área productiva comercial, se aumentó el 20% en la productividad del área en estudio. Además, afirma que se obtuvo una reducción de US \$755,37/ha del costo de producción al aplicar biofertilizantes y al disminuir 50 % de la dosis recomendada.

5 Materiales y Métodos

5.1 Localización

El proyecto se realizó en el invernadero experimental de la Corporación Bananera Nacional, CORBANA S.A., la cual se encuentra ubicada en el cantón de Pococí, provincia de Limón, a una altitud de 111 m.s.n.m., con las siguientes coordenadas geográficas: N10°24'15.7" W083°41'45.5".

5.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación al que pertenece el presente proyecto es cuantitativo. Se determinó por medio de un modelo estadístico y diseño experimental la ocurrencia o no de las significancias estadísticas sobre variables de suelo-planta y de crecimiento de las plantas aplicadas en los diferentes tratamientos.

5.3 Material experimental

Plantas: se utilizaron 72 plantas de banano dátil, provenientes de material In vitro del laboratorio de tejidos de CORBANA S.A

Potes: se utilizaron 72 potes de 5000 cm³ de volumen.

Suelo: para dicho ensayo, el suelo se tomó de una finca en producción del cultivo de banano dátil en el Caribe de Costa Rica (Provincia de Limón, cantón de Pococí, distrito Cariari); este provenía de la finca Esferas del Trópico. Además, tenía las características de los suelos del oeste del río Reventazón, descrito como suelo de origen volcánico, el cual se muestra a continuación:

Tabla 1. Características químicas iniciales del suelo ensayo de banano dátil.

pH	%MO	cmol(+)/L				mg/L					
		Acid	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn	B
6,19	8,62	0,08	13,7	5,94	5,03	43	230	8,4	6,2	63	0,49

La finca contaba con geografía plana en un suelo de clase II f1. Según Jaramillo y Vázquez (1990) de texturas gruesas, franco a franco arenoso, de fertilidad media, perteneciente al abanico aluvial del río Tortuguero (López y Espinosa 1995). En consecuencia, se desinfectó el suelo a una temperatura de 96°C durante 4 horas, se homogenizó y efectuó una determinación química, previo la siembra de las plantas.

Invernadero: las condiciones de invernadero fueron condiciones semi-controladas, con una temperatura promedio que fluctuó de 26 a 32°C; este fue un espacio acondicionado que permitía la entrada de luz por medio de láminas transparentes con mesas de hierro, las cuales se encontraban a un metro del suelo; de manera que, no

permitía la entrada del agua de la lluvia. El riego se realizó semanalmente con 100 ml de agua por cada recipiente.

Fertilizante: se utilizaron aportes y unas dosis ajustadas a la recomendación oficial obtenida del Manual del Cultivo de banano dátil en Costa Rica, realizado por la Corporación Bananera Nacional, 2017, mencionadas anteriormente en el cuadro 1.

Procedimiento elaboración del biofermento: se utilizó el procedimiento propuesto por Araya y Bolaños (2014):

Paso 1

Elaboración de matriz sólida: primeramente, se colocaron 45 kilogramos de semolina y se extendieron sobre una cubierta de plástico para evitar el contacto con el suelo, que formaba una capa del material. Posteriormente, se extendieron 90 kilogramos de mantillo de montaña sobre la primera capa de semolina. Asimismo, se añadieron 3,75 litros de melaza diluidos en 10 litros de agua sobre las primeras dos capas de material; se repitió este mismo procedimiento, mediante el añadido de las mismas cantidades para que el material formado fuera homogéneo. Finalmente, se guardó la mezcla mencionada en un estañón de capacidad de 200 litros y se colocó la tapa hermética para impedir el ingreso de aire; lo anterior, con una incubación de 30 días.

Paso 2

Elaboración de matriz líquida: se diluyeron dos litros de melaza en un recipiente de 10 litros con agua. Después de esto, se colocaron 2 kilogramos del mantillo de montaña, obtenidos anteriormente, en una bolsa de malla anti-áfido. A continuación, se introdujo la bolsa con mantillo en un recipiente de 60 litros con agua y los dos litros de melaza diluida. Se aforó el recipiente hasta unos cinco centímetros de distancia antes del

borde de dicho recipiente. Al término de este proceso, se tapó el producto herméticamente y fue utilizado hasta 15 días después de su activación.

5.4 Tratamientos

La tabla 2 enmarca los tratamientos utilizados para determinación del efecto de la fertilización orgánica, inorgánica y su combinación; además de las dosis, aportes y el intervalo de aplicación.

Tabla 2: Descripción detallada de los tratamientos aplicados y en ensayo de banano dátil.

Tratamiento	Orgánico ml/planta	Intervalo aplicación	Gramos por planta	Aporte fertilizante químico	Intervalo aplicación
T1- Química 50%	-	-	5	(2,14 N) – (8,39 P ₂ O ₅)- (1,57 K ₂ O)- (0,82-MgO) (4,14CaO)- (0,36S) - (1,18 SiO ₂)	30 días
T2- Biol+Fertilización Química 50%	50ml	30 días	5	(2,14 N) –(8,39 P ₂ O ₅)- (1,57 K ₂ O)- (0,82-MgO) (4,14CaO)- (0,36S) - (1,18 SiO ₂)	30 días
T3-Fertilización Química 100%	-	-	10	(4,27 N) –(16,77 P ₂ O ₅)- (3,14 K ₂ O)- (1,64-MgO) (8,27 CaO)- (0,73S) - (2,36 SiO ₂)	30 días
T4-Biol+ Fertilización Química 100%	50ml	30 días	10	(4,27 N) –(16,77 P ₂ O ₅)- (4,7 K ₂ O)- (1,64-MgO) (8,27 CaO)- (0,73S) - (2,36SiO ₂)	30 días
T5-Biol	50ml	30 días	-	-	-
T6-Testigo absoluto sin Fertilización	-	-	-	-	-

La tabla 2 aborda a los tratamientos en estudio, para el cual, la fertilización inorgánica se refiere al fertilizante mineral y la fertilización orgánica alude a la aplicación

del biofermento. El tratamiento T1 comprende la aplicación de la mitad de la dosis de la fórmula mineral; el T2 consiste en la mitad de la dosis de fertilizante mineral, más la fertilización orgánica o biofermento; el T3 conforma un 100% de la dosis de fertilizante mineral; el T4 se encarga de la combinación de la dosis del 100% fertilizante mineral, más la fertilización orgánica; el T5 abarca la aplicación de la fertilización orgánica y el T6 consiste en el testigo absoluto sin aplicación de la fertilización orgánica o inorgánica.

El cuadro 2 presenta los contrastes realizados para determinar el efecto de la fertilización orgánica, inorgánica y su combinación sobre las plantas de banano dátil. Se realizaron 5 comparaciones de los tratamientos para determinar su efecto y su significancia sobre los tratamientos.

Cuadro 2. Descripción de los contrastes utilizados para realizar las comparaciones.

Tratamiento	Comparaciones entre tratamientos e índices de ortogonalidad				
	1.Efecto fert orgánica vs fert orgánica-inorgánica	2.Efecto fert orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	3.Efecto general de la fertilización orgánica	4.Efecto fert orgánica-inorgánica vs fert inorgánica	5.Efecto fertilización inorgánica
T1-Fert Química 50%	-0,25	0,5	-0,33	-0,5	0,5
T2- Biol+Fert Química 50%	0,25	-0,5	0,33	0,5	0
T3-Fert Química 100%	-0,25	-0,5	-0,33	-0,5	0,5
T4-Biol+ Fert Química100%	0,25	0,5	0,33	0,5	0
T5 – Biol	-0,50	0	0,33	0	0
T6 – Testigo Absoluto	0,50	0	-0,33	0	-1

5.5 Descripción de los contrastes ortogonales

Efecto de la fertilización orgánica vs la combinación orgánica- inorgánica: determina el efecto de la comparación de la fertilización orgánica (sin fertilizante) y la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica (efecto combinado)

Efecto de la fertilización orgánica 100% vs 50%: determina el efecto de la comparación de la combinación de la fertilización orgánica con dosis crecientes de fertilización inorgánica 50% vs 100% sobre los tratamientos.

Efecto de la fertilización orgánica-inorgánica vs fertilización inorgánica: determina el efecto de la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica en comparación con el efecto de la fertilización exclusivamente inorgánica.

Efecto general de la fertilización orgánica: determina el efecto de la fertilización orgánica sobre los tratamientos aplicados con respecto a los no tratados con esta fertilización.

Efecto general la fertilización inorgánica: determina el efecto de la fertilización inorgánica al comparar los tratamientos con y sin fertilización inorgánica.

Estimación: proporción del efecto para cada variable, puede ser positivo o negativo y se interpreta de acuerdo con la significancia del criterio de Fisher, con un nivel de confianza del 95 %, $P \leq 0.05$; por lo cual, este valor toma relevancia en caso de obtener diferencias estadísticas.

5.6 Variables de respuesta por evaluar y técnica de recolección de datos

Determinación química completa de suelos y del biofermento: se realizó un muestreo previo a la primera aplicación de los tratamientos, se homogenizó todo el suelo antes de colocarlo en los pots; se tomaron dos muestras comparativas de suelo y se determinaron los nutrientes para tener la línea base de los tratamientos. Al terminar el ensayo, 5 meses después de la siembra, se determinó el contenido de nutrientes por tratamiento; asimismo, se tomaron 3 submuestras de suelo al azar para realizar una muestra compuesta y, así, obtener 4 muestras por tratamiento, lo que sería un total de 24 muestras analizadas. Además, se midió la acidez extractable K, Ca, Mg, S. Elementos menores Mn, Fe, Zn, B, Cu, S y % de materia orgánica por el método de combustión seca del carbono para cada muestra. La extracción de elementos se realizó con la solución Melich 3 mediante la metodología Melich (1984).

Determinación química de elementos foliares: La parte foliar de cada planta se secó en bolsas separadas de manera individual; luego, se homogenizaron 3 submuestras tomadas al azar (las mismas plantas a las que se les realizó el análisis de suelo) para componer 4 muestras por tratamiento y se determinó (N, P, K, Ca y Mg, Cu, Mn, Fe, S, B, Zn)

Peso seco de la raíz: se tomaron 72 plantas de banano dátil y se cortó en el límite de la raíz y el pseudotallo. Posteriormente, las plantas se secaron en el horno; el peso seco de la raíz se midió en gramos con una balanza calibrada.

Longitud de raíz: se midió longitud en centímetros con una cinta métrica calibrada, 5 meses posterior al establecimiento del ensayo, donde se midió la longitud de la raíz de cada unidad experimental para un total de 72 plantas. Esta medición se realizó desde la base de la planta y hasta dónde finaliza la raíz.

Peso seco de pseudotallo y foliares: el peso seco en gramos del pseudotallo incluyendo las hojas, (sin sumar el área radicular) fue determinado mediante una balanza calibrada.

Altura de plantas: Se midió la altura en centímetros con una cinta métrica calibrada; una por repetición para un total de 72 plantas; esta medición desde la base de la planta y hasta el inicio de la hoja candela de la planta de banano dátil, 5 meses después de la siembra.

Circunferencia de las plantas: la circunferencia de las plantas se midió con un vernier calibrado en milímetros; una medición por cada repetición para un total de 72 observaciones, la cual es aplicada a 5 centímetros de la base de la planta. Finalmente, se evaluó 5 meses después de la siembra.

Extracción de ADN total: la extracción del material genético de bacterias y hongos, presentes en las muestras de suelo, se ejecutó según el procedimiento descrito por el fabricante del kit comercial DNeasy® PowerSoil® de Quiagen.

Amplificación de regiones generales de ADN genómico de hongos y bacterias (PCR): para la amplificación de las regiones bacterianas se utilizaron regiones variables del gen ribosomal de la subunidad 16S (ADNr 16S) y la metodología descrita por Sekiguchi et al. (2002) para la fúngica región variables del gen ribosomal de la subunidad 18S, por medio de la metodología de Valášková y Baldrian (2009).

Detección de grupos funcionales mediante PCR: se utilizaron marcadores específicos para los siguientes microorganismos y se siguieron condiciones descritas por cada autor: Alfaproteobacterias, Betaproteobacterias (Blackwood et al.,2005),

Gamaproteobacterias: *Pseudomonas fluorescens* (Scarpellini et al., 2004), Actinomycetes, *Streptomyces* spp y taxas relacionados, Firmicutes/Bacilli: *Bacillus* spp. (Kuske et al., 1998), *Lactobacillus* spp. (Fracchia et al., 2010) y *Trichoderma* spp. (Meincke et al., 2010).

5.7 Descripción de la unidad experimental

Población y muestra:

La población consistió en 72 plantas de banano dátil.

5.8 Diseño experimental

Se dispuso de un diseño de bloques al azar de los tratamientos en el espacio. Con el siguiente modelo matemático y acomodo espacial:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Observación de los efectos de la aplicación del i-esimo tratamiento, en la j-esima repetición.

μ = Media general

T_i = El efecto del i-esimo tratamiento

B_j : efecto del bloque en j

ϵ_{ij} = El error asociado al i-esimo tratamiento, en la j-esima repetición $\sum N_i (0, S$

Se utilizó el análisis de los datos de contrastes ortogonales con software “emmeans” con el objetivo de comparar las medias y la determinación de los efectos significativos; esto mediante la prueba de Fischer a un 95% de confianza con las variables foliares, suelo y medidas biométricas.

La figura 1 expone la ubicación espacial y la descripción del experimento, compuesto por 6 tratamientos con 12 bloques y 12 repeticiones para un total de 72 plantas.

Figura 1. Disposición espacial de los tratamientos en ensayo de banano dátil.

Tratamientos

T1-Fert Química 50%

T2- Biol+Fert Química 50%

T3-Fert Química 100%

T4-Biol+ Fert Química100%

T5 – Biol

T6 – Testigo Absoluto

T4 R12	T3R11	T5R12	T1R4	T2R8	T6R1
T2R6	T3R6	T1R5	T6R9	T4 R2	T5R9
T1R12	T4 R7	T2R7	T3R10	T5R2	T6R2
T5R7	T1R10	T3R5	T2R11	T6R11	T4 R1

T1R1	T3R1	T2R12	T4 R6	T5R5	T6R7
T6R4	T2R1	T5R3	T1R3	T3R4	T4 R4
T5R8	T3R3	T4 R11	T2R10	T1R7	T6R5
T2R3	T6R6	T4 R5	T1R6	T5R6	T3R7

T6R8	T4 R3	T2R5	T3R2	T1R2	T5R4
T1R8	T3R8	T4 R9	T6R3	T2R9	T5R1
T2R2	T1R9	T3R9	T4 R8	T6R10	T5R11
T3R12	T6R12	T5R10	T2R4	T1R11	T4 R10

6.Resultados y discusión

Se realizó la determinación del contenido químico del biofermento, utilizado en el ensayo para estimar la cantidad de cada elemento y su posible aporte nutricional. El cuadro 3 expone la extrapolación de los aportes nutricionales del biofermento ha/año a una plantación de banano dátil en comparación con el requerimiento reportado por Bolaños et al. (2017).

Cuadro 3. Análisis nutricional y características químicas del biofermento.

		mg/L										
	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Resultado análisis químico del biofermento	3,67	1,50 g/L	564 mg/L	1506 mg/L	274 mg/L	401 mg/L	342 mg/L	8,88 mg/L	0,60 mg/L	1,56 mg/L	5,11 mg/L	0,16 mg/L
Aporte kg/ha1750up/ha del plan recomendado.		72 kg/ha	37 kg/ha	103 kg/ha	18 kg/ha	13 kg/ha	7 kg/ha	0	0	0	0	0
(aporte kg/ha) 1750 up/ha) dosis del biofermento de 200 ml por planta		6,8 kg/ha	2,3 kg/ha	6,14 kg/ha	1,1 kg/ha	1,6 kg/ha	1,43 kg/ha	0,03 kg/ha	<0,01 kg/ha	<0,01 kg/ha	0,02 kg/ha	<0,01 kg/ha
Porcentaje de cumplimiento y aporte mineral del biofermento.		8,75%	6,2%	6,14%	6,39%	12,38%	20,52%	-	-	-	-	-

6.1 Análisis comparativo del aporte nutricional de la fertilización orgánica vs fertilización inorgánica

El cuadro 3 presenta el análisis químico y de contenido de nutrientes, aplicado al biofermento utilizado en el presente ensayo; en este se detalla la presencia de los principales elementos que se recomiendan en la nutrición del banano dátil. El elemento con mayor aporte dentro del biofermento es el potasio, debido a que la elaboración del biofermento fue a base de melaza, la cual es proveniente del procesado de la caña de azúcar, cuyo contenido es alto en dicho nutriente. Se analiza que si bien hay un contenido de micro y macroelementos en el biofermento no es un contenido adecuado o es insuficiente para suplir las necesidades de la planta. Con respecto a lo reportado por Bolaños et al. (2017) de las necesidades nutricionales del cultivo de banano dátil.

