



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**INFORME DE TRABAJO CURRICULAR
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**RENDIMIENTO Y EFICIENCIA AGRONÓMICA DE LA
FERTILIZACIÓN MAGNÉSICA EN PLÁTANO (*Musa AAB Simmonds*)**

AUTORES:

**ALCÍVAR MATOS FRANK BRUNO
MUÑOZ VERA LUIS FERNANDO**

TUTOR:

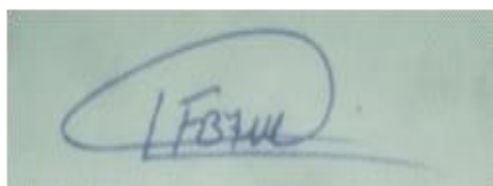
ING. GALO CEDEÑO GARCÍA. Mg.Sc.

CALCETA, NOVIEMBRE - 2022

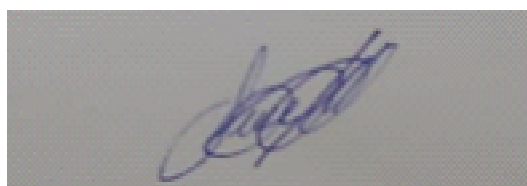
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Frank Bruno Alcívar Matos**, con cedula de ciudadanía **080401724-2** y **Luis Fernando Muñoz Vera**, con cedula de ciudadanía **135054390-4**, declaramos bajo juramento que el trabajo de Integración Curricular titulado: **Rendimiento Y Eficiencia Agronómica De La Fertilización Magnésica En Plátano (*Musa Aab Simmonds*)**, es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que dicha investigación se ha consultado con las referencias bibliográficas que se encuentran en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, observando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de los autores sobre la obra en conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los conocimientos, de actividad e innovación.



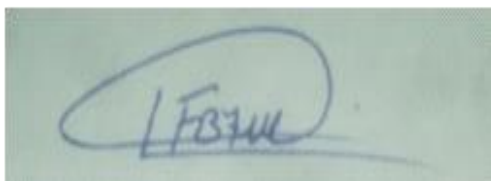
FRANK B. ALCÍVAR MATOS
080401724-2



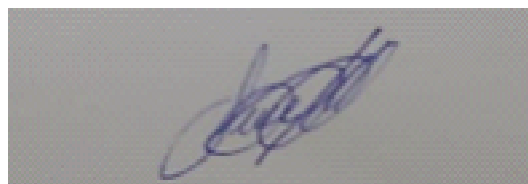
LUIS F. MUÑOZ VERA
135054390-4

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Frank Bruno Alcívar Matos con cedula de ciudadanía **080401724-2** y **Luis Fernando Muñoz Vera** con cedula de ciudadanía **135054390-4**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix López, la publicación en la Biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **Rendimiento Y Eficiencia Agronómica De La Fertilización Magnésica En Plátano (*Musa Aab Simmonds*)**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



FRANK B. ALCÍVAR MATOS
080401724-2



LUIS F. MUÑOZ VERA
135054390-4

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. Cedeño García Galo, Mg. certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **Rendimiento Y Eficiencia Agronómica De La Fertilización Magnesica En Plátano (*Musa Aab Simmonds*)**, que ha sido desarrollada por **Frank Bruno Alcívar Matos y Luis Fernando Muñoz Vera**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL DE PROGRAMAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. Cedeño García Galo, Mg
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **RENDIMIENTO Y EFICIENCIA AGRONÓMICA DE LA FERTILIZACIÓN MAGNÉSICA EN PLÁTANO (*Musa Aab Simmonds*)**, que ha sido desarrollado por **FRANK BRUNO ALCÍVAR MATOS Y LUIS FERNANDO MUÑOZ VERA**, previa la obtención del título de **INGENIERO AGRÍCOLA**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. FREDDY MESÍAS GALLO
CC:1202028492
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. LUIS PÁRRAGA MUÑOZ
CC: 1303530552
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ING. GONZALO CONSTANTE TUBAY, MG.
CC:1304579988
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Feliz López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día;

A Dios ese ser supremo que me dio la oportunidad de emprender este camino universitario, permitiéndome gozar de salud y sabiduría para adquirir conocimientos que mejoren mi capacidad intelectual y técnica, para mi vida profesional.

A mi familia, como eje principal mi madre, quien con mucho amor y sacrificio logro que mi desarrollo profesional sea constante, a mis hermanos, demás familiares y amigos que de alguna manera han sabido apoyarme y estar presente.

A mi amiga, mi gran amiga, mi amante niña, mi compañera, tu quien ha sido mi apoyo en días de tormenta, mi regocijo, mi paz, mi armonía y mi felicidad, gracias por todo mi Ing. Bélgica Mercedes García Moreira, tu confianza, amor y paciencia que te hacen merecedora también de este logro.

Y a cada uno de los docentes que compartieron gran parte de sus experiencias y conocimientos que fueron parte principal de mi formación profesional.

FRANK B. ALCÍVAR MATOS

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, que me dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

A mi madre por su amor, trabajo y sacrificio, gracias a ella he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A Cristina Pilar López Alcívar, que estuvo brindándome todo su apoyo incondicional siempre con una palabra de superación, a través de sus consejos, de su amor, y paciencia me ayudo a concluir esta meta.

También le quiero dar las gracias a mi tutor al ING. Cedeño García Galo, Mg. por todo su conocimiento, su paciencia, dedicación, criterio y aliento, en el trascurso de esta investigación.

Y a todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron sus puertas y me compartieron sus conocimientos.

LUIS F. MUÑOZ VERA

DEDICATORIA

Este Trabajo de Integración Curricular es para quienes deseen adquirir conocimientos basados en hechos y experiencias de campo, es dedicado a la nueva era que se desarrollara de forma más tecnológica y permitirá tener una base para la mejora de la producción agrícola.

FRANK B. ALCÍVAR MATOS

DEDICATORIA

Esto se lo dedico primero Dios, por darme la vida y estar siempre conmigo guiándome en mi camino.

Gracias a mi madre, orgullosamente y con la cara muy en alto agradezco a Lethy Marilú Vera Álava por ser mi mayor inspiración, por ser la principal promotora de este logro, por confiar y creer en mis expectativas, por sus consejos, por sus valores y principios que me han inculcado y gracias a ella he concluido con mi mayor meta.

Y también a todas esas personas que dios me puso en el transcurso de mi carrera.

LUIS F. MUÑOZ VERA

CONTENIDO GENERAL

CARÁTULA _____	i
DERECHO DE AUTORÍA _____	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN _____	iii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR _____	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL _____	v
AGRADECIMIENTO _____	vi
AGRADECIMIENTO _____	vii
DEDICATORIA _____	viii
DEDICATORIA _____	ix
CONTENIDO GENERAL _____	x
CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS _____	xi
RESUMEN _____	xiii
ABSTRACT _____	xiv
CAPITULO I. ANTECEDENTES _____	15
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA _____	15
1.2. JUSTIFICACIÓN _____	16
1.3. OBJETIVOS _____	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL _____	16
1.4. HIPÓTESIS _____	17
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO _____	18
2.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DEL PLÁTANO A NIVEL MUNDIAL, REGIONAL Y LOCAL _____	18
2.2. ECOFISIOLOGÍA Y NUTRICIÓN DEL PLÁTANO EN LOS TRÓPICOS _____	19
2.2.1. CLASIFICACIÓN BIOQUÍMICA DE LA ESPECIE _____	19
2.2.2. FACTORES ASOCIADOS CON PRODUCTIVIDAD _____	20
2.2.3. FOTOSÍNTESIS DE LA COMUNIDAD _____	21
2.3. USO EFICIENTE DE NUTRIENTES _____	22
2.3.1. 4 R DEL MANEJO EFICIENTE DE LOS NUTRIENTES _____	23
2.4. DINÁMICA DEL MAGNESIO EN EL SUELO Y LAS PLANTAS _____	24
2.4.1. FERTILIZANTES DE MAGNESIO _____	25
2.4.2. SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DEL MAGNECIO EN LA PLANTA _____	26
2.5. DEFICIENCIA MAGNÉSICA EN MUSÁCEAS _____	26

CAPITULO III. DESARROLLO METODOLOGICO _____	28
3.1. UBICACIÓN _____	28
3.3. DURACIÓN _____	29
3.5. TRATAMIENTOS _____	29
3.6. DISEÑO Y UNIDAD EXPERIMENTAL _____	29
3.7. VARIABLES _____	30
3.8. ANÁLISIS DE DATOS _____	31
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	32
4.1.1. COMPONENTES DE CRECIMIENTO DEL PLÁTANO _____	32
4.1.2. COMPONENTES DE RENDIMIENTO DEL PLÁTANO _____	33
4.1.3. EFICIENCIA AGRONÓMICA Y BENEFICIO ECONÓMICO NETO DE LA FERTILIZACIÓN MAGNÉSICA _____	35
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____	40
BIBLIOGRAFÍA _____	41
ANEXOS _____	47

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

Tabla 2.1. Captación de la luz y concentración de clorofila en hojas Dominico– Hartón en tres densidades de siembra.	22
Tabla 2.2. Efecto de las altas densidades de siembra sobre los parámetros de crecimiento y rendimientos.	22
Tabla 3.1. Datos del análisis químico del suelo	28
Tabla 3.2. Datos del análisis químico del suelo	28
Tabla 3.3. Diseño experimental.....	29
Tabla 4.1. Efecto de varios niveles de MgO sobre los componentes de crecimiento del plátano Dominico-Hartón.....	32
Tabla 4.2. Efecto de varios niveles de MgO sobre los componentes de rendimiento del plátano Dominico-Hartón.....	33
Figura 1. Efecto de varios niveles de MgO sobre el peso del racimo del plátano Dominico-Hartón.....	34
Figura 2. Efecto de varios niveles de MgO sobre el rendimiento del plátano Dominico-Hartón	35
Figura 3. Eficiencia agronómica de tres dosis de MgO en plátano cv. Dominico – Hartón ..	36

