UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CUATRO DOSIS DE ÓXIDO DE SILICIO Y ÓXIDO DE MAGNESIO SOBRE LA ABSORCIÓN DE FÓSFORO POR PLANTAS DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis Jacq*) EN CAMPO DEFINITIVO EN LA ZONA DE NESHUYA, UCAYALI

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO AGRÓNOMO

PERCEO ARMAS GONZALES

Pucallpa, Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA
CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

ANEXO 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN O TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación de tesis, presentado por **PERCEO ARMAS GONZALES** denominada **"EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CUATRO DOSIS DE ÓXIDO DE SILICIO Y ÓXIDO DE MAGNESIO SOBRE LA ABSORCIÓN DE FÓSFORO POR PLANTAS DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN CAMPO DEFINITIVO EN LA ZONA DE NESHUYA, UCAYALI"**, para cumplir con el requisito (académico o título profesional) de **TÍTULO PROFESIONAL.**

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo así como los conocimientos demostrados por el sustentante lo declaramos: **APROBADO POR MAYORÍA** con el calificativo **(15) (QUINCE).**

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el Consejo Universitario y recibir el Título de **INGENIERO AGRÓNOMO,** de conformidad con lo estipulado en los Art. 3 y 6 del reglamento para el otorgamiento de grado académico de bachiller y título profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 25 de enero del 2019.

.....	.....
Ing. Edgar Juan Díaz Zúñiga, Dr.	Ing. José Antonio López Ucariegue, M.Sc.
Presidente	Secretario
.....	.....
Ing. Fernando Pérez Leal, Dr.	Ing. Roger Vásquez Gómez, M.Sc.
Miembro	Asesor

(*) De acuerdo con el Art. 21 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, éstas deberán ser calificadas con términos de Sobresaliente, Aprobado por Unanimidad, Aprobado por Mayoría y Desaprobado.

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito parcial para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

Ing. Edgar Juan Díaz Zúñiga, Dr. .....
Presidente

Ing. José Antonio López Ucarigue, M.Sc. .....
Secretario

Ing. Fernando Pérez Leal, Dr. .....
Miembro

Ing. Roger Vásquez Gómez, M.Sc. .....
Asesor

Bach. Perceo Armas Gonzales .....
Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

Constancia

N° 203

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

La Dirección General de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis) titulado:

"EFECTO DE LA APLICACIÓN DE CUATRO DOSIS DE ÓXIDO DE SILICIO Y ÓXIDO DE MAGNESIO SOBRE LA ABSORCIÓN DE FOSFORO POR PLANTAS DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis Jacq.*) EN CAMPO DEFINITIVO EN LA ZONA DE NESHUYA, UCAYALI"

Cuyo autor es	:	**ARMAS GONZALES, PERCEO**
Facultad	:	CIENCIAS AGROPECUARIAS
Escuela profesional	:	AGRONOMÍA
Asesora	:	M. Sc. VASQUEZ GÓMEZ, ROGER

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 08 %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de plagio, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 17/06/2019

Firma:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCIÓN GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL
DRA. DINA PARI QUISPE
Direc. Gral Prod Intel

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Perceo Armas Gonzales

Autor de la tesis titulada : "Efecto de la aplicación de cuatro dosis de óxido de silicio y óxido de magnesio sobre la absorción de fósforo por plantas de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq) en campo definitivo en la zona de Neshuya, Ucayali."

Sustentada el año 2019

Asesor(a): M.Sc. Vasquez Gomez, Roger

Facultad: Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional: Agronomía

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [x]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 25 / 01 / 2019

Email: perceo-91-23@hotmail.com Firma: _____

Teléfono: 940399574 DNI: 70770989.

www.repositorio.unu.edu.pe
repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

A mi padre celestial, Dios Todopoderoso, por llenarme de fuerzas, sabiduría y bendecirme día a día con salud y amor, para lograr esta meta, que sin él nada nada hubiera sido posible.

A mi amada madre, por hacer de mi un hombre de bien, por dedicarme su tiempo con su amor incalculable, por la educación que me brindó desde que era un niño, por los valores y virtudes que me inculcó.

A mí amado y recordado padre, eternamente agradecido con él, por todo lo que me enseño, por su apoyo incondicional, por sus sabios y constantes consejos.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a las instituciones y personas que hicieron posible la culminación del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por brindarme la oportunidad de formarme en sus aulas y contribuir de manera significativa a mi desarrollo personal y profesional.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, a quienes profeso un profundo respeto y admiración, por su dedicación, esfuerzo constante y valiosa enseñanza, siendo ejemplos y guías fundamentales en mi formación académica.

De manera muy especial, al Ing. M.Sc. Roger Vásquez Gómez, asesor de la presente tesis, por su apoyo permanente, confianza, orientación oportuna y valiosos aportes en el desarrollo y redacción de este trabajo, desde su inicio hasta su culminación.