Ahora bien, se realiza el análisis comparativo del aporte total mineral del biofermento contra el aporte mineral del fertilizante inorgánico. Para dicha estimación, se considera una dosis de 200 ml del biofermento por planta en una población de 1750 plantas y 12 ciclos; a continuación, se compara con el aporte de la recomendación técnica de la fertilización exclusivamente mineral. En este paralelismo, se muestra que el azufre es el elemento que alcanza el mayor cumplimiento del plan recomendado con un 20%; sin embargo, el contenido para los demás elementos no alcanza el 13%. De lo anterior, se deduce que el aporte nutricional del biofermento es insuficiente para cumplir con la recomendación técnica; de esta manera, los beneficios aportados a la planta estarían enfocados en el enriquecimiento microbiológico del suelo y las relaciones simbióticas que estos generan con la planta.

El cuadro 3 también muestra que el pH del biofermento tiene un valor de 3,6; esto se considera un pH ácido; un aspecto positivo que evidencia un buen proceso de fermentación anaeróbica y del medio donde se desarrollaron los microorganismos. Rodríguez et al. (2018) menciona que un pH por debajo de 4,5 propicia la presencia de lactobacilos e inhibe el crecimiento de los coliformes, los cuales presentan problemas en la salud humana. Dicho resultado muestra un buen proceso de preparación y un producto terminado de calidad. De acuerdo con Castro et al. (2021), los niveles de pH bajos favorecen la proliferación de levaduras y lactobacilos, quienes promueven el crecimiento vegetal y la descomposición de la materia orgánica en el suelo.

La tabla 3 detalla la presencia (+) o ausencia (-) de las principales, clases y géneros de importancia agrícola a los que pertenecen los microorganismos benéficos, la diversidad y la abundancia de hongos y bacterias (índice de Shannon) de las 4 muestras tomadas del biofermento, antes de su aplicación al ensayo. En el cual se observa que todas las muestras presentaron Alfa proteobacterias; solo la muestra 3 presenta las Beta proteobacterias; además, no se observó presencia de *P. fluorescens* ni *Bacillus subtilis* en ninguna de las muestras detalladas. Finalmente, se observa que hay presencia de Actinobacterias, *Streptomyces* spp, Bacilli (Firmicutes), *Lactobacillus* spp en todas las muestras analizadas.

Tabla 3. Resultados de la presencia (+) o ausencia (-) de los diferentes microorganismos benéficos

Microorganismos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Beta proteobacterias	-	-	+	-
Alfa proteobacterias	+	+	+	+
<i>P. fluorescens</i>	-	-	-	-
Actinobacterias	+	+	+	+
<i>Streptomyces</i> spp	+	+	+	+
<i>Bacilli</i> (Firmicutes)	+	+	+	+
<i>Bacillus</i> spp.	+	+	+	+
<i>Bacillus subtilis</i>	-	-	-	-
<i>Lactobacillus</i> spp.	+	+	+	+
<i>Trichoderma</i> spp.	-	-	+	-
Índice de Shanon Bacterias	3,03	3,04	2,7	2,8
Índice de Shannon Hongos	2,90	2,7	2,4	2,6

La tabla anterior describe en detalle la presencia y la ausencia de las principales clases y los géneros de microorganismos existentes en cada muestra analizada. También, se determinan la riqueza y la abundancia de hongos y bacterias, representadas como el índice de Shannon; el cual es un indicador de la calidad del biofermento, que inferior a 2 se considera como un nivel bajo de diversidad y abundancia de especies; asimismo, entre los intervalos 2 y 3 se estima intermedio y por arriba de 3 es más bien óptimo (Araya y Bolaños, 2014)

En la tabla 3 mostrada, se puede observar que, tanto para hongos y bacterias, el biofermento aplicado contenía un nivel intermedio de riqueza y abundancia de microorganismos para cada muestra determinada. En definitiva, las bacterias mostraron índices mayores diversidad y abundancia que los hongos.

De las principales clases de importancia para la agricultura analizadas en la tabla 3 se ubican las alfa y beta proteobacterias, estas encierran gran cantidad de géneros dentro de los cuales existen especies que participan en el ciclo del nitrógeno. En la clase beta proteobacterias de mayor relevancia se pueden localizar a las bacterias del género *Nitrosomonas* spp; por otro lado, en las alfa proteobacterias se detectan las bacterias del género *Nitrobacter* spp.

Por consiguiente, las bacterias pertenecientes al género *Nitrosomonas* spp se clasifican en bacterias oxidantes del amonio y nitratos. Las *Nitrosomonas* tienen la habilidad de transformar el amonio y nitratos en nitritos; además, pueden causar problemas con el aprovechamiento del fertilizante. Según Bustos y Guapizaca (2018) al pasar las formas del fertilizante NH_4 a NO_2 , estos últimos son difícilmente sostenidos por su carga negativa; de manera que en ocasiones son movidos hacia los horizontes

inferiores, proceso conocido como lixiviación o lavado; caso contrario, los fertilizantes amoniacales con carga positiva son sostenidos por las arcillas al tener carga opuesta.

Sin embargo, las bacterias del género *Nitrosomonas* spp ayudan a brindar la energía y la materia prima, a partir del recurso natural (materia orgánica) para que las bacterias del género *Nitrobacter* spp transformen los nitritos en nitratos (Villafranca, 2011). Por consiguiente, es importante notar que la determinación microbiológica examinada en la tabla anterior se realizó por medio de las clases a las que pertenece cada uno de estos géneros de importancia agrícola. Consecuentemente, se nota que la muestra 3 presentó ambas clases: alfa y beta proteobacterias; lo anterior, se interpreta como indicador y/o probabilidad de la permanencia de ambos géneros, que coexisten en la muestra 3 (*Nitrobacter* spp y *Nitrosomonas* spp).

Por otro lado, en las muestras 1,2 y 4 se contempla que solo hay evidencia de la clase alfa proteobacterias; en las cuales sus géneros transforman el nitrógeno no disponible (nitrito) en una forma disponible (nitrato) para las plantas (Attard, 2010). Sin presencia de bacterias, tal como la del género *Nitrobacter* spp, no se daría el paso de nitrito a nitrato, lo cual causaría lixiviación y desaprovechamiento de la fuente de nitrógeno utilizada; por ende, la presencia de alfa proteobacterias denota, en todas las muestras, un aspecto positivo para la conversión de nitrógeno proveniente de la materia orgánica.

León et al. (2009) mencionan que el NO_3 puede llegar a lixiviarse. Por otro lado, el NH_4^+ posee una carga positiva, de manera que, permite que se adsorba cuando es aplicado en el suelo, debido al intercambio iónico; lo que evita el efecto de pérdida por lixiviación. Sin embargo, el NH_4^+ puede ser fijado por las arcillas con predominancia de vermiculita y montmorillonita, por lo que, es conveniente tener presencia de ambos iones.

Por consiguiente, los suelos con contenidos altos de materia orgánica pueden aprovechar el recurso natural con la coexistencia de estas bacterias (*Nitrosomonas* spp y *Nitrobacter* spp) y una mayor cantidad de nitrógeno potencial, proveniente de los remanentes orgánicos que se incorporan nuevamente al suelo en los agro sistemas de banano dátil.

Finalmente, se observa que hay variación en la presencia de las alfa y beta proteobacterias, lo cual demuestra que el biofermento es un producto no estandarizado y los contenidos de estos microorganismos pueden variar. Por lo tanto, la coexistencia de ambos géneros y su posible beneficio estaría condicionado, según las condiciones de suelo, manejo y cultivo.

De la misma manera, otro género de importancia agrícola que encierran las alfa proteobacterias (presentes en las muestras 1,2,3 y 4) es el género *Rhizobium* spp. Sawada et al.(2003) mencionan que *Rhizobium* spp es un género de bacterias gram-negativas, pertenecientes a las alfa proteobacterias, cuyo hábitat natural es el suelo. Las bacterias del género *Rhizobium* spp poseen la habilidad de establecer una relación de convivencia (conocida como simbiosis) con determinadas plantas en su raíz. El beneficio de esta relación es el aporte de nitrógeno atmosférico que recibe la planta.

La presencia de *Rhizobium* spp se interpretaría como un aspecto positivo, debido a que generaría un beneficio a la planta. Un aporte externo del nitrógeno propiciado por estas bacterias disminuiría la necesidad de carga excesiva mineral proveniente de un fertilizante exclusivamente mineral. Un estudio realizado por Salvador (2016) encontró una cepa bacteriana diazotrófica del género *Rhizobium* spp, aislada de la rizosfera de una planta de banano *Musa* spp; esta cepa fue capaz de solubilizar fosfato, fijar grandes cantidades de nitrógeno (N₂) y formar nódulos efectivos en las leguminosas,

lo cual sugiere que la presencia de este género, según las muestras analizadas del biofermento, podría representar un beneficio para la nutrición de la planta.

También, el análisis anterior presenta actinobacterias en todas las muestras; las cuales están dentro de un grupo de microorganismos distribuidos ampliamente en ecosistemas naturales; asimismo, tienen gran participación de la degradación de materia orgánica y de ciertas propiedades fisiológicas que los hacen particulares. Estos microorganismos son descritos por promover el mejoramiento de la estructura del suelo y fabricar compuestos bioactivos, quienes poseen propiedades antagónicas contra los patógenos. Particularmente, se han reportado propiedades que pueden catalogar las actinobacterias como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (Franco, 2009).

Además, los métodos de aislamiento convencionales muestran que el 95% de los actinomicetos aislados, a partir de suelo, pertenecen al género *Streptomyces* spp. (Márquez et al., 2003). Dichos actinomicetos fueron encontrados, de la misma manera, en todas las muestras analizadas del biofermento, lo que se traduce a una mayor eficiencia en la descomposición de la materia orgánica del suelo en los tratamientos aplicados con el biofermento.

El género *Streptomyces* spp ha sido descrito como colonizador de la rizosfera, capaz de ejercer biocontrol sobre hongos fitopatógenos; producir sideróforos, es decir, sustancias promotoras del crecimiento vegetal in vitro; promover la nodulación y, finalmente, ayudar a los bacteriodes del género *Rhizobium* spp a la asimilación del hierro en la fijación de nitrógeno, lo cual contribuye indirectamente a la promoción de crecimiento vegetal (Tokala et al., 2002).

Adicionalmente, todas las muestras de la tabla 3 muestran presencia de *Bacillus* spp; asimismo, las esporas producidas por *Bacillus* spp provocan que estos sean armas

versátiles para el control de los microorganismos fitopatógenos, ya que, estas estructuras de resistencia permiten su almacenamiento, incluso a temperatura ambiente durante largos periodos de tiempo (Pedraza et al., 2019). Aparte de su capacidad de producir esporas, estos microorganismos destacan por sus siguientes habilidades: control biológico, puesto que logran una rápida colonización y replicación; una amplia distribución en un gran número de ecosistemas; una alta capacidad de sobrevivencia en ambientes hostiles y sintetizan diversos compuestos antimicrobianos (Summi et al., 2015). Según las muestras 1, 2,3 y 4, estos microorganismos favorecen el crecimiento vegetal, al propiciar la salud vegetal de la planta de banano dátil; por ende, mejoran los procesos fisiológicos, logran un manejo integrado de plagas, una mejor nutrición de la planta y reducen la carga química utilizada en el cultivo de banano dátil.

Gonzalez et al. (2017) mencionan que el ácido indolacético es una auxina que regula las hormonas de crecimiento de la planta. Así pues, organismos como los *Basillus* spp son capaces de sintetizar AIA, lo que puede influir en el crecimiento y el desarrollo de los cultivos. Esto sucede debido a una relación simbiótica, en la cual, las plantas exudan componentes; por ejemplo, el aminoácido triptófano, que es el principal precursor para la biosíntesis de AIA microbiano y que, eventualmente, regula la actividad de las fitohormonas de la planta.

Finalmente, en la muestra 3 se ubica la presencia del género *Trichoderma* spp, el cual, según Hernandez et al. (2019) se puede hallar en la rizosfera y relacionarse de manera endofítica; con esto, promueven el crecimiento y el desarrollo de las plantas por medio de mecanismos específicos como producción de auxinas y giberelinas. Además, producen ácidos orgánicos como: glucónico, fumárico, y cítrico, los cuales tienen la

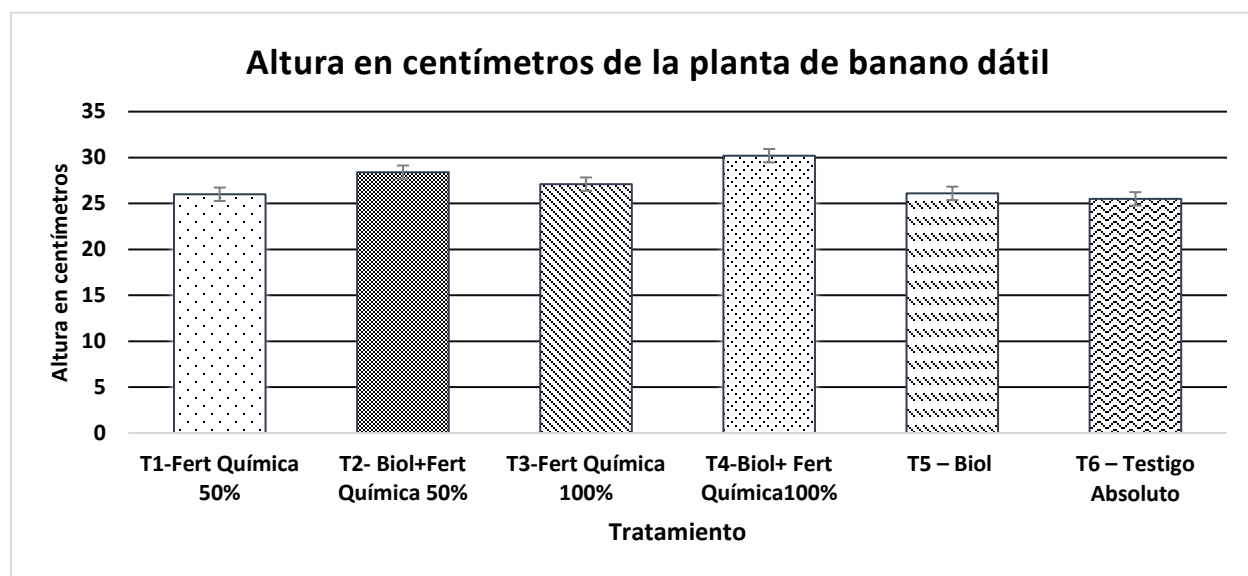
habilidad de promover la solubilización de fosfatos, magnesio, hierro y manganeso, que a su vez son vitales para el metabolismo vegetal.

En síntesis, los géneros encontrados en las muestras 1,2,3 y 4 del biofermento son descritos como géneros que mejoran la disponibilidad de nutrientes mediante ácidos orgánicos; incrementan la actividad microbiológica; aseguran la salud de la planta y promueven el crecimiento vegetal.

6.2 Variables biométricas evaluadas en el ensayo banano dátil (AA) bajo condiciones de invernadero.

La figura 2 expone los promedios de la altura en centímetros de la planta de banano dátil bajo condiciones de invernadero. Al comparar los tratamientos T1 vs T2 y T3 vs T4, de manera individual, aquellos aplicados con la fertilización orgánica-inorgánica (T2 Y T4) obtuvieron una media mayor sobre la variable altura de planta en comparación con los tratamientos T1 y T3, que fueron tratados con la fertilización exclusivamente inorgánica. Además, se detallan en la presente figura las comparaciones estadísticas en las cuales se observa un efecto positivo al aplicar la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica.

Figura 2 Media general y contrastes ortogonales para la variable altura en centímetros de la planta de banano dátil.



Contrastes ortogonales	P≤05 (95%)	Estimación
Efecto fert orgánica vs fert orgánica- inorgánica	0,33	1,12
Efecto fert orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,76	0,40
Efecto general de la fertilización orgánica	0,06	2,04
Efecto fert orgánica- inorgánica vs fert inorgánica	0,04*	2,79
Efecto fertilización inorgánica	0,54	0,98

La figura 2 establece las comparaciones ortogonales para determinar el efecto de la fertilización orgánica, inorgánica y su combinación sobre la altura de la planta de banano dátil, según el criterio de Fisher: significancia ($p \leq 0,05$) no se encontraron diferencias estadísticas al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica en contraste del efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica.

De la misma manera, no hay un efecto estadísticamente significativo sobre la altura de la planta al aplicar la fertilización orgánica combinada con un 100% vs 50% de la fertilización inorgánica. Tampoco se muestran diferencias significativas de la fertilización inorgánica en general; sin embargo, se produjo un efecto significativo

($p=0,04$) al comparar la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica con la fertilización exclusiva inorgánica; este efecto fue positivo y cuantificado en 2,79 centímetros más al utilizar la combinación del fertilizante químico con el biofermento.