- Figura 4.** Intersección del punto óptimo de aprovechamiento de la fertilización, en función del rendimiento de fruta y eficiencia agronómica de MgO.....38
- Figura 5.** Intersección del punto óptimo de aprovechamiento de la fertilización, en función del beneficio económico neto (BEN) y eficiencia agronómica de MgO.....38

RESUMEN

El Magnesio es un nutriente clave para potenciar el rendimiento del cultivo de plátano, más aún en suelos con desequilibrios de bases, donde recurrentemente se manifiestan deficiencias, lo cual repercute negativamente en el rendimiento. El objetivo principal de la investigación fue evaluar el rendimiento y la eficiencia agronómica de la fertilización magnésica en plátano. Se evaluaron tres niveles de MgO (30, 60 y 90 kg ha⁻¹), más un tratamiento con omisión de MgO. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos, cinco replicas y 20 unidades experimentales. Las principales variables registradas fueron rendimiento de fruta - RF (kg ha⁻¹), eficiencia agronómica de MgO – EA MgO (kg de fruta kg⁻¹ de MgO aplicado) y beneficio económico neto - BEN (USD ha⁻¹). El RF y EA MgO fueron influenciados significativamente (<0.05) por los tratamientos evaluados. El RF fue incrementado en un 4.91, 7.09 y 8.31%, sobre el tratamiento de omisión MgO, con las dosis de 30, 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹, respectivamente. La EA MgO mostró un comportamiento inversamente proporcional con el aumento de las dosis. El mayor BEN fue alcanzado por la dosis de 60 kg MgO ha⁻¹, con 408 USD ha⁻¹. Desde un punto de equilibrio las dosis adecuadas de MgO para el cultivo de plátano, se ubican entre los 30 y 45 kg de MgO ha⁻¹, por lo que sería conveniente en estudios futuros determinar las dosis óptima entre estos intervalos.

PALABRAS CLAVE

Musa AAB, fertilización, productividad, eficiencia de MgO, rentabilidad

ABSTRACT

Magnesium is a key nutrient to enhance the yield of the plantain crop, even more so in soils with base imbalances, where deficiencies are recurrently manifested, which has a negative impact on yield. The aim of the research was to evaluate the yield and agronomic efficiency of magnesium fertilization in plantain. Three level of MgO (30, 60 and 90 kg ha⁻¹) plus a treatment with omission of MgO were evaluated. A randomized complete block design was used, with four treatments, five replicates and 20 experimental units. The main variables recorded were fruit yield - FY (kg ha⁻¹), agronomic efficiency of MgO - AE MgO (kg of fruit kg⁻¹ of applied MgO) and net economic benefit - NEB (USD ha⁻¹). The FY and AE MgO were significantly influenced (<0.05) by the treatments evaluated. The FY was increased by 4.91, 7.09 and 8.31%, over the MgO omission treatment, with the doses of 30, 60 and 90 kg of MgO ha⁻¹, respectively. The AE MgO showed an inversely proportional behavior with the increase of the doses. The highest NEB was reached by the dose of 60 kg MgO ha⁻¹, with 408 USD ha⁻¹. From an equilibrium point, the adequate doses of MgO for the banana crop are between 30 and 45 kg of MgO ha⁻¹, so it would be convenient in future studies to determine the optimal doses between these intervals.

KEY WORDS.

Musa AAB, fertilization, productivity, MgO efficiency, profitability

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El cultivo de plátano (*Musa AAB Simmonds*) es un importante rubro agrícola para el país en términos social, económico y de seguridad alimentaria (Paz y Pesantes, 2013), puesto que según datos oficiales el 79% de la producción se consume a nivel local, y únicamente el 21% se destina a exportación, lo cual genera empleo para 118.587 personas, y divisas para el país (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG, 2017]). En el mercado local el plátano se comercializa por racimos, donde el tamaño es determinante para lograr mejores beneficios económicos; por el contrario, para fines de exportación la comercialización se realiza por cajas de 23 kg, donde el tamaño y calidad de la fruta debe cumplir los estándares establecidos por el mercado internacional (Beltrón et al. 2018; Ponce et al. 2018).

La mayor área cultivada con plátano se desarrolla bajo sistema de secano, dado que según datos oficiales únicamente el 32% de los cultivos permanentes tienen cuentan con riego complementario (MAG, 2017; Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC, 2017]). Este hecho denota una de las principales problemáticas causantes del bajo rendimiento del cultivo que en promedio es de 7,68 Mg ha⁻¹ año⁻¹, en relación a otros países productores de la región latinoamericana que superan las 20 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (MAG, 2017; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, 2018]). De acuerdo a estudios de fertilidad de suelo realizados por Motato y Pincay (2015), gran parte de suelos de Manabí, se caracterizan por tener desequilibrio de bases intercambiables, niveles bajos de MO, y de algunos macro y micronutrientes, razón por la cual se limita aún más el rendimiento del cultivo.

En este contexto, el desequilibrio de nutrientes provocado por la fertilización excesiva o exceso de bases como Ca y K en el suelo puede inducir deficiencias de Mg, lo cual perjudica negativamente la productividad de los cultivos (Yan y Hou, 2018), dado que este elemento interviene en formación de ATP en los cloroplastos, fijación de CO₂ durante la fotosíntesis, síntesis de proteínas, formación de clorofila, transporte y distribución de fotoasimilados; por lo que muchos procesos fisiológicos y bioquímicos en las plantas se ven seriamente afectados con la deficiencia del nutriente ocasionando un pobre crecimiento y rendimiento (Cakmak y Yazici, 2010; Wang et

al., 2020). En este sentido, investigaciones recientes han demostrado que una fertilización adecuada con Mg mejoró significativamente el rendimiento y la calidad de fruta en banano (Zhang et al., 2020).

En este contexto, al ser el Mg un elemento clave en la producción del plátano y al ser conocido que gran parte de los suelos de Manabí presentan desequilibrio de nutrientes que pueden afectar la disponibilidad de Mg para el cultivo, la investigación en fertilización magnésica se vuelve un tema pertinente para contribuir a mejorar el rendimiento del cultivo, por lo que surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Puede la fertilización magnésica eficiente mejorar el rendimiento del cultivo de plátano?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Considerando que la mayor parte de suelos de Manabí donde se cultiva plátano y otros cultivos, tienen desequilibrio de nutrientes básicos, y que el Mg se hace deficiente con altos contenidos de Ca y K, es necesario evaluar alternativas de fertilización magnésica con el fin de establecer niveles de fertilización óptimos agronómicos y económicos en plátano, más aún cuando a nivel local no se ha generado información técnica de fertilización magnésica para este cultivo que permita al agricultor tomar decisiones acertadas para el manejo adecuado de la nutrición del cultivo y así obtener mejores rendimientos de fruta e ingresos económicos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el rendimiento y la eficiencia agronómica de la fertilización magnésica en plátano.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar la eficiencia agronómica de tres niveles de magnesio en plátano
- Determinar la dosis optima agronómica y económica de magnesio en plátano

1.4. HIPÓTESIS

La eficiencia agronómica y rendimiento del plátano varía con las dosis de Magnesio probadas.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DEL PLÁTANO A NIVEL MUNDIAL, REGIONAL Y LOCAL

El plátano (*Musa acuminata x balbisiana AAB*) es un cultivo de valiosa importancia para la alimentación a nivel global, nacional y local, ya que es uno de los productos que por cultura, se consume diariamente, lo que ha hecho que se convierta en uno de los rubros de exportación más significativo de las distintas economías, generando sustanciales fuentes de empleo (Ulloa, 2015). Ante este importante papel que tiene la producción del plátano, se impera necesario que con el pasar del tiempo los productores apliquen técnicas y herramientas de producción que garanticen la calidad e inocuidad en sus procesos, brindando lo mejor a sus consumidores.

De acuerdo con datos de la FAO (2020), el 70.1% de la producción global de plátano es de África, mientras que América posee el segundo lugar con el 17.4%, en cuanto a este continente, los países que contribuyen a lograr este nivel de producción son Colombia, Perú, República Dominicana y Ecuador en cuarto lugar. Referente al comercio de este producto, conforme los datos de TradeMap (como se citó en Sepúlveda et al. 2017), Ecuador es el mayor exportador a nivel mundial, con 97 millones de dólares aproximadamente. Lo anterior permite deducir que, además de la importancia de la productividad platanera en Ecuador para quienes se dedican a esta actividad, también representa un rubro significativo en la generación de divisas.

El plátano es un producto que se vende mayormente en el mercado regional. Sin embargo, frente a los altos costes y la mediación en la cadena de suministro, además de sus materias primas, en muchos periodos de precios bajo como el invierno por la sobreproducción, ejercen presión para que los productores trabajen en la diferenciación de derivados para entrar en el mercado nacional, a través de asociaciones que respaldan a pequeños productores (Sepúlveda et al., 2017). De acuerdo con el análisis de Álvarez et al. (2020) el 32% del comercio mundial del plátano es representado por Ecuador, lo que genera beneficios para la economía de la nación, ya que genera fuentes de empleo y contribuye a elevar la calidad de vida, no obstante, los autores hacen referencia a que son los productores los que mayor

se esfuerzan, pero los que menos son retribuidos económicamente, puesto que son los intermediarios quienes se llevan una parte importante de la ganancia.