Finalmente, mi agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra forma, contribuyeron desinteresadamente a la realización y éxito de este estudio y que, aunque no las mencione de manera individual, forman parte importante de este logro.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA.....vi

AGRADECIMIENTO.....vii

ÍNDICE GENERAL.....viii

RESUMEN.....xi

ABSTRACT.....xii

ÍNDICE DE TABLAS.....xiii

ÍNDICE DE FIGURAS.....xv

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....3

1.1. Descripción y fundamentación del problema.....3

1.2. Formulación del problema general y específicos.....4

1.3. Objetivo general y objetivos específicos.....5

1.4. Hipótesis y/o sistema de hipótesis.....6

1.5. Operacionalización de las variables.....6

1.6. Justificación e importancia.....8

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....11

2.1. Antecedentes.....11

2.2. Bases teóricas.....19

2.2.1. Cultivo de palma aceitera.....19

2.2.2. Requerimientos nutricionales de la palma aceitera.....20

2.2.3. El silicio.....21

2.2.4. El magnesio……26
2.2.5. Magnesil……27
2.2.6. El fósforo en el suelo y la planta……29
2.3. Definiciones conceptuales 33
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA..... 35
3.1. Método de investigación 35
3.2. Tipo y nivel de investigación 36
3.3. Población y muestra..... 36
3.4. Componentes en estudio..... 37
3.5. Tratamientos en estudio..... 38
3.6. Diseño experimental 38
3.7. Ejecución del experimento..... 41
3.7.1. Ubicación y duración del estudio..... 41
3.7.2. Condiciones ambientales 42
3.7.3. Proceso experimental 42
3.7.4. Variables evaluadas..... 43
CAPÍTULO IV. RESULTADOS..... 45
4.1. Contenido de fósforo (P) en el suelo y foliar..... 45
4.2. Altura de planta 46
4.3. Longitud de hoja..... 47
4.4. Área foliar..... 49
4.5. Número de racimos de fruto fresco 50
4.6. Peso racimos de fruto fresco..... 52
4.7. Rendimiento por hectárea……..……..……...53
4.8. Relación entre rendimiento y clima……55

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN..... 59

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES 66

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES 68

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70

ANEXOS……75

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en la zona de Monte Alegre-Neshuya Aguaytía, entre los meses de junio 2016 a setiembre del 2017 en una plantación de palma aceitera de tres años de edad de la variedad Deli x La Mé, con el propósito de evaluar el efecto de diferentes dosis de óxido de silicio y oxido de magnesio en la absorción del fosforo disponible en el suelo y tejido foliar, así como su efecto en los parámetros productivos del cultivo. El diseño empleado fue Bloques completos al azar BCA con 5 tratamientos y 4 repeticiones. El área total donde se realizó el ensayo es de 2.2 ha. Los tratamientos fueron: T1= testigo sin oxido de silicio y magnesio, T2= 100 g de Magnesil por planta, T3= 200 g de Magnesil por planta, T4 =300 g de Magnesil por planta y T5= 400 g de Magnesil por planta. Se concluye que, las variables altura de planta, longitud de hoja, área foliar y peso de frutos por racimo no muestran diferencias entre los tratamientos probados en las cuatro evaluaciones efectuadas. El tratamiento T5 sobresale para el número de racimo de fruto fresco de palma aceitera y rendimiento por ha en la mayoría de las cuatro evaluaciones. De igual manera, al término del ensayo se apreció un aumento significativo del P en el suelo, cuando se aplicó las dosis de los tratamientos T4 y T5, lo que indica el buen desempeño del elemento para favorecer la absorción del P y retenerlo en el complejo coloidal. Finalmente, en relación al contenido foliar de P tanto inicial como final no se aprecia diferencias entre los tratamientos evaluados, lo cual puede indicar un suministro apropiado del P en función de la necesidad de la planta.

Palabras claves: Palma aceitera, fósforo, silicio, magnesio, rendimiento.

ABSTRACT

The research work was carried out in the area of Monte Alegre-Neshuya Aguaytia, between the months of June 2016 to September 2017 in a three-year-old oil palm plantation of the Deli x La Mé variety, with the purpose of evaluating the effect of different doses of silicon oxide and magnesium oxide on the absorption of available phosphorus in the soil and foliar tissue, as well as its effect on the productive parameters of the crop. The design used was BCA randomized complete blocks with 5 treatments and 4 repetitions. The total area where the test was carried is 2.2 ha. The treatments were T1 = control without silicon and magnesium oxide, T2 = 100 g of Magnesil per plant, T3 = 200 g of Magnesil per plant, T4 = 300 g of Magnesil per plant and T5 = 400 g of Magnesil per plant. It¨s concluded that the variables plant height, leaf length, foliar area and weight of fruits per cluster do not show differences between the treatments tested in the four evaluations carried out. Treatment T5 stands out for the number of fresh oil palm fruit bunch and yield per ha in most of the four evaluations. Similarly, at the end of the trial, a significant increase in P in the soil was observed, when the doses of treatments T4 and T5 were applied, which indicates the good performance of the element to favor the absorption of P and retain it in the complex colloidal. Finally, in relation to the foliar content of P both initial and final, no differences are appreciated between the evaluated treatments, which may indicate an appropriate supply of P depending on the plant's need.