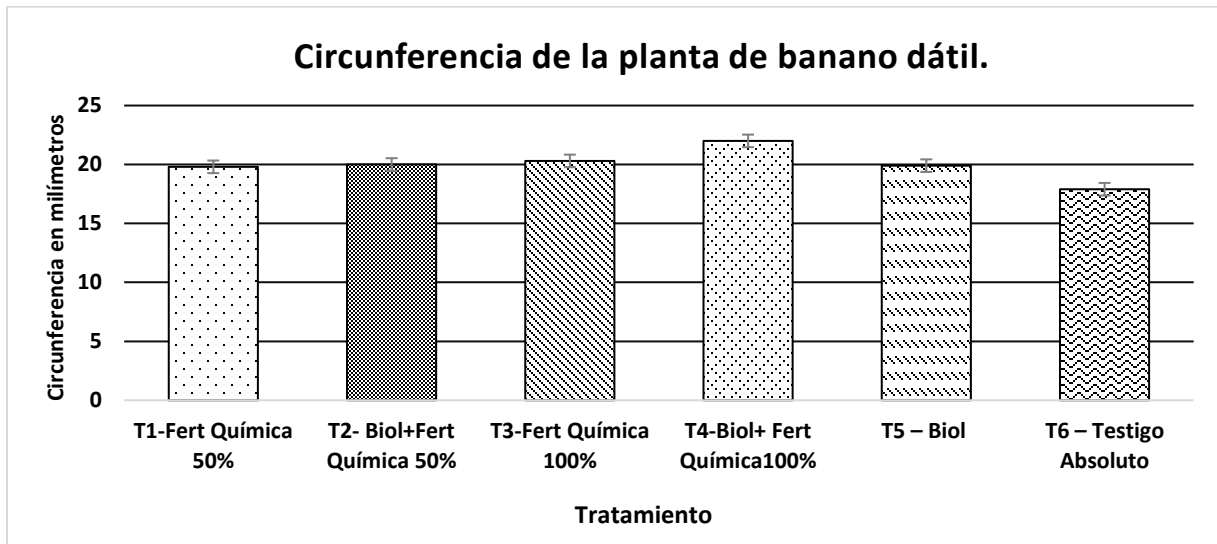
En concordancia con lo reportado por Ortega et al. (2019), en un estudio realizado con banano Cavendish, se observó un incremento estadístico significativo de la altura de la madre y el hijo en los tratamientos; en ellos, la fertilización orgánica fue aplicada en acompañamiento de la fertilización mineral. Consecuente con la existencia del género *Streptomyces* spp en todas las muestras analizadas del biofermento, descritos por Paci et al. (2019) como microorganismos productores de diversos compuestos bioactivos, tales como: las auxinas y giberelinas, que promueven el crecimiento de las plantas.

Por consiguiente, se debe considerar que los estados iniciales de la planta de banano dátil representan la preparación de tejidos y de asimilados para la posterior obtención de un buen racimo y una óptima productividad. De esta manera, una mayor altura de la planta, según Espinoza et al. (2020) representaría un mejor desarrollo e índice de retorno, lo cual se traduce en una creciente cantidad de racimos por año; esto indica una superior asimilación de nutrientes y un correcto estado fisiológico de la planta, descrito con anterioridad al momento de observar un incremento de la altura de banano dátil cuando se utilizó la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica.

La figura 3 mostrada a continuación presenta las medias de circunferencia en milímetros de la planta de banano dátil al concluir el ensayo. Los tratamientos aplicados con la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica tuvieron un promedio mayor en comparación con la fertilización exclusivamente inorgánica. Este comportamiento es similar al hallado anteriormente en la figura 2, donde el tratamiento 4 obtuvo promedios mayores de altura de planta cuando se combinó la fertilización orgánica-inorgánica con

respecto a la fertilización exclusivamente inorgánica. Además, se muestra la comparación estadística entre efectos y la estimación; en la cual ninguna de las comparaciones vistas determina una diferencia estadística significativa en esta variable.

Figura 3. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para la variable circunferencia de la planta en milímetros de la planta de banano dátil y análisis estadístico.



Contrastes ortogonales	P≤05 (95%)	Estimación
Efecto fert orgánica vs fert orgánica- inorgánica	0,58	-0,52
Efecto fert orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,52	0,71
Efecto general de la fertilización orgánica	0,15	1,31
Efecto fert orgánica- inorgánica vs fert inorgánica	0,38	0,96
Efecto fertilización inorgánica	0,12	2,13

La figura 3 detalla las interacciones analizadas para determinar el efecto de los tratamientos sobre el promedio de la circunferencia de la planta de banano dátil según criterio de Fisher (95 % de confianza). No se encontraron diferencias estadísticas al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica en contraste con el efecto de la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica. De la misma manera, no hay un efecto estadístico significativo sobre la circunferencia de la planta de banano dátil al aplicar la fertilización orgánica con la combinación del 100% vs 50% de la dosis inorgánica.

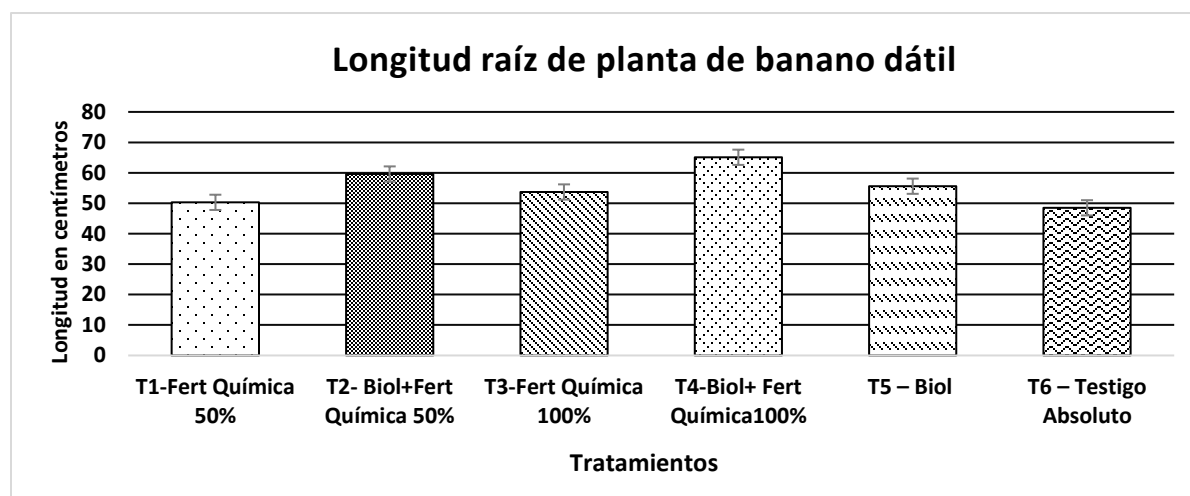
Además, tampoco se muestra un efecto estadístico significativo de la fertilización inorgánica general sobre la variable de circunferencia de la planta. Estos resultados descubiertos son consecuentes a los reportados por Araya (2010), quien no detectó diferencias estadísticas en la circunferencia de la planta de banano mediante la evaluación de la fertilización orgánica con respecto a la fertilización inorgánica. Por consiguiente, se puede analizar que bajo condiciones de invernadero no hubo ningún efecto de la fertilización orgánica, inorgánica ni de su combinación sobre la circunferencia de la planta de banano dátil; contrario a la variable altura de planta, mostrada anteriormente, la cual sí tuvo una respuesta a la aplicación de la fertilización orgánica-inorgánica.

En la figura 4, las medias de longitud de la raíz de la planta de banano dátil son observadas al finalizar el ensayo para cada uno de los tratamientos; aquellos con medias superiores para la variable longitud de raíz fueron los que contenían la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica. Por un lado, el tratamiento con mayor promedio de longitud de raíz fue la combinación de la fertilización orgánica- inorgánica con 100% de

fertilización mineral; por otro lado, el menor promedio de longitud de raíz la obtuvo el tratamiento testigo.

De la misma manera, se presentan diferencias estadísticas y un efecto para cada una de las comparaciones realizadas. A continuación, se destacan, principalmente, el efecto de la fertilización orgánica y la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica.

Figura 4. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para la variable longitud raíz centímetros planta de banano dátil.



Contrastes ortogonales	P≤05 (95%)	Estimación(cm)
Efecto fert orgánica vs fert orgánica- inorgánica	0,67	1,66
Efecto fert orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,82	1,02
Efecto general de la fertilización orgánica	0,01*	9,28
Efecto fert orgánica- inorgánica vs fert inorgánica	0,02*	10,38
Efecto fertilización inorgánica	0,53	3,45

La figura 4 especifica las comparaciones ortogonales; ahí se visualiza el efecto de los tratamientos sobre la variable longitud en centímetros de la raíz de la planta de banano dátil bajo condiciones de invernadero. En consecuencia, no se encontraron diferencias estadísticas al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica en contraste con el efecto de la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica.

Tampoco se estableció un efecto estadístico significativo sobre la longitud de la raíz de la planta al aplicar la fertilización orgánica combinada con el 100% vs 50 % de la dosis inorgánica. En conclusión, no se obtuvieron diferencias significativas de la fertilización inorgánica en general.

Sin embargo, se fijó un efecto significativo asociado a los tratamientos aplicados con la fertilización orgánica en general. Por lo cual, la fertilización orgánica tuvo un efecto significativo ($p=0,01$) cuantificado en 9,28 centímetros más sobre la raíz de la planta de banano dátil con respecto a los tratamientos que no la recibieron. Esto es consecuente con lo descrito por Burgos (2015), quien reporta diferencias estadísticas respecto a la longitud de la raíz entre aquellas plantas de banano cultivar Valery que recibieron aplicación de biofermentos y las que no. También, Ortega et al. (2019) observaron que existe una bioestimulación del crecimiento de la raíz mediante la implementación de biofertilizantes. Adicionalmente, en todas las muestras analizadas del biofermento, la presencia del género *Streptomyces* spp sugiere que hay un efecto de promoción del crecimiento, mencionado por Paci et al. (2019) los cuales explican que varias especies del género *Streptomyces* spp son capaces de sintetizar AIA, metabolito influye en el aumento del número y tamaño de las raíces.

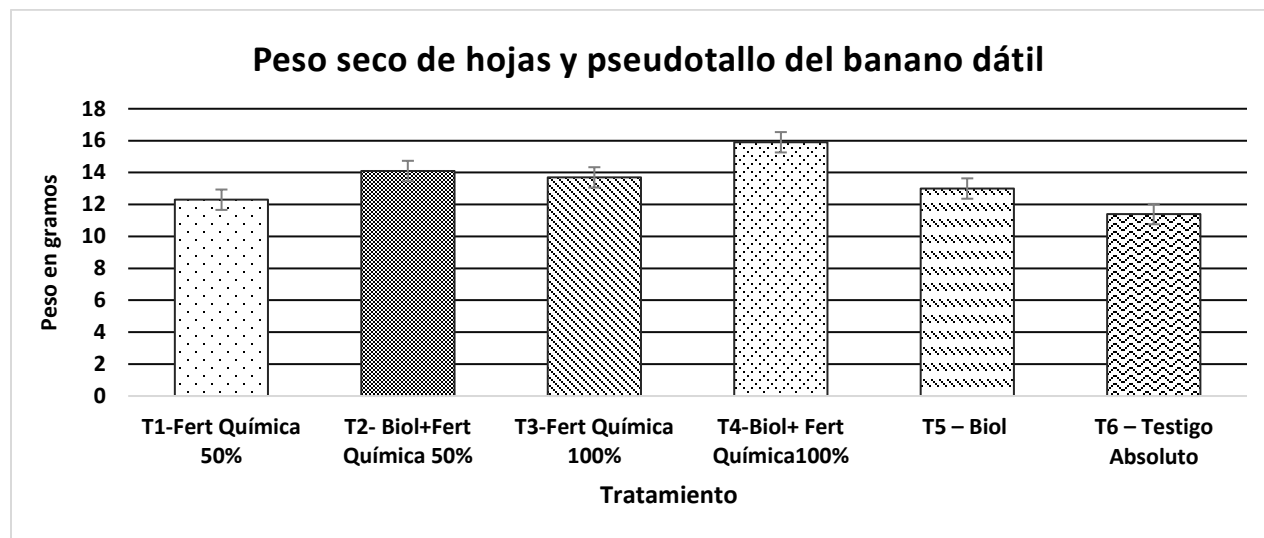
De la misma manera, la longitud de raíz con la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica vislumbra un efecto positivo ($p=0,02$) estimado en 10,38 centímetros más que aquella con una aplicación exclusiva de la fertilización inorgánica. Dentro de las razones que explican un mejor desempeño o rendimiento en dicho órgano se encuentran el estímulo químico y el biológico, causados por la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica, la cual propició un mejoramiento de las condiciones de la rizosfera y, con esto, la promoción del crecimiento.

Villalobos (2001) menciona que una alternativa para hacer más sostenibles los sistemas de producción es estimular las relaciones entre las plantas y los microorganismos, los cuales ayudan a la planta a asimilar los elementos pocos móviles como el fósforo; de manera que, al añadir una mezcla múltiple de microorganismos al sistema se propicia la asimilación de nutrientes.

Por ende, los resultados anteriores demuestran que la raíz se estimuló por el aporte de la fórmula del fertilizante químico y el sinergismo de los microorganismos proporcionados por el biofermento, tales como los lactobacilos y los actinomicetos (*Streptomyces* spp) presentes en todas las muestras del biofermento; estos son descritos por propiciar una mayor elongación y desarrollo en la raíz de la planta de banano dátil.

Ahora bien, la figura 5 representa las medias de la evaluación final del peso seco de la parte aérea (pseudotallo y hojas) de la planta de banano dátil en condiciones de invernadero. Por lo tanto, los tratamientos con medias superiores fueron aquellos con la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica, relacionados con las variables (altura, longitud de la raíz). A continuación, se presenta la determinación de los efectos significativos vistos al aplicar la fertilización orgánica general y el efecto significativo en la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica.

Figura 5. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para el peso seco de hojas y pseudotallo del banano dátil.



Contrastes ortogonales	P≤05 (95%)	Estimación
Efecto fert orgánica vs fert orgánica- inorgánica	0,78	0,23
Efecto fert orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,83	0,20
Efecto general de la fertilización orgánica	0,02*	1,85
Efecto fert orgánica- inorgánica vs fert inorgánica	0,04*	2,01
Efecto fertilización inorgánica	0,18	1,56

La figura 5 resume los contrastes ortogonales donde se muestra el efecto de la fertilización orgánica e inorgánica y su combinación sobre la variable el peso seco del pseudotallo y de las hojas de la planta de banano dátil. En consecuencia, no se encontraron diferencias estadísticas al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica y el efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica sobre la variable: peso seco de hojas y pseudotallo. Adicional a esto, tampoco resalta un efecto estadístico sobre la planta al comparar la combinación de la fertilización orgánica con las dosis de la fertilización inorgánica al 100% vs 50%.

No obstante, sí se determinó un efecto en la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica; los tratamientos con esta fertilización obtuvieron un efecto significativo estadístico ($p=0,02$) de 2,01 gramos más sobre el peso seco de la parte aérea de la planta de banano dátil; esto en relación con la fertilización exclusivamente inorgánica. Adicionalmente, la figura anterior también describe un efecto significativo estadístico ($p=0,04$) de 1,85 gramos más sobre peso seco aéreo de las plantas de banano dátil que recibieron la fertilización orgánica.

Lo anterior coincide con lo mencionado por Ortega et al. (2019), el cual describe una mayor vigorización en las plantas aplicadas con el uso de biofermentos; contrario a lo descrito por Araya (2010), quien no estableció diferencias estadísticas en las variables peso seco de hojas y pseudotallo en las plantas de banano con la aplicación de biofermentos, a nivel de vivero. Además, se analiza que el efecto de la fertilización orgánica fue superior al efecto de la fertilización exclusivamente inorgánica sobre la variable peso seco de las hojas y pseudotallo.

Este impacto sobre la biomasa aérea de la planta presenta un mayor desarrollo de las hojas y pseudotallo. Lo cual, se traduce en un aumento de producción del material fotosintético y asimilados, por ende, más biomasa en el tejido encargado del transporte de los nutrientes; esto podría representar también un mejor sostén en etapas fenológicas tempranas para enfrentar factores abióticos como el viento.

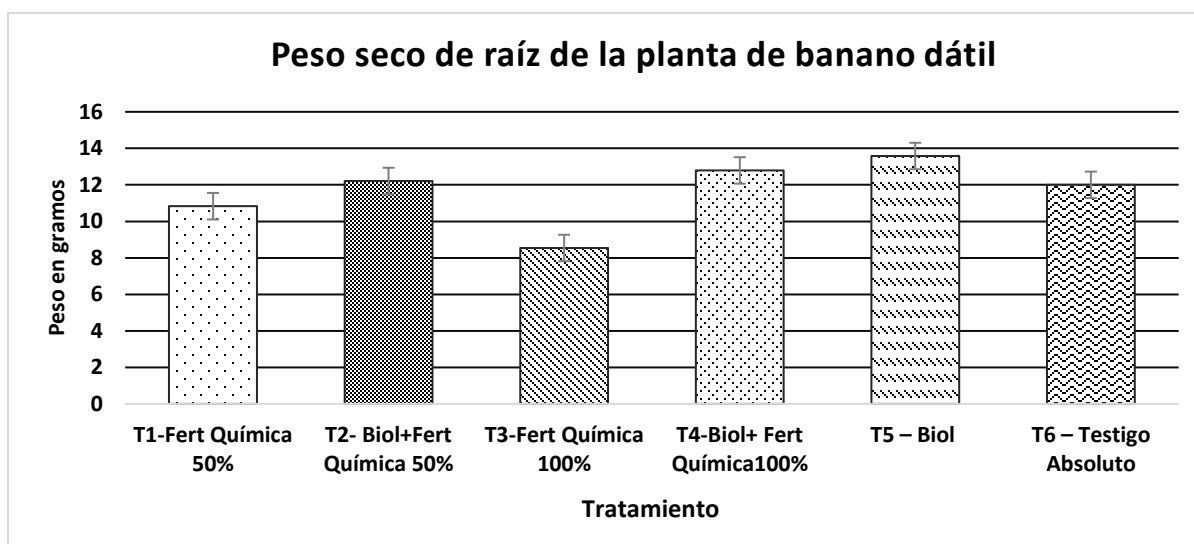
A continuación, la figura 6 detalla la comparación de las medias de la evaluación final del peso seco de la raíz de la planta de banano dátil bajo condiciones de invernadero. Dicha figura especifica que el T5 (tratado únicamente con el biofermento) sobresale en dicha variable por encima de los demás tratamientos. El T3 (100% fertilización inorgánica) fue el tratamiento que obtuvo el menor promedio de peso seco

de raíz. Este comportamiento también fue observado en la variable altura de la planta (figura 1).