Profundizando en el rol del productor del plátano, para el desarrollo de sus actividades solo un poco más de la mitad reciben asistencias técnicas dadas por organismos públicos y privados; en cuanto a las actividades de cultivo y comercio, los productores contratan mano de obra de personal joven, familiares y allegados; por su parte, los recursos empleados del 73% de los agricultores son propios, mientras que el resto opta por financiamiento externo o la combinación de ambas opciones (León et al. 2015).

En Ecuador, el plátano no solo es un producto tradicional, sino también una divisa importante para el país, y se cosechan dos tipos principales de banano: dominico (producido mayormente en la provincia de Guayas y Los Ríos) y barraganete (se produce intensivamente en los cantones Santo Domingo y El Carmen) (Solano et al. 2022). Particularmente en Los Ríos, la producción anual de este cultivo es del 36% aproximadamente de la producción nacional, esta provincia forma parte del denominado triángulo platanero del Ecuador, junto con Manabí y Santo Domingo (Álvarez et al. 2020).

2.2. ECOFISIOLOGÍA Y NUTRICIÓN DEL PLÁTANO EN LOS TRÓPICOS

2.2.1. CLASIFICACIÓN BIOQUÍMICA DE LA ESPECIE

Se expone lo manifestado por Barrera et al. (2011):

El plátano de acuerdo al manejo particular del CO₂, se clasifica en el grupo de las plantas C⁻³, esto es, el primer compuesto fijado en el proceso fotosintético, tiene tres carbonos, predominando el ciclo de Calvin. La vía de Hatch Slack, propia de especies C⁻⁴, muestra un grado bajo de actividad. La enzima involucrada en la carboxilación primaria, ribulosa 1,5-bifosfato carboxilasa, es también oxigenasa. A medida que aumenta la concentración de oxígeno, una proporción creciente del CO₂ fijado se canaliza por la vía del glioxilato, el cual proporciona los sustratos para la foto respiración y para otras síntesis. (p.10)

2.2.2. FACTORES ASOCIADOS CON PRODUCTIVIDAD

2.2.2.1. RADIACIÓN SOLAR

De acuerdo con Guzmán et al. (2015) la radiación solar no se da en un flujo continuo, pese a que dispone de cantidades ilimitadas, lo que genera que por la interceptación lumínica y la densidad de la población, este recurso se modifique tanto en cantidad y calidad. Por su parte, Estrada (2017) menciona que la luz natural en el trópico es suficiente para el cultivo del plátano, sin embargo, la radiación solar es un factor importante para el desarrollo de yemas o brotes laterales, debido a lo cual, las distancias entre siembras deben ser amplias para evitar la afectación en el crecimiento y la prolongación en el ciclo de vegetación. En concordancia con lo expuesto por Salisbury y Ross (1994, como se citó en Barrera et al. 2011), la radiación solar para la productividad del plátano se explica de la siguiente forma:

El plátano se siembra en condiciones muy variadas de radiación solar, desde regiones de gran nubosidad, $184 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$, hasta otras con irradiación promedio de $1500 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$. La irradiancia total es de 1360 W m^{-2} (constante solar) en límite superior de la atmósfera, y al considerar la distancia media entre la Tierra y el Sol, incluye las longitudes de onda del infrarrojo y ultravioleta. En un día despejado de verano el flujo fotónico fotosintético (FFF) equivale a un valor comprendido entre 2000 y 2300 μmol de fotones $\text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$, que puede calcularse a partir de los valores de la radiación fotosintéticamente activa RFA (bajo cielo despejado este valor fluctúa entre 400 y 500 W m^{-2}), suponiendo que la luz del sol, en el intervalo de la RFA, tiene una longitud de onda promedio de 550 nm y sabiendo que un mol de fotones a esta longitud de onda tiene 217 kJ de energía. (p.11)

2.2.2.2. INTENSIDAD LUMÍNICA PARA EL ESTÍMULO DE APERTURA DE ESTOMAS

Sobre la intensidad lumínica para el estímulo de apertura de estomas, como factor asociado a la productividad platanera, Barrera et al. (2011) explican que:

Las plantas presentan un número de estomas por el envés de 158 estomas mm^{-2} , no todos los estomas al llegar al punto de saturación de luz se cierran, ya que la planta cuenta con mecanismos para permitir el intercambio gaseoso. La principal fuente de energía que utilizan las plantas verdes, es la radiación solar,

comprendida entre 0.4 y 0.7 μm del espectro de luz. La calidad y duración de ésta, depende de factores como altitud, nubosidad, polvo, coberturas vegetales y la latitud, respectivamente. La capacidad de las plantas para transformar esta energía, también depende de otros factores como el área foliar, estado sanitario, ángulo de inserción y forma de la hoja que influye en el aprovechamiento de la luz. En comunidades de plantas como las Musáceas, la fotosíntesis. (p.11)

2.2.2.3. PUNTO DE SATURACIÓN DE LUZ

Según Barrera et al. (2011), es común que una planta del grupo C-3 del que pertenece el plátano, se le saturan sus hojas a irradiaciones bajas, medidas aproximadamente por un tercio a la mitad de la luz solar. Los autores hacen referencia a la teoría de Cayón et al. en el año 1994, en la que se señala que a partir de lograr el punto de compensación luminosa, lo cual se da generalmente en horas del mediodía, la fotosíntesis de la planta se eleva, saturando el proceso en hojas individuales.

2.2.3. FOTOSÍNTESIS DE LA COMUNIDAD

Según Cayón (2004), en los cultivos del plátano, la fotosíntesis se analiza en grupos de hojas acumulados que se sombrean entre sí, lo que permite entender que, las capas que sobreponen superiormente son las que absorben mayormente la radiación fotosintéticamente activa, mientras que las inferiores reciben tasas de síntesis más bajas. Conforme con la aportación de Barrera et al. (2011) la fotosíntesis de la comunidad se da por los siguientes factores:

- Interceptación de la radiación
- Autosombreamiento (ver Tabla 2.1)
- Ángulo solar y atenuación
- Inclinação de las hojas dentro del dosel
- Separación vertical de la sombra
- Estrategias para maximizar la radiación
- Fecha de siembra
- Densidad de la población (ver Tabla 2.2)

Tabla 2.1. Captación de la luz y concentración de clorofila en hojas Dominico–Hartón en tres densidades de siembra.

Densidad (plantas ha ⁻¹)	Emisión foliar	Hojas funcionales	Colinos planta	RFA Captada (%)	Clorofila total (mg g ⁻¹ de peso seco)
1666	17	15	5	58.0	7.16
	36	17	8	85.8	8.45
3333	17	14	2	75.5	9.38
	33	17	5	93.8	10.33
4998	15	14	1	74.3	9.12
	29	17	3	95	11.49

Fuente: Barrera et al. (2011)

Tabla 2.2. Efecto de las altas densidades de siembra sobre los parámetros de crecimiento y rendimientos.

Distancia siembra (m) planta x sitio	Número de plantas por hectareas	Altura (m)	Perímetro pseudotallo (cm)	Duración ciclo vegetativo meses	Peso X racimo (kg)	Rendimiento calculado (t)	Plantas cosechadas (%)
3*2 (una)	1666	3.5	4.9	15.5	15.0	23.2	93
3*2 (dos)	3332	4.2	5.0	18.8	14.3	40.5	85
3*2 (tres)	4998	4.3	5.1	20.0	13.3	51.8	78

Fuente: Barrera et al. (2011)

2.3. USO EFICIENTE DE NUTRIENTES

De acuerdo con la FAO (2019) los fertilizantes son insumos de tipo mineral, sintético y orgánico, ampliamente utilizados para garantizar la seguridad alimentaria en el mundo, proporcionando los medios a los agricultores y a la nutrición humana para la

vida; además, resulta importante mencionar por un lado que, el uso eficiente de estos productos evitan la degradación acelerada del suelo, y como consecuencia, las malas cosechas, no obstante, por otro lado, pueden resultar efectos adversos para la naturaleza y su habidad en general.

En este sentido, Díaz y Grasso (2020), explican la necesidad de utilizar buenas prácticas en el manejo de los nutrientes, conocidos como fertilizantes, debido a que contribuye a lograr mejores resultados en cuanto a productividad, rentabilidad y sostenibilidad ambiental y social; estas buenas practicas se aplican en cuatro aspectos: (1) elección de fuente, (2) dosis de aplicación, (3) momento de aplicación y (4) lugar de aplicación del nutriente.

2.3.1. 4 R DEL MANEJO EFICIENTE DE LOS NUTRIENTES

Según el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2020), los nutrientes son necesarios para obtener producción de calidad, con un crecimiento satisfactorio y una adaptación al suelo eficiente, por lo tanto, es fundamental que apliquen prácticas para maximizar rendimiento obtenido y las bondades de los productos, a través del mejoramiento de la resiliencia del cultivo ante los drásticos cambios climáticos que se viven en la actualidad, mismos que se dan en las distintas zonas de las localidades y en todas las estaciones del año. Además, el International Plant Nutrition Istitute.(IPNI, 2013). hace referencia en su publicación que, para lograr un manejo adecuado de fertilizantes, se debe de emplear el enfoque de las 4R: (1) fuente; (2) dosificación; (3) momento de aplicación; y (4) lugar de aplicación, cuyos principios se explayan en la tabla 4.3.

