



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
ARQUITECTURA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

“Análisis Experimental de un fertilizante orgánico a base de los residuos de plantas de la familia *Musaceae* para el incremento de la producción del cultivo de plátano”

Autor:

Sr. Anthony Cristóbal Guaranda Piguabe

Tutor de Titulación:

Ing. Segundo Javier Reyes Solórzano, Mg.

Manta - Manabí - Ecuador

2025

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL.**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“Análisis Experimental de un fertilizante orgánico a base de los
residuos de plantas de la familia Musaceae para el incremento
de la producción del cultivo de plátano”**

Sometida a consideración del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, como requisito para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Aprobado por el Tribunal Examinador:

DECANO DE LA FACULTAD
Ing.

DIRECTOR
Ing.

JURADO EXAMINADOR

JURADO EXAMINADOR

Certificación del Tutor

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Guaranda Piguabe Anthony Cristóbal**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Industrial, período académico **2025-2**, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "**Análisis Experimental de un fertilizante orgánico a base de residuos de plantas de la familia Musaceae para el incremento de la producción del cultivo de plátano.**".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

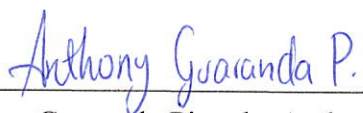
Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.



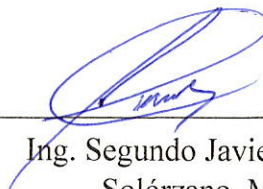
Ing. Segundo Javier Reyes Solórzano, Mg.
TUTOR DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE TESIS

Guaranda Piguabe Anthony Cristóbal, estudiante de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura, Carrera de Ingeniería Industrial, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido del presente trabajo titulado **“Análisis Experimental de un fertilizante orgánico a base de residuos de plantas de la familia Musaceae para el incremento de la producción del cultivo de plátano.”** Es una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor, Ing. Segundo Javier Reyes Solórzano y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Guaranda Piguabe Anthony
Cristóbal
C.I. 1315879427



Ing. Segundo Javier Reyes
Solórzano, Mg
C.I. 1309563185

Dedicatoria

A Dios, que me dio fuerzas en cada paso de este camino para avanzar, aún con cada uno de los obstáculos. Que me dio sabiduría para poder culminar este proyecto. Que, gracias a su voluntad, hoy estoy aquí.

A Cristóbal y a Lucía, mis padres. El motivo porque el que me encuentro aquí, nada de esto sería posible sin ellos. Agradezco absolutamente todo lo que hicieron por mí, desde cada sacrificio, cada palabra, cada abrazo, cada beso, y por la certeza de que cada vez que sentía que no podía, me levantaron y me ayudaron a seguir.

A mis hermanos, porque brindaron toda su fe en mí.

Reconocimiento

A “Don Lolo”, que gracias a su ayuda y su experiencia que me brindó desde el primer día del proyecto hasta el último. Nada de esto hubiese sido posible sin él.

A mi tutor, Ing. Javier Reyes, por cada observación, por su guía y por su paciencia.

A cada docente de la carrera por cada una de las enseñanzas compartidas en cada semestre, por la paciencia y la virtud de poder enseñar.

Agradezco a cada persona, compañero y amigo que estuvo conmigo durante todo este proceso. El apoyo, la fe y las risas que me brindaron, hicieron este recorrido más fácil.

Índice de Contenido

Certificación del Tutor	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE TESIS	iv
Dedicatoria	v
Reconocimiento	vi
Índice de Contenido	vii
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Figuras.....	xii
Resumen Ejecutivo	xiii
Executive Summary	xiv
Introducción.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Formulación del problema	4
Preguntas directrices	4
Objetivos	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos	5
Justificación.....	6
Capítulo 1	8
1 Fundamentación Teórica	8
1.1 Antecedentes Investigativos	8
1.2 Bases Teóricas	10
1.2.1 Plátano Hartón.....	10
1.2.2 Origen.....	11
1.2.3 Morfología.....	12
1.2.3.1 Sistema radicular	12

1.2.3.2	Tallo.....	12
1.2.3.3	Rizoma o bulbo.....	12
1.2.3.4	Hojas	13
1.2.3.5	Flores	13
1.2.3.6	Fruto	13
1.2.4	Fertilizante orgánico	14
1.2.5	Propiedades del fertilizante orgánico.....	14
1.2.5.1	Propiedades físicas	14
1.2.5.2	Propiedades químicas	15
1.2.5.3	Propiedades biológicas	15
1.2.6	Beneficios de los fertilizantes orgánicos	15
1.2.7	Compostaje	16
1.2.8	Materia orgánica para compostaje.....	17
1.2.8.1	Cáscara de plátano	17
1.2.8.2	Vástago o raquis de plátano	18
1.3	Marco Conceptual.....	18
1.4	Marco Legal y Ambiental	19
1.5	Hipótesis y Variables	23
1.5.1	Hipótesis.....	23
1.5.2	Identificación de las Variables	23
1.5.3	Operacionalización de las Variables	24
1.5.3.1	Operacionalización de la Variable Independiente.....	24
1.5.3.2	Operacionalización de la Variable Dependiente	24
1.6	Marco Metodológico.....	25
1.6.1	Modalidad Básica de la Investigación.....	25
1.6.2	Enfoque	25
1.6.3	Nivel de Investigación.....	26

1.6.4	Población de Estudio	27
1.6.5	Tamaño de la Muestra	27
1.6.6	Técnicas de recolección de datos.....	28
1.6.7	Plan de recolección de datos.....	29
1.6.8	Procesamiento de la Información	29
Capítulo 2.....		31
2	Diagnóstico o Estudio de Campo	31
2.1	Descripción del área de estudio y condiciones del estudio.....	31
2.2	Diseño y distribución del ensayo en campo	32
2.3	Proceso de recolección de datos	33
2.4	Organización y procesamiento de la información	34
Capítulo 3.....		35
3	Resultados de investigación	35
3.1	Descripción del tratamiento experimental	35
3.1.1	Materiales utilizados	35
3.1.2	Procedimiento de elaboración del lixiviado	35
3.1.3	Eficiencia del proceso de lixiviación.....	36
3.2	Resultados descriptivos del crecimiento del cultivo	36
3.2.1	Resultados descriptivos de la altura de la planta	36
3.2.2	Resultados descriptivos de la circunferencia del pseudotallo	39
3.2.3	Resultados descriptivos del rendimiento	41
3.3	Análisis estadístico (ANOVA)	43
3.3.1	ANOVA para altura de planta en 0 meses.....	43
3.3.2	ANOVA para altura de planta en 3 meses	45
3.3.3	ANOVA para altura de planta en 6 meses	46
3.3.4	ANOVA para altura de planta en 9 meses	49
3.3.5	ANOVA para circunferencia de pseudotallo en 4 meses	51

3.3.6	ANOVA para circunferencia de pseudotallo en 9 meses	53
3.3.7	ANOVA para rendimiento en kg por tratamiento.....	56
	Discusión	59
	Conclusiones	63
	Recomendaciones	65
	Bibliografía	66
	Anexos	70

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Operacionalización de la variable independiente</i>	24
Tabla 2 <i>Operacionalización de la variable dependiente</i>	24
Tabla 3 <i>Plan de recolección de datos</i>	29
Tabla 4 Caracterización del área de estudio	32
Tabla 5 Distribución de tratamientos y unidades experimentales	33
Tabla 6 Variables evaluadas, instrumentos y momentos de medición	34
Tabla 7 <i>Altura media y desviación estándar</i>	36
Tabla 8 Circunferencia media y desviación estándar	39
Tabla 9 <i>Rendimiento promedio por tratamiento</i>	41
Tabla 10 <i>Análisis de Varianza 0 meses</i>	44
Tabla 11 <i>Análisis de Varianza 3 meses</i>	45
Tabla 12 <i>Tabla Tukey 3 meses</i>	46
Tabla 13 <i>Análisis de Varianza para 6 meses</i>	48
Tabla 14 <i>Tabla Tukey para 6 meses</i>	48
Tabla 15 <i>Análisis de Varianza para 9 meses</i>	50
Tabla 16 <i>Tabla Tukey para altura en 9 meses</i>	50
Tabla 17 <i>Análisis de Varianza circunferencia 4 meses</i>	52
Tabla 18 <i>Tabla Tukey para circunferencia de 4 meses</i>	53
Tabla 19 <i>Análisis de Varianza circunferencia 9 meses</i>	55
Tabla 20 <i>Tabla Tukey para circunferencia de 9 meses</i>	55
Tabla 21 <i>Análisis de Varianza para rendimiento</i>	57
Tabla 22 <i>Tabla Tukey para rendimiento</i>	57

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Evolución de la altura promedio(m)</i>	37
Figura 2 <i>Circunferencia promedio del pseudotallo(m)</i>	39
Figura 3 <i>Rendimiento promedio (kg/planta) por tratamiento</i>	41
Figura 4 <i>Normalidad de altura de 0 meses</i>	43
Figura 5 <i>Homogeneidad de altura 0 meses</i>	44
Figura 6 <i>Normalidad de altura de 3 meses</i>	45
Figura 7 <i>Normalidad de Altura de 6 meses</i>	47
Figura 8 <i>Homogeneidad de altura 6 meses</i>	47
Figura 9 <i>Normalidad de Altura de 9 meses</i>	49
Figura 10 <i>Homogeneidad de altura de 9 meses</i>	49
Figura 11 <i>Normalidad de circunferencia de 4 meses</i>	51
Figura 12 <i>Homogeneidad de circunferencia de 4 meses</i>	52
Figura 13 <i>Normalidad de Circunferencia en 9 meses</i>	54
Figura 14 <i>Homogeneidad de Circunferencia en 9 meses</i>	54
Figura 15 <i>Normalidad de Rendimiento</i>	56
Figura 16 <i>Homogeneidad de Rendimiento</i>	56

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo evaluó el efecto de un fertilizante orgánico tipo lixiviado elaborado a partir de residuos de *Musaceae* (raquis de plátano) sobre el crecimiento y rendimiento del plátano barraganete (Hartón), en comparación con fertilización química y un control sin fertilización. La investigación se ejecutó en la finca Francisco de los Santos (Jipijapa, Manabí) según un diseño de experimento completamente al azar, estableciendo en total tres tratamientos (T1 orgánico, T2 químico y T3 control), donde se contó con 10 plantas por tratamiento. Para cada una de ellas se consideró según un muestreo separado la altura (0, 3, 6 y 9 meses), la circunferencia del pseudotallo a 80 cm durante 4 y 9 meses y el rendimiento (kg/planta) durante la cosecha (11 – 13 meses). El ANOVA y Tukey ($\alpha=0,05$) mostraron diferencias significativas desde la tercera medición, manteniéndose el patrón $T2>T1>T3$ con la duración del crecimiento y rendimiento. Se concluye que el lixiviado mejora el desempeño frente al control y presenta potencial sostenible al valorizar residuos agrícolas.

Palabras clave: lixiviado, *Musaceae*, plátano Hartón, fertilización, ANOVA.

Executive Summary

This study evaluated the effect of an organic leachate fertilizer made from Musaceae waste (banana rachis) on the growth and yield of Barraganete bananas (Hartón), compared to chemical fertilization and a control without fertilization. The study was conducted at the Francisco de los Santos farm (Jipijapa, Manabí) under a completely randomized design with three treatments (T1 organic, T2 chemical, and T3 control), with 10 plants per treatment. Height (0, 3, 6, and 9 months), pseudostem circumference at 80 cm (4 and 9 months), and yield (kg/plant) at harvest (11–13 months) were measured. ANOVA and Tukey ($\alpha=0.05$) showed significant differences from 3 months, maintaining the pattern $T2>T1>T3$ in growth and yield. It is concluded that leachate improves performance compared to the control and has sustainable potential by valorizing agricultural waste.

Keywords: leachate, Musaceae, Hartón banana, fertilization, ANOVA.

Introducción

Actualmente, la producción agrícola a nivel mundial enfrenta serios retos debido al agotamiento de los recursos naturales, el cambio climático y la creciente necesidad de alimentar a una población en expansión. Dentro de este panorama, la agricultura sostenible se ha vuelto crucial como una solución que busca reducir el impacto ambiental y optimizar la eficiencia en la producción de alimentos (FAO, 2019). La adopción de fertilizantes orgánicos, que fomenten un uso más consciente de los recursos y que además sean asequibles para los agricultores, representa una valiosa oportunidad para avanzar hacia una agricultura más resiliente y en armonía con el medio ambiente.

En el caso de los países en los que ha habido un aumento en la producción de alimentos a partir de la utilización de fertilizantes químicos, el resultado en productividad a nivel mundial ha sido positivo. Sin embargo, el uso de estos químicos ha impactado de manera adversa la biodiversidad, la degradación de los suelos y la contaminación de fuentes de agua (Zhang et al. 2015). Entre los tipos de abono orgánico que se han mostrado en los estudios, los residuos orgánicos son considerados como los más viables. Estos residuos no solo se pueden transformar en fertilizantes nutritivos, sino que también crean un modelo de economía circular en la agricultura.

Desde el 2020, Ecuador es el mayor exportador de bananas en el mundo, calculadas en el 25 % de la producción global (FAO, 2020). Como muchos otros países, Ecuador también enfrenta problemas de degradación del suelo y una dependencia en la agricultura química, lo cual pone en riesgo la sostenibilidad de la producción (INEC 2022). De esta forma, la producción de bananas en el país deberá incorporar el uso de fertilizantes orgánicos como una alternativa para lograr una producción sostenible desde el punto de vista económico y ambiental en el largo plazo. En sus altas concentraciones, compuestos en K, P y algunas otras micronutrientes, los desechos de plantas de la familia Musaceae han mostrado, de acuerdo con varios estudios, un potencial notable como fertilizante orgánico (Pérez & Martínez, 2021).

Planteamiento del problema

En todo el mundo, la agricultura enfrenta grandes desafíos relacionados con la sostenibilidad de los sistemas de producción, la degradación del suelo y el uso intensivo de productos químicos. La FAO (2019), dijo que el uso de fertilizantes sintéticos ha aumentado significativamente desde la Revolución Verde, ayudando a aumentar la productividad agrícola pero también afectando negativamente al ecosistema y la salud del ser humano. El uso excesivo de fertilizantes químicos provoca acidificación del suelo, contaminación del agua y pérdida de biodiversidad, afectando la resiliencia de los ecosistemas agrícolas (Pahalvi, Rafiya, Rashid, Nisar, & Kamili, 2021).

Por otro lado, los agroquímicos ven su uso reducido debido a la aparición de nuevas alternativas más eficientes en el mercado. Fabricación de fertilizantes orgánicos de raíz. Según la FAO (2020), el desarrollo de fertilizantes orgánicos proporciona un ciclo de nutrientes con posibilidad de cerrarse ecológicamente, un flujo de nutrientes libre de químicos y una auto-regeneración del suelo. En zonas como la tropical donde la productividad está altamente relacionada a la calidad del suelo, Obaisi (2022), indica la importancia de la agricultura sostenible para mejorar la condición de los suelos y mitigar problemas ecológicos a largo plazo.

Ecuador se ha ganado la reputación de convertirse en uno de los principales exportadores de plátano en el mundo para 2020. En sus cultivos, el uso de agroquímicos como fertilizantes ha permitido la expansión de la producción, aunque, al igual que en el resto de los países, la diversidad agrícola se ha visto afectada por la degradación del suelo. La gestión ineficaz de estos desechos no solo causa una pérdida de insumos indudablemente valiosos, sino que también incrementa la contaminación ambiental y la excesiva carga de los sistemas de gestión de desechos. (Tobes, 2024).

La situación es más complicada para los productores de plátanos a mediana y baja escala de la provincia de Manabí, quienes por lo general no pueden acceder a insumos agrícolas de elevado costo, dificultando de este modo la productividad de la tierra que poseen (INEC, 2020). A medida que la deuda de

suelo se incrementa, y que los precios de los fertilizantes químicos van en aumento, la presión sobre los agricultores, en búsqueda de alternativas más sostenibles y económicas, se intensifica.

Los residuos de plantas de Musaceae, como la cáscara de plátano, contienen, entre otros elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, cantidades significativas de potasio y fósforo (Foxen, 2009). Sin embargo, la falta de promoción y recaudación de fondos para avanzar en el uso de estos recursos orgánicos ha privado a los agricultores de este valor positivo, fuente renovable de nutrición vegetal.

Por lo tanto, es necesario comenzar a investigar el uso de fertilizantes orgánicos elaborados a partir de los desechos de plantas de Musaceae como una alternativa a los fertilizantes comerciales. No solo es probable que reduzca el costo total de producción, sino que también mejorará la estructura y fertilidad del suelo, y reducirá el daño ambiental (IFA, 1992). Fertilizantes orgánicos de desechos de plantas de la familia Musaceae residuos fertilizantes químicos menor desperdicio nutrientes ciclo.

Formulación del problema

¿Influirá en el incremento de la producción del cultivo del plátano el uso de fertilizante orgánico a base de residuos de las plantas de la familia *Musaceae*?

Preguntas directrices

- ¿Cómo se puede elaborar un fertilizante orgánico a partir de residuos de plantas de la familia *Musaceae*?
- ¿Qué efecto tiene la aplicación de fertilizante orgánico en las unidades experimentales de plátano barraganete (Hartón) en estudio?
- ¿Qué rendimiento en kilogramos por planta alcanza el cultivo de plátano barraganete (Hartón) con los tratamientos de fertilizante orgánico en estudio?
- ¿Cómo afecta el fertilizante orgánico al crecimiento del tallo del plátano barraganete (Hartón), en términos de altura y diámetro?
- ¿Cómo se modifica el tiempo de cosecha del plátano barraganete (Hartón) en los tratamientos que fueron objeto de estudio?
- ¿Cuál es el tratamiento más eficiente de todos los analizados según los análisis estadísticos de varianza (ANOVA)?