Por otro lado, los tratamientos que contenían la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica obtuvieron una mayor media en esta variable con respecto a la fertilización exclusivamente inorgánica consecuentemente, las variables mencionadas (altura, longitud de la raíz, pseudotallo y hojas) mostraron este mismo comportamiento

Así también, se detallan las comparaciones estadísticas de los efectos para los tratamientos aplicados; de manera que se muestran los efectos estadísticos significativos para la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica y para la fertilización orgánica en general.

Figura 6. Media general de los tratamientos y contrastes ortogonales para peso seco de raíz de la planta de banano dátil.



Contrastes ortogonales	P≤05 (95%)	Estimación
Efecto fert. orgánica vs fert. orgánica- inorgánica	0,55	0,62
Efecto fert. orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,23	1,44
Efecto general de la fertilización orgánica	0,02*	2,40
Efecto fert. orgánica- inorgánica vs fert. inorgánica	0,02*	2,81
Efecto fertilización inorgánica	0,12	-2,31

La anterior figura muestra que no se distinguieron diferencias estadísticas al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica con el efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica.

Aunado a esto, tampoco se presenta un efecto estadístico significativo sobre la planta cuando se compara la combinación de la fertilización orgánica con la dosis de la fertilización inorgánica al 100% vs 50%. Sin embargo, se percibe un efecto estadístico significativo ($p=0,02$) de la fertilización orgánica general cuantificado en 2,40 gramos más sobre el peso seco de la raíz de la planta de banano dátil con respecto a los tratamientos no aplicados en la fertilización orgánica; esto consecuente con la variable longitud de raíz descrita anteriormente en el cual la fertilización orgánica presentó un efecto

significativo positivo. Este resultado es congruente con Burgos (2015), el cual visualizó un efecto positivo estadístico de mayor biomasa radicular al aplicar la fertilización orgánica en analogía con el testigo (fertilización mineral).

Lo anterior es explicado por el efecto de los microorganismos aportados por el biofermento, los cuales se establecen en áreas cercanas a la raíz y propician o aceleran los procesos bioquímicos que influyen sobre el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Umaña, 2017). Adicionalmente a esto, en la figura anterior se muestra un efecto positivo ($p=0,02$) al combinar la fertilización orgánica-inorgánica de 2,81 gramos más que la fertilización exclusivamente inorgánica. Por lo tanto, se analiza que la combinación de la fertilización mineral y el biofermento producen un efecto positivo sobre la longitud y la biomasa acumulada en la parte radicular de la planta, este efecto denota un mayor desarrollo en dicho órgano.

Farah et al. (2008) mencionan que el mecanismo mediante el cual algunos microorganismos favorecen el enraizamiento se explica por la capacidad de producir cambios en el balance fitohormonal, principalmente en la producción de ácido indolacético, así como en la habilidad para solubilizar minerales del suelo, tales como los fosfatos que pasan a estar más disponibles.

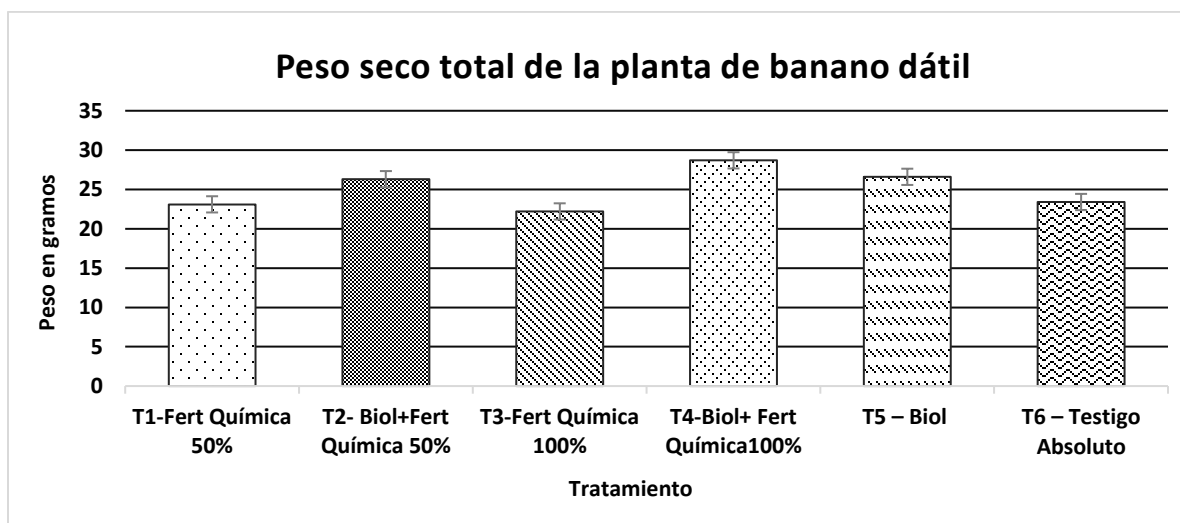
Badilla (2019), explica que la presencia de lactobacilos (presentes en las muestras 1,2,3 y 4 del biofermento) propician el crecimiento radicular. El sinergismo químico- biológico causó una mayor producción de biomasa en la raíz y en la longitud de raíz de la planta; así, queda claro que el mayor efecto o estímulo sobre el desarrollo de la raíz se obtiene al utilizar la combinación del biofermento y el fertilizante mineral.

Por otra parte, la figura 7 describe las medias de la evaluación final del peso seco total de la planta de banano dátil. Todos los tratamientos aplicados con la fertilización

orgánica obtuvieron mayor media que los que no la recibieron. Por consiguiente, se destaca que en el tratamiento T4, el 100% de la fertilización mineral sobresale por encima de los demás tratamientos. También, el T3 con fertilización exclusivamente mineral al 100% fue el tratamiento que obtuvo el menor promedio de peso total de biomasa de la planta. Este comportamiento fue observado en la variable altura de la planta (figura1).

Los tratamientos con la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica obtuvieron mayor media confrontados con la fertilización exclusivamente inorgánica; consecuentemente con las variables ya mencionadas (altura, longitud de la raíz, pseudotallo y hojas) las cuales mostraron este mismo comportamiento; sin embargo, es necesario contemplar las interacciones estadísticas en esta misma figura para cuantificar el efecto sobre los tratamientos.

Figura 7. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para peso seco total de la planta de banano dátil.



Contrastes ortogonales	P≤05 (95%)	Estimación
Efecto fert. orgánica vs fert. orgánica- inorgánica	0,59	0,85
Efecto fert. orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,36	1,64
Efecto general de la fertilización orgánica	<0,01*	4,26
Efecto fert. orgánica- inorgánica vs fert. inorgánica	0,01*	4,82
Efecto fertilización inorgánica	0,73	-0,75

La figura 7 presenta los contrastes ortogonales para la variable peso seco total de planta, siendo dicha variable una de las más importantes debido a que refleja el efecto de los tratamientos sobre la totalidad de la biomasa producida por la planta

De acuerdo con lo observado en la figura 7, no se encontraron diferencias estadísticas al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica en contraste con el efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica. De la misma manera, tampoco se observó un efecto estadístico significativo sobre el peso seco total de la planta al comparar la combinación de la fertilización orgánica con la dosis de la fertilización inorgánica al 100% vs 50%. Asimismo, se determinó un efecto significativo ($p < 0,01$) en

la fertilización orgánica general, la cual se cuantificó sobre el peso seco total de la planta de banano dátil en 4,26 gramos más en aquellos tratamientos a los que se les aplicó el biofermento en contraste con los tratamientos que se evitó su uso. En adición a esto, se presentó un efecto estadístico positivo ($p=0,01$) de la fertilización orgánica-inorgánica de 4,82 gramos más con respecto a la fertilización inorgánica.

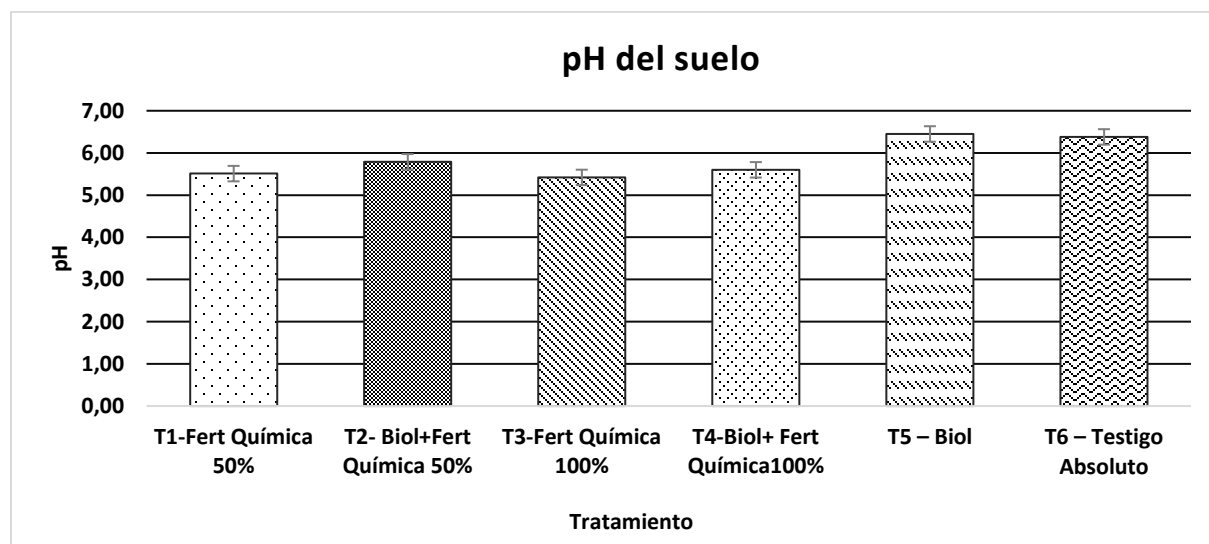
Lo anterior evidencia una mayor producción de biomasa total con la aplicación de la fertilización orgánica y, por ende, un mayor desarrollo y crecimiento. Espinoza et al. (2020) mencionan que el crecimiento y el desarrollo son palabras para referirse al aumento del tamaño y el incremento irreversible en la biomasa. Lo anterior sugiere que hay un efecto directo entre el desarrollo de la planta de banano dátil y la aplicación de los biofermentos. Los resultados observados por Ortega (2019) indicaron un aumento de las variables relacionadas con la biomasa total, número de manos, circunferencia y el peso del racimo con la aplicación de biofertilizantes.

Además, el aumento de biomasa reportado en otros cultivos al aplicar los biofermentos de piña (Delgado, 2006), espinaca y culantro (Umaña, 2017), soya y tomate (Castro et al 2015). Este efecto de aumento de la biomasa se explica por la adición de microorganismos benéficos que contienen los biofermentos descritos por Marín (2015), quien argumenta que los microorganismos favorecen los rendimientos altos en los cultivos debido al estímulo y el mejoramiento de los procesos fisiológicos para el desarrollo de la planta. Según Morejón y Calvache (2013) este desarrollo vegetal se logra mediante los procesos de la degradación de substratos de difícil descomposición que hacen más eficiente la solubilización de los fertilizantes y la absorción y translocación de los nutrimentos.

6.3 Análisis de pH, MO y acidez analizados en el suelo donde creció la planta de banano dátil.

La figura 8 describe el comportamiento de las medias del pH de los diferentes tratamientos. De esta manera, se vislumbra un aumento de las medias del pH sobre los tratamientos aplicados con la fertilización orgánica. También sobresale un efecto acidificante para los tratamientos aplicados con la fertilización exclusivamente inorgánica. Asimismo, se numeran los efectos estadísticos significativos de la fertilización orgánica, la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica y la fertilización exclusiva inorgánica. A continuación, es importante notar en la figura presentada que la fertilización inorgánica muestra un efecto negativo sobre el pH entre los efectos significativos.

Figura 8. Promedio del pH y contrastes ortogonales de los tratamientos aplicados a la planta de banano dátil.



Contrastes ortogonales	P≤05 (95%)	Estimación
Efecto fert. orgánica vs fert. orgánica- inorgánica	0,08	0,08
Efecto fert. orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,38	-0,05
Efecto general de la fertilización orgánica	<0,01*	0,17
Efecto fert. orgánica- inorgánica vs fert. inorgánica	<0,01*	0,23
Efecto fertilización inorgánica	<0,01*	-0,92

La figura 8 resume los contrastes ortogonales y el efecto de los tratamientos sobre la variable pH en el ensayo de banano dátil bajo condiciones de invernadero. Así pues, no se encontraron diferencias estadísticas al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica en contraste con el efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica; ni de la combinación de la fertilización orgánica en dosis de 50% vs 100% de la fertilización exclusivamente inorgánica.

No obstante, se estableció un efecto estadístico ($p < 0,01$) positivo de la fertilización orgánica sobre el pH del suelo donde crecieron las plantas de banano dátil. Este efecto de la fertilización orgánica se cuantificó con un 0,17 más de unidades de pH en el suelo donde creció la planta en contraste con los tratamientos no aplicados. Adicional a esto, se muestra un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,01$) en la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica de 0,23 unidades más de pH paralelamente a la fertilización inorgánica.

Lo observado es consecuente con lo descrito por Umaña (2017), el cual reporta un aumento de pH cuando el suelo recibe aplicación de biofermentos en comparación del testigo mineral. Esto obedece a la capacidad de los microorganismos de balancear y restablecer las características químicas del suelo; por ejemplo, el pH y su habilidad para aumentar la disponibilidad de nutrientes, como las bases en el suelo (Ca, Mg, K) y de esta forma funcionar como enmienda (Badilla, 2019).

Aunado a esto, se determinó un efecto negativo significativo ($p < 0,01$) de la fertilización inorgánica general de 0,92 menos unidades de pH en el suelo donde creció la planta de banano dátil. Este efecto es el esperado porque proviene de la acidificación provocada por la fertilización convencional inorgánica; contrario a la fertilización orgánica, que tuvo un efecto positivo sobre esta variable, consecuente con los cambios en el pH observados de la misma manera por Ortega et al. (2019).

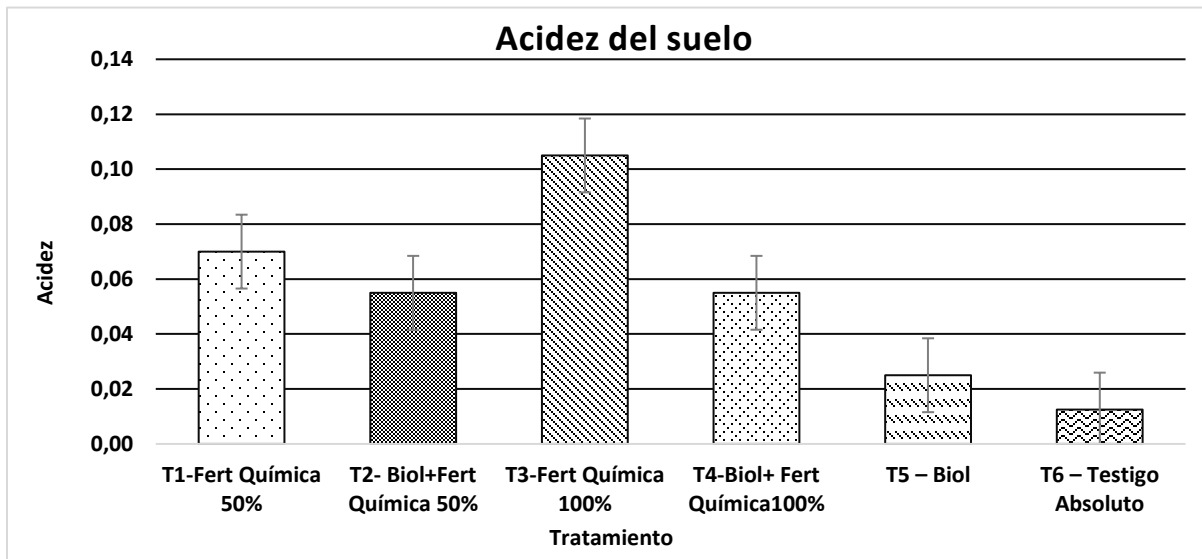
Ahora bien, la figura 9 detalla el comportamiento de los promedios obtenidos con los tratamientos aplicados al suelo donde crecieron las plantas de banano dátil; en dicha figura se puede apreciar que el tratamiento con menor acidez fue el T6 (testigo absoluto)

Además, cabe señalar que, el T3 fue el tratamiento con el promedio más alto de acidez; esto es, 100% de la fertilización exclusivamente inorgánica. De la misma manera,

cuando se confrontan las medias T1vs T2 y T3 vs T4 queda en evidencia que los tratamientos con la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica manifiestan promedios de acidez inferiores a los tratamientos con fertilización exclusivamente inorgánica.