Díaz y Graso (2020) explican los elementos que componen el enfoque de las 4R:

- **Fuente:** las fuentes de fertilizantes seleccionadas deben estar proveídas de forma balanceada de nutrientes esenciales, alineados a la demanda del cultivo, al ambiente meteorológico, al suelo, y al previo estudio técnico y económico; en esta elección se debe de tener en cuenta la potencial perdida de nutrientes, los posibles riesgos de fitotoxicidad y de otros factores a considerar.
- **Dosis:** La dosificación de los nutrientes forma parte de las buenas prácticas de manejo, con el propósito de suministrar los nutrientes según la disponibilidad y la necesidad de los cultivos, para lo cual es necesario en primer

lugar conocer la demanda de nutriente, y luego balancear la dosis conforme la demanda conocida, manteniendo este principio básico: baja dosificación limita la cantidad y la calidad de la producción – exceso de dosis dañan los cultivos y genera secuelas en el medio ambiente.

- **Momento de aplicación:** el momento preciso siempre será determinado por la demanda de nutrientes que presente el cultivo, debiendo de realizarlo sin anticipación para no generar intoxicación, ni mucho menos después, tomando el riesgo de perder el cultivo. Los autores mencionan la importancia de estar atentos al momento de aplicación, puesto que este factor es clave para la sostenibilidad de la cantidad y calidad de la producción obtenida.
- **Lugar:** en este punto en particular, es necesario comprender la dinámica de los nutrientes en el suelo y su variabilidad en el espacio, ya que esto permite decidir el lugar preciso para que la absorción sea efectiva; para esta decisión existen varias herramientas tecnológicas que permiten una colocación justa con resultados excelentes.

Tabla 2.3. Los cuatro requisitos (4R)

Fuente	Dosis	Momento	Lugar
Asegurar una oferta balanceada de nutrientes.	Evaluar la oferta de nutrientes de todos los puentes.	Evaluar las dinámicas de forma por el cultivo y abastecimiento por el suelo.	Reconocer los patrones de distribución de raíces.
Adaptarse a las propiedades del suelo.	Evaluar la demanda del cultivo.	Determinar los momentos de riesgo de pérdidas.	Manejar la variabilidad espacial.
Fertilizante comercial.	Analizar los nutrientes del suelo.	Previo a la siembra.	Al voleo
Abono animal	Realizar cálculos económicos.	A la siembra.	En bandas superficiales, bandas incorporadas inyectado.
Compost	Balancear la remoción del cultivo.	En floración.	Aplicación en dosis variables.
Residuos de cultivos		En fructificación.	

Fuente. IPNI (2017).

2.4. DINÁMICA DEL MAGNESIO EN EL SUELO Y LAS PLANTAS

Según Chen (2022) y Álvaro (2020), el magnesio (Mg) es un nutriente secundario en la dinámica del en el suelo y las plantas, junto con el calcio y el azufre, sin embargo, es igual de importante que sus nutrientes principales para un desarrollo saludable, dado a que su función es la de dar el pigmento de color verde a las plantas gracias a

su átomo central en la molécula clorofila, que lleva a cabo la fotosíntesis y activa enzimas y proteínas.

La disponibilidad del magnesio para las plantas, “no solo depende de su contenido en el complejo de cambio y en la solución, sino también de la competencia que se puede presentar entre estos elementos; comportamiento que varía de acuerdo a la selectividad” (Sadeghian, 2012, p.9). El Mg está presente en un alto contenido en las semillas, y resalta la función de intervenir en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de muchos sistemas enzimáticos en las plantas (Bonadeo et al. 2017).

Para Álvaro (2020), el magnesio es un elemento que cumple varias funciones sobre las plantas, mismas que pueden ejercerse mediante riego y absorción radicular, dichas funciones son:

- A través de la molécula de clorofila, intervenir en el verdor de la planta.
- Contribuye a la síntesis y la formación de proteínas
- Reduce la transferencia de carbohidratos.

2.4.1. FERTILIZANTES DE MAGNESIO

La principal fuente de magnesio son las calizas dolomíticas, que se utilizan no solo para aportar calcio y magnesio sino también para corregir la acidez del suelo. A lo contrario de lo que ocurre con el calcio, entre los fertilizantes de nitrógeno, fósforo y potasio, pocos contienen magnesio. Una excepción notable es el suelo magnésico-potásico. Normalmente, cuando se necesita magnesio en fertilizante mixto, se añaden dolomitas finalmente divididas al fertilizante principal. Si no se quiere variar el pH se ocurre a añadir óxido de magnesio, fabricado por la calcinación de la magnesita o brucita (Ubidia, 2014).

El Mg se encuentra en el suelo en minerales secundarios como: illitas, montmorillonitas, vermiculitas y cloritas, siendo la vermiculita el mineral de mayor contenido de Mg (Bonadeo et al. 2017). El autor hace referencia a los factores del suelo que determinan la disponibilidad de Mg para las plantas son:

- Cantidad de Mg en solución y en fase sólida

- pH
- Cantidad de otros iones intercambiables
- Tipo de arcillas (p. 301)

2.4.2. SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DEL MAGNECIO EN LA PLANTA

Según lo expuesto por Pérez (2014), “en contraste con el calcio, el magnesio es muy móvil y puede trasladarse de las hojas viejas a las hojas jóvenes en un estado de deficiencia” (p.701). Indistintamente del motivo de la deficiencia del magnesio en la planta, Cherlinka (2022) menciona que las principales manifestaciones del bajo o nulo porcentaje de este nutriente se reflejan en el bajo tamaño, pobre enraizamiento y cantidad de brotes, partes de color amarillo entre las venas de la hoja, y puntos oscuros.

De acuerdo con Bonadeo et al. (2017) los síntomas de la deficiencia se presentan en primer lugar en las hojas inferiores, es decir las más antiguas, ya que la forma que tiene el magnesio de acentuarse en la planta va de las hojas viejas a las de nuevo tejido, generando que las hojas tengan un color amarillo, bronceado o rojo, mientras que el color de las venas sigue siendo verde.

2.5. DEFICIENCIA MAGNÉSICA EN MUSÁCEAS

Como se ha mencionado previamente, el magnesio es un nutriente importante para la fertilización de las plantas, como el caso del plátano, cuyas deficiencias provoca un impacto negativo a la producción. López y Espinoza (1995) mencionan que es común la evidencia de desórdenes fisiológicos en cultivos de plátano, principalmente de aquellos plantados en suelos pobres y en climas de menor precipitación, los principales efectos se exponen seguidamente.

- **DECOLORACIÓN FOLIAR Y MOTEADO DE LOS PECIOLOS:** “... produce cambios en el arreglo de las hojas en el pseudotallo que le dan a la planta apariencia de roseta” (López y Espinoza, 1995, p.21).
- **DEFORMACIÓN DE LAS VAINAS:** “cuando la deficiencia de Mg es severa, las vainas se despegan del pseudotallo y se rompen provocando una

senescencia anticipada de la hoja” (López y Solís, como se citó en López y Espinoza, 1995).

- **DEFICIENCIA DE MG E INCIDENCIA DE ENFERMEDADES:** la incidencia de Spckling, enfermedad Deightoniella toruosa, se ha presentado en experimentos en cultivos de plátanos, en los que se no se les suministraba magnesio ni ningún otro componente, a diferencia de otros cultivos que si se les agrego magnesio (López y Espinoza, 1995).

CAPITULO III. DESARROLLO METODOLOGICO

3.1. UBICACIÓN

La investigación se desarrolló en el sitio Danzarín perteneciente al cantón Rocafuerte, Manabí. El experimento se posesiono geográficamente entre las coordenadas 0°54 Latitud sur, 80°22 Longitud oeste, con una Altitud 94 msnm.

3.2. ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO

Tabla 3.1. Datos del análisis químico del suelo

Nutriente	Unidad	Valores de referencia de acuerdo al método de Olsen modificado			Resultados		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
N-NH ₄ ⁺	ppm	< 20	20-40	> 40	6		
P	ppm	< 10	10-20	> 20		18	
S	ppm	< 10	10-20	> 20			60
K	meq/100 g	< 0,2	0,2-0,4	> 0,4			1,25
Ca	meq/100 g	< 4	4-8	>8			22
Mg	meq/100 g	< 1	1-2	> 2			2,7
Cu	ppm	<1	1-4	> 4			6,7
Fe	ppm	<20	20-40	> 40	7		
Mn	ppm	<5	5-15	> 15	2,7		
Zn	ppm	< 2	2-7	> 7		2,9	
B	ppm	< 0,5	0,5-1	> 1	0,20		
MO	%	< 3	3-5	> 5	1,1		

Tabla 3.2. Datos del análisis químico del suelo

Parámetro	Valores de referencia para banano (López y Espinoza, 1995)	Resultados
pH	5,5 - 6,5	8,1
Ca/Mg	3,5 - 4,0	8,1*
Ca/K	17,0 - 25,0	17,6
Mg/K	8,0 - 15,0	2,16**
Ca+Mg/K	20,0 - 30,0	19,76

*Existe desbalance entre Ca con relación al Mg, lo cual favorece deficiencia de Mg por dominancia del Ca

**Existe desbalance entre Mg con relación al K, lo cual favorece la deficiencia de Mg por dominancia del K

3.3. DURACIÓN

La duración del trabajo fue de 48 semanas, y se ejecutó desde enero a diciembre del 2021

3.4. MATERIAL VEGETAL

Se utilizó una plantación de plátano Dominico-Hartón en plena producción que se encuentra establecida a una densidad de 1111 plantas ha⁻¹.