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar mediante un análisis experimental el uso de un fertilizante orgánico a base de los residuos de las plantas de la familia *Musaceae* para el incremento de la producción del cultivo del plátano.

Objetivos Específicos

- Fabricar fertilizante orgánico a partir de residuos (raquis) de la planta de la familia *Musaceae*.
- Aplicar el fertilizante en parcelas de plantaciones de plátano barraganete (Hartón) en estudio.
- Determinar el rendimiento en kilogramos por planta del cultivo de plátano barraganete (Hartón) de los tratamientos en estudio.
- Evaluar el crecimiento del tallo de las plantas de plátano barraganete (Hartón) en función de la altura y el diámetro de los tratamientos en estudio.
- Obtener el tratamiento más eficiente a partir de los análisis estadísticos inferenciales de Análisis de varianza (ANOVA).

Justificación

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la efectividad de un fertilizante orgánico, elaborado a partir de residuos de plantas de la familia Musaceae, para incrementar la productividad del cultivo de plátano (variedad barraganete) en la provincia de Manabí, Ecuador. Esta iniciativa surge de la necesidad de encontrar alternativas agrícolas sostenibles que ayuden a reducir el uso de fertilizantes químicos y, a su vez, ofrezcan una solución práctica y económica para los agricultores de la región, quienes dependen significativamente del cultivo de plátano como fuente de ingresos.

Este estudio investiga el uso de cualquier tipo de fertilizante orgánico en la agricultura sostenible en el uso de la forraja orgánica y el Musaceae, el cual, además de ser económicamente enriquecedor, puede reducir las negatividades de los agroquímicos y ayudar a mantener el ciclo productivo en niveles más ecológicos. El uso de desechos orgánicos como sustitutos agroquímicos continúa siendo un aspecto prioritario, el deterioro de los suelos agroquímicamente enriquecidos sigue siendo el gran obstáculo en la agricultura sostenible.

La presente investigación busca, desde una perspectiva práctica, ofrecer a los productores locales una herramienta que sea eficaz, que les permita mejorar sus rendimientos y que, además, les resulte económica, considerando que el uso de fertilizantes tradicionales implica un gasto importante. Si se logran evidenciar los beneficios de este fertilizante orgánico, en relación a la mejora de algunas variables en el cultivo, como la altura y el diámetro del tallo y el peso del fruto, se espera que esto contribuya a la economía local, así como al mejoramiento de las prácticas de gestión de los residuos agrícolas. Este beneficio directo resulta especialmente importante para los agricultores de Manabí, quienes poseen una economía de subsistencia y para quienes los residuos de Musaceae son fácilmente alcanzables.

El uso del enfoque cuantitativo-experimental permite obtener datos óptimos y con un alto nivel de confiabilidad sobre la efectiva comparación del fertilizante orgánico y los métodos tradicionales de fertilización y de un testigo sin

fertilización, utilizando Análisis de Varianza. Este nivel de exigencia permite que el estudio pueda ser replicado en otras realidades por otros investigadores y que, de este modo, se vaya edificando la teoría existente en el campo de la agricultura orgánica y sostenible.

La importancia de este estudio se justifica ya que considera la degradación del suelo y la dependencia de fertilizantes químicos a los que se ofrece una solución utilizando ingentes recursos de la naturaleza, soluciones de uso a nivel regional y que se pueden exportar a otras partes de Ecuador y América Latina. Igualmente, la atención a la sostenibilidad de los recursos justifica éticamente la investigación, ya que ambientalmente atenúa el problema del uso de la agricultura convencional.

Desde el punto de vista de los beneficiarios, este estudio beneficia a los agricultores de plátano en Manabí, quienes obtendrán los resultados para la mejora de la sostenibilidad en la agricultura. A los organismos estatales y a las organizaciones de cooperación en el desarrollo de la agricultura, les será de utilidad en la formulación de propuestas para la promoción de una agricultura sustentable y auto-económica. Desde el punto de vista científico, el estudio contribuye al avance de otras investigaciones en el uso de orgánicos, resultantes de residuos, que propician alternativas de desarrollo en la agricultura.

Por último, la factibilidad del proyecto radica en la facilidad que se presenta para la obtención de los materiales, así como la predisposición de los productores locales a involucrarse. La investigación es novedosa, no solo en su planteamiento, sino también en su viabilidad, pues se centra en la creación de alternativas a problemáticas existentes, en el fortalecimiento de la sostenibilidad económica y ambiental en una de las principales actividades agropecuarias de la zona.

Capítulo 1

1 Fundamentación Teórica

1.1 Antecedentes Investigativos

Bermeo (2021), en su investigación realizada en la ciudad de Valencia, Ecuador, titulada “Efecto de abonos orgánicos sobre la producción en el cultivo de plátano dominico (*Musa spp.*)”, tuvo como objetivo evaluar el impacto de los abonos orgánicos en la producción de dicho cultivo. Se empleó una metodología experimental, comparando el tratamiento con fertilizantes orgánicos con uno convencional. El análisis presentado indicó que, mientras el testigo absoluto de tratamiento tenía un peso de fruta extraíble de 630.8 lb, tenía un rendimiento inferior al abono completo. A pesar de ello, los costos reducidos en los fertilizantes orgánicos y su mayor rentabilidad dieron como resultado un uso de ganancias por hectárea de \$1,228.89. En contraste, el abono químico de costo fijo dio como resultado un uso de ganancias por hectárea de \$ 2,577.82. Los hallazgos sugieren que una combinación de abono completo y pollinaza tiene el potencial de aumentar el rendimiento de manera significativa.

La investigación que se llevó a cabo por Tomalá (2023) en Ecuador sobre “Importancia de la materia orgánica (MO) en plantaciones comerciales de banano” aprecia el impacto que produce la materia orgánica en las plantaciones comerciales de esta especie.

Usando la metodología analítica y sintética de carácter cuantitativo y la experimentación post facto, establece que la materia orgánica mejora la estructura de los suelos y aumenta la capacidad de los mismos para retener agua y nutrientes, factor que en las plantaciones de banano es crítico, dado que los mismos son altamente demandados. El estudio postula que para crear un ambiente adecuado que favorezca el crecimiento y desarrollo, se debe aplicar materia orgánica a suficientes fuentes, correspondientes a los requerimientos de 300 kg N/ha/año.

Mendoza (2023), en el cantón Baba, Ecuador, en el estudio “Efecto de la aplicación de dos fertilizantes de suelo y tres fertilizantes foliares sobre la

producción y rentabilidad del cultivo de banano (*Musa AAA*)”, tuvo como objetivo averiguar la influencia de la interacción de los fertilizantes de suelo y foliares en la producción de bananos. Los resultados del experimento realizado evidencian que la interacción entre la variedad del plátano y la fertilización con bionutrientes provocó cambios significativos no solo en el peso del racimo, sino también en el peso del raquis del cultivar 'Galil 12' Gran enano superior (*Musa* spp. AAA, subgrupo Cavendish), lo que lo convierte en un valor y un apoyo para fomentar la identificación de la importancia de una fertilización apropiada y de que con ello se mejore la cantidad y calidad del producto. Al evaluar la relación beneficio-costos, se llegó a la conclusión de que, aunque todos los tratamientos generaron ganancias, la combinación de Multifert y Fronter Plus fue la que generó mayores rentabilidades. Se recomienda, realizar estudios en comparación de fertilizantes de suelo y fertilizantes de origen bionutricional bajo distintas condiciones ambientales y de cultivo.

Narváez y Espinoza (2023), en “Análisis comparativo entre los sistemas de producción de banano orgánico y convencional” estudia la factibilidad de estos modelos. A través de una metodología, de carácter experimental y comparativa, concluyen que el valor actual neto (VAN) del cultivo de banano convencional fue 755,050 con una TIR (tasa interna de retorno) de 52%, y el VAN del cultivo de banano orgánico fue 689,593 con una TIR de 48%. Desde el análisis financiero, ambos proyectos son factibles, con el cultivo.

En su trabajo, el cual se encuentra disponible en la revista Ciencia Universitaria en Plantas y Animales, Vázquez et al. (2020) analizan la influencia que podría tener la aplicación de raquis de plátano en diferentes dosis sobre la producción de brócoli. A través de una metodología de trabajo de tipo experimental, Vázquez et al. (2020) establecen que la aplicación de tal lixiviado se traduce en una mejora en el rendimiento del brócoli, además de que hay una respuesta favorable ante la mayor fertilización. El mayor peso se obtuvo en la dosis de 15 ml de lixiviado, que se aplicó de forma semanal.

A partir del análisis de la literatura, consideramos que la mayoría de las investigaciones, a pesar de que se distinguen por la variedad de enfoques y metodologías, coinciden en que la utilización de compost mejora la estructura y

la calidad del suelo, así como el rendimiento de los cultivos. Por otro lado, es evidente que el uso de una combinación equilibrada de fertilización química y orgánica incrementa la producción.

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Plátano Hartón

El cultivo de plátano representa uno de los rubros agrícolas más relevantes debido a su papel fundamental en la alimentación y en la generación de empleo e ingresos económicos para diversas naciones (Castaño et al., 2012). El plátano es una planta herbácea cuyo tallo subterráneo, conocido como rizoma o cormo, actúa como órgano de almacenamiento, mientras que su estructura visible corresponde a un pseudotallo formado por la superposición de vainas foliares, alcanzando alturas de entre 3 y 6 metros (CENTA, 2018).

La fruta se elabora en todos los puntos del mundo por su valor nutritivo, bajo coste y facilidad de producción en climas cálidos y húmedos. Es rica en las vitaminas B6, C, y A, y en los minerales, potasio, magnesio, y calcio, además de fibra. Además, es baja en sodio, y está libre de grasas y colesterol (Chávez et al., 2017).

La morfología de la planta y la alta hidratación de sus tejidos exigen un constante suministro de agua durante todo su ciclo de vida, siendo especialmente crítica en etapas como el crecimiento vegetativo temprano, la floración y la formación del racimo, debido a su extensa superficie foliar (Castaño et al., 2012).

Cada cosecha del cultivo del banano se lleva enormes cantidades de minerales del suelo, lo que lo empobrece y disminuye su fertilidad, especialmente si se compara con un suelo en barbecho. El uso de agroquímicos y fertilizantes, en combinación con riego excesivo, causa lixiviación de nutrientes, desequilibrio del pH, y, además, toxicidad y pérdida de diversidad biológica (Barrera et al., 2011).

El cultivo orgánico ha ganado relevancia en el contexto global debido a sus múltiples beneficios, como la reducción en el uso de fertilizantes químicos,

la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo y el aumento de la actividad de microorganismos benéficos. Cuando la materia orgánica es fácilmente descomponible, favorece el desarrollo de microfauna y microflora del suelo, lo cual promueve la descomposición de materia orgánica tanto nativa como agregada, mejorando así la nutrición de los cultivos (Barrera et al., 2011).

El uso combinado de fertilizantes orgánicos y minerales beneficia el desarrollo de raíces secundarias y terciarias, optimizando la capacidad de absorción de nutrientes en el cultivo de plátano. Para identificar el potencial productivo de una zona y mejorar la eficiencia en el uso de recursos como el agua, es fundamental entender las interacciones planta-ambiente y las necesidades hídricas del cultivo, las cuales están determinadas por factores climáticos, características propias de la planta y el manejo agronómico aplicado (Castaño et al., 2012).

1.2.2 Origen

El cultivo del plátano es uno de los más antiguos en la historia de la humanidad, con registros que datan del año 650 d.C. Su origen se ubica en Asia meridional, específicamente en países como Bután, India, Nepal, Bangladés, Pakistán, Afganistán e Irán (Delgado, 2014).

El banana se ha utilizado por mucho tiempo, e incluso ha trascendido en la alimentación de algunos animales. El nombre de esta fruta, *Musa paradisiaca*, se deriva de *musa sapiens*, que se traduce como alimento de la sabiduría, siendo considerado como un alimento digno de los ídolos. El cultivo de esta fruta se extendió a diversas regiones como América, África, Europa y los Archipiélagos del Pacífico, y por esta razón se ha considerado un alimento de culto y sagrado. (Delgado, 2014).

Inicialmente, el plátano se cultivaba exclusivamente para el consumo local, pero a partir del siglo XVI se comenzaron a desarrollar actividades comerciales relacionadas con esta fruta, especialmente en las Islas Canarias. En América Latina, países como Ecuador, Brasil y México producen grandes volúmenes de plátano, siendo Ecuador uno de los principales exportadores a mercados desarrollados de América, Europa, Asia y Oriente Medio. Dentro de

este contexto, Brasil destaca como un productor significativo que, sin embargo, no participa en la exportación. Otros países relevantes en la satisfacción de la demanda internacional incluyen: Costa Rica, Honduras, Colombia, Perú, Panamá, Belice, Guatemala, las Guayanas, Nicaragua y Martinica (Delgado, 2014).

1.2.3 Morfología

1.2.3.1 Sistema radicular

Las raíces del plátano se encuentran principalmente en una capa superficial de entre 30 y 40 cm, concentrándose en mayor medida entre los 15 y 20 cm. Estas raíces suelen presentar un color blanco al emerger, son rígidas y pueden extenderse lateralmente hasta 3 metros y en profundidad hasta 1,5 metros. Sin embargo, su capacidad de penetración es limitada, lo que hace que su distribución dependa de las características físicas del suelo, como su textura y estructura (CENTA, 2018).

1.2.3.2 Tallo

El tallo verdadero del plátano es subterráneo y se denomina rizoma. Este órgano tiene una estructura almidonosa y está coronado por yemas que, tras la floración y fructificación de la planta, se desarrollan. A medida que los retoños del rizoma alcanzan su madurez, su yema terminal se transforma en una inflorescencia que asciende desde el interior del suelo, empujada por el alargamiento del tallo, hasta emerger por encima del pseudotallo (Patiño, 2012).

1.2.3.3 Rizoma o bulbo

El rizoma, también conocido como cormo o cepa, es un tallo subterráneo que contiene numerosos puntos de crecimiento, llamados meristemos, de los cuales se originan pseudotallos, raíces y yemas vegetativas. Este material, con un plan de fertilización adecuado, puede generar rendimientos altamente productivos debido a su elevada reserva nutricional. Los rizomas utilizados deben provenir de plantas jóvenes y contar con un diámetro mínimo de 0.15 m en el pseudotallo, una altura de 0.20 m, un peso entre 0.8 y 2.3 kg, y de 2 a 3 yemas desarrolladas (CENTA, 2002).

1.2.3.4 Hojas

Las hojas del plátano se originan en el meristemo terminal del rizoma. Inicialmente, se forma el pecíolo y la nervadura central, que posteriormente se desarrollan en una vaina. Estas hojas emergen enrolladas, en forma de cigarro, y alcanzan una disposición en espiral al desplegarse. Son de gran tamaño, con una longitud de 2 a 4 m y un ancho de hasta 0.50 m. Poseen un pecíolo que puede medir más de 1 m y un limbo elíptico alargado. Estas hojas tienden a romperse fácilmente por la acción del viento a medida que envejecen (CENTA, 2018; Patiño et al., 2012).

1.2.3.5 Flores

Las flores del plátano son amarillas y presentan cinco estambres funcionales y uno estéril. Las flores femeninas se disponen en filas apretadas y sobrepuestas, formando agrupaciones conocidas como “manos”. Un conjunto de estas manos se denomina “racimo”. Por otro lado, las flores masculinas se ubican al final del racimo, formando lo que se conoce como cucula (Torres, 2012). La inflorescencia se desarrolla a partir de brotes florales que atraviesan un proceso de transformación dentro del pseudotallo, originando un número específico de dedos y manos (CENTA, 2018; Torres, 2012).

1.2.3.6 Fruto

El fruto del plátano es carnoso y suave, compuesto por tres carpelos que derivan de los últimos órganos florales de la planta. Tiene una forma angulosa en sus primeras etapas, que se vuelve cilíndrica con el crecimiento. Este desarrollo, que dura entre 70 y 90 días, permite que el almidón se acumule progresivamente. Durante este tiempo, la relación entre la pulpa y la cáscara aumenta. El crecimiento del fruto es constante entre la segunda y séptima semana, intensificándose en las tres semanas previas a la cosecha (Torres, 2012). La mayoría de los frutos comestibles de la familia Musaceae son estériles, resultado de mecanismos como la partenocarpia y cambios genéticos que incluyen triploidía y alteraciones cromosómicas estructurales (Patiño et al., 2012).

1.2.4 Fertilizante orgánico

El fertilizante orgánico es un producto obtenido de un proceso natural de la degradación, descomposición de materia orgánica que puede ser proveniente de origen animal, vegetal y también, la combinación de ambas (Mosquera, 2010). La mejora de la calidad de los suelos, tanto de su estructura física como de su fertilidad, así como del aumento de la productividad, se deben en parte a la incorporación de organismos de la bioactividad del suelo. Los fertilizantes orgánicos aportan tanto nutrientes como microorganismos benéficos que mejoran la productividad. (Salazar, Vidal, & Vela, 2021).