A continuación, se presentan las significancias del efecto simple de la fertilización orgánica sobre la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica. De la misma manera, se constituye un efecto significativo en la combinación de la fertilización orgánica- inorgánica sobre la fertilización exclusivamente inorgánica y, finalmente, se muestra también un efecto significativo en la fertilización inorgánica sobre la acidez del suelo donde crecieron las plantas de banano dátil.

Figura 9. Promedio y contrastes ortogonales de la acidez del suelo en los tratamientos de la planta de banano dátil.



Contrastes ortogonales	P≤05 (95%)	Estimación
Efecto fert. orgánica vs fert. orgánica- inorgánica	0,03*	-0,02
Efecto fert. orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,13	-0,02
Efecto general de la fertilización orgánica	0,07	-0,02
Efecto fert. orgánica- inorgánica vs fert. Inorgánica	0,01*	-0,03
Efecto fertilización inorgánica	<0,01*	0,08

La figura 9 presenta los contrastes ortogonales para determinar los diferentes efectos sobre los tratamientos y la estimación de dicho efecto sobre la acidez. Asimismo, se evidencian diferencias estadísticas ($p=0,03$) al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica en contraste con el efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica. Dicho efecto fue de 0,02 unidades de acidez menos al momento de utilizar la fertilización orgánica con respecto a la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica.

Además, no se muestra un efecto significativo estadístico de la fertilización orgánica en general sobre la acidez del suelo ni de la fertilización orgánica combinada con las dosis de 100% vs 50% de la fertilización inorgánica; sin embargo, se determina un efecto significativo en la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica comparado con la fertilización exclusivamente inorgánica. Este efecto fue de 0,03 unidades menos de acidez cuando se combinó el fertilizante mineral con el biofermento. Esto demuestra que al realizar la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica hay un efecto de amortiguamiento de la acidez. Este efecto de amortiguamiento de la acidez fue también observado en la variable pH en la figura 8.

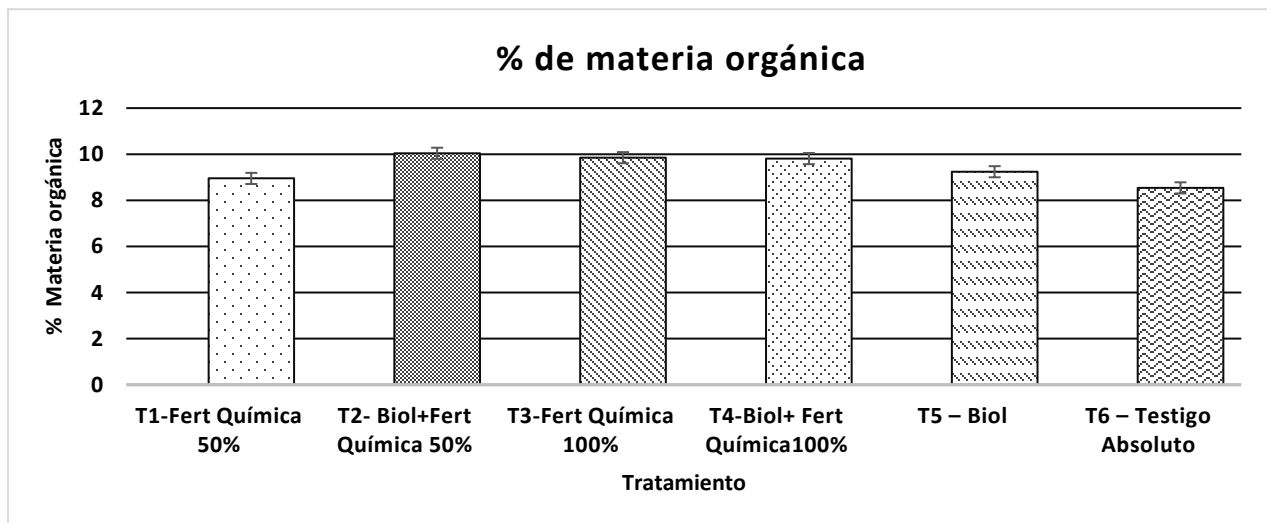
De la misma manera, se percibió un efecto estadístico positivo ($p < 0,01$) de la fertilización inorgánica general sobre la variable acidez del suelo, cuantificado con 0,08 unidades más de acidez en el suelo donde creció la planta de banano dátil. Esto es explicado por la característica de los fertilizantes inorgánicos y su contribución a la acidez del suelo. Kumar (2019) afirma que el uso continuo y excesivo de los fertilizantes químicos tiene la capacidad de cambiar las características del suelo a ácido/alcalino, lo que lleva a la reducción en los rendimientos de los cultivos.

Estos resultados son consecuentes con Marín (2015), quien evaluó el manejo orgánico e inorgánico y determinó que la fertilización mineral aumenta la acidez en el suelo con respecto a la fertilización orgánica, la cual propicia una menor acidez. Explicado por dicho autor por el efecto acidificante de fertilizantes inorgánicos y la lixiviación de bases como el Ca y el Mg.

La figura 10 presenta el comportamiento del promedio de la variable % de materia orgánica para los tratamientos del ensayo de banano dátil en condiciones de invernadero. En esta figura, se detalla que el T2 obtuvo el promedio más alto de % de materia orgánica; de esta forma, se presentan las comparaciones estadísticas para determinar el efecto y la estimación de los efectos sobre la variable de materia orgánica en el suelo.

A continuación, se exponen las significancias estadísticas sobre el % de materia orgánica al aplicar las fertilizaciones orgánica e inorgánica.

Figura 10. Promedio del % de materia orgánica de los tratamientos del suelo donde creció la planta de banano dátil.



Contrastes ortogonales	P≤05	Estimación
Efecto fert. orgánica vs fert. orgánica- inorgánica	0,73	-0,09
Efecto fert. orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,07	-0,56
Efecto general de la fertilización orgánica	0,03*	0,58
Efecto fert. orgánica- inorgánica vs fert. inorgánica	0,09	0,52
Efecto fertilización inorgánica	0,03*	0,86

La figura 10 muestra las significancias entre las comparaciones ortogonales para la variable porcentaje de contenido de materia orgánica del suelo donde crecieron las plantas de banano dátil. Cabe recalcar que no se encontraron diferencias estadísticas al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica con el efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica. Tampoco hay diferencias del efecto de la fertilización orgánica con dosis de 50% vs 100% de la fertilización inorgánica.

Sin embargo, se determinó un efecto significativo ($p=0,03$) de la fertilización inorgánica general con un 0,86% más de contenido de materia orgánica con aplicación de fertilizante exclusivamente inorgánico. Este resultado es contrario a lo descubierto por Ortega et al. (2019), pues no observaron diferencias significativas en la fertilización inorgánica sobre la cantidad de materia orgánica en el suelo. En consecuencia, una posible explicación respecto a la presencia de un mayor contenido de materia orgánica cuando se aplica una fertilización química puede estar relacionada con el aumento de la acidez y el método de determinación.

El método utilizado fue la combustión seca del carbono. Según Obando et al. (2018) este procedimiento determina el carbono total en el suelo y es confiable, preciso y exacto; sin embargo, al establecer el contenido de carbono total en condiciones de invernadero puede suceder un aumento del carbono total en los tratamientos con la fertilización inorgánica, debido a la descomposición o muerte de raíces provocada por condiciones químicas adversas en el suelo. Estos tratamientos tuvieron condiciones de disminución del pH y un aumento de acidez en un espacio limitado de crecimiento de dicho órgano; esta muerte o descomposición de tejido radicular pudo haber producido una mayor cantidad de carbono en el suelo de los tratamientos determinados con

fertilización inorgánica consecuente con los niveles bajos de peso seco de raíz cuando se aplicó la fertilización inorgánica, mostrados previamente en la figura 6.

Por otro lado, se precisó un efecto estadísticamente significativo ($p=0,03$) de la fertilización orgánica general, cuantificado en un 0,52 % más de materia orgánica en el suelo donde creció la planta de banano dátil con respecto a los tratamientos que no se les aplicó esta fertilización. Este aumento de materia orgánica es consecuente con lo encontrado en el análisis microbiológico de biofermento en la tabla 3; allí se especifica que todas las muestras tuvieron contenidos de actinomicetos; estos microorganismos pertenecen a las actinobacterias y se encargan de la descomposición de la materia orgánica (Correa,2009). De igual manera, se percibió que todas las muestras analizadas del biofermento contenían presencia del género *Streptomyces* spp. Según Paci et al. (2019) participan en la degradación y mineralización de una gran cantidad de compuestos orgánicos.

6.4 Análisis de macroelementos en el suelo donde creció la planta de banano dátil

La tabla 4 presenta los promedios de las variables químicas del suelo de los macroelementos del ensayo de banano dátil bajo condiciones de invernadero para los elementos P, K, Ca, Mg. Con respecto a los macroelementos, en el fósforo y en el potasio se puede observar un promedio superior con la fertilización exclusivamente inorgánica al 100%, T3. Adicionalmente, la variable Ca obtuvo la media superior con la combinación de la fertilización orgánica y la dosis de la fertilización inorgánica al 50%, T2.

A continuación, se muestra la significancia estadística de los tratamientos y la estimación del efecto de las comparaciones.

Tabla 4. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para las variables químicas del suelo.

Media general elementos del suelo de tratamientos aplicados								
Tratamientos	P mg/L	K cmol(+)/L		Ca cmol(+)/L		Mg cmol(+)/L		
T1-Fert Química 50%	166	4,95		14,67		6,56		
T2- Biol+Fert. Química 50%	136,75	4,99		14,72		6,68		
T3-Fert. Química 100%	169,5	5,14		14,57		6,52		
T4-Biol+ Fert. Química100%	150,25	5,10		14,55		6,58		
T5 – Biol	64,25	4,86		15,17		6,49		
T6 – Testigo Absoluto	53,75	4,63		14,40		6,04		
Err.Est	11,3	0,09		0,27		0,09		

Significancia y estimación Fisher P≤05								
Interacciones	P(P≤05)	Estimado	K(P≤05)	Estimado	Ca(P≤05)	Estimado	Mg(P≤05)	Estimado
Efecto fert. orgánica vs fert. orgánica- inorgánica	0,09	-17,4	0,28	-0,11	0,13	-0,38	0,04*	-0,18
Efecto fert. orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,66	5,0	0,66	-0,04	0,89	-0,04	0,79	-0,03
Efecto general de la fertilización orgánica	0,19	-12,7	0,33	0,08	0,25	0,27	0,01*	0,21
Efecto fert. orgánica- inorgánica vs fert. inorgánica	0,04*	-24,2	<0,01*	0,003	0,96	0,01	0,35	0,09
Efecto fertilización inorgánica	<0,01*	114	0,13	0,41	0,51	0,23	<0,01*	0,50

La tabla 4 muestra las medias y las comparaciones estadísticas entre los tratamientos aplicados en el ensayo; asimismo, se contrasta el efecto de la fertilización orgánica, inorgánica y sus combinaciones para los macroelementos P, K, Ca, Mg, mediante el criterio de Fisher ($P \leq 0.05$) y un nivel de confianza del 95%. En consecuencia, no se localizaron diferencias estadísticas al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica con el efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica para las variables P, K y Ca; sin embargo, se determinó un efecto significativo ($p=0,04$) en la variable Mg; el cual fue cuantificado en un 0,18 cmol/L menos de Mg con la fertilización orgánica con respecto a la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica en el suelo donde creció la planta de banano dátil.

De manera que, no se fijó un efecto significativo estadístico sobre ninguna de las variables de los macroelementos al comparar el efecto de la fertilización orgánica con la combinación del 100% vs 50% de la dosis de la fertilización inorgánica. Por otro lado, se estableció un efecto estadístico significativo ($p=0,01$) de la fertilización orgánica general en la variable Mg estimado en 0,21 cmol/L más de Mg sobre el suelo aplicado con la fertilización orgánica en comparación con los tratamientos no aplicados.

Además de esto, se encontraron efectos significativos estadísticos de la fertilización inorgánica sobre las variables P ($p < 0,01$) y Mg ($P < 0,01$), cuantificado en (114 mg/L), (0,50 cmol/L) más de fósforo y de magnesio respectivamente sobre el suelo donde creció la planta de banano dátil en comparación con el testigo sin fertilización mineral; esto es explicado por el aporte externo de estos elementos provenientes de la fórmula del fertilizante químico.

Se observó una diferencia estadística en los elementos del suelo P ($p = 0,04$) y K ($p < 0,01$) al aplicar la fertilización orgánica-inorgánica con respecto a la fertilización exclusivamente inorgánica. Este efecto fue negativo y estimado en 24,2 mg/L menos de fósforo y 0,003 cmol/L más de potasio en el suelo cuando se utilizó la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica; esta disminución de fósforo en el suelo es explicada por una mayor solubilización y lixiviación del elemento provocado por algunos de los cambios químicos en variables como acidez y pH. Dicho fenómeno se origina debido a la liberación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular por parte de los microorganismos, cuyas propiedades quelantes favorecen la formación de los complejos insolubles con metales, con la consecuente liberación del fosfato (Fernandez, 2005). Lo cual demuestra la mayor solubilización del fósforo y la disminución del Mn y del Fe en los tratamientos aplicados con la fertilización orgánica. Esto refleja también una mayor extracción de este elemento en el suelo por parte de la planta; consecuente con la ganancia de biomasa de raíz y aumento de la longitud en dicho órgano, además, de una mayor altura de planta cuando se realizó el contraste fertilización orgánica- inorgánica vs fertilización inorgánica.

Por otro lado, Segura y Serrano (2004) mencionan que los niveles de acidez y pH tienen un efecto sobre la solubilidad, disponibilidad y absorción de elementos, como el Mg, Ca y P. De esta manera, el efecto negativo de la fertilización orgánica - inorgánica sobre el fósforo se debería a la solubilización por factores químicos y por la extracción de la planta; por ejemplo, aquellas mejoras en las condiciones químicas, tal como la acidez del suelo; estas propiciarían una mayor disponibilidad y extracción del elemento; por otro lado, mayor solubilización propiciaría también una lixiviación en mayor proporción.

De la misma manera, la disminución de la acidez pudo haber causado un aumento del Mg en los tratamientos con la fertilización orgánica con respecto a los tratamientos que no la recibieron. El aumento de K y Mg con la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica es consecuente con lo descrito por Bojórquez et al. (2010), el cual atribuye una mayor eficiencia en la fertilización mineral al combinar la fertilización orgánica-inorgánica debido a un mejor aprovechamiento de este insumo al existir el sinergismo mencionado.

Con relación a la menor cantidad de Mg, al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica con respecto a la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica, se analiza que la fertilización orgánica-inorgánica brinda mayor aporte del elemento Mg; dado en mayor parte por el aporte de la fertilización mineral con respecto a la fertilización orgánica simple. Consecuente con los resultados descritos en el cuadro 3, el análisis químico detalla un bajo aporte de nutrimentos presentes en el biofermento.

La tabla 5 muestra las medias de los tratamientos para las variables de los microelementos Cu, Mn, Zn, B Y Fe. En el presente cuadro se observa que el T3 evidenció mayor promedio para el boro. También, los tratamientos que obtuvieron medias más altas para la variable Fe fueron la fertilización exclusivamente inorgánica al 50% y el testigo absoluto, T6. El tratamiento 5 (fertilización orgánica) presentó una media mayor en las variables Cu, Mn y Zn con respecto a los demás.

A continuación, se presentan las comparaciones, las significancias estadísticas, la estimación para cada variable y sus respectivas medias

Tabla 5. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para variables de químicas del suelo.