3.5. TRATAMIENTOS

- T1: 30 kg de MgO ha⁻¹
- T2: 60 kg de MgO ha⁻¹
- T3: 90 kg de MgO ha⁻¹
- T4: Control (omisión de MgO)

3.6. DISEÑO Y UNIDAD EXPERIMENTAL

El experimento se estableció con un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con 4 tratamientos, cinco repeticiones y 20 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó de parcelas de 25 plantas, donde los datos se registraron en las nueve plantas centrales. A continuación, se muestra el esquema del análisis de varianza:

Tabla 3.3. Diseño experimental

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	3
Bloques	4
Error	12
Total	19

3.7. VARIABLES

- **Altura de planta (m):** Se determinó al momento de la floración en m, registrando el dato desde el nivel del suelo hasta la V formada por las dos últimas hojas
- **Diámetro de pseudotallo (cm):** Se registró al momento de la floración en cm, donde el dato fue registrado a una altura de 1.00 m con referencia al suelo
- **Área foliar a floración y cosecha (m²):** Se determinó con la ecuación siguiente:

$$\text{Área Foliar (m}^2\text{)} = LH * AH * K(0.80) * NH * K_2(0.662)$$

- **Donde:**
- **LH:** longitud de tercera hoja, AH = ancho de tercera hoja, K = factor de curvatura de Murray (1960), NH = número de hojas y K₂ = nuevo factor de curvatura de Kumar et al. (2002, como se citó en Cedeño et al. 2021).
- **Número de frutos:** Se registró al momento de la cosecha contabilizando el número de frutos comerciales por racimo
- **Peso de frutos (g):** Se realizó al momento de la cosecha, registrando el peso de tres frutos tomados al azar
- **Longitud de frutos (cm):** Se registró al momento de la cosecha, anotando la longitud desde el ápice a la base de tres frutos tomados al azar
- **Diámetro de frutos (cm):** Se anotó al momento de la cosecha, registrando el diámetro en centro de tres frutos tomados al azar
- **Peso de racimo (kg):** Se estableció al momento de la cosecha, registrando el peso total de frutos por racimo
- **Rendimiento de fruta (t ha⁻¹):** Se determinó al momento de la cosecha, multiplicando el peso de frutos por racimo con el número de plantas por hectárea
- **Eficiencia agronómica del MgO:** fue registrado al momento de la cosecha con la ecuación siguiente:

$$EA_{MgO} = \frac{\text{Rendimiento de fruta con MgO} - \text{Rendimiento de fruta sin MgO}}{\text{Dosis de MgO}}$$

3.8. ANÁLISIS DE DATOS

Los datos fueron analizados a través del ANOVA y la separación de medias con prueba de Tukey al 5% de probabilidades de error.

3.9. ANÁLISIS ECONÓMICO DE BENEFICIO NETO

El beneficio económico neto de la fertilización se cuantifico con la metodología propuesta por (Duicela y Ponce, 2015). Para esto se estimaron los costos que varían por los tratamientos de fertilización (CqV), que estuvieron en función de los fertilizantes y aplicaciones. En el tratamiento control el costo que varía es cero (CqV = 0). Con los datos de rendimiento en cajas de 32 kg que es la unidad comercial a nivel local (cajas ha⁻¹) y precio unitario de la caja (USD caja⁻¹) se calcularon los ingresos totales. Con la diferencia entre los rendimientos de los tratamientos de fertilización y el control, se estimaron los incrementos de los ingresos. Con los incrementos de los costos e ingresos se calcularon los beneficios netos específicos de la fertilización.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CUANTIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA AGRONÓMICA DE TRES NIVELES DE MAGNESIO EN PLÁTANO

4.1.1. COMPONENTES DE CRECIMIENTO DEL PLÁTANO

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) para los componentes de crecimiento del plátano analizados, donde los tres niveles de MgO evaluados lograron promedios de altura de planta, diámetro de tallo, área foliar a floración y cosecha similares entre sí, pero diferentes estadísticamente al tratamiento control con omisión de MgO (**Tabla 1**). Las dosis de 30, 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹, incrementaron la altura de planta en un 8.78, 12.50 y 12.97%, respectivamente, con relación al tratamiento sin MgO. El diámetro del tallo, fue incrementado en un 11.49, 12.14 y 10.22%, por las dosis de 30, 60 y 90 kg ha⁻¹ de MgO, respectivamente, en relación al tratamiento control. El área foliar a floración se incrementó en un 26.57, 25.80 y 23.40%, con respecto al tratamiento control, con las dosis de 30, 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹, respectivamente. Del mismo modo, el área foliar a cosecha mostró un incremento del 29.57, 31.55 y 28.93%, sobre el tratamiento de omisión de MgO, con los niveles de 30, 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹, en su orden respectivo (**Tabla 1**).

Tabla 4.1. Efecto *de* varios niveles de MgO sobre los componentes de crecimiento del plátano Dominico-Hartón

Tratamientos	Altura de planta (m)	Diámetro de tallo (cm)	Área foliar a floración (m ²)	Área foliar a cosecha (m ²)
30 kg MgO ha ⁻¹	3,53 a	28,20 a	14,53 a	10,01 a
60 kg MgO ha ⁻¹	3,68 a	28,41 a	14,38 a	10,30 a
90 kg MgO ha ⁻¹	3,70 a	27,80 a	13,93 a	9,92 a
Omisión de MgO	3,22 b	24,96 b	10,67 b	7,05 b
p-valor ANOVA	0,0011	0,0002	0,0001	0,0001
C.V. %	14,28	13,47	12,69	14,49

Lo anterior indica, la importancia del MgO para potenciar el crecimiento del cultivo de plátano, para lo cual podría ser suficiente la dosis de 30 kg de MgO ha⁻¹. Los resultados obtenidos se acercan a los alcanzados por Cedeño et al. (2022), quienes

reportaron incrementos en la altura de planta, perímetro de tallo y área foliar del plátano fertilizados con varios niveles de MgO. En este mismo contexto, los resultados guardan semejanza a los hallados por Chen y Fan (2018) quienes destacan que con niveles normales de MgO, se incrementó la masa seca de las raíces, tallos y hojas, en comparación al tratamiento control sin MgO, que resulto con un menor crecimiento. Los resultados también se asemejan a los reportados por El-Shenawi et al. (2008), quienes lograron mayor altura de planta, perímetro de tallo y área foliar con tratamientos de fertilización con MgO, en relación al tratamiento control sin MgO.

4.1.2. COMPONENTES DE RENDIMIENTO DEL PLÁTANO

Los componentes del rendimiento fueron influenciados significativamente ($p < 0.05$) por los tratamientos de fertilización evaluados, donde todos los niveles de MgO fueron estadísticamente similares, pero diferentes al tratamiento sin MgO (Tabla 2). El número de frutos por racimo con dosis de 30, 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹, fue superior en un 8.22, 7.77 y 7.82%, respectivamente, con relación al tratamiento con omisión de MgO. La longitud del fruto fue un 5.78, 9.17 y 5.59% superior al tratamiento control, con las dosis de 30, 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹, en su orden respectivo. Así mismo, las dosis de 30, 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹, incrementaron el diámetro del fruto en un 22.67, 21.77 y 22.10%, con respecto al tratamiento control sin MgO. Del mismo modo, el peso del fruto fue mayor con los niveles de 30, 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹, con un incremento del 10.33, 10.15 y 11.78%, con relación al tratamiento control con omisión de MgO (ver Tabla 2).

Tabla 4.2. Efecto de varios niveles de MgO sobre los componentes de rendimiento del plátano Dominico-Hartón

Tratamientos	Nº de frutos por racimo	Longitud del fruto central (cm)	Diámetro del fruto central (cm)	Peso del fruto central (g)
30 kg MgO ha ⁻¹	57,06 a	29,76 b	4,70 a	401,26 a
60 kg MgO ha ⁻¹	56,78 a	30,87 a	4,64 a	400,45 a
90 kg MgO ha ⁻¹	56,81 a	29,70 b	4,66 a	407,84 a
Omisión de MgO	52,37 b	28,04 c	3,63 b	359,79 b
p-valor ANOVA	0,0010	0,0001	0,0001	0,0001
C.V. %	12,67	11,86	6,39	12,42

Fuente: Elaboración propia

El peso del racimo y el rendimiento de fruta fue afectado significativamente ($p < 0.05$) por los tratamientos de fertilización magnésica probadas, donde las dosis de 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹ evaluadas se ubicaron estadísticamente en el mismo rango de significancia, seguidos del nivel de 30 kg de MgO ha⁻¹, que alcanzó menor peso de racimo y rendimiento de fruta, mientras que el tratamiento control logró los menores promedios de peso de racimo y rendimiento (Figuras 1 y 2). Las dosis de 30, 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹, incrementaron el peso e racimo en un 4.93, 7.08 y 8.32%, con relación al tratamiento con omisión de MgO (Figura 1). Por su parte, las dosis de 30, 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹, aumentaron el rendimiento de fruta en un 4.91, 7.09 y 8.31%, con respecto al tratamiento control sin MgO (Figura 2).