Como resultado, se obtuvo que, la bioactividad de los microorganismos, la estimulación de la actividad de las raíces y la adición de algún material orgánico del suelo, junto con la mejora de la aeración y la oxigenación del suelo, provocan un aumento en la salud de los suelos, ya que son la fuente de los microorganismos aerobios. Bajo un enfoque práctico, los residuos orgánicos se pueden reciclar en los hogares y, además, se pueden utilizar como abono orgánico. Disminuyen la necesidad de la utilización de los agroquímicos. Eso mejora la seguridad alimentaria, la producción de cultivos y disminuye los costos, al reducir la cantidad de insumos que se utilizan en la producción agrícola. (Salazar, Vidal, & Vela, 2021).

1.2.5 Propiedades del fertilizante orgánico

1.2.5.1 Propiedades físicas

El abono orgánico, debido a su tonalidad oscura, tiene la capacidad de absorber una mayor cantidad de radiación solar, lo que incrementa la temperatura del suelo y facilita la absorción de nutrientes. Este tipo de abono permite, además de mejorar la estructura del suelo y su textura, que el suelo sea suelto y manejable en suelos arcillosos y más cohesionado en suelos arenosos. Al mismo tiempo, la materia orgánica o el compost, permiten una mejor permeabilidad del suelo para un óptimo drenaje y aireación de este (Mosquera, 2010).

Otra ventaja significativa es su capacidad para incrementar la retención de agua en el suelo, especialmente durante las lluvias, lo que reduce la

necesidad de riego al mejorar la absorción hídrica del terreno. Además, el uso de abonos orgánicos contribuye a la mitigación de la erosión, ya sea causada por el agua o el viento, lo que protege y conserva la capa superficial del suelo a largo plazo (García & Féliz, 2014).

1.2.5.2 Propiedades químicas

Los fertilizantes orgánicos permiten la absorción de los nutrientes de una manera más eficiente, debido a la solubilidad que presenta tanto en agua como en otros compuestos, también por su higroscopicidad que es la propiedad de un fertilizante para poder absorber la humedad del ambiente y se mide como el valor de humedad relativa a partir del cual el fertilizante empieza a absorber agua (Arévalo, 2011). Además, aumenta el volumen de macronutrientes (como potasio, fósforo y nitrógeno) y micronutrientes. Además, aumenta el CIC, que es la capacidad de intercambio catiónico, que es la capacidad de retener nutrientes para luego liberarlos para los cultivos (Picado & Añosco, 2005).

1.2.5.3 Propiedades biológicas

Las propiedades biológicas de los fertilizantes orgánicos juegan un papel esencial en el fortalecimiento de la salud del suelo y en el incremento de la productividad agrícola. Estos abonos estimulan el desarrollo de microorganismos beneficiosos, los cuales contribuyen al equilibrio del ecosistema del suelo (FAO, 2020).

Un aspecto relevante es que los fertilizantes orgánicos ayudan a crear micorrizas, que son asociaciones entre hongos y raíces que aumentan la capacidad de las plantas para absorber nutrientes y agua. Asimismo, los microorganismos de estos fertilizantes son una barrera natural frente a los patógenos, disminuyendo las enfermedades de las plantas sin químicos (Enriquez, 2022).

1.2.6 Beneficios de los fertilizantes orgánicos

De acuerdo con Bresson et al. (2001), los fertilizantes orgánicos juegan un papel fundamental en la regeneración de las estructuras del suelo que han sido alteradas por prácticas agrícolas inadecuadas y la pérdida de materia orgánica del suelo. La materia orgánica del suelo se compone de partículas con distintos

niveles de resistencia a la degradación y actúa como un agente activo que facilita la formación de agregados o peds en el suelo (Mikha y Rice, 2004). La formación de estas estructuras trae consigo beneficios significativos para el suelo, ya que mejoran su porosidad, permitiendo una mayor circulación de aire, agua y calor, lo que resulta en una mejor nutrición para las plantas (Hillel, 2000).

Para Altieri y Nicholls (2007), el uso de abonos orgánicos presenta ventajas para la agricultura y para la ecología. En primer lugar, por su producción, se pueden obtener alimentos que no contengan contaminantes, dado que no se utilizan químicos que pongan en riesgo la salud de los seres humanos y de los ecosistemas. También, el costo en energía de su producción es menor que el de los fertilizantes sintéticos, lo que resulta en una mayor sostenibilidad.

La producción de abonos orgánicos, accesible para cualquier persona (Martínez, 1995), porque solo se necesitan algunas instrucciones, herramientas simples y materiales de bajo costo que generalmente se encuentran en los hogares. Adicionalmente, mejoran la fertilidad del suelo de manera acumulativa, lo que incrementa la productividad de la agricultura. Los abonos orgánicos, por no contener tóxicos, disminuyen en gran medida los riesgos para la salud de los trabajadores y conservan la salud de la biodiversidad, la flora y la fauna (Salazar, Vidal, & Vela, 2021).

1.2.7 Compostaje

El compostaje ha surgido como un medio efectivo para el manejo de los desechos orgánicos generados en actividades agrícolas y pecuarias. Esta técnica permite transformar dichos residuos en productos aprovechables para la producción agrícola (Román, Martínez y Pantoja, 2013). Según la FAO (2013), el compostaje se define como la mezcla de materiales orgánicos sometidos a un proceso de procesamiento en condiciones aeróbicas, con el propósito de mejorar tanto la estructura como la calidad nutricional del suelo.

Bohórquez (2019), describe el simple proceso de compostaje aeróbico como la transformación de materia orgánica causada por bacterias y hongos. Dentro de este proceso, existen factores biológicos y factores químicos que guían la descomposición de los diferentes componentes de los desechos

orgánicos. Estos factores funcionan de manera efectiva y ayudan a que los desechos sean compostados.

Por último, para prevenir malos olores y mejorar el proceso de compostaje, se deben utilizar todas las variedades de desechos orgánicos, pero se recomienda especialmente la cernida de frutas y verduras (por la humedad) y hojas y ramitas trituradas (por los materiales secos) (Natan, 2020).

1.2.8 Materia orgánica para compostaje

1.2.8.1 Cáscara de plátano

Para Ramos, Aguilera y Ochoa (2016), el fruto del plátano se compone de dos partes claramente diferenciadas: la pulpa y la cáscara. La pulpa, de color amarillo pálido, constituye la porción comestible utilizada en una gran variedad de platos tradicionales, como patacones y chifles, y también en la industria alimentaria para la producción de productos como la harina de plátano, destinada a la elaboración de coladas. Durante este proceso, el fruto debe ser pelado, separando la pulpa de la cáscara, lo que genera un subproducto que, en la mayoría de los casos, es considerado un residuo y, por lo tanto, descartado sin un uso específico, siendo destinado directamente a la basura.

La familia Musaceae es altamente demandada en el comercio internacional por la producción y exportación de la fruta fresca en Colombia y Ecuador. Sin embargo, el mercado internacional rechaza gran parte de la producción, y algunas variedades de Musaceae se cultivan solo para el mercado interno. Cada tronco de plátano contiene entre 5 y 20 'manos' y cada mano contiene entre 4 a 15 dedos (plátanos defectuosos de cada variedad). Aproximadamente el 57% del plátano es pulpa comestible y el 43% se considera desecho, el desecho es la cáscara del plátano. La pulpa es rica en potasio, mientras que la cáscara contiene aproximadamente un 12% de almidón y un 46% de celulosa, lo que la convierte en un subproducto potencialmente utilizable (Unidad de Gestión de Riesgos Agropecuarios UGRA, 2018).

No se dispone de un registro oficial o exacto sobre la cantidad de residuos generados por la cáscara de las musáceas. Sin embargo, se ha observado que este volumen ha ido en aumento con el tiempo, impulsado por la creciente sobreproducción anual derivada de las siembras continuas y la fluctuación de los precios en las exportaciones. Estas condiciones han llevado a los productores a buscar alternativas, como la comercialización de la fruta en el mercado local, ya sea para la fabricación de subproductos derivados, o para su procesamiento y venta como chifles en las zonas agrícolas donde se produce (Osorio y Ramirez, 2019).

1.2.8.2 Vástago o raquis de plátano

El pedúnculo del plátano, también llamado raquis o vástago, es la parte de la fruta que contiene la estructura del racimo central, de donde a partir de la misma emergen las “manos” o grupos de plátanos. Aunque esta parte del plátano se suele desechar porque no es comestible, tiene un alto contenido de fibra y celulosa. Gracias a esto, se considera que tiene potencial para ser utilizado de distintas maneras a nivel industrial, por ejemplo, en la elaboración de biocompuestos. Además, se puede usar para compostar, en la elaboración de fertilizantes orgánicos o en la fabricación de productos derivados de celulosa (Mejía, 2018).

1.3 Marco Conceptual

Fertilizante orgánico. Producto derivado de materiales de origen vegetal y/o animal que, tras un proceso de degradación biológica o transformación física, aporta nutrientes al suelo y mejora su estructura y fertilidad (Zhang, Sun, & Wang, 2018).

Fertilizante químico (inorgánico): A partir de compuestos minerales simples, se puede fabricar una sustancia, dirigida a nutrientes específicos para una entrega rápida al cultivo en concentraciones definidas (Havlin et al., 2014).

Compost: Proceso bioquímico controlado en el que los microorganismos empiezan a descomponer los residuos orgánicos en condiciones aeróbicas generando un material estabilizado rico en humus que puede ser utilizado como enmienda del suelo de acuerdo con Bernal, et al (2009).

Residuos agrícolas. Restos de origen vegetal generados por actividades agrícolas que no forman parte del producto comercializable, tales como cáscaras, hojas y vástagos, que pueden constituir fuentes potenciales de nutrientes para procesos orgánicos de fertilización (Liu & Zhang, 2012).

Musaceae: Grupo de plantas monocotiledóneas que abarca a los géneros Musa y Ensete, que se caracterizan por ser herbáceas de gran tamaño, por contar con un pseudotallo, formado a partir de las vainas de las hojas y por tener frutos con semillas raquílicas o ausentes. (Stover y Simmonds, 1987).

Plátano Barraganete (Hartón): De importancia agrícola en regiones tropicales, apreciado por sus características agronómicas y rendimiento, y para el cual se necesita una gestión nutricional eficiente (Ploetz et al, 2015).

Pseudotallo: Formación estructural de la banana compuesta por las vainas de hojas superpuestas que funcionan como soportes de la planta, aunque desde un punto de vista botánico no es un verdadero tallo (Pérez y Sánchez, 2017).

Rachi: Eje central de la inflorescencia de las Musaceae que sostiene los racimos de frutos y que, al ser un residuo de la cultivación, puede ser utilizado en procesos para la valorización de la biomasa (Karam et al, 2011).

Lixiviación. Proceso mediante el cual los nutrientes solubles del suelo, como nitratos, potasio y calcio, son arrastrados hacia capas más profundas por la acción del agua de lluvia o riego, reduciendo su disponibilidad para las plantas y pudiendo generar contaminación de aguas subterráneas (Brady & Weil, 2016).

Análisis de Varianza (ANOVA). Técnica estadística inferencial que permite determinar si existen diferencias significativas entre las medias de múltiples grupos comparados, mediante el análisis de la variación total en componentes intra e intergrupales (Kutner, Nachtsheim, & Neter, 2004).

1.4 Marco Legal y Ambiental

Constitución de la República del Ecuador

En el artículo 13, indica qué, las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos;

preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales (Constitución de Ecuador, 2008).

El artículo 14 también consagra el derecho de la población a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, en el *sumak kawsay*. Declara que la preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, de la diversidad biológica y la integridad del patrimonio genético de la nación, la prevención del daño ambiental y la restauración de los espacios naturales degradados son de interés público (Constitución de Ecuador, 2008).

El Artículo 276, numeral 4, las finalidades del régimen de desarrollo incluirán entre otras las de recuperar y preservar la naturaleza y mantener un medio ambiente sano y sostenible que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural (Constitución de Ecuador, 2008).

Del Artículo 397, numerales 2 y 3: de interés público la preservación del ambiente, para lo cual el Estado se obliga a establecer mecanismos eficaces de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sostenible de los recursos naturales (Constitución de Ecuador, 2008).

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, muy especialmente de su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sostenible para prevenir su degradación, en particular la provocada por contaminación, desertificación y erosión. En áreas sometidas a procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y promoverá proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, preferentemente, especies nativas y adaptadas a la zona.

Artículo 415.- establece que los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos (Constitución de Ecuador, 2008).

Marco internacional

La Cumbre de la Tierra organizada por la ONU (1992) en Río de Janeiro, formuló cuatro áreas de programas relacionadas con los residuos:

- a) Disminución de los residuos al mínimo posible.
- b) Incremento de la reutilización y reciclado ecológicamente racional de los residuos hasta niveles máximos.
- c) Fomento de la eliminación y tratamiento de los residuos ecológicamente racionales.
- d) Ampliación de la esfera de los servicios dedicados a la gestión de los residuos; de modo que, se fomente el desarrollo sostenible y ecológicamente racional para el siglo XXI en todos los países y culturas.

Ley orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria

Artículo 10.- El Estado impulsará la investigación científica y tecnológica en salud, calidad nutricional y productividad de los alimentos. Esta investigación se la realizará además para mejorar la calidad de la sanidad alimentaria (Ley Orgánica de Soberanía Alimentaria, 2021).

Ley de Gestión Ambiental

Art. 1.- La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, grados de participación de los sectores público y privado en Administración ambiental y establece los límites permisibles, los controles y las sanciones en la materia (Ley de Gestión Ambiental, 1999).

Art. 2.- La gestión ambiental se rige por los principios de la solidaridad, la corresponsabilidad, la cooperación, la coordinación, el reciclado y la reutilización de los residuos, las tecnologías alternativas ambientalmente sostenibles y el respeto de las culturas y prácticas tradicionales (Ley de Gestión Ambiental, 1999).

Art. 7.- La administración del medio ambiente se sitúa dentro del ámbito de aplicación de las políticas generales de desarrollo sostenible para la

conservación del patrimonio natural y el uso sostenible del patrimonio natural que proponga el presidente de la República, en virtud de la aprobación del Plan Ambiental Ecuatoriano. Estas políticas y este Plan se incorporarán a los objetivos nacionales permanentes y a las metas de desarrollo. El Plan Ambiental Ecuatoriano contendrá las estrategias, planes, programas y proyectos para la gestión ambiental nacional y será preparado por el Ministerio del ramo (Ley de Gestión Ambiental, 1999).

Según el acuerdo **Acuerdo-Ministerial-Nro.-MAATE-2022-077** en el apartado 3. Prácticas agrícolas que reduzcan la vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático, indica: Debido al calentamiento de la tierra producto de las actividades antrópicas, entre las que se destacan la agricultura, obliga a que este paradigma de desarrollo agrario busque alternativas de producción que se adapten a los cambios climáticos extremos:

-Ejecutar prácticas de mejoramiento de suelos (surcos en dirección de la pendiente, uso adecuado de abonos orgánicos y biofertilizantes);

Según el estatuto orgánico de gestión organizacional por procesos del ministerio de agricultura y ganadería (**Acuerdo No. 093**):

d) Fomentar y promover la producción y el uso de insumos agrícolas diseñados como: bioinsumos, abonos orgánicos, controladores biológicos, y otros microorganismos efectivos; en articulación con la Subsecretaría de Redes de Innovación Agropecuaria (**Acuerdo-Ministerial-Nro.-MAATE-2022-077, 2022**).

1.5 Hipótesis y Variables

1.5.1 Hipótesis

Hipótesis alternativa (H1):

La aplicación de fertilizante orgánico elaborado a partir de residuos Musaceae genera diferencias significativas en el crecimiento y rendimiento del cultivo de plátano, en comparación con el uso de fertilización química y la ausencia de fertilización.

Hipótesis nula (H0):

La incorporación de fertilizante orgánico preparado con residuos de Musaceae no presenta diferencias significativas en el crecimiento ni en el rendimiento del platanero en relación con la fertilización química y con el no uso de fertilizantes.

1.5.2 Identificación de las Variables

- **Variable Independiente:** Tipo de fertilización aplicada al cultivo de plátano.

El ensayo comprendía:

- Tratamiento T1: Fertilizante orgánico a partir de residuos Musaceae.
- Tratamiento T2: Fertilizante químico convencional.
- Tratamiento T3: Control (Sin la aplicación de fertilizante).

Cada grupo estaba formado por 10 plantas y se podían comparar de forma directa el rendimiento y el crecimiento de cultivo de acuerdo a las condiciones de fertilización.

- **Variable Dependiente:** Crecimiento y rendimiento del cultivo de plátano.

Indicadores de la variable dependiente

- Altura del tallo (en cm).
- Diámetro del tallo (en cm).
- Peso del fruto (en kg).

1.5.3 Operacionalización de las Variables

1.5.3.1 Operacionalización de la Variable Independiente

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

Variable	Dimensión / Factor	Indicador	Escala	Instrumento / Registro
Tipo de fertilización	Tratamiento (factor experimental)	Tratamiento aplicado por planta	Nominal	Hoja de campo / ficha de registro

1.5.3.2 Operacionalización de la Variable Dependiente

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente

Variable dependiente	Dimensión	Indicador	Unidad	Escala	Instrumento	Técnica	Frecuencia / Momentos
Crecimiento y rendimiento del cultivo de plátano	Crecimiento vegetativo	Altura de la planta	cm	Razón	Cinta métrica	Medición directa en campo	0, 3, 6 y 9 meses
Crecimiento y rendimiento	Crecimiento vegetativo	Diámetro del pseudotallo	cm	Razón	Cinta métrica	Medición directa en campo	4 y 9 meses

del cultivo de
plátano

Crecimiento y rendimiento del cultivo de plátano	Rendimiento productivo	Peso del racimo por planta	kg	Razón	Balanza digital	Medición directa	Al momento de cosecha por planta (cuando corresponda)
--	---------------------------	----------------------------------	----	-------	--------------------	---------------------	---

1.6 Marco Metodológico

1.6.1 Modalidad Básica de la Investigación

La modalidad de investigación adoptada en este estudio es de campo, experimental y bibliográfico/documental, que en conjunto permiten una comprensión integral de los efectos de un fertilizante orgánico, elaborado a partir de residuos de plantas de la familia Musaceae, en el rendimiento del cultivo de plátano barraganete (Hartón) en la provincia de Manabí, Ecuador.