Media general elementos del suelo de tratamientos aplicados					
Tratamiento	Cu(mg/L)	Mn (mg/L)	Zn (mg/L)	B(mg/L)	Fe (mg/L)
T1-Fert Química 50%	9,35	74,75	6,90	0,35	269
T2- Biol+Fert Química 50%	9,65	65,50	7,28	0,38	241
T3-Fert Química 100%	9,25	81,50	7,00	0,34	265
T4-Biol+ Fert Química100%	9,88	75,25	7,28	0,37	266
T5 – Biol	10,28	54,75	7,55	0,43	238
T6 – Testigo Absoluto	9,48	48,00	7,25	0,42	227
Error. Est	0,25	2,12	0,15	0,01	6,16

Significancia y estimación Fisher P≤05

Interacciones	Cu P≤05	Estimado	Mn P≤05	Estimado	Zn P≤05	Estimado	B P≤05	Estimado	Fe P≤05	Estimado
Efecto fert orgánica vs fert orgánica- inorgánica	0,46	-0,17	<0,01*	-7,30	0,93	0,01	0,41	0,008	0,03*	-12,75
Efecto fert orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,54	0,16	0,548	1,50	0,76	-0,05	0,91	-0,001	0,04*	14,00
Efecto general de la fertilización orgánica	0,01*	0,58	0,162	-2,90	0,03*	0,32	0,01*	0,026	0,31	-5,25
Efecto fert orgánica- inorgánica vs fert inorgánica	0,09	0,46	<0,01*	-7,80	0,06	0,33	0,01*	0,031	0,04*	-13,75
Efecto fertilización inorgánica	0,59	-0,18	<0,01*	30,10	0,14	-0,30	<0,01*	-0,075	<0,01*	40,25

Para observar los efectos estadísticos correspondientes de las medias expuestas anteriormente en la tabla 5, se presenta la comparación de los tratamientos en donde se contrasta el efecto de la fertilización orgánica, inorgánica y sus combinaciones para los macroelementos Cu, Mn, Zn, B y Fe, mediante el criterio de Fisher ($p \leq 0.05$) y un nivel de confianza del 95%.

El resultado de las comparaciones muestra que no se encontraron diferencias estadísticas al correlacionar el efecto simple de la fertilización orgánica y el efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica para las variables químicas de suelo (Zn, B y Cu); sin embargo, se determinaron diferencias estadísticas en las variables Fe y Mn. Así pues, se perciben diferencias significativas para el efecto del Fe ($p=0,01$) y Mn ($p=0,03$); este fue cuantificado en 7,30 y 12,75 mg/L menos de manganeso y hierro respectivamente al realizar el contraste descrito.

En consecuencia, se determinó también que el efecto significativo estadístico ($p=0,04$) para la variable Fe cuantificado en 14,00 mg/L más al aplicar la fertilización orgánica con la combinación del 100% de la dosis de fertilizante que con el 50 % de fertilización inorgánica. De esta manera surge un efecto lineal donde el hierro muestra mayor disponibilidad al aumentar la dosis creciente del fertilizante mineral.

Para las variables Cu ($p=0,01$), Zn($p=0,03$) y B($p=0,01$) se decretó un efecto estadístico significativo de la fertilización orgánica general cuantificado en (0,58), (0,32) y (0,02) mg/L más de cobre, zinc y boro, respectivamente, sobre el suelo donde creció la planta de banano dátil en relación con los tratamientos que no recibieron la fertilización orgánica. Adicionalmente, se encontraron efectos significativos estadísticos de la fertilización inorgánica sobre las variables Mn ($p < 0,01$), y Fe ($p < 0,01$) cuantificado en (22,8 mg/L), (27,5 mg/L) más de Mn y Fe, respectivamente, en el suelo con respecto a

los tratamientos que no recibieron la fertilización inorgánica. Además, se establece una significancia estadística en el efecto de la fertilización inorgánica, el cual fue negativo para la variable B ($p < 0,01$), estimado en 0,06 mg/L menos de boro en el suelo donde creció la planta de banano dátil; es decir, por una mayor solubilización del elemento en los cambios de la acidez y el pH provocados por la fertilización inorgánica y la lixiviación del boro.

El efecto de la fertilización inorgánica sobre los microelementos puede ser explicada con cambios en el pH del suelo y en la acidez proporcionada por la fertilización inorgánica. Consecuente con Segura y Serrano (2004), determinan que hay una mayor disponibilidad del Mn, Fe y Cu cuando se aplican fertilizantes inorgánicos.

Por lo anterior, el comportamiento de los contrastes implementados en donde la comparación del efecto simple de la fertilización orgánica con respecto a la fertilización orgánica-inorgánica y la comparación de la fertilización orgánica-inorgánica en comparación con la fertilización exclusivamente inorgánica obtuvieron menor disponibilidad de Mn y Fe. Esto demuestra una menor disponibilidad de dichos elementos y una disminución o un amortiguamiento en la acidez del suelo propiciada por el uso de los biofermentos, los cuales mejoraron las condiciones del pH y la acidez; por ende, se entiende que medios ácidos contribuyen a la solubilización de los elementos Fe, Mn y B.

Consecuentemente, también se mostró una mayor disponibilidad de Fe al aplicar la fertilización inorgánica al 100% en comparación con el 50% de la dosis mineral. Lo anterior está relacionado al efecto creciente de a la acidez generado por la dosis del fertilizante inorgánico descrita anteriormente; lo que propicio la solubilidad del Fe al aplicar una dosis más alta de fertilizantes. Por otro lado, se observa un efecto positivo de

la fertilización orgánica sobre elementos como el Zn, B y Cu; consecuente con la capacidad de los microorganismos para mejorar la disponibilidad de los nutrientes. Los grupos funcionales de los microorganismos tienen la capacidad de colonizar la raíz y de permanecer activamente con el objetivo de promover la síntesis de sustancias benéficas. Asimismo, la optimización de la absorción de nutrientes, al solubilizar fosfatos y otros nutrientes esenciales como los mencionados anteriormente (Castro et al., 2015).

Además, se debe considerar el posible aporte de micronutrientes dados por la mineralización de la materia orgánica degradada por los microorganismos como los actinomicetos presentes en todas las muestras analizadas del biofermento. De acuerdo con Julca et al. (2006), la materia orgánica del suelo posee aproximadamente el 5% de N total, pero también contiene otros elementos esenciales como: fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes. Consecuente con lo observado en la figura 10, los tratamientos aplicados con el biofermento obtuvieron mayor cantidad de % de materia orgánica.

Lo anterior sugiere que la aplicación del biofermento favorece la disponibilidad de algunos microelementos como: Zn, B y Cu; además de contrarrestar la acidez y de repercutir en los efectos favorables cuando se limita la disponibilidad de los elementos tóxicos (Fe y Mn).

6.5 Variables químicas del tejido foliar de la planta de banano dátil

La tabla 6 expone los promedios en % de las variables foliares de los macroelementos del ensayo de banano dátil bajo condiciones controladas para los elementos N P, K, Ca, Mg y S para cada tratamiento utilizado en el ensayo. Con respecto a la variable nitrógeno, se puede observar que el macroelemento con mayor valor es el

tratamiento T3 con fertilización exclusivamente inorgánica al 100%. Por otro lado, la variable P obtuvo una media muy similar en todos los tratamientos. Las variables K, y S obtuvieron medias relativamente similares.

Con respecto a las variables % N, %Ca y % Mg en el tejido foliar, se observó una media superior en los tratamientos donde se implementó la fertilización inorgánica. De esta manera, se presentan también a continuación las comparaciones estadísticas y la estimación de los efectos, en las cuales se observa un efecto estadístico en la aplicación de la fertilización inorgánica en las variables Ca y Mg con respecto a los tratamientos que no recibieron la fertilización mineral.

Tabla 6. Media general y contrastes ortogonales de los tratamientos para variables química foliar.

Media general elementos foliares de tratamientos aplicados												
Tratamiento	%N		%P		%K		%Ca		%Mg		%S	
T1-Fert Química 50%	3,67		0,21		5,98		1,28		0,49		0,22	
T2- Biol+Fert Química 50%	3,54		0,22		5,80		1,24		0,47		0,23	
T3-Fert Química 100%	3,71		0,21		5,57		1,27		0,50		0,23	
T4-Biol+ Fert Química100%	3,62		0,22		5,72		1,28		0,51		0,24	
T5 – Biol	3,09		0,21		5,69		1,06		0,41		0,24	
T6 – Testigo Absoluto	3,38		0,21		5,65		1,07		0,43		0,24	
Error. Est.	0,19		<0,01		0,41		0,03		0,02		<0,01	

Significancia y estimación Fisher P≤05												
Interacciones	N		P		K		Ca		Mg		S	
	P≤05	Estimado	P≤05	Estimado	P≤05	Estimado	P≤05	Estimado	P≤05	Estimado	P≤05	Estimado
Efecto fert orgánica vs fert orgánica-inorgánica	0,60	0,09	0,35	0,01	0,82	-0,03	0,99	<0,01	0,60	0,01	0,30	0,01
Efecto fert orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,92	0,02	1,00	<0,01	0,26	0,16	0,51	0,03	0,51	0,01	0,87	<0,01
Efecto general de la fertilización orgánica	0,29	-0,17	0,51	0,01	0,99	0,00	0,62	-0,02	0,56	-0,01	0,50	<0,01
Efecto fert orgánica- inorgánica vs fert inorgánica	0,56	-0,11	0,28	0,01	0,90	-0,02	0,68	-0,02	0,86	<0,01	0,25	0,01
Efecto fertilización inorgánica	0,21	0,31	0,91	<0,01	0,46	0,13	<0,01*	0,21	0,02*	0,06	0,15	-0,01

La tabla 6 describe los contrastes ortogonales al comparar el efecto de las variables % de los macronutrientes foliares N P, K, Ca, Mg y S. No se encontraron diferencias estadísticas al comparar el efecto simple de la fertilización orgánica en contraste con el efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica para las variables N P, K, Ca y Mg y S. Tampoco se determinó un efecto significativo estadístico sobre ninguna de las variables ya mencionadas al correlacionar el efecto de la fertilización orgánica con la combinación del 100% vs 50% de la dosis de fertilización inorgánica.

Adicionalmente, no se encontraron efectos significativos estadísticos de la fertilización orgánica ni de la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica para las variables N P, K, Ca, Mg y S sobre el tejido foliar de la planta de banano dátil en condiciones de invernadero. La fertilización inorgánica sí mostró un efecto sobre las variables Ca y Mg, esto debido al aporte de los elementos, contenidos en la fórmula del fertilizante inorgánico.

Por lo tanto, se visualiza que, a pesar del contenido de fósforo relativamente alto en el suelo, añadido por la fórmula de fertilizante mineral, no se determinaron diferencias en la absorción y el contenido foliar de este elemento al momento de aplicar la fertilización orgánica, inorgánica y su combinación. Lo anterior probablemente debido a que la planta tiene un consumo limitado y los contenidos del suelo, inicialmente en todos los tratamientos, fueron suficientes para el estado fenológico de la planta de banano dátil. Así pues, se determinó un efecto significativo en la fertilización inorgánica de las variables Ca ($p < 0,01$) y Mg ($P < 0,02$), estimado en (0,21%) y en (0,06%) más de calcio y magnesio respectivamente; esto también es consecuente con los contenidos aportados

por la fórmula y por los niveles altos de estos elementos en el suelo, mostrados en la tabla 4.

Por otra parte, la tabla 7 mostrada a continuación retrata los promedios en mg/Kg de las variables foliares, asociados a los microelementos del ensayo de banano dátil bajo condiciones de invernadero para los elementos Cu, Mn, Zn, B, Fe. Con respecto a la variable Cu, se puede observar un mayor promedio de dicho elemento en el tratamiento 4, el cual consistía en la aplicación de la fertilización orgánica con la combinación de la dosis del 100% de la fertilización inorgánica; también un mayor contenido de B foliar en el tratamiento 5, el cual consistía en la fertilización exclusivamente orgánica. Además, se muestran los niveles más altos de Fe y Mn en los tratamientos con fertilización exclusivamente inorgánica.

A continuación, se presentan las comparaciones estadísticas y estimación de los efectos para cada variable.

Tabla 7. Media general y contrastes ortogonales para variables química foliar de la planta de banano dátil.

Media general elementos foliares de tratamientos aplicados										
mg/kg Elemento										
Tratamiento	Cu	Mn	Zn	B	Fe					
T1-Fert Química 50%	9,70	482,00	68,50	13,50	192,70					
T2- Biol+Fert Química 50%	9,90	330,20	69,70	14,00	211,20					
T3-Fert Química 100%	9,60	581,00	63,00	13,25	194,20					
T4-Biol+ Fert Química100%	10,15	476,20	64,50	13,75	192,70					
T5 – Biol	9,70	254,00	64,00	15,20	156,00					
T6 – Testigo Absoluto	9,80	256,70	65,50	14,00	171,20					
Err. Est	0,41	41,20	6,24	0,31	32,20					

Significancia y estimación, Fisher P≤05										
Interacciones	Cu P≤05	Estimado	Mn P≤05	Estimado	Zn P≤05	Estimado	B P≤05	Estimado	Fe P≤05	Estimado
Efecto fert orgánica vs fert orgánica-inorgánica	0,61	0,19	0,15	-62,8	0,79	1,44	0,19	-0,38	0,68	11,62
Efecto fert orgánica a dosis 100 vs 50 inorgánica	0,63	0,20	0,63	23,5	0,98	0,13	1,00	0,00	0,76	-10,00
Efecto general de la fertilización orgánica	0,51	0,23	0,04*	-86,4	0,94	0,42	0,01*	0,75	0,98	0,75
Efecto fert orgánica- inorgánica vs fert inorgánica	0,41	0,35	0,01*	-128,2	0,83	1,38	0,13	0,50	0,79	8,50
Efecto fertilización inorgánica	0,83	-0,11	<0,01*	274,8	0,97	0,25	0,13	-0,63	0,58	22,25

La presente tabla detalla los contrastes ortogonales al comparar el efecto de las variables de los microelementos foliares Cu, Mn, Zn, B y Fe. El resultado de las comparaciones muestra que no se encontraron diferencias estadísticas al relacionar el efecto simple de la fertilización orgánica con el efecto combinado de la fertilización orgánica-inorgánica para las variables químicas del suelo (Cu, Mn, Zn y Fe). Sin embargo, sí se decretó una diferencia estadística en la variable B foliar en este mismo contraste. De la misma manera, no se estableció un efecto significativo estadístico sobre ninguna de las variables foliares de los microelementos, al comparar el efecto de la fertilización orgánica con la combinación del 100% vs 50% de la dosis de fertilización inorgánica.

Adicionalmente, no se encontraron efectos significativos estadísticos de la fertilización orgánica general sobre las variables Cu, Zn, y Fe en el tejido foliar de la planta de banano dátil con respecto a los tratamientos no aplicados. No obstante, sí se percibe un efecto negativo significativo de la fertilización orgánica en general sobre la variable Mn ($p=0,04$), cuantificado en 86,4 mg/kg menos Mn en el tejido foliar de la planta de banano dátil con respecto a los tratamientos sin fertilización orgánica.

Aunado a ello, se advirtió un efecto positivo significativo de la fertilización orgánica general sobre la variable B ($p=0,01$), cuantificado en 0,75 mg/kg más del boro sobre el tejido foliar de la planta de banano dátil con respecto a los tratamientos que no la recibieron.

De la misma manera, no se encontraron efectos estadísticos significativos de la fertilización inorgánica general sobre los contenidos foliares de Cu, Zn, y Fe. Por otro lado, se observa un efecto de la fertilización exclusivamente inorgánica sobre las variables Mn y B. En consecuencia, el boro recibe un efecto significativo estimado en 1

mg/Kg menos boro en el tejido foliar de la planta de banano dátil cuando se utiliza la fertilización exclusivamente inorgánica en comparación con no usarla. De la misma manera, se encontró un efecto estadístico ($p < 0,01$) positivo de la fertilización exclusivamente inorgánica sobre la variable Mn, cuantificado en 274,8 mg/Kg más de manganeso en el tejido foliar de la planta de banano dátil al utilizar la fertilización exclusivamente inorgánica en comparación con los tratamientos que no la recibieron.

Dichos resultados son consecuentes de los niveles nutricionales encontrados en el suelo; así, se pudo determinar un efecto positivo sobre la disponibilidad de boro en el suelo con la fertilización orgánica y la combinación de la fertilización orgánica- inorgánica. Lo anterior se ve reflejado en el tejido foliar en correspondencia con los cambios en el pH, anteriormente citados; además de la quelación del elemento por parte de la mineralización de materia orgánica y sustancias de bajo peso molecular producidas por los microorganismos aportados por los biofermentos (Tokala et al., 2002).

También se percibe el efecto de la fertilización exclusivamente inorgánica sobre el contenido de Mn en el tejido foliar, lo cual se correlaciona con una mayor disponibilidad. Si bien es cierto, el Mn es un elemento necesario para la planta y esencial en el proceso de fotosíntesis; en exceso puede causar toxicidad y efectos nocivos para las plantas y, así, afectar la absorción de otros elementos. Para el manganeso se demostró que la aplicación de la fertilización orgánica tuvo un efecto negativo o menos disponibilidad; esto debido a la capacidad de regulación y de mejoramiento del pH y de la acidez. Esto es un efecto favorable debido a que elementos como el Fe y el Mn, en exceso, pueden causar un efecto en detrimento de la producción de las plantas (Casierra; Poveda, 2005).

Conclusiones

Ninguna de las variables biométricas, foliares ni de suelo (a excepción del magnesio y manganeso) mostraron un efecto estadísticamente significativo cuando se comparó el efecto simple de la fertilización orgánica con el efecto de la combinación de la fertilización orgánica- inorgánica.

La combinación de la fertilización orgánica-inorgánica obtuvo un efecto de mayor altura de planta de banano dátil cuando se comparó con la fertilización exclusivamente inorgánica.