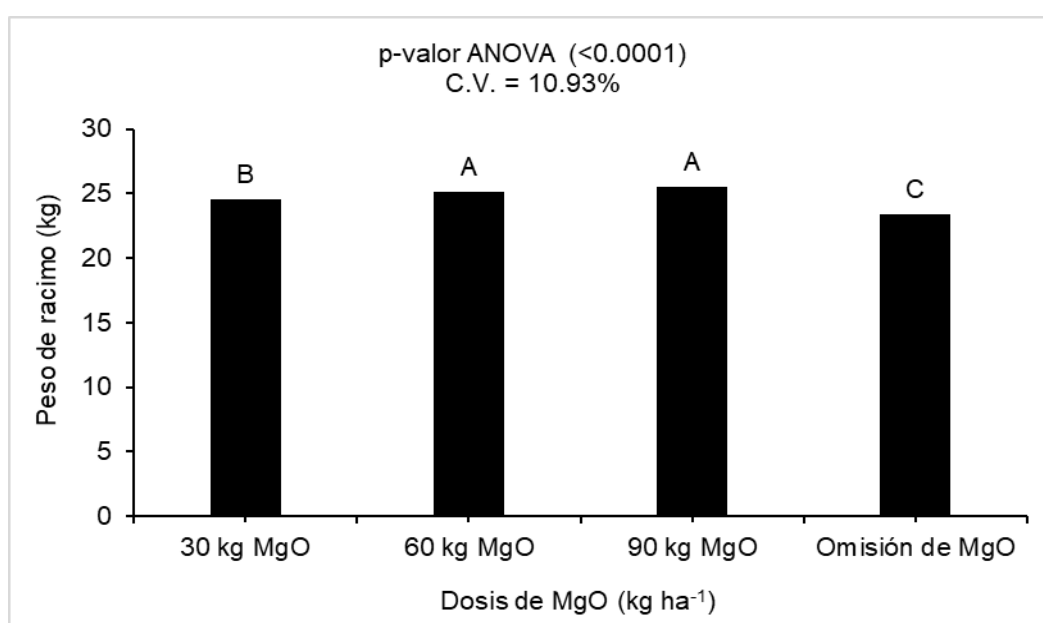


Figura 1. Efecto de varios niveles de MgO sobre el peso del racimo del plátano Dominico-Hartón

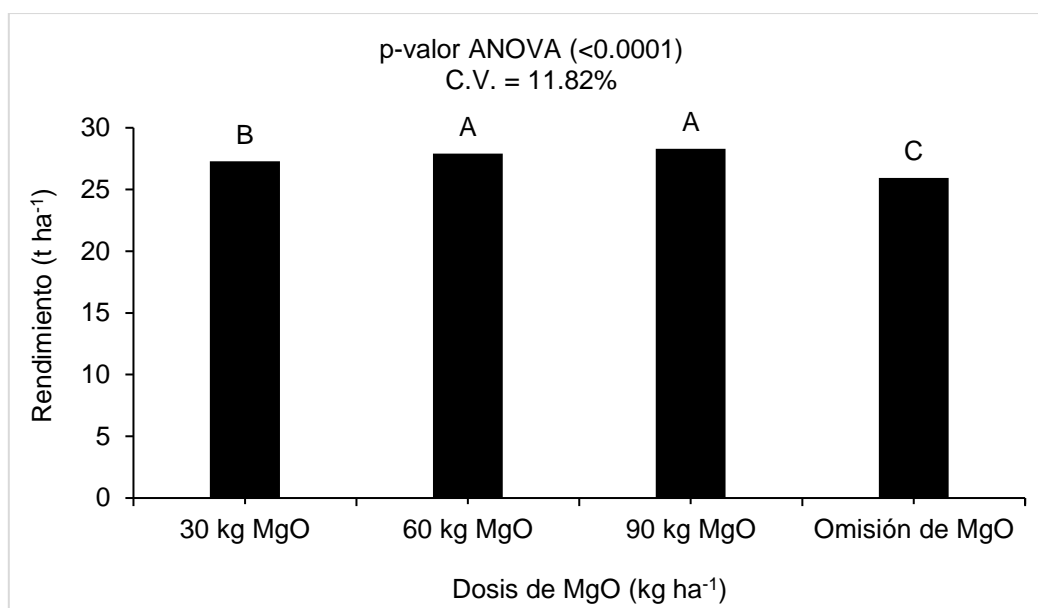


Figura 2. Efecto de varios niveles de MgO sobre el rendimiento del plátano Dominico-Hartón

Los resultados evidencian que a pesar de haberse detectado diferencias estadísticas significativas entre las dosis de MgO y la parcela de omisión, el incremento de rendimiento no supera el 10%, lo cual podría deberse a que los suelos de la zona de estudio presentan cantidades relativamente altas de este nutriente, por lo que la dosis menor probada de 30 kg de MgO ha⁻¹, podría ser suficiente para potenciar la productividad del cultivo. En este contexto, los resultados se asemejan a los hallados por (Cedeño et al. 2022), quienes reportaron que dosis crecientes de MgO no influenciaron las variables productivas del plátano, a pesar de que el mayor rendimiento se alcanzó con la dosis menor de 25 kg de MgO ha⁻¹. En este mismo contexto, los resultados guardan relación a los encontrados por (Da Silva et al. 2013) quienes determinaron que dosis elevadas de MgO en banano cv. Prata Aña, tienden a reducir el peso del racimo, mientras que dosis menores lo aumentaron con relación al control. Resultados cercanos también fueron hallados por (El-Shenawi et al. 2008), quienes obtuvieron mayor peso de racimos y rendimiento de banano con dosis entre 28 y 42 kg de MgO ha⁻¹.

4.1.3. EFICIENCIA AGRONÓMICA Y BENEFICIO ECONÓMICO NETO DE LA FERTILIZACIÓN MAGNÉSICA

La eficiencia agronómica de MgO (EA MgO) fue influenciada significativamente ($p < 0.05$) por los niveles de fertilización evaluados, donde se observa una tendencia

decreciente de la EA MgO, a medida que se incrementan las dosis de MgO. Las EA MgO logradas fueron desde 26 a 45 kg de fruta kg⁻¹ de MgO aplicado, entre las dosis alta y baja, respectivamente. En este sentido, la dosis de 30 kg de MgO ha⁻¹, incrementó en un 26.36 y 41.60%, la EA MgO con relación a las dosis de 60 y 90 kg de MgO ha⁻¹ (Figura 3).

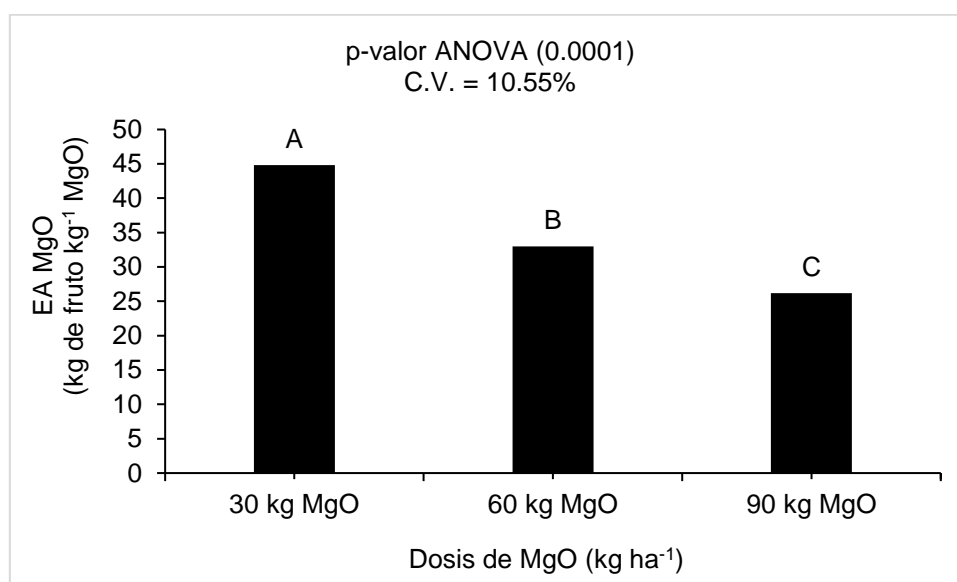


Figura 3. Eficiencia agronómica de tres dosis de MgO en plátano cv. Dominico – Hartón

El mayor beneficio económico neto (BEN) de la fertilización, fue alcanzado con la dosis de 60 kg de MgO ha⁻¹, con un incremento del 25 y 88%, con respecto a los niveles de 30 y 90 kg de MgO ha⁻¹ (Tabla 4).

Tabla 3. Beneficio económico neto de la fertilización magnésica en plátano cv. Dominico-Hartón

Tratamientos	CT	CqnV	CqV	ICqV	Ren	IRen	PUV	ling	IT	BET	BEN
30 kg MgO ha ⁻¹	3018	1906	1112	72	852	42	9	378	7668	4650	306
60 kg MgO ha ⁻¹	3096	1906	1190	150	872	62	9	558	7848	4752	408
90 kg MgO ha ⁻¹	3562	1906	1656	616	884	74	9	666	7956	4394	50
Omisión de MgO	2946	1906	1040	-----	810	-----	9	-----	7290	4344	-----

CT: Costos totales (USD ha⁻¹), **CqnV**: Costos que no varían por la fertilización MgO – USD ha⁻¹ (Semilla, preparación de terreno, semilla, control fitosanitario, riego, labores culturales, cosecha), **CqV**: Costos que varían por la fertilización MgO – USD ha⁻¹ (Fertilizantes y aplicaciones), **ICqV**: Incremento de costos que varían por la fertilización – USD ha⁻¹ ($ICqV = CqV_{tratamientos} - CqV_{control}$), **Ren**: Rendimiento (cajas de 32 kg ha⁻¹), **IRen**: Incremento de rendimiento de tratamientos de fertilización con relación al control ($IRen = Ren_{tratamientos} - Ren_{control}$), **PUV**: Precio unitario de venta (USD caja de 32 kg), **ling**: Incremento de ingresos con fertilización con relación al control – USD ha⁻¹ ($ling = IRen * PUV$), **IT**: Ingresos totales USD ha⁻¹ ($IT = Ren * PUV$), **BET**: Beneficio económico total – USD ha⁻¹ ($BET = IT - CT$), **BEN**: Beneficio económico neto de la fertilización MgO – USD ha⁻¹ ($BEN = ling - ICqV$).