1.6.2 Enfoque

El objetivo principal de esta investigación es la evaluación de la efectividad de un fertilizante orgánico a base de residuos de plantas de la familia Musaceae, sobre el rendimiento del cultivo de plátanos barraganetes (Hartón) en la provincia de Manabí, Ecuador, por lo cual el enfoque principal de esta investigación es de tipo cuantitativo. Este enfoque cuantitativo permite la medición de variables como la altura del tallo, el diámetro y el peso del fruto, utilizando métodos de colección y análisis estadísticos, los cuales garantizan la validez y confiabilidad de los resultados.

El enfoque cuantitativo es el más adecuado para esta investigación por el tipo de diseño en cuanto a característica experimental y comparativa, y por la necesidad de los datos en forma numérica que permitan medir el efecto del fertilizante orgánico sobre el rendimiento del cultivo de plátanos, en comparación con el uso de fertilizantes químicos, y un grupo de control sin fertilización. Este enfoque permite el reconocimiento de ciertos patrones en la conducta de los cultivos, que en este caso son los plátanos, y que en base a este estudio se podrán extrapolar a otras condiciones agroecológicas de la región.

1.6.3 Nivel de Investigación

El nivel de investigación en este estudio es comparativo, de asociación de variables y descriptivo, permitiendo una comprensión profunda y detallada del impacto del fertilizante orgánico, elaborado a partir de residuos de plantas de la familia Musaceae, en el rendimiento del cultivo de plátano barraganete (Hartón) en Manabí, Ecuador.

Nivel Descriptivo

Este estudio se encuadra en un nivel descriptivo en el sentido que detalla las características y comportamientos del cultivo de plátano barraganete (Hartón) bajo distintas condiciones de fertilización. El análisis descriptivo permite registrar de un modo detallado algunas de las variables que se constituyen en factores relevantes en la producción de dicho cultivo, como son la altura del tallo, el diámetro y el peso del fruto. Estas descripciones permiten acerca de las condiciones del cultivo, en que se ofrece un cultivo y su respuesta al fertilizante orgánico, una comprensión de los efectos más relevantes y más.

Nivel de Comparación y Asociación de Variables

El nivel de comparación es muy importante en este estudio, ya que se indagan tres grupos de tratamientos: un grupo con fertilizante químico, otro grupo con fertilizante orgánico y un grupo sin fertilización. La comparación permite descubrir diferencias significativas en el rendimiento de las cosechas de cultivo dependiendo del tratamiento, para mostrar la forma en que el fertilizante orgánico es más efectivo respecto a otros fertilizantes.

El análisis en este estudio también ocurre a nivel de asociación de variables, ya que se busca entender cómo se vinculan las variables de crecimiento (alturas de tallo, tamaño y peso de los frutos) de los cultivos, con los diferentes tipos de fertilización que se aplicaron. Esta asociación de variables permitirá comprobar si hay una relación entre el tipo de fertilizante utilizado y el rendimiento del cultivo, y establecer relaciones que apoyen la selección de un tratamiento óptimo para mejorar la productividad de la banana en las condiciones de los lugares que se investigan.

1.6.4 Población de Estudio

La investigación considera los cultivos de banano barraganete (hartón) de tres parcelas de la provincia de Manabí, Ecuador. Estas parcelas, en función de la especie y sus condiciones de cultivo, constituyen un par de plantas, lo cual asegura la homogeneidad en las variables de estudio y la posibilidad de evaluar los efectos del fertilizante orgánico.

Cada parcela, en su totalidad, consta de diez plantas de plátano, y en total 30 plantas, las cuales serán sometidas a diferentes tratamientos de fertilización. Por ello, dicha estructura poblacional garantiza la evaluación de los tratamientos en condiciones controladas y comparables, lo cual asegurará que los resultados mostrados sean representativos y reproducibles.

La elección para el muestreo de estas tres parcelas de 10 plantas cada una, donde además se busca un adecuado control de costes y duración de la investigación sin comprometer la validez de los resultados, queda explicada. Siendo el estudio experimental, la aplicación de técnicas de muestreo en la población no es necesaria, de hecho, las 30 plantas elegidas constituyen un grupo de plantas suficientemente grande para ver las diferencias en el rendimiento de las plantas bajo las distintas condiciones de fertilización.

1.6.5 Tamaño de la Muestra

En esta investigación, la muestra corresponde a la totalidad de la población seleccionada, es decir, las 30 plantas de plátano barraganete (Hartón) distribuidas en tres parcelas de 10 plantas cada una. Al tratarse de una población

pequeña, con un tamaño menor a 100 individuos, no se aplica un muestreo probabilístico, y en su lugar se opta por estudiar la totalidad de los individuos.

Al trabajar con toda la población, se eliminan los márgenes de error asociados al muestreo lo que da resultados más representativos y precisos. Además, es posible realizar un análisis más detallado de las variaciones en el rendimiento de las plantas con respecto a los diferentes tipos de fertilización. Este enfoque asegura que cada planta analizada sea parte de los resultados más precisos y estadísticamente más confiables.

1.6.6 Técnicas de recolección de datos

La obtención de datos para esta investigación es de tipo experimental, donde se aplican datos cuantitativos obtenidos a través de mediciones directas y sistemáticas en parcelas de cultivo para determinar el efecto de un tipo de fertilizante, el orgánico de Musaceae, en el rendimiento platanero del plátano barraganete (Hartón). Dicha metodología facilitó el registro de datos numéricos, los cuales fueron susceptibles para un análisis estadístico, y de esta manera, se realizó una comparación de los diferentes tratamientos experimentales.

En la provincia de Manabí, en los cultivos seleccionados, se realizaron las actividades correspondientes para la observación del efecto que el fertilizante orgánico produce y allí se realizó la recolección de los datos experimentales.

Con respecto a las variables a medir. Debido a la naturaleza de las variables a medir, se recurrió, tal y como corresponde a este tipo de medición, a herramientas de medición, como puedan ser, la cinta métrica para la altura y el diámetro del tallo, así como las basculas digitales para el pesaje de los frutos cuando se realiza la recolección.

1.6.7 Plan de recolección de datos

Tabla 3

Plan de recolección de datos

Nº	Preguntas Frecuentes	Explicación
1	¿Para qué?	Para evaluar la efectividad del fertilizante orgánico en el rendimiento del cultivo de plátano.
2	¿De qué personas?	Plantas de plátano de la variedad barraganete (Hartón) en parcelas experimentales.
3	¿Sobre qué aspectos?	Crecimiento del tallo (altura y diámetro) y peso del fruto como indicadores de rendimiento.
4	¿Quién investiga?	Estudiante Anthony Guaranda Piguabe
5	¿Cuándo?	Durante el ciclo de crecimiento y cosecha de las plantas en el periodo experimental establecido.
6	¿Dónde?	En la provincia de Manabí, Ecuador, en parcelas de cultivo de plátano.
7	¿Cuántas veces?	Recolección periódica cada 40 días para crecimiento del tallo; en cosecha para el peso del fruto.
8	¿Qué técnica de recolección?	Medición directa y experimental en campo.
9	¿Con qué?	Cinta métrica para altura y diámetro del tallo; báscula digital para el peso del fruto.
10	¿En qué situación?	Durante el monitoreo regular del crecimiento y en la cosecha para evaluación de productividad.

1.6.8 Procesamiento de la Información

La información que se extrae en esta investigación sigue un determinado proceso que se ha previsto con un buen designio para obtener información precisa y válida. Dado que se trata de un estudio de un enfoque cuantitativo, experimental y que se centra en las conversaciones estadísticas, los métodos de análisis están orientados a la comparación de las variables de crecimiento y la producción de las plantas de los plátanos tratados con el fertilizante orgánico a base de residuos de Musaceae, a los grupos de control y la fertilización química a la que estas plantas fueron sometidas.

El análisis de datos se llevará a cabo mediante instrumentos de manipulación y de visualización de los datos, en combinación con el análisis estadístico, como

es el caso de las herramientas Excel, Minitab o JASP. En el caso de utilizar el análisis de varianza, se determinarán las diferencias significativas de los tratamientos y las variables de estudio, tipo altura del tallo, diámetro del tallo y peso del fruto. La técnica estadística mencionada permite a los investigadores determinar y describir todos los niveles de los tratamientos con un determinado nivel de confianza y, en consecuencia, obtener conclusiones muy robustas de la eficacia de un determinado tratamiento, en este caso, el fertilizante orgánico.

Capítulo 2

2 Diagnóstico o Estudio de Campo

2.1 Descripción del área de estudio y condiciones del estudio

El estudio de campo se llevó a cabo en la finca “Francisco de los Santos”, ubicada en el recinto “El Matal”, en el cantón Jipijapa, provincia de Manabí, Ecuador. El área trabajada corresponde a un terreno destinado al cultivo de plátano, el cual presenta condiciones relativamente homogéneas para el desarrollo de la investigación práctica.

El cultivo que se encuentra en la fase de investigación es el plátano barraganete (hartón). En la etapa inicial del estudio las plantas eran de aproximadamente 5 meses de edad, con un crecimiento vegetativo muy similar entre ellas. Las plantas que se seleccionaron tuvieron un tamaño inicial similar como poder vegetativo y no contaban con evidencias visibles de la presencia de plagas, enfermedades, o deterioro mecánico.

La zona de estudio contenía un tipo de suelo peculiar, era del tipo franco arcilloso, con una topografía ligeramente inclinada. Esta condición fue constante para todas las parcelas evaluadas. Las plantas tenían exposición total al sol la mayor parte del día y sin interferencias de sombra. El sistema de riego era natural, confiando solo en la lluvia, ya que el cultivo se estableció en la temporada de invierno.

Durante toda la evaluación, el manejo agronómico fue el mismo para todas las parcelas, aplicándose las prácticas básicas: el control manual con el machete y cosecha de las hojas, sólo cuando la cobertura biótica con las malezas lo requería. No se aplicó ningún producto de condición química ni fertilización adicional a las ya establecidas en los tratamientos.

Tabla 4
Caracterización del área de estudio

Variable	Descripción
Ubicación	Finca “Francisco de los Santos”, recinto El Matal, cantón Jipijapa, Manabí
Cultivo	Plátano barraganete (hartón)
Edad inicial de las plantas	5 meses
Estado fenológico	Crecimiento vegetativo
Tipo de suelo	Franco-arcilloso
Topografía	Ligeramente inclinada
Sistema de riego	Lluvia (temporada de invierno)
Exposición solar	Plena
Manejo agronómico	Control manual de malezas y deshoje

2.2 Diseño y distribución del ensayo en campo

El ensayo experimental se organizó en tres parcelas contiguas, ubicadas una junto a la otra dentro del mismo terreno, garantizando condiciones ambientales y edáficas similares. Cada parcela correspondió a un tratamiento específico de fertilización y estuvo conformada por 10 plantas de plátano, para un total de 30 unidades experimentales.

Cada parcela presentó una disposición regular, conformada por dos filas y cinco columnas, con una distancia de siembra de 3,2 metros entre plantas, tanto en sentido longitudinal como transversal. Esta distribución permitió un adecuado

desarrollo del cultivo y facilitó la aplicación de los tratamientos y la posterior toma de datos.

Los tratamientos que fueron evaluados eran los siguientes:

- T1: fertilización de tipo orgánica mediante un lixiviado foliar elaborado con residuos vegetales del grupo Musaceae.
- T2: fertilización de tipo químico comercial aplicado (Banatrel).
- T3: tratamiento control, sin ninguna aplicación de fertilizante.

Los detalles de la distribución de los tratamientos y del número de las unidades experimentales consideradas para el estudio son los que se muestran en la siguiente Tabla 5.

Tabla 5
Distribución de tratamientos y unidades experimentales

Tratamiento	Tipo de fertilización	Número de plantas	Aplicación
T1	Lixiviado orgánico foliar	10	10 ml/L, cada 45 días
T2	Fertilizante químico (Banatrel)	10	10 ml/L, cada 45 días
T3	Control	10	Sin fertilización

Las aplicaciones de los tratamientos T1 y T2 se realizaron el mismo día, con el fin de evitar variaciones asociadas al momento de aplicación y asegurar la comparabilidad entre tratamientos.

2.3 Proceso de recolección de datos

La recolección de datos se realizó directamente en campo y fue ejecutada por el investigador, registrando la información correspondiente a cada planta de forma individual. Inicialmente, los datos fueron anotados en un cuaderno de campo y dispositivo móvil, para posteriormente ser organizados en una ficha de registro diseñada para este fin.

Las variables evaluadas durante el estudio correspondieron a indicadores de crecimiento y rendimiento del cultivo, los cuales se midieron mediante instrumentos adecuados y en momentos previamente establecidos. En la Tabla 6 se resumen las variables evaluadas, los indicadores considerados, los instrumentos utilizados y los momentos de medición.

Tabla 6
Variables evaluadas, instrumentos y momentos de medición

Variable	Indicador	Instrumento	Unidad	Momentos de medición
Crecimiento	Altura de la planta	Cinta métrica	cm	0, 3, 6 y 9 meses
Crecimiento	Circunferencia del pseudotallo	Cinta métrica	cm	4 y 9 meses
Rendimiento	Peso del racimo por planta	Balanza digital	kg	Momento de cosecha

La medición inicial (mes 0) se realizó el mismo día de la primera aplicación de los tratamientos. Durante el periodo de evaluación no se registraron pérdidas de plantas, manteniéndose constante el número de unidades experimentales.

2.4 Organización y procesamiento de la información

La información recolectada fue tabulada en el software Microsoft Excel, creando hojas de cálculo separadas para cada uno de los puntos de evaluación (0, 3, 6 y 9 meses). Los datos fueron ingresados y organizados por planta, permitiendo el seguimiento del comportamiento de cada unidad experimental, de forma individual, a lo largo del tiempo.

La circunferencia del pseudotallo fue medida únicamente a los 4 y 9 meses, dado que este indicador, en etapas más avanzadas del desarrollo vegetativo, presenta variaciones más significativas y en fases más tempranas su variación es más limitada. Posteriormente, la base de datos fue revisada para verificar su consistencia y completitud, y preparada para su análisis estadístico.

Los datos organizados en Excel fueron exportados al programa Minitab, donde se realizó el análisis estadístico correspondiente conforme al diseño experimental planteado.

Capítulo 3

3 Resultados de investigación

3.1 Descripción del tratamiento experimental

El tratamiento experimental consistió en la elaboración y aplicación de un fertilizante orgánico en forma de lixiviado, obtenido a partir de residuos de plátano barraganete (hartón), específicamente raquis y cáscaras generados como desechos posteriores a la cosecha en la finca “Francisco de los Santos”.

3.1.1 Materiales utilizados

Para la elaboración del lixiviado orgánico se emplearon los siguientes materiales:

- Raquis de plátano barraganete (hartón), provenientes directamente de la finca.
- Cáscaras de plátano.
- Tanque plástico con capacidad de 100 litros, utilizado como unidad de lixiviación.
- Herramientas manuales para el corte del material vegetal.

3.1.2 Procedimiento de elaboración del lixiviado

El proceso de elaboración del lixiviado se inició con la recolección de los raquis de plátano, los cuales fueron considerados material de desecho tras la cosecha. Posteriormente, los raquis fueron cortados en segmentos de aproximadamente 20 cm de longitud, con el propósito de facilitar su manipulación, mejorar la compactación dentro del recipiente y favorecer el proceso de descomposición.

Una vez preparados, los fragmentos de raquis y las cáscaras de plátano fueron introducidos en un tanque plástico con capacidad de 100 litros, el cual funcionó como unidad de lixiviación. El material vegetal se dispuso de manera compacta, permitiendo que, durante el proceso de degradación natural del tejido vegetal aún verde, los líquidos generados se liberaran progresivamente y se acumularan en la parte inferior del recipiente.

La obtención de lixiviados resultó de la descomposición del raquis de manera natural, sin la intervención de ninguna descomposición acelerada. A los 15 días del inicio, fue visible la obtención de lixiviados, así como un incremento en el volumen de los mismos a medida que el material orgánico fue perdiendo peso. El proceso total de lixiviación se desarrolló en un tiempo aproximado de 45 días, considerándolo un tiempo razonable para obtener el fertilizante orgánico que se usó en el ensayo experimental.

El comportamiento general del proceso y la dinámica de producción del lixiviado se mantuvo igual que en los reportes de estudios piloto de campo, al no tener modificación en lo principal del método, lo cual garantizó que el proceso se mantuviera simple y replicable bajo condiciones similares.

3.1.3 Eficiencia del proceso de lixiviación

La estimación más baja sobre lo que se considera un proceso eficaz en la obtención de lixiviado de raquis de plátano en condiciones piloto que se tiene reportado es de 20 %; por eso, para la obtención de lixiviado en este caso, un rendimiento de 20 % fue considerado como un hecho que permitiera aplicar el raquis como fertilizante orgánico en el tratamiento experimental para determinar su efecto sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de plátano.