La fertilización orgánica y la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica tuvieron efecto positivo al aumentar la biomasa de la parte aérea de la planta, hojas y pseudotallo con respecto a los tratamientos que no recibieron esta fertilización.

La fertilización orgánica y la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica tuvieron un efecto positivo al aumentar la biomasa total, longitud de raíz y biomasa radicular de la planta de dátil con respecto a los tratamientos que no recibieron esta fertilización.

La fertilización inorgánica presentó un efecto de reducción del pH y un aumento de la acidez, lo que muestra el efecto acidificante esperado de la fertilización exclusivamente inorgánica, que causa una mayor disponibilidad de elementos como el hierro y el manganeso.

La aplicación de la fertilización orgánica tuvo un efecto positivo sobre los contenidos de materia orgánica en el suelo donde creció la planta de banano dátil con respecto a los tratamientos que no recibieron esta fertilización.

La fertilización orgánica causó un efecto de amortiguamiento de la acidez, provocado por el fertilizante químico; asimismo, se mostró menos disponibilidad de manganeso en el suelo cuando se combinó la fertilización orgánica-inorgánica. Esto también se vio reflejado en una menor absorción del manganeso en el tejido foliar.

La combinación de la fertilización orgánica-inorgánica mostró niveles menores de fósforo y mayores niveles de potasio en el suelo.

El efecto simple de la fertilización orgánica fue negativo sobre el Mg (menos cantidad del elemento) cuando se comparó con la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica.

La fertilización orgánica tuvo un efecto de disminución sobre manganeso foliar, el cual es consecuente con la menor disponibilidad del elemento y la mayor acidez en el suelo con respecto a los tratamientos que no recibieron la fertilización orgánica.

La fertilización orgánica mostró un efecto positivo sobre el boro en el tejido foliar de la planta de banano dátil.

El único efecto estadístico mostrado al disminuir la dosis de fertilizante inorgánico (50% vs 100%) en acompañamiento de la fertilización orgánica fue el de la disminución lineal de la acidez al momento de bajar la dosis de fertilizante.

Recomendaciones

Evaluar el efecto simple de la fertilización orgánica sobre las variables de nutrición suelo-planta por 4 generaciones en condiciones de campo.

Evaluar el efecto simple y combinado de la fertilización orgánica e inorgánica en condiciones de campo y en variables de rendimiento y productividad, tales como: la ratio, el retorno y el peso de racimo.

Evaluar el efecto de la fertilización orgánica y la combinación de la fertilización orgánica-inorgánica en un suelo de baja fertilidad de la zona este del río Reventazón.

Realizar un estudio económico y de costos, tomando en cuenta la productividad bajo todos los escenarios estudiados en el presente trabajo.

Evaluar los factores de calidad del racimo que podrían ser derivados de la aplicación de los escenarios propuestos en el presente estudio.

Evaluar diferentes dosis de la fertilización orgánica en combinación con las dosis de la fertilización inorgánica en campo para encontrar punto de equilibrio costos-productividad.

Tomar en cuenta las disposiciones sanitarias solicitadas por las comercializadoras de banano dátil y la legislación nacional para asegurar la inocuidad de los biofermentos y producto terminado.

Referencia

- Ahmed, M., Rauf, M., y Mukhtar, Z. (2017). Excessive use of nitrogenous fertilizers: an unawareness causing serious threats to environment and human health. (en línea) *Environmental Science and Pollution Research*, 24(6), 26983-26987. <https://doi.org/s11356-017-0598-7>.
- Araya, A. (2010). Producción y caracterización de bioles para su uso en el cultivo de banano (*Musa spp*), Rio frio, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. [Tesis de Licenciatura ingeniería Agronómica, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3168>.
- Araya, H; Bolaños, E. (2014). Guia de buenas prácticas de producción y aplicación de biofertilizantes en el cultivo de banano (1era ed). Corporación Bananera Nacional.
- Attard, E., Poly, F., Commeaux, C., Laurent, F., Terada, A., Smets, B.F., Recous, S. & Roux, X.L. (2010). Shifts between Nitrospira- and Nitrobacter-like nitrite oxidizers underlie the response of soil potential nitrite oxidation to changes in tillage practices. *Environmental Microbiology*, 12(2), 315-326. <https://doi.org/ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/10.1111/j.1462-2920.2009.02070.x>.
- Badilla, S. (2019). Efecto de los fermentos microbianos sobre el desarrollo de las plantulas de caña de azúcar [Tesis de licenciatura ingeniería Agronomica, Universidad de Costa Rica]
- Bhattacharjee, R., Dey, U. (2014). Biofertilizer A Way Toward Organic Agriculture: A Review. (En línea) *Afr. J. Microbiol* 8 (24): 2332–2342. <https://doi.org/10.5897/AJMR2013.6374>.
- Blackwood, C. B., Oaks, A., & Buyer, J. S. (2005). Phylum-and class-specific PCR primers for general microbial community analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(10), 6193-6198.

Bojórquez, A. D. A., Gutiérrez, C. G., Báez, J. R. C., Sánchez, M. Á. A., Montoya, L. G., & Pérez, E. N. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 6(1), 51-56.

Bolaños, E., Pérez, L., Araya, H., Rivas, R. (2017). Manual de Buenas Prácticas Agrícolas en el Cultivo de Banano Dátil – Baby Banana - ('Pisang Mas', Musa AA, sub-grupo Sucrier) en el Caribe de Costa Rica. Corporación Bananera Nacional.

Burgos, M. G. (2015). Nutrición orgánica a base de bioles y su efecto en el desarrollo de plantas de banano (musa spp.) clon valery. [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo] <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1979>.

Bustos, A.E., Guapizaca, J. P. (2018). Efecto del nitrógeno como fertilizante de liberación lenta e inoculación de micorrizas en producción de pimienta (*Capsicum annum* L.) en sustrato compost. [Tesis de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/2049968d-9724-4c9f-a8bf-658e422cf1a2/content>.

Casierra-Posada, F., Poveda, J. (2005). La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria sp.* cv. Camarosa). *Agronomía Colombiana*. 23(2), 283-289. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v23n2/v23n2a13.pdf>.

Castro, L; Murillo, M; Uribe, L; Mata Chinchilla, R. (2015). Inoculación al suelo con *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum oryzae*, *Bacillus subtilis* y microorganismos de montaña (MM) y su efecto sobre un sistema de rotación soya-tomate bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense* 39(3) 21-36.

Castro-Barquero, Leida, & González-Acuña, José. (2021). Factores relacionados con la activación líquida de microorganismos de montaña (MM). *Agronomía Costarricense*, 45(1), 81-92.

- Chandra, R., & Sobti, R. C. (Eds.). (2019). *Microbes for Sustainable Development and Bioremediation*. CRC Press.
- Chaparro, J., M., Sheflin, A. M., Manter, D. K., Vivanco, J. M. (2012). Manipulating the Soil Microbiome to Increase Soil Health and Plant Fertility. *Biol. Fertil. Soils*. 48: 489–499. Consultado 30 abril del 2021. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-012-0691-4>.
- Condori-Pacsi, Sandro J., Fernández-Guzman, Patrick R., & Valderrama-Valencia, María R.. (2019). Aislamiento y caracterización de *Streptomyces* spp rizosféricos promotores del crecimiento vegetal. *Idesia (Arica)*, 37(2), 109-11
- Coraspe-León, Héctor M, Muraoka, Takashi, Ide Franzini, Vinicius, Contreras Espinal, Freddy S, & Ocheuze Trivelin, Paulo C. (2009). Absorción de formas de nitrógeno amoniacal y nítrica por plantas de papa en la producción de tubérculo-semilla. *Agronomía Tropical*, 59(1), 45-58.
- CORBANA S.A. (Corporación Bananera Nacional). (2017). *Estadística de exportación bananera*. San José, Costa Rica. 86p.
- Daniells, J. (1997). Sucrier – A banana variety with promise? *Bananatopics*. 23(1), 27-28.
- Delgado, V. (2006). Evaluación de la eficacia del uso de biofermentos como bioestimulantes radiculares en el cultivo orgánico de piña *Ananas comosus* Linnaeus (Forinoseae:Bromeliaceae) [Tesis de Licenciatura Ingenieria Agronomica, Universidad Earth] <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/PGs2003-2007.pdf>.
- Espinoza, J, Ortega, R, Segura, R, Sandoval, J. (2020). Extracción de nutrimentos y crecimiento en plantas de banano dátil. *CORBANA*. 46(66), 69-80.

- Farah, A., Iqbal, A., Khan, M.S. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163 (2): 173-181
- Fernández L, Zalba P, Gómez M. (2005). Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. *Cl. Suelo (Argentina)* 23 (1):31-37.
- Fracchia, L., Cavallo, M., Allegrone, G., & Martinotti, M. G. (2010). A *Lactobacillus*-derived biosurfactant inhibits biofilm formation of human pathogenic *Candida albicans* biofilm producers. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2, 827-837.
- Franco-Correa, Marcela. (2009). Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización. *Revista Peruana de Biología*, 16(2), 239-242.
- García, Y, Ramírez, W, & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- González F., Harold, & Fuentes M., Natalia. (2017). Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 17-31.
- Hernández-Melchor, Dulce Jazmín, Ferrera-Cerrato, Ronald, & Alarcón, Alejandro. (2019). *Trichoderma*: Importancia Agrícola, Biotecnológica, Y Sistemas De Fermentación Para Producir Biomasa Y Enzimas De Interés Industrial. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(1), 98-112.
- Julca-Otiniano, Alberto., Meneses-Florián, Liliana, Blas-Sevillano, Raúl, & Bello-Amez, Segundo. (2006). La Materia Orgánica, Importancia Y Experiencia De Su Uso En La Agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61.

- Jaramillo, R; Vásquez, A. (1990). Manual de procedimientos para presentación y realización de estudios detallados de suelos y clasificación de tierras para el cultivo de banano. Asociación Bananera Nacional. San José, Costa Rica.29p.
- Kaushik, B. D., Kumar, D., & Shamim, M. (Eds.). (2019). Biofertilizers and biopesticides in sustainable agriculture. CRC Press.
- Kumar, V. V. (2018). Biofertilizers and biopesticides in sustainable agriculture. Role of Rhizospheric Microbes in Soil: Volume 1: Stress Management and Agricultural Sustainability, 377-398.
- Kuske, C. R., Banton, K. L., Adorada, D. L., Stark, P. C., Hill, K. K., & Jackson, P. J. (1998). Small-scale DNA sample preparation method for field PCR detection of microbial cells and spores in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(7), 2463-2472.
- Livicura, M y Lligüi, M.(2016). Discriminación del efecto nutricional de biofertilizantes líquidos enriquecidos con componentes minerales en aplicación foliar en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L). Tesis de Bach. Cuenca, Ecuador.Universidad de Cuenca.39p.
- Lombeyda, A. M., Quiñonez, C. L. (2016). Análisis del aprovechamiento del baby banano no calificado del cantón caluma para su posterior comercialización a nivel nacional e internacional [Tesis ingeniería comercial, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39311/1>.
- López, A; Espinosa, J. (1995). Manual de nutrición y Fertilización del banano. Potash & Phosphate Institute, Ecuador. 72p.
- Marín, Stephanie, Bertsch, Floria, & Castro, Leida. (2017). Efecto del manejo orgánico y convencional sobre propiedades bioquímicas de un Andisol y el cultivo de papa en invernadero. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 26-46. <https://dx.doi.org/10.15517/rac.v41i2.31298>

- Márquez M., Martínez, M., & Franco, M. (2003). Aislamiento de *Trichoderma* sp. y actinomicetes a partir de suelos de clavel (*Dianthus caryophyllus*) y evaluación de su capacidad antagónica in vitro sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi*. *Revista Agronomía Colombiana*. XIX (1-2): 81-88.
- Medina, L. (2010). Curvas de absorción de nutrientes en una plantación establecida de banano (Musa AAA, cv Williams). *CORBANA*. 65(12), 35-36.
- Meincke, R; Weinert, N; Radl, V; Schloter, M; Smalla, K; Berg, G. (2010). Development of a molecular approach to describe the composition of *Trichoderma* communities. *Journal of microbiological methods*. 80. 63-9. 10.1016/j.mimet.2009.11.001
- Melich, A. (1984). Melich 3 soil test extractant: a modification of Melich 2 extractant. *Soil Plant Anal.* 15 (1) 1409-1416.
- Meoño, S. (2017). Efecto de la aplicación poscosecha de AG3 y 1-MCP sobre la calidad composicional del banano dátil (Musa AA cv. Pisang más). Tesis de Lic. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 70p.
- Paguay Morejón, L., & Vasco Calvache, E. A. (2013). Aislamiento de bacterias solubilizadoras de calcio de la rizósfera de cultivos de alcachofa (*cynara scolymus*) ubicados en Laso-Latacunga-Cotopaxi Tesis de Lic. Quito, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana de Quito
- Obando, V; Segura, R; Sandoval, J (2018). Optimización del análisis de carbono, nitrógeno y obtención de la relación carbono/nitrógeno en suelos dedicados al cultivo de banano en Costa Rica. *CORBANA*. 44 (64), 163-174.

- Ortega, R. (2013). Evaluación del efecto de la aplicación de dos recetas de biofermentos bioles sobre propiedades físicas, químicas y microbiológicas de un suelo dedicado al cultivo de banano (Musa AAA) en el Caribe de Costa Rica. Tesis de Lic. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.50p.
- Ortega, R; Zúñiga, J; Segura, R; Torres, P; Blanco, F; Sandoval,J. (2019).Biofertilización Como Suplemento en la Nutrición del Cultivo de Banano (Musa AAA). CORBANA.45 (65), 51-66.
- Pedraza., López, C.A., y Uribe-Vélez, D. (2020). Mecanismos de acción de Bacillus spp. (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. Acta biol. Colomb,25(1),12-125. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>.
- Ramírez, C. (2018). El uso de pesticidas en la agricultura y su desorden ambiental. 2018. Enferm. Vanguard. 6(2): 40-47.
- Rodríguez, M., González, G. P. B., & Rodríguez, M. V. (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.
- Salvador-Figueroa, V. M., Ruíz-Valdiviezo, M. A., Rogel-Hernandez, F. A., Gutiérrez-Miceli, C. I., Rincón-Molina, L., Rincón-Rosales, D. R. (2016). Rhizobium strain, a banana (Musa spp.)-associated bacterium with a high potential as biofertilizer, Journal of Plant Nutrition, 39:10, 1449-1459, DOI: 10.1080/01904167.2016.1143497
- Sanchez, E. (2013). Evaluación De Biofertilizante En El Cultivo De Orégano (Origanum Vulgare L.) En La Granja Experimental Querochaca. [Tesis Lic. Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Ambato] <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6530>.

- Santos, V. B., Araujo, S. F., Leite, L. F., Nunes, L. A., Melo, J. W. (2012). Soil Microbial Biomass and Organic Matter Fractions During Transition from Conventional to Organic Farming Systems. *Geoderma*, 170(1), 227–231. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/71474/1/BiomassaMicrobianaSoloLuisFernando.pdf>.
- Sawada, H., Kuykendall, L. D., & Young, J. M. (2003). Changing concepts in the systematics of bacterial nitrogen-fixing legume symbionts. *The Journal of general and applied microbiology*, 49(3), 155-179.
- Scarpellini, M., Franzetti, L., & Galli, A. (2004). Development of PCR assay to identify *Pseudomonas fluorescens* and its biotype. *FEMS Microbiology Letters*, 236(2), 257-260.
- Segura, R; Serrano, E. (2004). Reacción en el suelo y efecto sobre la producción de biomasa en plantas jóvenes de banano (*Musa AA*, cv Grande Naine) de cuatro fertilizantes nitrogenados y del ácido fosfórico. *CORBANA*.30(57),93 105.
- Sekiguchi, H., Watanabe, M., Nakahara, T., Xu, B., & Uchiyama, H. (2002). Succession of bacterial community structure along the Changjiang River determined by denaturing gradient gel electrophoresis and clone library analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(10), 5142-5150.
- Smith, E; Velásquez, M; Zúñiga, L y Valerín, J. (2010). Efecto de la densidad de población sobre el crecimiento y producción de plantas en primera generación de banano dátil (*Musa AA*). *Agronomía Costarricense* 34(1), 77-83.
- Summi, C.D., Yang, B.W., Yeo, I.C., Hahm, Y.T. (2015) Antimicrobial peptides of the genus *Bacillus*: a new era for antibiotics. *Can J Microbiol*,61(2), 93-103.