4.2. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS OPTIMA AGRONÓMICA Y ECONÓMICA DE MAGNESIO EN PLÁTANO

Los resultados de EA MgO mostraron que desde el punto vista agronómico, la dosis de 30 kg de MgO ha⁻¹, sería la más conveniente para el aprovechamiento del fertilizante (Figura 3). Por el contrario, desde el punto de vista económico sería más conveniente fertilizar el plátano con 60 kg de MgO ha⁻¹, debido al mayor beneficio económico (Tabla 4). Sin embargo, al interactuar el rendimiento de fruta x la EA MgO (Figura 4) y el beneficio económico neto x la EA MgO (Figura 5), se observa que la intersección entre las líneas, denota que la dosis más conveniente de fertilización estaría entre los 30 y 45 kg de MgO ha⁻¹, por lo que en futuros estudios habría que determinar la dosis optima de MgO entre estos rangos. Los resultados obtenidos difieren a los hallados por (Cedeño et al. 2022), quienes reportaron EA MgO de alrededor de 20 kg de fruta kg⁻¹ MgO aplicado, en plátano barraganete en la zona de El Carmen, mientras que en nuestro estudio, la EA MgO fue el doble, lo cual puede ser debido a que el cv. Dominico-Hartón es más productivo y por tanto extrae mayores cantidades de MgO, más aún en la zona de Rocafuerte que presenta más luminosidad, donde posiblemente existan mayores tasas fotosintéticas que demandan mayores niveles de este elemento, tal como lo han manifestado varios autores en investigaciones previas (Farhat et al., 2016; Wang et al. 2020).

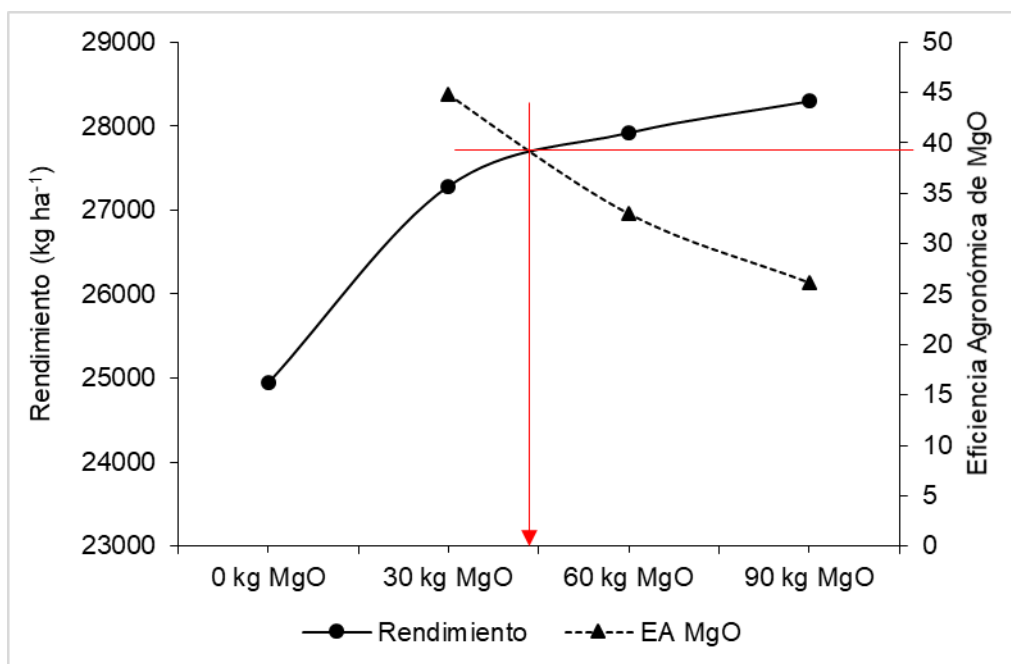


Figura 4. Intersección del punto óptimo de aprovechamiento de la fertilización, en función del rendimiento de fruta y eficiencia agronómica de MgO.

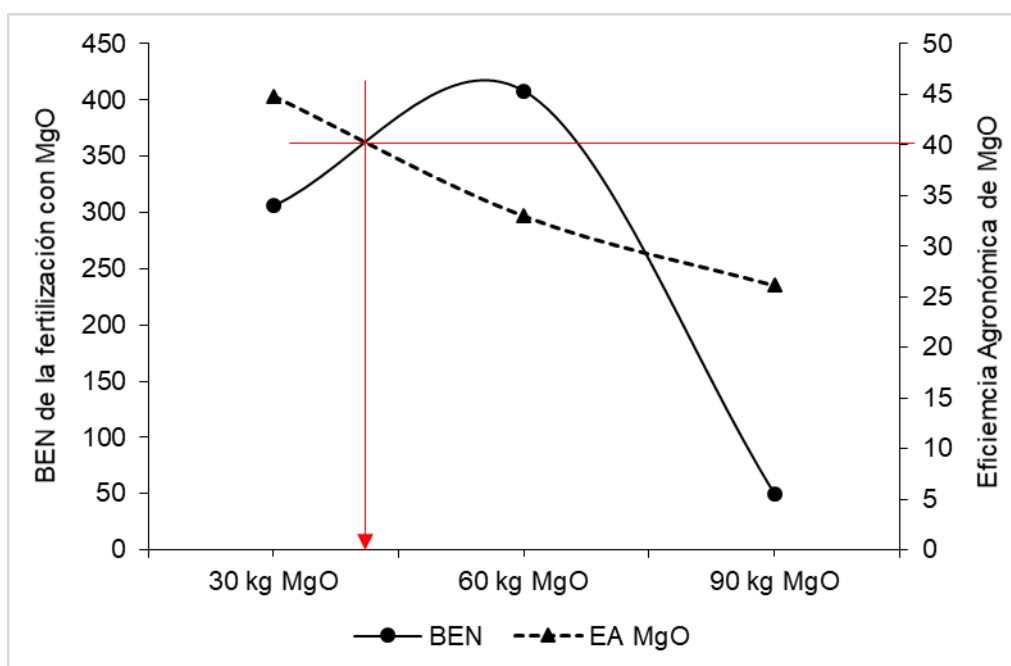


Figura 5. Intersección del punto óptimo de aprovechamiento de la fertilización, en función del beneficio económico neto (BEN) y eficiencia agronómica de MgO.

Los resultados alcanzados se asemejan a los hallados por (El-Shenawi, et, al., 2008), quienes reportaron mayor rendimiento de fruta y contenido de Mg en las hojas con dosis de 28 y 42 kg de MgO ha⁻¹ en banano cv. Grand Nain. Por otra parte, (Irizarry, et al. 2000) concluyeron que a pesar que el banano respondió linealmente a dosis

crecientes del MgO, la dosis de 55 kg de MgO ha⁻¹ año⁻¹, fue la más viable económicamente. Finalmente, los resultados logrados se acercan a los analizados por (Wang et al. 2020), quienes al realizar un meta análisis concluyeron que el valor medio del aumento del rendimiento y la eficiencia agronómica derivados de la aplicación de MgO fue de 8.5 % y 34.4 kg kg⁻¹ de MgO aplicado, respectivamente, al combinar todas las medidas de rendimiento, independientemente del tipo de cultivo, la condición del suelo y otros factores. Adicionalmente, se ha indicado que la fertilización con Mg mejora el rendimiento de los cultivos al mejorar el rendimiento o generar resultados fisiológicos favorables, lo que brinda un gran potencial para el manejo integrado de Mg para un mayor rendimiento y calidad de los cultivos (Farhat et al. 2016; Patel et al. 2017; Wang et al. 2020; Zhang et al. 2020).

Finalmente, la respuesta positiva del plátano cv. Dominico-Hartón a la fertilización magnésica bajo condiciones de suelo con altos contenidos de Mg donde se desarrolló el experimento, pueden deberse a que las relaciones catiónicas Ca/Mg y Mg/K fueron de 8.1 y 2.16, respectivamente, lo cual favoreció que se expresará deficiencia de Mg, dado que según (Méndez y Bertsch, 2012), relaciones Ca/Mg mayores a 5 y Mg/K inferiores a 2.5, conllevan a deficiencias de Mg. En este contexto, (López y Espinoza, 1995), describen que las relaciones catiónicas Ca/Mg y Mg/K más adecuadas para banano, deben ubicarse entre los rangos de 3.5 – 4 y 8 – 15, respetivamente.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La fertilización magnésica fue efectiva para incrementar el crecimiento, productividad y rentabilidad del plátano
- La eficiencia agronómica del magnesio mostró un comportamiento inversamente proporcional a las dosis de MgO.
- Desde el punto de vista de eficiencia agronómica, la dosis que logró el máximo aprovechamiento del fertilizante fue 30 kg de MgO ha⁻¹.
- Desde el punto de vista económico la dosis que logró el máximo beneficio económico fue la dosis de 60 kg de MgO ha⁻¹.
- De acuerdo al punto de equilibrio, la dosis idónea de MgO para el plátano se ubica entre los 30 y 45 kg de MgO ha⁻¹.