El raquis de plátano previamente fue diluido y utilizado como fertilizante orgánico para la aplicación foliar, en las dosis y frecuencias descritas en el diseño experimental.

3.2 Resultados descriptivos del crecimiento del cultivo

3.2.1 Resultados descriptivos de la altura de la planta

Tabla 7

Altura media y desviación estándar

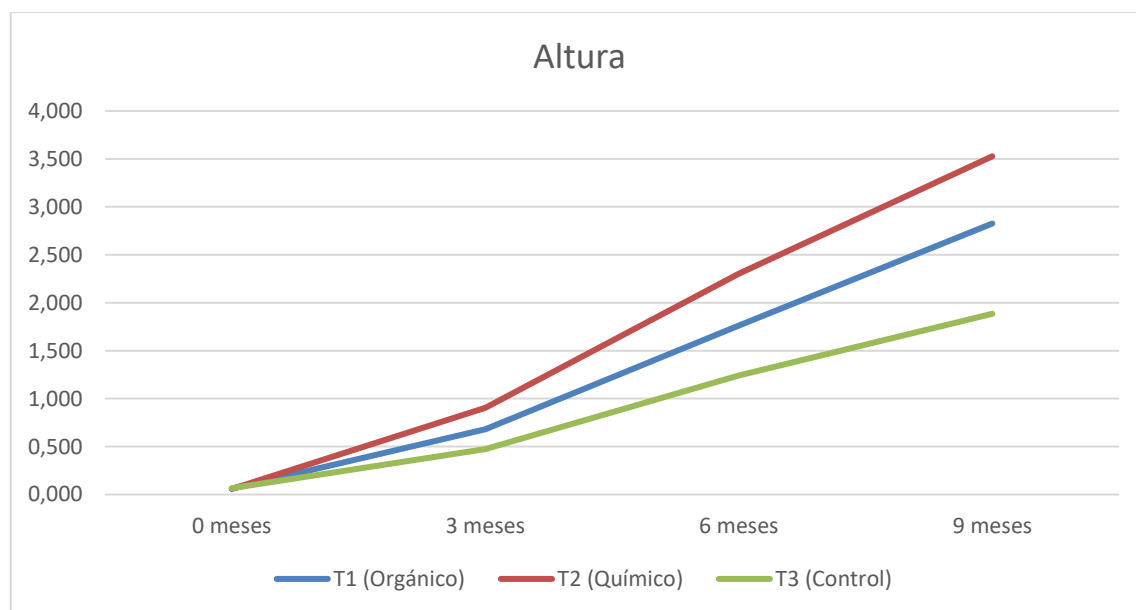
ALTURA (m) - Formato $\bar{X} \pm DE$				
Tratamiento	0 meses	3 meses	6 meses	9 meses
T1 (Orgánico)	0,062 $\pm$ 0,022	0,682 $\pm$ 0,052	1,763 $\pm$ 0,147	2,826 $\pm$ 0,498

T2 (Químico)	0,058 ± 0,029	0,905 ± 0,045	2,302 ± 0,129	3,527 ± 0,228
T3 (Control)	0,066 ± 0,028	0,475 ± 0,080	1,241 ± 0,169	1,885 ± 0,309

Fuente: elaboración propia

Figura 1

Evolución de la altura promedio(m)



Fuente: elaboración propia

La altura de la planta se midió en cuatro momentos (0, 3, 6 y 9 meses) con el objetivo de describir el crecimiento vegetativo bajo los tres tratamientos evaluados (orgánico, químico y control). Los valores promedio obtenidos se presentan en la Tabla 7 y su tendencia se observa gráficamente en la Figura 1.

En el registro inicial (0 meses) los promedios de altura fueron similares entre tratamientos, con valores de 0,062 m para T1 (orgánico), 0,058 m para T2 (químico) y 0,066 m para T3 (control). Esta cercanía en los valores iniciales indica que las plantas partieron de condiciones comparables, lo cual es importante para interpretar los cambios posteriores como respuesta al manejo aplicado.

A los 3 meses, se observa un incremento en los tres grupos, siendo el tratamiento químico (T2) el que más se destaca con 0,905 m, seguido del

tratamiento orgánico (T1) con 0,682 m, mientras que el control (T3) alcanzó 0,475 m. En esta etapa ya se puede notar la separación en el ritmo de crecimiento de los tratamientos fertilizados y el control, lo que indica el efecto positivo que tiene el aporte de nutrientes sobre el crecimiento en altura.

Pero, al cumplir los seis meses, las diferencias se hacen evidentes. Para el tratamiento químico (T2) la altura alcanzará un promedio (2,302 m), para el tratamiento orgánico (T1) 1,763 m y el control (T3) alcanzará los 1,241 m. Este comportamiento denota una tendencia creciente en la altura de todos los tratamientos a medida que pasa el tiempo; no obstante, el grupo donde se aplica fertilización química tendrá mayor incremento a lo que se observa para el tratamiento orgánico, siendo ambos tratamientos mayores a la del control.

Finalmente, a los 9 meses, el tratamiento químico (T2) habrá alcanzado la altura promedio mayor (3.527 m); el tratamiento orgánico (T1) alcanzará una madurez de 2.826 m y el control (T3) alcanzará 1.885 m. En términos de descripción, el anterior comportamiento corrobora la tendencia constante a lo largo de la evaluación: altura media del grupo $T2 > T1 > T3$.

La Figura 1 da cuenta que se observaron trayectorias de crecimiento diferentes. La curva del tratamiento químico se mantiene por encima de las demás desde los 3 meses, la del orgánico va en una trayectoria intermedia y la del control se mantiene como la de menor crecimiento. La diferencia entre las curvas va aumentando entre los 6 y los 9 meses, mostrando que a medida que el cultivo va creciendo, el rendimiento de los tratamientos es aún más distante.

En conjunto, los resultados descriptivos permiten identificar que el tratamiento con fertilización química presenta los valores promedio más altos de altura en los momentos evaluados posteriores al inicio, seguido del tratamiento orgánico; sin embargo, la confirmación de si estas diferencias son atribuibles estadísticamente al tipo de fertilización corresponde al análisis inferencial que se desarrollará en el apartado 3.3.

3.2.2 Resultados descriptivos de la circunferencia del pseudotallo

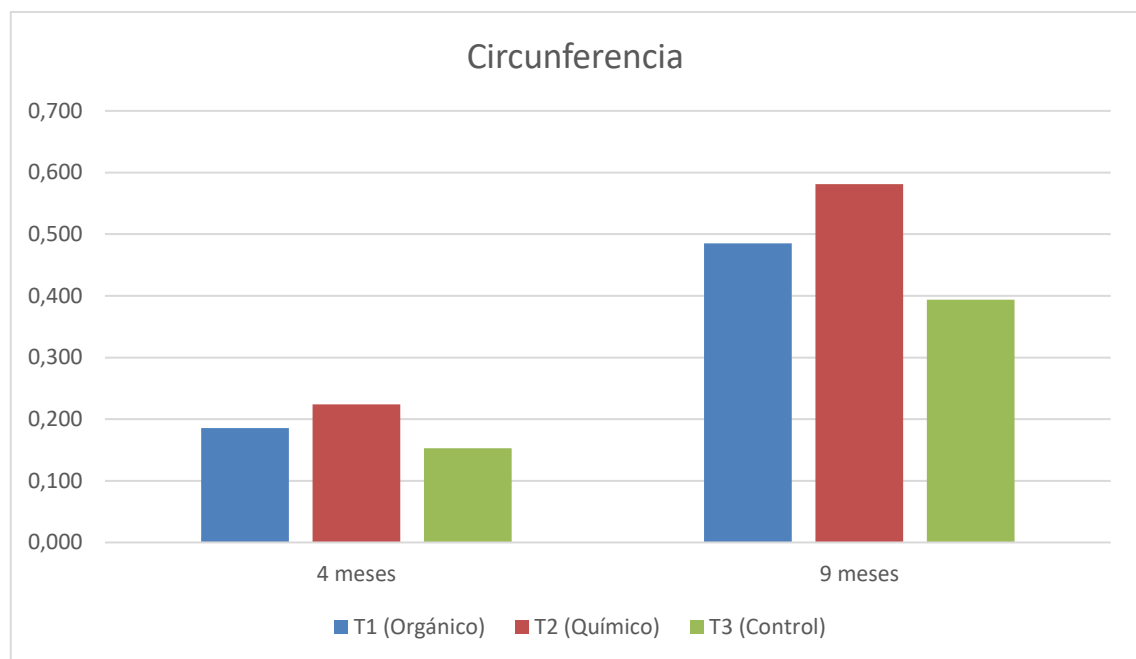
Tabla 8

Circunferencia media y desviación estándar

CIRCUNFERENCIA (m) - Formato $\bar{X} \pm DE$		
Tratamiento	4 meses	9 meses
T1 (Orgánico)	0,186 $\pm$ 0,026	0,485 $\pm$ 0,047
T2 (Químico)	0,224 $\pm$ 0,015	0,581 $\pm$ 0,051
T3 (Control)	0,153 $\pm$ 0,019	0,394 $\pm$ 0,054

Figura 2

Circunferencia promedio del pseudotallo(m)



Fuente: elaboración propia

La circunferencia del pseudotallo, medida a 100 cm del suelo, se registró en dos momentos (4 y 9 meses) con el propósito de describir el comportamiento del engrosamiento del tallo en función del tipo de fertilización aplicada. Los valores promedio obtenidos se presentan en la Tabla 8, y su comparación visual se muestra en la Figura 2.

Al cuarto mes, el tratamiento químico (T2) fue el que mostró una circunferencia promedio más alta, de 0,224 m, seguido por el tratamiento orgánico (T1), con una circunferencia promedio de 0,186 m, mientras que el control (T3) fue el que tuvo la circunferencia promedio más baja, de 0,153 m. Este comportamiento inicial muestra que en esta fase los tratamientos con fertilización tienen una respuesta positiva con respecto al engrosamiento del pseudotallo en comparación al control.

Al noveno mes, se puede observar un aumento en la circunferencia promedio en los tres tratamientos, que es esperado dado el avance del crecimiento vegetativo. Así, el T2 (químico) llegó a los 0,581 m, el T1 (orgánico) alcanzó los 0,485, y el T3 (control) mostró una circunferencia promedio de 0,394 m. La jerarquía de respuesta se sigue manteniendo con el mismo patrón observado entre el cuarto mes y el noveno mes, es decir, $T2 > T1 > T3$.

La comparación entre el cuarto y el noveno mes muestra que el aumento de la circunferencia fue más acentuado en los tratamientos fertilizados, siendo el químico el que mostró un aumento incluso mayor. Esto significa que el aporte de nutrientes, tanto el orgánico como el químico, podrían estar asociados con un mayor engrosamiento del pseudotallo a medida que avanza el ciclo de evaluación, mientras que el control sigue teniendo una respuesta menor.

En la Figura 2, la diferencia entre los tratamientos en ambos momentos puede verse más claramente. A los 4 meses, las distancias entre las barras son moderadas, sin embargo, a los 9 meses la separación se vuelve más evidente, reflejando que las diferencias en el desarrollo del pseudotallo tienden a ser más marcadas con el tiempo. En particular, el tratamiento químico tiene la mayor circunferencia promedio, el orgánico tiene un comportamiento intermedio, y el control está por debajo.

En conjunto, los resultados descriptivos muestran que la circunferencia del pseudotallo aumenta entre 4 y 9 meses en todos los tratamientos, con mayores valores promedio en los tratamientos fertilizados. No obstante, la determinación de si estas diferencias responden de manera estadísticamente atribuible al tipo de fertilización será abordada en el análisis inferencial del apartado 3.3.

3.2.3 Resultados descriptivos del rendimiento

Tabla 9

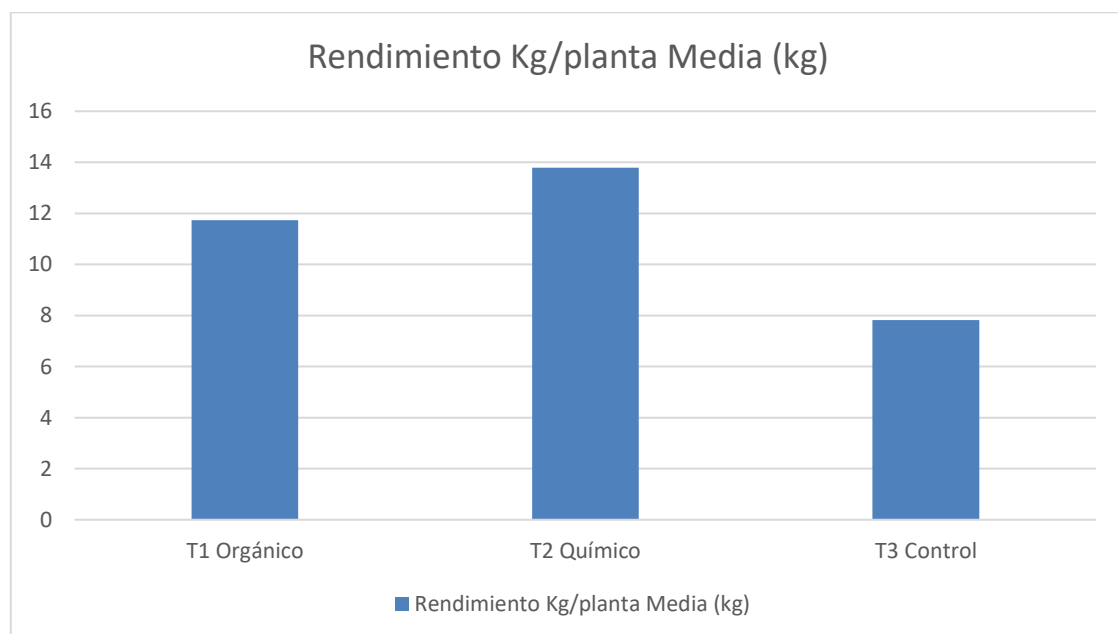
Rendimiento promedio por tratamiento

Rendimiento Kg/planta			
Tratamiento	Media (kg)	DE (kg)	$\bar{X} \pm DE$
T1 Orgánico	11,736	1,799445594	$11,736 \pm 1,799$
T2 Químico	13,792	1,271978337	$13,792 \pm 1,272$
T3 Control	7,819	2,135959061	$7,819 \pm 2,136$

Fuente: elaboración propia

Figura 3

Rendimiento promedio (kg/planta) por tratamiento



Fuente: elaboración propia

El rendimiento del cultivo se evaluó mediante el peso del racimo por planta (kg) al momento de la cosecha, con el fin de describir el comportamiento productivo bajo los tres tratamientos establecidos. Los valores promedio obtenidos se presentan en la Tabla 9 y su comparación se visualiza en la Figura 3.

Los resultados muestran que el mayor promedio de rendimiento lo presenta el tratamiento químico (T2) con 13,792 kg/planta y el tratamiento orgánico (T1) con 11,736 kg/planta, siendo el tratamiento control (T3) el de menor rendimiento promedio con 7,819 kg/planta, y tal como se puede observar, este resultado probablemente puede estar asociado al hecho de que en el tratamiento control (T3) no hay fertilización, lo que, de todas maneras, pone en evidencia la relación entre la fertilización (ya sea química u orgánica) y el incremento de peso.

En la figura 3 esta tendencia es posible de observar, ya que el tratamiento químico (T2) está por encima del tratamiento orgánico (T1) y tales tratamientos están por encima del tratamiento control en cuanto al rendimiento promedio, indicando que la separación entre tratamientos expresa que las condiciones del ensayo (el control de nutrientes, por su tipo y por sus cantidades) pueden limitar el rendimiento del cultivo expresado como peso del racimo.

En términos comparativos y de forma estrictamente descriptiva, la diferencia entre el tratamiento químico y el orgánico es menor que la diferencia entre cualquiera de ellos y el control, lo cual indica que el efecto más evidente se presenta al comparar tratamientos fertilizados frente a ausencia de fertilización.

Finalmente, es importante señalar que estos resultados corresponden al análisis descriptivo de medias; por lo tanto, la confirmación de si las diferencias observadas en rendimiento son estadísticamente atribuibles al tipo de fertilización se realizará en el apartado 3.3 mediante el análisis de varianza (ANOVA).

Como se mencionó en la comparación de cada uno de los promedios de los tratamientos y en la descripción de las tablas y gráficas en los resultados, existen diferencias. Sin embargo, estas diferencias son meramente descriptivas, y sin un análisis de varianza, no podrían atribuírseles causas al tipo de fertilizante, por más que se hayan empleado dos fórmulas diferenciadas.

Por ello, en el siguiente apartado se realizará el análisis inferencial mediante Análisis de Varianza (ANOVA), con un nivel de significancia predefinido, a fin de determinar si existen diferencias estadísticamente atribuibles a los tratamientos

y, en caso de corresponder, aplicar pruebas post hoc para identificar entre qué grupos se presentan dichas diferencias.