- Sun, Z., Harris, H.M., McCann, A., Guo, C., Argimón, S., Yang, X. (2015). Expanding the biotechnology potential of lactobacilli through comparative genomics of 213 strains and associated genera. *Nat Commun* 6(1),8322.
- Tencio, R. (2017). Guía elaboración y aplicación de bioinsumos para una producción Agrícola sostenible. San José, Costa Rica.6p.
- Tokala, R. K., Strap, J. L., Jung, C. M., Crawford, D. L., Salove, M. H., Deobald, L. A., & Morra, M. J. (2002). Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Applied and environmental microbiology*, 68(5), 2161-2171.
- Umaña, S. (2017). Efecto del uso de microorganismos de montaña sobre el suelo con base en dos cultivos agrícolas. [Tesis Licenciatura ingeniería agrícola, Universidad de Costa Rica].
- Ureña, M.2014. Valoración Del Uso De Biofertilizantes Como Una Estrategia Empresarial a largo plazo en una finca bananera en Costa Rica. [Tesis MBA]. Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica].
- Valášková, V., & Baldrian, P. (2009). Denaturing gradient gel electrophoresis as a fingerprinting method for the analysis of soil microbial communities. *Plant, Soil and Environment*, 55(10), 413-423.
- Vargas, A., Madrigal, M., Calvo P., y Sáenz, M. (2019). Efecto de la Desflora y del Desmane en la Producción del Banano Dátil (*Musa AA*). *CORBANA*.45(65), 93-100.
- Villafranca, M. (2011). Estudio de la población de bacterias nitrificantes y su relación con los parámetros fisicoquímicos, biológicos y operacionales en una EDAR con sistema convencional de Fangos Activos. [Tesis MSc]. Universidad Politécnica de Valencia.

Villalobos, C; Blanco, F; Vargas, R. (2001). Efecto de la edad de plantación sobre el potencial de inoculo y la efectividad de las poblaciones nativas de hongos micorrizicos arbusculares (MA) en plantaciones de banano (Musa AAA.cv.Gran Enano) CORBANA.27(54), 35-46.

Villalobos, O. (2017). Análisis De La Situación De Los Productores Al De Banano Dátil (Musa AA) Al 2017, En Relación Con La Asistencia Técnica que Reciben de las Instituciones Estatales en el Cantón de Matina, Limón. [Tesis MSc Agronomía] Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica.

Xiu, P. (2018). Efectos de bioles en brócoli (*Brassica oleracea*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en la zona hortícola de Cartago. [Tesis de MSc. Agroforestería y Agricultura Sostenible, CATIE] <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8722>.

ANEXO 1

Análisis estadísticos variables biométricas

ANALISIS DE LA VARIABLE: Altura

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Altura
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5  193.45   38.691   1.9045 0.1054
## Residuals 66 1340.84   20.316
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    1.115 1.13 66   0.989 0.3262
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50    0.404 1.30 66   0.311 0.7571
## Efecto promedio del biol              2.044 1.06 66   1.924 0.0586
## Efecto del biol cuando hay fert       2.788 1.30 66   2.142 0.0359
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6     0.983 1.59 66   0.617 0.5393
## Efecto de Fert con biol: 2,4 vs 5     3.212 1.59 66   2.016 0.0479
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Circunferencia

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Circunf
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5  102.24   20.447   1.4406 0.2214
## Residuals 66 936.75   14.193
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0   -0.521 0.942 66  -0.553 0.5821
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50    0.708 1.088 66   0.651 0.5171
## Efecto promedio del biol              1.306 0.888 66   1.470 0.1462
## Efecto del biol cuando hay fert       0.958 1.088 66   0.881 0.3814
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6     2.125 1.332 66   1.595 0.1154
## Efecto de Fert con biol: 2,4 vs 5     1.083 1.332 66   0.813 0.4190
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: LongRaiz

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: LongRaiz
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5 2259.1  451.83   1.8593 0.1135
## Residuals 66 16038.3  243.00
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    1.66 3.90 66   0.427 0.6711
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50    1.02 4.50 66   0.226 0.8220
## Efecto promedio del biol              9.28 3.67 66   2.524 0.0140
## Efecto del biol cuando hay fert      10.38 4.50 66   2.307 0.0242
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6     3.45 5.51 66   0.626 0.5335
## Efecto de Fert con biol: 2,4 vs 5     6.78 5.51 66   1.229 0.2233
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Pseutall_yAereaSeca

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: PseuTall_yAereaSeca
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat      5 145.78  29.157  2.7567 0.02537 *
## Residuals 66 698.04  10.576
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast           estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    0.233 0.813 66  0.287 0.7750
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50    0.200 0.939 66  0.213 0.8320
## Efecto promedio del biol              1.853 0.767 66  2.417 0.0184
## Efecto del biol cuando hay fert        2.008 0.939 66  2.139 0.0361
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6     1.562 1.150 66  1.359 0.1788
## Efecto de Fert con biol: 2,4 vs 5     2.029 1.150 66  1.765 0.0822
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: PesoRaizSeco

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: PesoRaizSeco
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat      5  189.64  37.928  2.2226 0.06226 .
## Residuals 66 1126.27  17.065
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast           estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    0.615 1.033 66  0.595 0.5538
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50    1.438 1.193 66  1.205 0.2323
## Efecto promedio del biol              2.403 0.974 66  2.468 0.0162
## Efecto del biol cuando hay fert        2.812 1.193 66  2.358 0.0213
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6    -2.312 1.461 66 -1.583 0.1181
## Efecto de Fert con biol: 2,4 vs 5    -1.083 1.461 66 -0.742 0.4609
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: PesoTotalSeco

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: PesoTotalSeco
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat      5  376.63  75.327  1.9693 0.09476 .
## Residuals 66 2524.56  38.251
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast           estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    0.848 1.55 66  0.548 0.5853
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50    1.637 1.79 66  0.917 0.3624
## Efecto promedio del biol              4.256 1.46 66  2.919 0.0048
## Efecto del biol cuando hay fert        4.821 1.79 66  2.700 0.0088
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6    -0.750 2.19 66 -0.343 0.7327
## Efecto de Fert con biol: 2,4 vs 5     0.946 2.19 66  0.433 0.6668
```

ANEXO 2

Análisis estadístico de los elementos foliares

ANALISIS DE LA VARIABLE: N

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: N
##          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat      5 1.0747 0.21495  1.4702 0.2482
## Residuals 18 2.6316 0.14620
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  0.0887 0.166 18  0.536 0.5985
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50  0.0200 0.191 18  0.105 0.9178
## Efecto promedio del biol           -0.1717 0.156 18 -1.100 0.2859
## Efecto del biol cuando hay fert     -0.1125 0.191 18 -0.588 0.5635
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6   0.3075 0.234 18  1.313 0.2056
## Efecto de Fert con biol: 2,4 vs 5   0.4850 0.234 18  2.071 0.0530
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: P

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: P
##          Df  Sum Sq  Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat      5 0.0006833 0.00013667  0.4205 0.8283
## Residuals 18 0.0058500 0.00032500
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  0.00750 0.00781 18  0.961 0.3494
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50  0.00000 0.00901 18  0.000 1.0000
## Efecto promedio del biol           0.00500 0.00736 18  0.679 0.5055
## Efecto del biol cuando hay fert     0.01000 0.00901 18  1.109 0.2819
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6  -0.00125 0.01104 18 -0.113 0.9111
## Efecto de Fert con biol: 2,4 vs 5  0.01375 0.01104 18  1.246 0.2289
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Ca

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Ca
##          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat      5 0.22884 0.045768  7.6121 0.0005368 ***
## Residuals 18 0.10823 0.006013
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0 -0.000625 0.0336 18 -0.019 0.9854
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50  0.026250 0.0388 18  0.677 0.5070
## Efecto promedio del biol           -0.015833 0.0317 18 -0.500 0.6230
## Efecto del biol cuando hay fert    -0.016250 0.0388 18 -0.419 0.6801
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6  0.205000 0.0475 18  4.317 0.0004
## Efecto de Fert con biol: 2,4 vs 5  0.203750 0.0475 18  4.291 0.0004
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Mg

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Mg
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5 0.03310 0.0066200  3.9262 0.01393 *
## Residuals 18 0.03035 0.0016861
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast      estimate      SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  0.00937 0.0178 18  0.527 0.6044
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50  0.01375 0.0205 18  0.670 0.5115
## Efecto promedio del biol           -0.01000 0.0168 18 -0.597 0.5582
## Efecto del biol cuando hay fert    -0.00375 0.0205 18 -0.183 0.8571
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6  0.06375 0.0251 18  2.535 0.0207
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: K

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: K
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5 0.41338 0.082677  1.0454 0.4218
## Residuals 18 1.42360 0.079089
```

```
## contrast      estimate      SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0 -0.02875 0.122 18 -0.236 0.8160
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50  0.16250 0.141 18  1.156 0.2629
## Efecto promedio del biol           0.00167 0.115 18  0.015 0.9886
## Efecto del biol cuando hay fert    -0.01750 0.141 18 -0.124 0.9023
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6  0.12875 0.172 18  0.748 0.4644
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: S

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: S
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5 0.0007708 0.00015417  0.707 0.6257
## Residuals 18 0.0039250 0.00021806
```

```
## contrast      estimate      SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  0.00688 0.00639 18  1.075 0.2965
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50 -0.00125 0.00738 18 -0.169 0.8674
## Efecto promedio del biol           0.00417 0.00603 18  0.691 0.4983
## Efecto del biol cuando hay fert    0.00875 0.00738 18  1.185 0.2514
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6 -0.01375 0.00904 18 -1.521 0.1457
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Fe

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Fe
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat       5   7533   1506.6   0.3642 0.8663
## Residuals 18  74459   4136.6
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    11.62 27.8 18   0.417 0.6813
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50  -10.00 32.2 18  -0.311 0.7594
## Efecto promedio del biol             0.75 26.3 18   0.029 0.9775
## Efecto del biol cuando hay fert       8.50 32.2 18   0.264 0.7945
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6    22.25 39.4 18   0.565 0.5791
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Cu

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Cu
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat       5   0.6837 0.13675   0.1996 0.9585
## Residuals 18 12.3325 0.68514
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0     0.188 0.358 18   0.523 0.6073
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50    0.200 0.414 18   0.483 0.6347
## Efecto promedio del biol              0.225 0.338 18   0.666 0.5140
## Efecto del biol cuando hay fert       0.350 0.414 18   0.846 0.4088
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6    -0.112 0.507 18  -0.222 0.8269
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Zn

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Zn
##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat       5   142.87  28.575   0.1832 0.9653
## Residuals 18 2807.75 155.986
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    1.438 5.41 18   0.266 0.7934
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50    0.125 6.24 18   0.020 0.9843
## Efecto promedio del biol              0.417 5.10 18   0.082 0.9358
## Efecto del biol cuando hay fert       1.375 6.24 18   0.220 0.8282
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6    0.250 7.65 18   0.033 0.9743
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Mn

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Mn
##          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
## Trat      5 367743   73549  8.1216 0.0003693 ***
## Residuals 18 163006    9056
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    -62.8 41.2 18  -1.523 0.1452
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50     23.5 47.6 18   0.494 0.6274
## Efecto promedio del biol             -86.4 38.8 18  -2.224 0.0392
## Efecto del biol cuando hay fert     -128.2 47.6 18  -2.695 0.0148
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6     274.8 58.3 18   4.715 0.0002
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: B

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: B
##          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
## Trat      5  9.7083  1.94167  4.8207 0.005687 **
## Residuals 18  7.2500  0.40278
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    -0.375 0.275 18  -1.365 0.1892
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50     0.000 0.317 18   0.000 1.0000
## Efecto promedio del biol              0.750 0.259 18   2.895 0.0097
## Efecto del biol cuando hay fert       0.500 0.317 18   1.576 0.1325
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6    -0.625 0.389 18  -1.608 0.1252
```


ANEXO 3

Análisis estadístico de los elementos del suelo

ANALISIS DE LA VARIABLE: MO

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: MO
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5 7.0257 1.40514  3.9525 0.01355 *
## Residuals 18 6.3991 0.35551
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  -0.090 0.258 18  -0.349 0.7314
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50 -0.565 0.298 18  -1.895 0.0742
## Efecto promedio del biol           0.585 0.243 18   2.403 0.0272
## Efecto del biol cuando hay fert     0.525 0.298 18   1.761 0.0952
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6   0.865 0.365 18   2.369 0.0292
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: pH

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: pH
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5 4.0268 0.80536 76.478 1.739e-11 ***
## Residuals 18 0.1895 0.01053
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0   0.0831 0.0444 18   1.871 0.0777
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50 -0.0462 0.0513 18  -0.901 0.3793
## Efecto promedio del biol            0.1733 0.0419 18   4.137 0.0006
## Efecto del biol cuando hay fert     0.2288 0.0513 18   4.458 0.0003
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6  -0.9187 0.0628 18 -14.620 <.0001
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Acid

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Acid
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5 0.021687 0.0043375  8.7972 0.00023 ***
## Residuals 18 0.008875 0.0004931
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  -0.0225 0.00961 18  -2.340 0.0310
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50 -0.0175 0.01110 18  -1.576 0.1324
## Efecto promedio del biol            -0.0175 0.00907 18  -1.930 0.0695
## Efecto del biol cuando hay fert    -0.0325 0.01110 18  -2.927 0.0090
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6   0.0750 0.01360 18   5.516 <.0001
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Ca

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Ca
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5  1.4133  0.28267  0.9285 0.4856
## Residuals 18  5.4800  0.30444
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  -0.3812 0.239 18  -1.596 0.1280
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50 -0.0375 0.276 18  -0.136 0.8934
## Efecto promedio del biol           0.2667 0.225 18   1.184 0.2519
## Efecto del biol cuando hay fert     0.0125 0.276 18   0.045 0.9644
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6   0.2250 0.338 18   0.666 0.5139
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Mg

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Mg
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5  0.99127 0.198254  5.5488 0.002899 **
## Residuals 18  0.64313 0.035729
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  -0.179 0.0818 18  -2.184 0.0424
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50 -0.025 0.0945 18  -0.265 0.7944
## Efecto promedio del biol           0.209 0.0772 18   2.711 0.0143
## Efecto del biol cuando hay fert     0.090 0.0945 18   0.952 0.3536
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6   0.496 0.1158 18   4.287 0.0004
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: K

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: K
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5  0.68477 0.136954  3.7058 0.01758 *
## Residuals 18  0.66523 0.036957
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  -0.1125 0.0832 18  -1.351 0.1933
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50 -0.0425 0.0961 18  -0.442 0.6636
## Efecto promedio del biol           0.0775 0.0785 18   0.987 0.3365
## Efecto del biol cuando hay fert     0.0025 0.0961 18   0.026 0.9795
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6   0.4138 0.1177 18   3.515 0.0025
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: P

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: P
##           Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
## Trat       5  52756 10551.2   20.779 6.65e-07 ***
## Residuals 18   9140   507.8
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    -17.4  9.76 18  -1.781  0.0918
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50     5.0 11.27 18   0.444  0.6625
## Efecto promedio del biol    -12.7  9.20 18  -1.377  0.1854
## Efecto del biol cuando hay fert   -24.2 11.27 18  -2.152  0.0452
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6   114.0 13.80 18   8.261 <.0001
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Fe

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Fe
##           Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
## Trat       5 6290.7 1258.14  8.3008 0.000325 ***
## Residuals 18 2728.3  151.57
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    -12.75  5.33 18  -2.392  0.0279
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50    14.00  6.16 18   2.274  0.0354
## Efecto promedio del biol    -5.25  5.03 18  -1.045  0.3101
## Efecto del biol cuando hay fert   -13.75  6.16 18  -2.234  0.0384
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6    40.25  7.54 18   5.339 <.0001
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Cu

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Cu
##           Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
## Trat       5  2.8871  0.57742   2.1687 0.1034
## Residuals 18  4.7925  0.26625
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0    -0.169 0.223 18  -0.755  0.4599
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50     0.163 0.258 18   0.630  0.5367
## Efecto promedio del biol     0.575 0.211 18   2.730  0.0138
## Efecto del biol cuando hay fert     0.463 0.258 18   1.793  0.0899
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6    -0.175 0.316 18  -0.554  0.5865
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Zn

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Zn
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5  1.0633  0.21267  2.1091 0.1113
## Residuals 18  1.8150  0.10083
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  0.0125 0.138 18  0.091 0.9286
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50 -0.0500 0.159 18 -0.315 0.7564
## Efecto promedio del biol           0.3167 0.130 18  2.443 0.0251
## Efecto del biol cuando hay fert     0.3250 0.159 18  2.047 0.0555
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6  -0.3000 0.194 18 -1.543 0.1403
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: Mn

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Mn
##      Df Sum Sq Mean Sq F value  Pr(>F)
## Trat   5 3403.4  600.68  28.345 6.16e-08 ***
## Residuals 18  432.3   24.01
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  -7.25 2.12 18 -3.417 0.0031
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50   1.50 2.45 18  0.612 0.5481
## Efecto promedio del biol           -2.92 2.00 18 -1.458 0.1621
## Efecto del biol cuando hay fert     -7.75 2.45 18 -3.163 0.0054
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6   30.12 3.00 18 10.039 <.0001
```

ANALISIS DE LA VARIABLE: B

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: B
##      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Trat   5 0.028371 0.0056742 11.573 4.1e-05 ***
## Residuals 18 0.008825 0.0004903
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
## contrast                estimate    SE df t.ratio p.value
## Efecto biol: a fert>0 Vs a Fert=0  0.00813 0.00959 18  0.847 0.4079
## Efecto biol: a fert100 Vs a Fert50 -0.00125 0.01107 18 -0.113 0.9114
## Efecto promedio del biol           0.02583 0.00904 18  2.858 0.0105
## Efecto del biol cuando hay fert     0.03125 0.01107 18  2.823 0.0113
## Efecto de Fert sin biol: 1,3 vs 6  -0.07500 0.01356 18 -5.531 <.0001
```