Recomendaciones

- Para potenciar la productividad del cultivo de plátano en la zona de El Cardón, Rocafuerte, se recomiendan aplicar dosis mínimas de 30 kg de MgO ha⁻¹.
- Para futuros estudios se recomienda evaluar dosis de MgO en intervalos desde 30 a 45 kg de MgO ha⁻¹, con la finalidad de determinar dosis óptimas para el máximo aprovechamiento del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, E., León, S., Sánchez, M., y Cusme, B. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de plátano en la zona norte de la Provincia de los Ríos. *Journal of Business and entrepreneurship*, 4(2), 86-95. <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.78>
- Álvaro, G. (13 de enero 2020). *Magnesio y su importancia en el crecimiento vegetal*. FERTIBOX. <https://www.fertibox.net/single-post/magnesio-agricultura>
- Barrera, J., Cardona, C., y Cayón, D. (2011). *El cultivo de plátano (musa aab simmonds): ecofisiología y manejo cultural sostenible*. Editorial Zenú.
- Beltrón, C., Sánchez, A., y Ortiz, M. (2018). El fortalecimiento de la comercialización del plátano mediante formas asociativas. Caso de estudio del cantón El Carmen de la provincia de Manabí. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/08/comercializacion-platano-ecuador.html>
- Bonadeo, E. Moreno, I. Bongiovanni, M., Marcari, R., y Ganun, M. (2017). *El sistema suelo-planta*. UniRío editora. <http://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2018/08/978-987-688-204-0.pdf>
- Cakmak, I., y Yazici, M. (2010). Magnesium: A forgotten element in crop production. *Better Crops* 94(2), 23 – 25. <https://www.ks-minerals-and-agriculture.com/en/pdf-articles/article-201006-better-crops-magnesium.pdf>
- Cayón, L. (2004). *Ecofisiología y productividad del plátano (Musa AAB Simmonds)* [Presentación de paper]. XVI REUNIÓN INTERNACIONAL ACORBAT, Oaxaca, México.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19331/44895_60230.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Cedeño, J; García, J; Solórzano, C; Jiménez, L; Ulloa, S; López, F; Avellán, L; Bracho, B: & Sánchez, A. (2022). Fertilización con magnesio en plátano 'barraganete' (Musa AAB) Ecuador. *LA GRANJA: Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1), 8-19.
- Cedeño, A., Velásquez, S., Avellán, B., Cagua, J., y López, G. (2021). Bioestimulante en el crecimiento y calidad Deplántulas de plátano en fase de vivero. *ESPAMCIENCIA*, 12(2):124-130.
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v12i2.274
- Chen, J. (15 de septiembre del 2022). *La función del magnesio en el cultivo de plantas*. PROMIX. <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-magnesio-en-el-cultivo-de-plantas/>
- Cherlinka, V. (2022). *Deficiencia De Nutrientes En Las Plantas: Cómo Tratarla*. <https://eos.com/es/blog/deficiencia-de-nutrientes-en-las-plantas/>
- Da Silva, I., Da Silva, J., De Pinho, P., Rodas, C., y Carvalho, J. (2013). Vegetative development and yield of the banana cv. 'Prata Anã' as a function of magnesium and potassium fertilization. *IDESIA*, 31(2), 83-88.
https://www.researchgate.net/publication/292941601_Vegetative_development_and_yield_of_the_banana_cv_'Prata_Ana'_as_a_function_of_magnesium_and_potassium_fertilization
- Díaz, M., y Grasso, A. (2020). *Manual de buenas prácticas de manejo de fertilización*. Producción Ediciones.
https://www.fertilizar.org.ar/subida/BMPN/BPMN_Fertilizar102018.pdf
- Duicela, L., y Ponce, L. (2015). Uso de fungicidas sistémicos en el control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en la provincia de Manabí. *La Técnica.*, 15, 6-17. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6087680>
- El-Shenawi, M., Aly, H., y Badran, M. (2008). Response of Grandnain Banana to Humic Acid, Potassium and Magnesium Fertilization. *Alexandria Science Exchange Journal*, 29(4) 244-251.
<https://dx.doi.org/10.21608/asejaiqsae.2008.3205>

- Estrada, L. (2017). *Diseño de drenajes para la siembra de plátano; empresa Top Green S.A.; Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla* [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar].
<http://biblio3.url.edu.gt/publijrcifuentes/TESIS/2018/06/17/Estrada-Lusvin.pdf>
- Farhat, N., Elkhouni, A., Zorrig, W., Smaoui, A., Abdely, C., y Rabhi, M. (2016). *Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning*. *Acta Physiol Plant*, 38(6), 145. DOI: 10.1007/s11738-016-2165-z
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Código Internacional de Conducta para el Uso y Manejo de Fertilizantes*.
<https://n9.cl/veam8>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *Cultivos y productos de ganadería*.
<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2020). *Nutrición de cultivos*.
<https://www.iaea.org/es/temas/nutricion-de-cultivos>
- Futurcrop. (2018). *La identificación de las plagas por los daños en los cultivos*.
<https://futurcrop.com/es/blog/post/la-identificacion-de-las-plagas-por-los-danos-en-los-cultivos>
- Gómez, A. (2020). *Requerimientos nutricionales de macronutrientes en el cultivo de banano* [Trabajo de grado, Universidad Agraria del Ecuador].
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/TORRES%20GOMEZ%20SONIA%20AZUCENA.pdf>
- Guzmán, G., Benavides, S., Hernández, A., Sánchez J., y Martínez, E. (2015). *Interacción de la radiación fotosintéticamente activa del banano (Musa Aa Simmonds) en tres densidades de población en el Bh* [Conferencia]. Sociedad Colombiana de control de malezas y fisiología vegetal, Colombia.

<https://agriperfiles.agri-d.net/display/AS-pub-2ECECDA164EAB71BA8BAB0F8C234D1D1>

Sadeghian, S. (2012). *Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (Coffea arabica L.) en la etapa de almácigo* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8983/16077856.2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sepúlveda, W., Ureta, I. Hernández, G., y Solórzano, G. (2017). Consumo de plátano en Ecuador: hábitos de compra y disponibilidad a pagar de los consumidores. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 10(4), 995-1014 <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n4p995-1014>

Solano, A., Ponce, W., y Zambrano, F. (2022). Biodigestión anaeróbica de residuos de musaceas: caso Ecuador. *Biotempo*, 19(1), 51-63. doi:10.31381/biotempo.v19i1.4803

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2018). *Módulo de tecnificación agropecuaria ESPAC 2017*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Informacion_ambiental_en_la_agricultura/2017/D_OC_TEC_AGRO.pdf

International Plant Nutrition Institute. (2013). *4R de la nutrición de las plantas*. International Plant Nutrition Institute, IPNI. <https://drive.google.com/file/d/1P0JnfLSaPVnxszfqXQ5pdIGKm1L0wpJU/view>

Irizarry, H., Goenaga, R., y Chardón, U. (2000). Effectiveness of magnesium source and rate in the fertilization of banana grown on an Ultisol in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 84(1-2), 35-45. <https://revistas.upr.edu/index.php/jaupr/article/download/3899/3364>

León, L., Mejía, L., y Montes, L. (2015). Caracterización socioeconómica y tecnológica de la producción del plátano en el bajo occidente del departamento de caldas. *Revista Luna Azul*, (41), 184-200.
<https://www.redalyc.org/pdf/3217/321739268011.pdf>

López, A., y Espinoza, J. (1995). *Manual de nutrición y fertilización del banano*. International Plant Nutrition Institute.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *Boletín Situacional Plátano. Sistema de Información Pública Agropecuaria SIPA*.:
<http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/platano>

Méndez, J., y Bertsch, F. (2012). Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. *Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo*.
<https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UCR.000112257/Description>

Motato, N., y Pincay, J. (2015). Calidad de los suelos y aguas para riego en áreas cacaoteras de Manabí. *La técnica*, (14), 6–23.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6087624>

Paz, R., y Pesantes, Z. (2013). Potencialidad del plátano verde en la nueva matriz productiva del Ecuador. *Revista Científica YACHANA* 2(2), 203-210.
<https://doi.org/10.1234/yach.v2i2.47>

Patel, B., Ahlawat, T., y Patel, B. (2017). Effect of potash fertilizers and magnesium on quality of banana (*Musa paradisiaca* L.) cv. Grand Naine. *International Journal of Chemical Studies*, 5(4), 1586-1591.
<https://www.chemijournal.com/archives/?year=2017&vol=5&issue=4&part=X&ArticleId=852>

Pérez, F. (2017). *Filosofía Vegetal: nutrición mineral*.
<http://www.repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3201/000026082L.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

- Ponce, W., Sánchez, Y., Blanco, B. (2018). Bases metodológicas para potenciar la comercialización del plátano en la provincia de Manabí. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/12/comercializacion-platano-manabi.html>
- Ubidia, M. (2014). *Evaluación de la eficacia de fertilizantes de liberación controlada (crf) en el cultivo de brócoli (Brassica oleracea var. Itálica)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6513/1/Tesis-67%20%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20207.pdf>
- Ulloa, S. (2015). *Manual para el cultivo de plátano de exportación*. FENAPROPE. https://www.researchgate.net/publication/272166398_Manual_para_el_cultivo_de_platano_de_exportacion
- Wang, Z., Hassan, M., Nadeem, F., Wu, L., y Zhang, F., y Li, X. (2020). La fertilización con magnesio mejora el rendimiento de los cultivos en la mayoría de los sistemas de producción: un metanálisis. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1-10:1727. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01727>
- Yan, B., y Hou, Y . (2018). *Effect of Soil Magnesium on Plants: a Review* [Sesión de Conferencia]. 2do Simposio Internacional sobre Exploración de Recursos y Ciencias Ambientales. doi:10.1088/1755-1315/170/2/022168
- Zhang, J., Li, B., Zhang, J., Christie, P., y Li, X. (2020). Organicfertilizerapplicationand Mgfertilizerpromotebananayield and qualityin anUdic Ferralsol. *PLoS ONE*, 15(3), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230593->

ANEXOS

ANEXO 1



ANEXO 2



ANEXO 3



ANEXO 4



ANEXO 5



ANEXO 6



ANEXO 7**ANEXO 8**

ANEXO 9



ANEXO 10