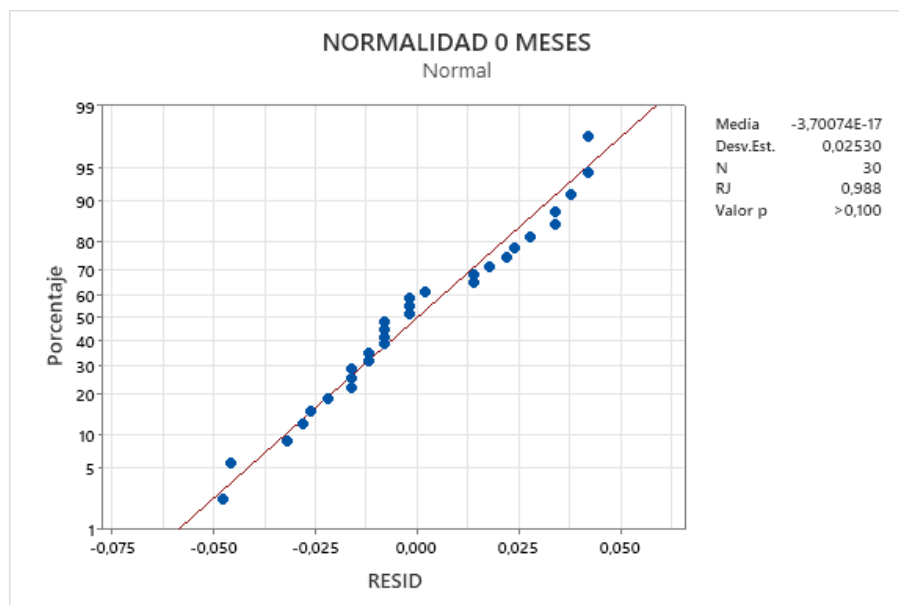
3.3 Análisis estadístico (ANOVA)

3.3.1 ANOVA para altura de planta en 0 meses

Previo a la aplicación del Análisis de Varianza, se evaluó la normalidad de los residuos de la variable altura a los 0 meses mediante la prueba de Ryan-Joiner (RJ). El resultado obtenido mostró un valor de $p > 0.100$, superior al de $\alpha = 0.05$, por lo que la hipótesis nula se acepta, demostrando que los residuos presentan una distribución normal (ver Figura 4).

Figura 4

Normalidad de altura de 0 meses



Fuente: elaboración propia

También, antes de realizar el ANOVA se determinó la homogeneidad con la prueba de Levene, el resultado obtenido mostró un valor de $p = 0.514$, superior al de $\alpha = 0.05$, por lo que existe homogeneidad en los residuos (ver Figura 5)

Figura 5*Homogeneidad de altura 0 meses**Test for Equality of Variances (Levene's)*

F	df1	df2	p
0.683	2.000	27.00	.514

En virtud de lo anterior, se concluye que se cumplen los supuestos necesarios para la aplicación del análisis de varianza.

Tabla 10*Análisis de Varianza 0 meses*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
tratamiento	2	0,000320	0,000160	0,23	0,794
Error	27	0,018560	0,000687		
Total	29	0,018880			

Con el fin de verificar la homogeneidad inicial de las plantas antes del efecto de los tratamientos, se aplicó un ANOVA de un solo factor considerando como factor el tratamiento (T1, T2 y T3) y como variable respuesta la altura de planta (m) a 0 meses, con una confianza del 95%

El análisis mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos al inicio del ensayo ($\alpha = 0,05$; $p = 0,794$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias.

En concordancia con lo anterior, la comparación múltiple de Tukey (95%) agrupó a los tratamientos en un mismo grupo (A), indicando que las alturas iniciales son comparables entre tratamientos. Esto respalda metodológicamente que las diferencias observadas en mediciones posteriores pueden atribuirse al efecto de los tratamientos y no a diferencias de arranque.

3.3.2 ANOVA para altura de planta en 3 meses

Previo a la aplicación del análisis de varianza (ANOVA), se verificaron los supuestos estadísticos correspondientes. La normalidad de los residuos de la variable altura a los 3 meses se evaluó mediante la prueba de Ryan-Joiner, obteniéndose un valor de $p = 0,183$, siendo superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$ lo que evidencia normalidad, al estar dentro de los límites. Por su parte, la homogeneidad de varianza entre los tratamientos se comprobó mediante la prueba de Levene, obteniéndose un valor de $p = 0,423$, superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, lo que indica homogeneidad.

Figura 6

Normalidad de altura de 3 meses

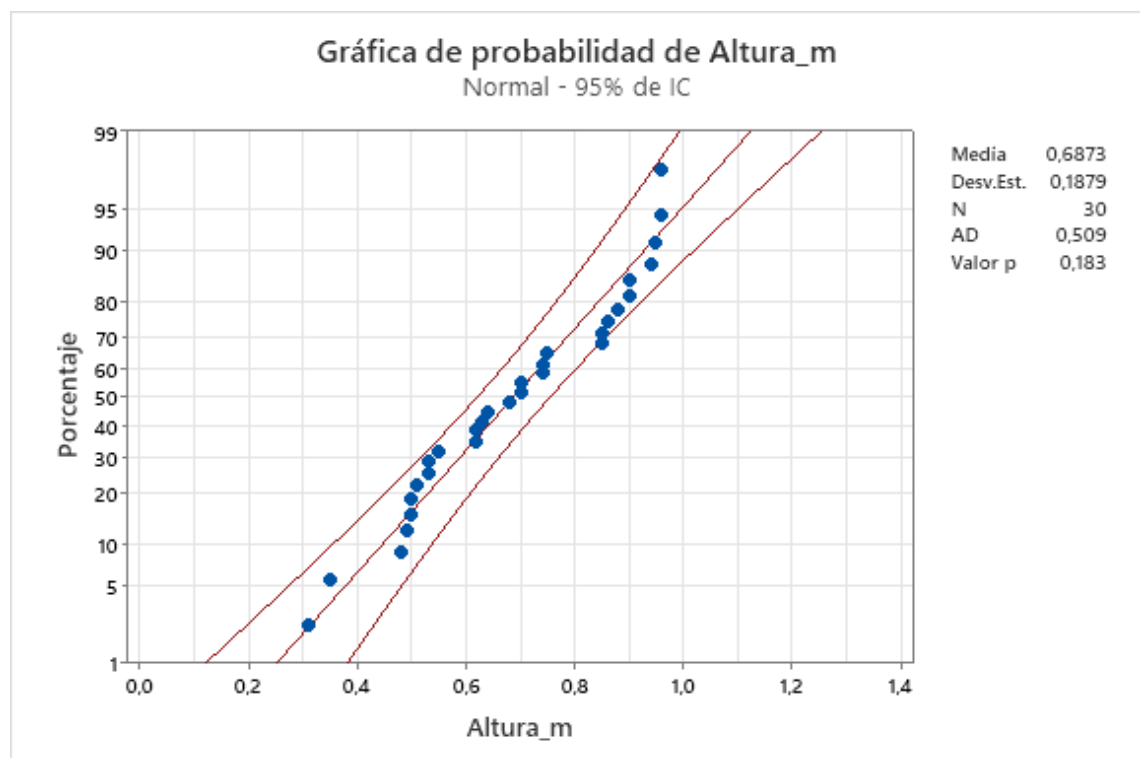


Tabla 11

Análisis de Varianza 3 meses

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
tratamiento	2	0,92493	0,462463	125,54	0,001
Error	27	0,09946	0,003684		

Total	29	1,02439
-------	----	---------

Para la altura a 3 meses, se ejecutó un ANOVA de un factor bajo el mismo criterio, tratamiento como factor, a un nivel de confianza de 95%.

Los datos obtenidos reflejaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,05$; $p < 0,001$). En cuanto a las medias, el tratamiento T2 presentó la mayor altura media (0,905 m), seguido del tratamiento T1 (0,682 m) y del tratamiento T3 (0,475 m).

Tabla 12

Tabla Tukey 3 meses

tratamiento	N	Media	Agrupación
T2	10	0,9050	A
T1	10	0,6820	B
T3	10	0,4750	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La prueba de Tukey (95%) separó a los tres tratamientos en grupos distintos (T2 = A; T1 = B; T3 = C), lo cual indica que T2 difiere de T1 y T3, y que T1 también difiere del control T3. En consecuencia, desde los 3 meses se observa una respuesta diferenciada del crecimiento en altura según el tipo de tratamiento aplicado.

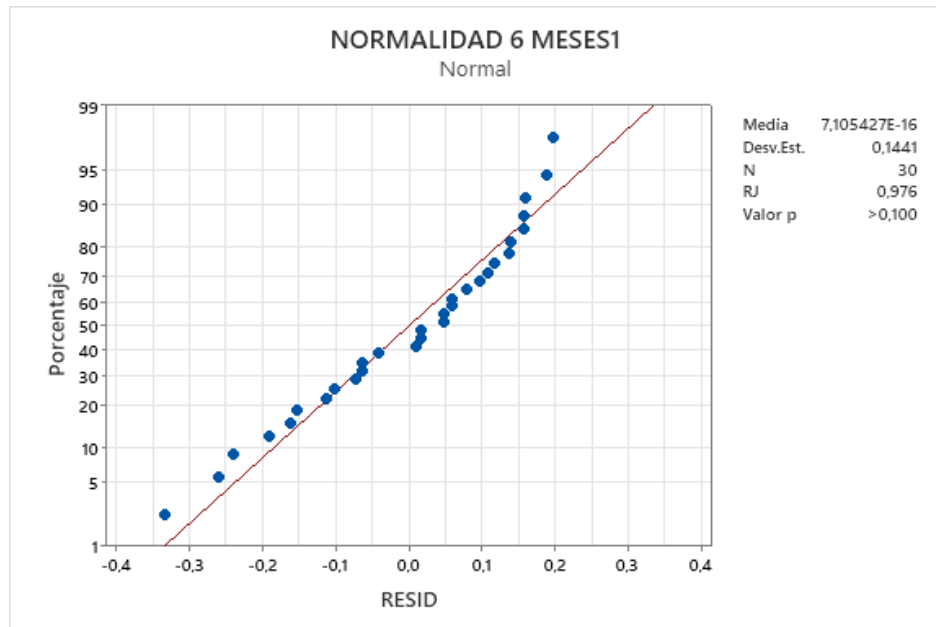
3.3.3 ANOVA para altura de planta en 6 meses

Previo a la aplicación del Análisis de Varianza, se evaluó la normalidad de los residuos de la variable altura a los 6 meses mediante la prueba de Ryan-Joiner (RJ). El resultado obtenido mostró un valor de $p > 0.100$, superior al de $\alpha = 0.05$,

por lo que la hipótesis nula se acepta, demostrando que los residuos presentan una distribución normal (ver Figura 7)

Figura 7

Normalidad de Altura de 6 meses



Fuente: elaboración propia

También, antes de realizar el ANOVA se determinó la homogeneidad con la prueba de Levene, el resultado obtenido mostró un valor de $p = 0,637$, superior al de $\alpha = 0,05$, por lo que existe homogeneidad en los residuos (ver Figura 8).

Figura 8

Homogeneidad de altura 6 meses

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
tratamiento	2	0,005666	0,002833	0,46	0,637
Error	27	0,166791	0,006177		
Total	29	0,172457			

En virtud de lo anterior, se concluye que se cumplen los supuestos necesarios para la aplicación del análisis de varianza.

Tabla 13

Análisis de Varianza para 6 meses

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
tratamiento	2	5,6291	2,81454	126,22	0,001
Error	27	0,6021	0,02230		
Total	29	6,2311			

Se aplicó ANOVA de un factor para evaluar la altura a 6 meses con nivel de confianza del 95%. El análisis indicó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,05$; $p < 0,001$). Las medias mostraron que T2 registró la mayor altura (2,302 m), seguido por T1 (1,763 m) y el control T3 (1,241 m).

Tabla 14

Tabla Tukey para 6 meses

tratamiento	N	Media	Agrupación
T2	10	2,3020	A
T1	10	1,7630	B
T3	10	1,2410	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

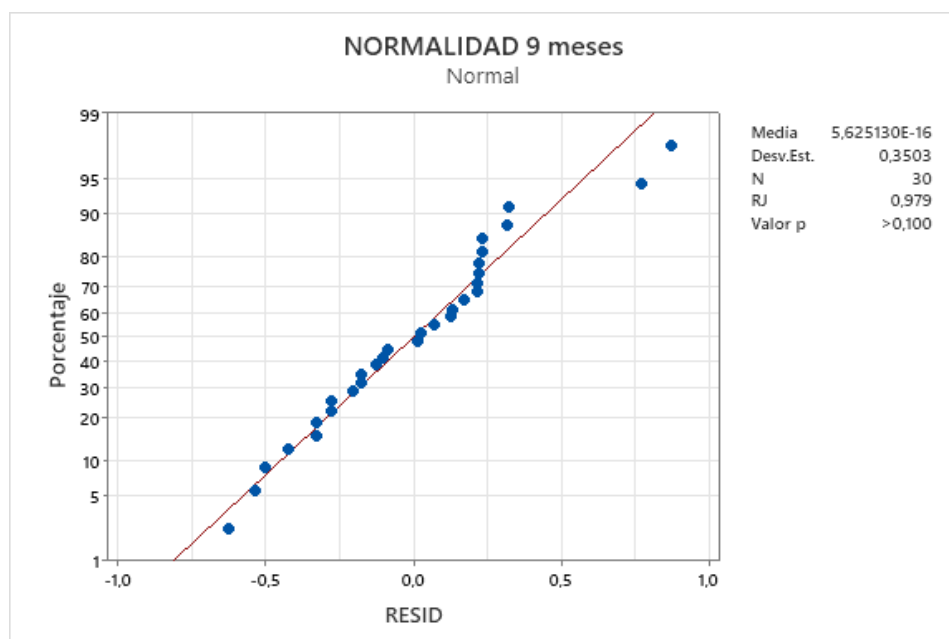
Según Tukey (95%), los tratamientos se clasificaron en tres grupos (T2 = A; T1 = B; T3 = C), confirmando que las diferencias entre los tres tratamientos son estadísticamente distinguibles. Este resultado evidencia que, a medida que avanza el ciclo de evaluación, el efecto del tratamiento se mantiene y se expresa claramente en la variable altura.

3.3.4 ANOVA para altura de planta en 9 meses

Previo a la aplicación del Análisis de Varianza, se evaluó la normalidad de los residuos de la variable altura a los 9 meses mediante la prueba de Ryan-Joiner (RJ). El resultado obtenido mostró un valor de $p > 0.100$, superior al de $\alpha = 0.05$, por lo que la hipótesis nula se acepta, demostrando que los residuos presentan una distribución normal (ver Figura 9).

Figura 9

Normalidad de Altura de 9 meses



También, antes de realizar el ANOVA se determinó la homogeneidad con la prueba de Levene, el resultado obtenido mostró un valor de $p = 0,114$, superior al de $\alpha = 0,05$, por lo que existe homogeneidad en los residuos (ver Figura 10).

Figura 10

Homogeneidad de altura de 9 meses

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
tratamiento	2	0,1831	0,09156	2,35	0,114
Error	27	1,0511	0,03893		
Total	29	1,2342			

De acuerdo con lo anterior, se concluye que se cumplen los supuestos necesarios para la aplicación del análisis de varianza.

Tabla 15

Análisis de Varianza para 9 meses

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
tratamiento	2	13,577	6,7884	51,51	0,001
Error	27	3,558	0,1318		
Total	29	17,135			

Finalmente, para la altura a 9 meses, se ejecutó el ANOVA de un factor con nivel de confianza del 95%.

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente relevantes entre tratamientos ($\alpha = 0,05$; $p < 0,001$). Los promedios indican por enésima vez una tendencia coherente: T2 es el que muestra mayor altura (3,527 m), T1 tiene la segunda máxima altura (2,826 m), y T3 muestra ser el de menor altura (1,885 m).

Tabla 16

Tabla Tukey para altura en 9 meses

tratamiento	N	Media	Agrupación
T2	10	3,5270	A
T1	10	2,826	B
T3	10	1,8850	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La prueba de Tukey (95%) mostró una separación en tres grupos (T2 = A; T1 = B; T3 = C), confirmando diferencias entre todos los tratamientos. En términos

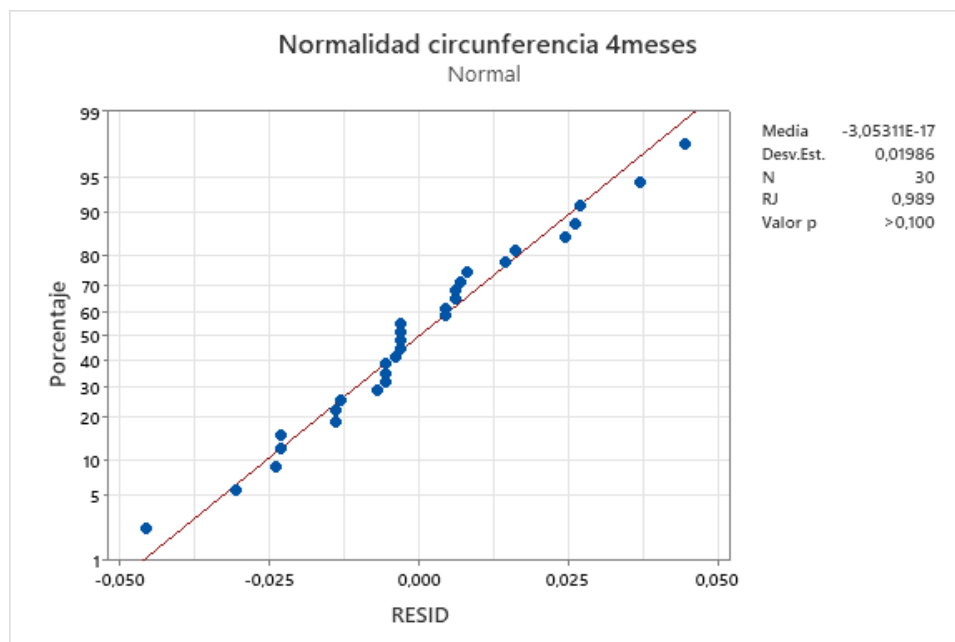
prácticos, este comportamiento refleja que el tratamiento químico mantuvo el mayor desempeño en crecimiento en altura hasta el final del periodo evaluado, mientras que el tratamiento orgánico sostuvo un comportamiento intermedio y el control quedó por debajo.

3.3.5 ANOVA para circunferencia de pseudotallo en 4 meses

Previo a la aplicación del Análisis de Varianza, se verificaron los supuestos estadísticos correspondientes a la variable circunferencia de 4 meses. La normalidad de los residuos se evaluó mediante la prueba de Ryan-Joiner (RJ). El resultado obtenido mostró un valor de $p > 0,100$, superior al de $\alpha = 0,05$, demostrando que los residuos presentan una distribución normal.

Figura 11

Normalidad de circunferencia de 4 meses



Fuente: elaboración propia

Asimismo, la homogeneidad de varianza entre los tratamientos se comprobó mediante la prueba de Levene, la cual arrojó un valor de $p = 0,565$, superior a $\alpha = 0,05$, evidenciando homogeneidad (ver Figura 11).

Figura 12

Homogeneidad de circunferencia de 4 meses

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0,000191	0,000096	0,58	0,565
Error	27	0,004432	0,000164		
Total	29	0,004623			

De acuerdo con lo anterior, se concluye que se cumplen los supuestos necesarios para la aplicación del análisis de varianza.

A fin de evaluar el efecto del tratamiento sobre la circunferencia del pseudotallo (m) a los 4 meses, se aplicó un ANOVA de una vía, utilizando como factor el tratamiento (T1, T2 y T3), y considerando un nivel de confianza del 95%

Tabla 17

Análisis de Varianza circunferencia 4 meses

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0,02519	0,012596	29,75	0,001
Error	27	0,01143	0,000423		
Total	29	0,03663			

El análisis evidenció diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,05$; $p < 0,001$). En términos de medias, el tratamiento T2 (químico) presentó el valor más alto (0,22390 m), seguido de T1 (orgánico) (0,18550 m) y el control T3 (0,15300 m).

Tabla 18*Tabla Tukey para circunferencia de 4 meses*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T2	10	0,22390	A
T1	10	0,18550	B
T3	10	0,15300	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

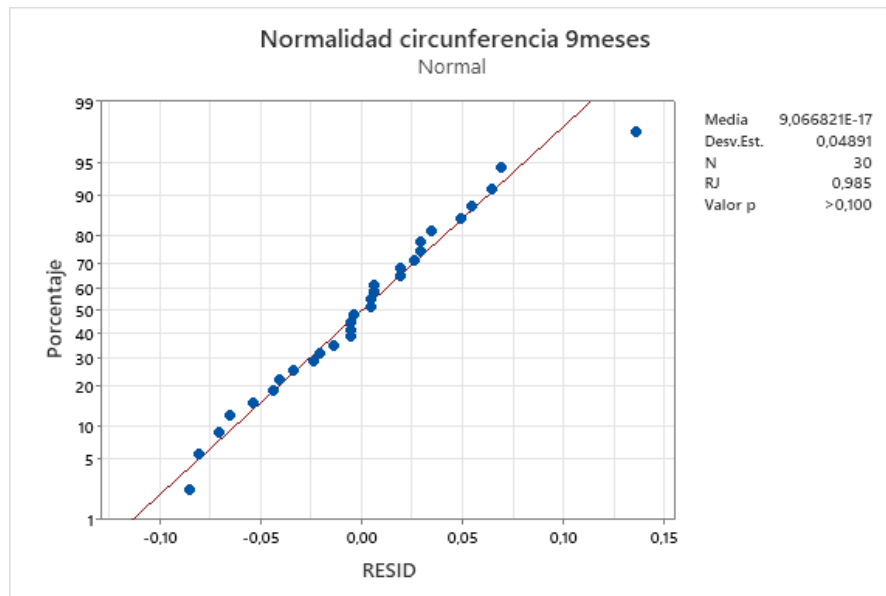
La prueba de comparaciones múltiples de Tukey (95%) separó los tratamientos en tres grupos (T2 = A; T1 = B; T3 = C), lo que indica que hay diferencias entre todos los pares de tratamientos (T2 difiere de T1 y T3; T1 difiere del control); el conjunto de resultados pone de manifiesto que a los 4 meses la fertilización tiene un efecto sobre el engrosamiento del pseudotallo, obteniendo la mayor respuesta el tratamiento químico, seguido por el orgánico y finalmente el control.

3.3.6 ANOVA para circunferencia de pseudotallo en 9 meses

Para circunferencia de pseudotallo en 9 meses, previo a la aplicación del ANOVA, se procedió a verificar el cumplimiento de los supuestos estadísticos. La normalidad de los residuos se evaluó mediante la prueba Ryan-Joiner (RJ), obteniendo un valor de significancia $p > 0,100$, siendo mayor a $\alpha = 0,05$, lo que indica que los datos presentan una distribución normal (ver Figura 12).

Figura 13

Normalidad de Circunferencia en 9 meses



De igual manera, la homogeneidad entre los tratamientos se comprobó mediante la prueba Levene, obteniéndose un valor de $p = 0,772$, superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, evidenciando homogeneidad.

Figura 14

Homogeneidad de Circunferencia en 9 meses

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0,000544	0,000272	0,26	0,772
Error	27	0,028061	0,001039		
Total	29	0,028605			

En virtud de lo anterior, se concluye que se cumplen los supuestos necesarios para la aplicación del análisis de varianza.

A los 9 meses, se realizó nuevamente un ANOVA de un solo factor para determinar si la circunferencia del pseudotallo (m) difiere entre tratamientos, manteniendo $\alpha = 0,05$.

Tabla 19*Análisis de Varianza circunferencia 9 meses*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0,17489	0,087443	34,03	0,001
Error	27	0,06938	0,002570		
Total	29	0,24427			

Los resultados indicaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,05$; $p < 0,001$). Las medias obtenidas muestran que el tratamiento químico (T2) alcanzó la mayor circunferencia promedio (0,5810 m), seguido por el orgánico (T1) (0,4850 m), mientras que el control (T3) registró el menor valor (0,3940 m).

Tabla 20*Tabla Tukey para circunferencia de 9 meses*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T2	10	0,5810	A
T1	10	0,4850	B
T3	10	0,3940	C

Nota. Las medias que no comparten un símbolo son significativamente diferentes.

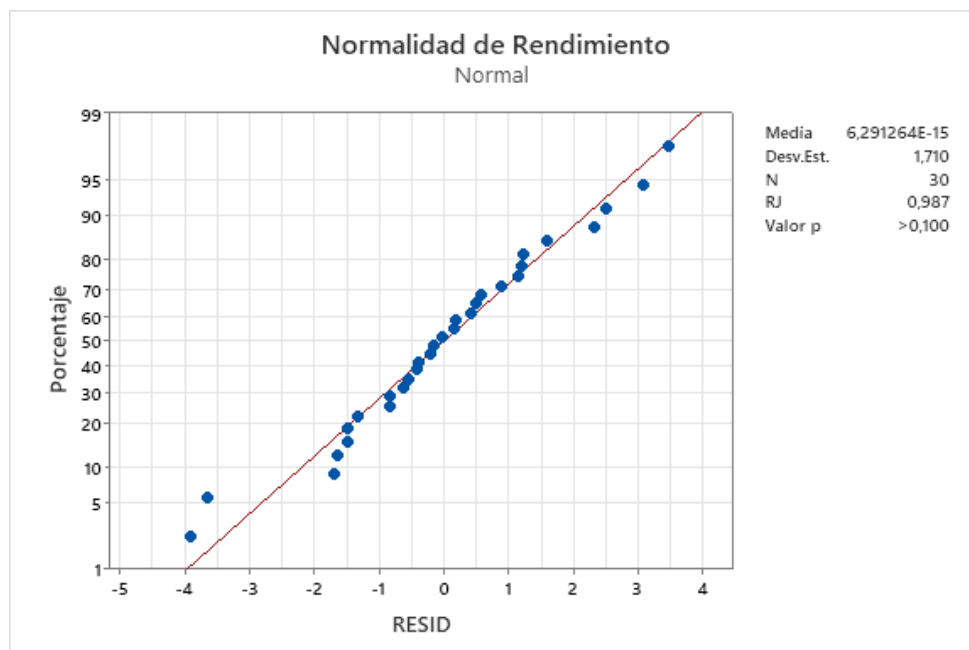
La prueba de Tukey (95%) confirmó que se puede establecer la existencia de tres grupos (T2 = A; T1 = B; T3 = C), dando la razón de que todos los tratamientos difieren unos de otros. De una manera práctica, esto quiere decir que el efecto del tratamiento sobre el engrosamiento definitivo del pseudotallo se mantiene y se hace más evidente cuando la edad del cultivo es mayor a los 9 meses conservando el patrón de respuesta descrito por $T2 > T1 > T3$.

3.3.7 ANOVA para rendimiento en kg por tratamiento

Previo a la aplicación del análisis de varianza, se verificaron los supuestos estadísticos correspondientes para la variable rendimiento del cultivo. La normalidad de los residuos se evaluó mediante la prueba RJ, obteniéndose un valor de $p > 0,100$, superior al nivel de $\alpha = 0,05$, lo que indica que los datos presentan una distribución normal

Figura 15

Normalidad de Rendimiento



Fuente: Elaboración propia

De igual manera, la homogeneidad entre los tratamientos se comprobó mediante la prueba Levene, obteniéndose un valor de $p = 0,428$, superior al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, evidenciando homogeneidad.

Figura 16

Homogeneidad de Rendimiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	2,143	1,071	0,88	0,428
Error	27	32,982	1,222		
Total	29	35,125			

Para determinar si el rendimiento (kg/planta) difiere en función del tratamiento aplicado (T1, T2 y T3), se realizó un ANOVA de un solo factor con nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Tabla 21

Análisis de Varianza para rendimiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	184,16	92,078	29,33	0,001
Error	27	84,76	3,139		
Total	29	268,92			

El análisis evidenció diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($F = 29,33$; $p < 0,001$), por lo que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias. En cuanto a los promedios, el tratamiento T2 (químico) presentó el mayor rendimiento con 13,792 kg, seguido por T1 (orgánico) con 11,736 kg, mientras que T3 (control) registró el menor rendimiento con 7,819 kg.

Tabla 22

Tabla Tukey para rendimiento

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T2	10	13,792	A
T1	10	11,736	B
T3	10	7,819	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La prueba de Tukey (95%) post hoc agrupó los tratamientos en tres grupos diferentes (T2 = A; T1 = B; T3 = C), por lo que corroboraba que los tres tratamientos son diferentes en cuanto a la producción generada. Así, en las condiciones de ensayo, el tratamiento químico se posicionó como el que obtenía

un mayor rendimiento, el orgánico fue considerado intermedio, y el control fue el que presentó un menor rendimiento productivo.

Discusión

Interpretación general del efecto de los tratamientos

El análisis estadístico evidenció un comportamiento consistente del cultivo frente a los tratamientos aplicados. En la evaluación inicial de altura (0 meses) no se detectaron diferencias entre tratamientos, lo cual confirma que las plantas partieron en condiciones comparables y reduce la probabilidad de sesgo por diferencias de arranque. A partir de los 3 meses para altura y desde los 4 meses para circunferencia, el patrón se mantuvo estable en el tiempo: el tratamiento químico (T2) presentó los mayores valores promedio, seguido por el tratamiento orgánico (T1), mientras que el control (T3) registró los menores valores. Esta misma tendencia se reflejó en el rendimiento (peso del racimo), donde $T2 > T1 > T3$. En conjunto, los resultados respaldan que el aporte nutricional incide sobre el crecimiento vegetativo y la producción del cultivo, mientras que el control, al no recibir fertilización (solo control de malezas y deshoje), depende únicamente de la oferta natural del suelo y las condiciones ambientales.

Crecimiento en altura

La altura mostró una respuesta diferenciada a partir de los 3 meses, con separaciones bien definidas entre tratamientos. Bajo un punto de vista agronómico, ello puede asociarse a la disponibilidad de nutrientes y a la velocidad de la obtención de estos por parte de la planta. Las características de la fertilización química podríamos agruparlas en que aportan nutrientes solubles y utilizables en este sienponte, favoreciendo con ello los procesos de elongación del pseudotallo y de expansión foliar, especialmente en los estadios iniciales de desarrollo. El tratamiento orgánico (lixiviado) fue el que presentó un comportamiento intermedio, donde mejora el crecimiento frente al control, pero sin llegar a las dosis del químico. Esto es coherente con las fuentes orgánicas cuya liberación de nutrientes tiende a ser más lenta, dependiendo evidentemente de factores como humedad, temperatura, actividad microbiana o dinámica de mineralizaciones.

El hecho de que siempre el tratamiento orgánico supere al control es interesante, en tanto que podría señalar que el lixiviado que se aplicó por medio de aspersión foliar o por el contrario, podría haber favorecido el metabolismo vegetal de forma acumulativa durante el periodo de evaluación. El control, por su parte, mantuvo sus menores valores de altura, interpretándose como una limitación nutricional en consideración a no ser fertilizado.

Circunferencia del pseudotallo

La circunferencia del pseudotallo, medida a 80 cm del suelo, presentó diferencias claras entre tratamientos tanto a los 4 como a los 9 meses. Este indicador suele asociarse con el vigor estructural de la planta y su capacidad de sostener mayor biomasa y carga productiva. El mayor engrosamiento observado en el tratamiento químico puede interpretarse como respuesta a una nutrición más disponible y eficiente para el desarrollo del pseudotallo. El tratamiento orgánico mostró nuevamente un comportamiento intermedio, y el control registró el menor valor.

A su vez, el incremento de la circunferencia en los tres tratamientos desde los 4 hasta los 9 meses corroboran que el crecimiento estructural se agudiza con el tiempo, y pese que la continuidad del patrón $T2 > T1 > T3$ indicaba que el efecto del tratamiento no fue transcendental, sino que tuvo permanencia, concibiéndose en una variable que normalmente tiende a tener relación a estabilidad, vigor y potencial productivo del cultivo.

Rendimiento (peso del racimo)

El rendimiento, este medido como peso del racimo por planta, también mostró diferencias entre tratamientos bajo el mismo patrón observado en crecimiento, lo cual es lógico porque el rendimiento final suele estar condicionado por el estado vegetativo previo (la altura y la circunferencia), dado que una planta con más vigor suele tener mejor capacidad de asimilación y transporte de nutrientes, lo cual favorece la formación y el llenado del racimo.

Un aspecto de relevancia del ensayo es que la cosecha se llevó a cabo entre los 11 y 13 meses post siembra, lo cual concuerda con el ciclo productivo

convencional del cultivo en condiciones de campo. El hecho de que las diferencias persista en esta fecha también indica que el manejo nutritivo ha tenido efecto no solamente en el desarrollo vegetativo, sino que incluso también en el ciclo productivo. Pese a que el tratamiento químico fue el que presentó mayor rendimiento, el tratamiento orgánico finalizó con un rendimiento superior al control, lo cual indica un efecto productivo asociado al lixiviado. Esto es especialmente relevante considerando que el control no recibió fertilización y solo tuvo manejo cultural (control de malezas y deshoje), por lo que su desempeño depende de la fertilidad natural del suelo.

Enfoque de sostenibilidad y viabilidad económica del lixiviado

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el uso del lixiviado elaborado a partir de raquis de plátano representa una estrategia de aprovechamiento de residuos agrícolas generados dentro de la misma finca. Este método es coherente con los principios de la economía circular, pues convierte un material desechable en un recurso útil para el cultivo, lo que reduce la necesidad de disposición externa y disminuye los efectos negativos sobre el medio ambiente relacionados con la acumulación o descomposición incontrolada del residuo.

Desde el punto de vista económico, a pesar de que el tratamiento químico tuvo el mejor rendimiento, se podrían tener beneficios del tratamiento orgánico si se tiene en cuenta el costo relativo del insumo. El lixiviado necesita principalmente tiempo de elaboración y mano de obra, pero emplea materia prima que se encuentra en la localidad y a bajo costo directo. Por otro lado, los fertilizantes químicos requieren un desembolso de dinero periódico y su costo puede fluctuar en función del mercado y la disponibilidad. Por lo tanto, aunque la magnitud de la respuesta orgánica no sea mayor que la química, puede ser factible su empleo como complemento o como opción parcial, sobre todo en sistemas de producción que persiguen disminuir los costos de insumos y optimizar la sostenibilidad de la gestión.

A su vez, la capacidad de obtener un lixiviado con un efecto que consistentemente haya superado al testigo hace pensar que puede existir un margen de mejora de uso del lixiviado (dosis, frecuencia, combinación con

manejo al suelo u conjunción con otras fuentes orgánicas) que permita incrementar su capacidad de eficacia y acercar su rendimiento al que la fertilización química tiene.

Conclusiones

En primer lugar, se logró elaborar un fertilizante orgánico en forma de lixiviado a partir de residuos vegetales de la familia *Musaceae*, específicamente raquis de plátano barraganete (Hartón), mediante un proceso de lixiviación natural. Este resultado confirma la factibilidad técnica de transformar un subproducto agrícola generado en la finca en un insumo aprovechable, lo cual aporta valor al residuo y abre la posibilidad de integrarlo en estrategias de manejo más sostenibles y con menor dependencia de insumos externos.

La implementación de los tratamientos se llevó a cabo con un manejo uniforme en las parcelas experimentales, aplicando la misma dosis y frecuencia de aplicación y condiciones de campo similares. Esto posibilitó el análisis del comportamiento del cultivo ante una fertilización orgánica, una fertilización química y la falta de fertilización. En este sentido, el diseño y la realización del ensayo posibilitaron notar distinciones que se pueden atribuir al tratamiento que se utilizó, manteniendo control sobre prácticas culturales generales como el deshoje y la gestión de malezas, las cuales se llevaron a cabo de forma parecida en toda el área estudiada.

Respecto al crecimiento vegetativo, la altura de las plantas no mostró variaciones estadísticas al comienzo del ensayo (0 meses), lo que demuestra que las unidades experimentales comenzaron en condiciones uniformes. No obstante, desde los 3 meses y de manera constante en las evaluaciones a los 6 y 9 meses, el análisis inferencial (ANOVA) reveló diferencias significativas entre tratamientos, confirmadas por Tukey. Se observó un patrón de respuesta estable a lo largo del tiempo: el tratamiento químico (T2) mostró las mayores altitudes promedio, seguido del orgánico (T1), mientras que el control (T3) mostró la menor tasa de crecimiento. Esto demuestra que el aporte nutricional influye de forma directa sobre la dinámica de crecimiento del cultivo.

De un modo similar, la circunferencia del pseudotallo medida a 80 cm del suelo también mostró diferencias significativas al ser analizada entre los tratamientos a los 4 y a los 9 meses de edad. Se observó una respuesta que mantuvo el mismo orden de los tratamientos ($T2 > T1 > T3$), lo que demuestra que la

fertilización no solo afecta el crecimiento en altura, sino que también afecta el desarrollo estructural del pseudotallo (un indicador del vigor de la planta y de su capacidad de llevar a cabo su crecimiento productivo).

En lo que concierne al rendimiento que se determina atendiendo al peso en kg del racimo por planta cuando se efectúa la cosecha, los resultados evidencian una diferencia estadística entre tratamientos realizados ($p < 0,001$). El tratamiento químico mostró el mayor rendimiento medio, el tratamiento orgánico intermedio y el control el menor, evidenciando que la fertilización hace incrementar la productividad del cultivo respecto a la no fertilización. Si se considera que la etapa de cosecha tuvo lugar entre los 11 y 13 meses de siembra, es posible concluir que el efecto del manejo nutricional se perpetúa hasta la etapa productiva, traduciéndose a la postre en el peso del racimo.

En pocas palabras, los resultados confirman la hipótesis planteada en el inicio: la aplicación del fertilizante orgánico elaborado a partir de residuos de Musaceae origina diferencias en lo que respecta al crecimiento y al rendimiento del cultivo respecto a la no fertilización, aunque con las condiciones evaluadas el tratamiento químico fue el que obtuvo el mejor rendimiento. Aun así, el tratamiento orgánico mostró mejoras constantes respecto al control, lo que acredita su potencial como alternativa sostenible o como complemento en el manejo del cultivo.

Recomendaciones

- No se tiene que concebir el lixiviado orgánico como un sustituto total del fertilizante químico, sino como un complemento o alternativa válida ante la falta de fertilización. Por otra parte, para garantizar la reproducibilidad de los resultados, se tiene que estandarizar el método de producción enfatizando en un protocolo que defina el tipo de residuos, la talla de corte, el volumen del tanque, el tiempo de lixiviación y las condiciones de almacenamiento de los lixiviados producidos.
- Sería favorable optimizar las dosis y frecuencias de aplicación probando diferentes niveles para obtener el máximo de lixiviado en función del rendimiento agronómico del cultivo. También sería atractivo evaluar un tratamiento mixto que combine el fertilizante orgánico con una reducción parcial del fertilizante químico buscando el equilibrio entre la producción y la sostenibilidad. Para poder profundizar en la interpretación agronómica del cultivo, sería adecuado incluir análisis de suelo y tejido vegetal que permitan poner en relación el desarrollo del cultivo con la disponibilidad real de nutrientes.
- Desde la vertiente económica, se tendría que tener en cuenta los costes de insumos, la disponibilidad de residuos en la finca y la necesidad de mano de obra para concretar la viabilidad real del lixiviado. Volviendo a la perspectiva operacional, si el agricultor busca producción el fertilizante químico sería la opción más válida, si quiere recortar costes y aprovechar los residuos el lixiviado es una opción más sostenible, y si tras buscar el equilibrio entre producción y sostenibilidad la opción más válida sería la aplicación mixta, aunque es interesante ser validada en futuras pruebas experimentales.

Bibliografía

- Altieri, M., & Nicholls, C. I. (2000). Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable (1.^a ed.). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente / Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.
- Arévalo, G. (2011). Fertilización y enmienda. Biblioteca Digital Zamorano.
- Bermeo, K. (2021). Efecto de abonos orgánicos sobre la producción en el cultivo de plátano dominico (*Musa spp.*) en la zona de Valencia [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453.
- Bohórquez, W. (2019). El proceso de compostaje (1.^a ed.). Unisalle.
- Bresson, L. M., Coch, C., Bissonais, L., et al. (2001). Soil surface structure by municipal waste compost application. *Soil Science Society of America Journal*.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson.
- Castañó, A., Aristizábal, M., & González, H. (2012). Requerimientos hídricos del plátano dominico káton (*Musa ABB Simmonds*) en la región Santágueda (Palestina, Caldas). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15(2), 331–338.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). (2002). Guía técnica: Cultivo de plátano.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”). (2018). Guía técnica: Cultivo del plátano (*Musa paradisiaca*).

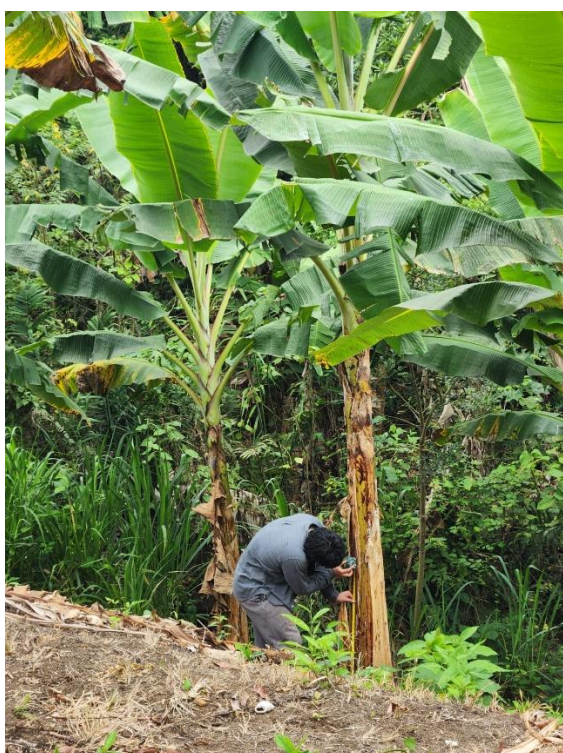
- Delgado, D. (2014). Estudio comparativo del rendimiento del plátano barraganete vs plátano dominico [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].
- Enríquez, G. (2022). Manual de buenas prácticas para la elaboración de abonos orgánicos. IICA.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). FAO's work on agroecology: A pathway to achieving the SDGs. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Propiedades biológicas del suelo.
- Foxen, P. (2009). Eficiencia de uso de nutrientes en el contexto de agricultura sostenible. En XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo (pp. 1–10).
- García, C., & Félix, J. (2014). Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales. Fundación Produce Sinaloa.
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management (8th ed.). Pearson.
- Hillel, D. (2000). Environmental soil physics. Academic Press.
- International Fertilizer Association (IFA). (1992). Fertilizantes y su uso. IFA.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2020). Módulo de Información Ambiental y Tecnificación Agropecuaria (ESPAC 2020): Principales resultados.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2020). Banano, plátano y otras musáceas.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). Applied linear statistical models (5th ed.). McGraw-Hill/Irwin.
- Martínez, C. (1995). Potencial de la lombricultura: elementos básicos para su desarrollo. Lombricultura Técnica Mexicana.

- Mejía, G. (2018). Cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*). CENTA.
- Mendoza, C. (2023). Efecto de la aplicación de dos fertilizantes edáficos y tres fertilizantes foliares sobre la producción y rentabilidad del cultivo de banano (*Musa AAA*) en el cantón Baba [Tesis, Universidad Técnica de Ambato].
- Mikha, M. M., & Rice, C. W. (2004). Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen.
- Mosquera, B. (2010). Abonos orgánicos: Protegen el suelo y garantizan alimentación sana. FONAG.
- Natan, P. (2020). Manual de compostaje domiciliario. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires (OPDS).
- Narváez, A., & Espinoza, D. (2023). Análisis comparativo entre los sistemas de producción de banano orgánico y convencional en El Oro, Ecuador [Trabajo/Tesis, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano].
- Obaisi, A., & [autor no especificado]. (2022). Natural resource management and sustainable agriculture.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction. FAO.
- Pahalvi, H., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. (2021). Fertilizantes químicos y su impacto en la salud del suelo. En *Microbiota y biofertilizantes* (pp. 1–20). Springer.
- Picado, J., & Añosco, A. (2005). Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos. CEDECO.
- Ploetz, R. C. (2015). Fusarium wilt of banana. *Phytopathology*, 105(12), 1512–1521.
- ProMusa. (s. f.). Banana plant morphology / plant parts (raquis, pseudotallo, etc.).

- Ramos, V., Aguilera, A., & Ochoa, E. (2016). Residuos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para obtener pectinas útiles en la industria alimentaria. *Revista de Simulación y Laboratorio*, 3(9), 22–29.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. FAO.
- Salazar, A., Vidal, J., & Vela, M. (2021). Producción orgánica: Abonos orgánicos. AECID.
- Santana-Méridas, O., González-Coloma, A., & Sánchez-Vioque, R. (2012). Agricultural residues as a source of bioactive natural products. *Phytochemistry Reviews*, 11, 447–466.
- Stover, R. H., & Simmonds, N. W. (1987). Bananas. Longman Scientific & Technical; John Wiley & Sons.
- Tobes, M. P. (2024). Upcycling the banana industry in Ecuador: A methodology to estimate biowaste and catalogue of bioproducts. Centro de Investigación de la Biodiversidad y Cambio Climático (BioCamb).
- Tomalá, F. (2023). Importancia de la materia orgánica (M.O.) en plantaciones comerciales de banano en Ecuador [Tesis, Universidad Técnica de Babahoyo].
- UGRA. (2018). Ficha de inteligencia: Banano tipo exportación. Finagro.
- Vázquez, F., Ordoñez, A., Escobar, R., Berdeja, R., & Vázquez, J. (2020). Influencia de dosis de lixiviado de raquis de plátano en la producción de brócoli bajo sistema protegido. *Ciencia Universitaria en Plantas y Animales*.

Anexos

Mediciones





Obteniendo pesos para rendimiento



Proceso para obtención del abono orgánico



Datos de altura T1

Datos altura de tratamiento de fertilizante orgánico					
Planta	Altura 0 meses (m)	Altura 3 meses (m)	Altura 6 meses (m)	Altura 9 meses (m)	Observaciones (plaga, daño, clima, etc.)
T1-P01	0,05	0,74	1,81	2,96	
T1-P02	0,06	0,74	1,9	2,55	
T1-P03	0,1	0,7	1,78	2,40	
T1-P04	0,03	0,75	1,92	3,70	
T1-P05	0,08	0,63	1,43	2,20	
T1-P06	0,04	0,64	1,7	2,55	
T1-P07	0,09	0,62	1,69	2,50	
T1-P08	0,06	0,7	1,92	3,60	
T1-P09	0,05	0,68	1,78	2,95	
T1-P10	0,06	0,62	1,7	2,85	

Datos de altura T2

Datos altura de tratamiento de fertilizante químico				
Planta	0 meses (m)	3 meses	6 meses	9 meses (m)
T2-P01	0,05	0,96	2,5	3,85
T2-P02	0,06	0,95	2,42	3,75
T2-P03	0,05	0,96	2,4	3,75
T2-P04	0,03	0,94	2,41	3,70
T2-P05	0,1	0,9	2,35	3,60
T2-P06	0,01	0,88	2,26	3,40
T2-P07	0,05	0,86	2,15	3,35
T2-P08	0,05	0,85	2,19	3,35
T2-P09	0,08	0,85	2,2	3,32
T2-P10	0,1	0,9	2,14	3,20

Datos altura T3

Datos altura de tratamiento sin fertilizante				
Planta	0 meses (m)	3 meses (m)	6 meses (m)	9 meses (m)
T3-P01	0,05	0,55	1,43	2,2
T3-P02	0,05	0,53	1,4	2,1
T3-P03	0,02	0,53	1,38	2,12
T3-P04	0,1	0,5	1,3	2,12
T3-P05	0,05	0,5	1,3	2,1
T3-P06	0,08	0,48	1,32	1,9
T3-P07	0,04	0,49	1,25	1,8
T3-P08	0,08	0,51	1,05	1,78
T3-P09	0,09	0,35	1	1,38
T3-P10	0,1	0,31	0,98	1,35

Datos de rendimiento

Tratamiento	Planta	Rendimiento (kg)
T1	T1-P01	14,82
T1	T1-P02	11,7
T1	T1-P03	15,2
T1	T1-P04	11,54
T1	T1-P05	11,2
T1	T1-P06	11,1
T1	T1-P07	10,9
T1	T1-P08	10,4
T1	T1-P09	10,25
T1	T1-P10	10,25
T2	T2-P01	16,3
T2	T2-P02	14,95
T2	T2-P03	14,3
T2	T2-P04	14,2
T2	T2-P05	13,95
T2	T2-P06	13,63
T2	T2-P07	13,4
T2	T2-P08	12,95
T2	T2-P09	12,14
T2	T2-P10	12,1
T3	T3-P01	10,15
T3	T3-P02	9,4
T3	T3-P03	9,05
T3	T3-P04	8,7
T3	T3-P05	8,4
T3	T3-P06	8,01
T3	T3-P07	9,03
T3	T3-P08	7,4
T3	T3-P09	4,15
T3	T3-P10	3,9

Datos de circunferencia

Tratamiento	Planta	Tiempo	Circunferencia (m)
T1	T1-P01	4m	0,2
T1	T1-P01	9m	0,54
T1	T1-P02	4m	0,23
T1	T1-P02	9m	0,52
T1	T1-P03	4m	0,18
T1	T1-P03	9m	0,48
T1	T1-P04	4m	0,19
T1	T1-P04	9m	0,48
T1	T1-P05	4m	0,155
T1	T1-P05	9m	0,4
T1	T1-P06	4m	0,18
T1	T1-P06	9m	0,48
T1	T1-P07	4m	0,21
T1	T1-P07	9m	0,55
T1	T1-P08	4m	0,19
T1	T1-P08	9m	0,49
T1	T1-P09	4m	0,18
T1	T1-P09	9m	0,49
T1	T1-P10	4m	0,14
T1	T1-P10	9m	0,42
T2	T2-P01	4m	0,24
T2	T2-P01	9m	0,65
T2	T2-P02	4m	0,22
T2	T2-P02	9m	0,56
T2	T2-P03	4m	0,23
T2	T2-P03	9m	0,6
T2	T2-P04	4m	0,232
T2	T2-P04	9m	0,61
T2	T2-P05	4m	0,217
T2	T2-P05	9m	0,63
T2	T2-P06	4m	0,21
T2	T2-P06	9m	0,5
T2	T2-P07	4m	0,2
T2	T2-P07	9m	0,6
T2	T2-P08	4m	0,23
T2	T2-P08	9m	0,54
T2	T2-P09	4m	0,25
T2	T2-P09	9m	0,61
T2	T2-P10	4m	0,21
T2	T2-P10	9m	0,51
T3	T3-P01	4m	0,15
T3	T3-P01	9m	0,42
T3	T3-P02	4m	0,18
T3	T3-P02	9m	0,53
T3	T3-P03	4m	0,13
T3	T3-P03	9m	0,38
T3	T3-P04	4m	0,14
T3	T3-P04	9m	0,4
T3	T3-P05	4m	0,15
T3	T3-P05	9m	0,37
T3	T3-P06	4m	0,16
T3	T3-P06	9m	0,39
T3	T3-P07	4m	0,15
T3	T3-P07	9m	0,34
T3	T3-P08	4m	0,13
T3	T3-P08	9m	0,35
T3	T3-P09	4m	0,15
T3	T3-P09	9m	0,36
T3	T3-P10	4m	0,19
T3	T3-P10	9m	0,4

Resultados de Minitab (rendimiento)

RENDIMIENTO KG DE TRATAMIENTOS

ANOVA de un solo factor: Rendimiento (kg) vs. Tratamiento

Método

Hipótesis nula: Todos las medias son iguales
Hipótesis alterna: No todas las medias son iguales
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupone igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Tratamiento	3	T1, T2, T3

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC	Ajust.	MC	Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	184.16	92.078		29.33	0.000	
Error	27	84.76			3.139		
Total	29	268.92					

Resumen del modelo

	S R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	R-cuadrado (pred.)
	1.77184	68.48%	66.14%

Medias

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
T1	10	11.736	1.799	(10.586; 12.886)
T2	10	13.792	1.272	(12.642; 14.942)
T3	10	7.819	2.136	(6.669; 8.969)

Desv.Est. agrupado = 1.77184

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T2	10	13.792	A
T1	10	11.736	B
T3	10	7.819	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de IC de 95%	Valor T ajustado	Valor p
T2 - T1	2.056	0.792 (0.089; 4.023)	2.59	0.039
T3 - T1	-3.917	0.792 (-5.884; -1.950)	-4.94	0.000
T3 - T2	-5.973	0.792 (-7.940; -4.006)	-7.54	0.000

Nivel de confianza individual = 98.04%