Keywords: Oil palm, phosphorus, silicon, magnesium, yield.

ÍNDICE DE TABLAS

En el texto: **Pág.**

Tabla 1. Criterios utilizados para identificar las plantas acumuladoras de silicio……... 23

Tabla 2. Tratamientos evaluados en el experimento…… 38

Tabla 3. Esquema del análisis de varianza (ANVA)……. 40

Tabla 4. Contenido de fósforo en suelo y foliar por tratamiento……. 45

Tabla 5. Altura de planta por tratamiento y etapa de evaluación (cm).. 47

Tabla 6. Longitud de hoja por etapas de evaluación 48

Tabla 7. Área foliar por etapas de evaluación 49

Tabla 8. Número de racimos de fruto fresco por etapas de evaluación 50

Tabla 9. Peso promedio de racimos de fruto fresco por etapas de evaluación…… 52

Tabla 10. Rendimiento por hectárea por etapas de evaluación…….. 53

En el anexo:

Tabla 1A. ANVA de altura planta EVA 1…… 79

Tabla 2A. ANVA *de altura de planta EVA 2*…… 79

Tabla 3A. ANVA de altura de planta EVA 3…… 79

Tabla 4A. ANVA de altura de planta EVA 4……. 80

Tabla 5A. ANVA de longitud de hoja EVA 1 ……..…… 80

Tabla 6A. ANVA de longitud de hoja EVA 2 ……..…. 80

Tabla 7A. ANVA de longitud de hoja EVA 3 …… 81

Tabla 8A. ANVA de longitud de hoja EVA 4 …… 81

Tabla 9A. ANVA de área foliar EVA 1 …….. 81

Tabla 10A. ANVA de área foliar EVA 2…….. 82

Tabla 11A. ANVA de área foliar EVA 3 ……. 82

Tabla 12A. ANVA de área foliar EVA 4 …….. 82

Tabla 13A. ANVA de número de RFF EVA 1…… 83

Tabla 14A. ANVA de número de RFF EVA 2 …… 83

Tabla 15A. ANVA de número de RFF EVA 3……..…….. 83

Tabla 16A. ANVA de número de RFF EVA 4……. 84

Tabla 17A. ANVA de peso de fruto EVA 1……. 84

Tabla 18A. ANVA de peso de fruto EVA 2……. 84

Tabla 19A. ANVA de peso de fruto EVA 3 …… 85

Tabla 20A. ANVA de peso de fruto EVA 4……. 85

Tabla 21A. ANVA de rendimiento por ha EVA 1……..…… 85

Tabla 22A. ANVA de rendimiento por ha EVA 2……... 86

Tabla 23A. ANVA de rendimiento por ha EVA 3……... 86

Tabla 24A. ANVA de rendimiento por ha EVA 4……... 86

ÍNDICE DE FIGURAS

En el texto: **Pág.**

Figura 1. Acumulación foliar de silicio por número de hoja……. 24

Figura 2. Dinámica del fósforo en suelos tropicales ácidos……. 32

Figura 3. Croquis de distribución de tratamientos en campo experimental…….. 41

Figura 4. Contenido de fósforo en el suelo inicial y final por tratamiento……. 45

Figura 5. Contenido de fósforo foliar inicial y final por tratamiento…… 46

Figura 6. Altura de planta por etapas de evaluación……..……. 47

Figura 7. Longitud de hoja por etapas de evaluación……. 48

Figura 8. Área foliar por etapas de evaluación……. 49

Figura 9. Número de racimos de fruto fresco por etapas de evaluación……. 51

Figura 10. Peso promedio de racimos de fruto fresco por etapas de evaluación……. 52

Figura 11. Rendimiento por hectárea por etapas de evaluación…… 54

Figura 12. Rendimiento del tratamiento testigo en relación con el clima 55

Figura 13. Rendimiento del tratamiento 100 g de Magnesil en relación con el clima…… 56

Figura 14. Rendimiento del tratamiento 200 g de Magnesil en relación con el clima…… 56

Figura 15. Rendimiento del tratamiento 300 g de Magnesil en relación con el clima…… 57

Figura 16. Rendimiento del tratamiento 400 g de Magnesil en relación con el clima…… 58

En el anexo:

Figura 1A. Delimitación del área de estudio…… 87

Figura 2A. Limpieza del terreno…… 87

Figura 3A. Limpieza del terreno para realizar las zanjas…… 88

Figura 4A. Realizando la delimitación de las zanjas…… 88

Figura 5A. Realizando las zanjas de infiltración…… 89

Figura 6A. Verificación de las zanjas de inflitración culminadas……. 89

Figura 7A. Toma de datos del área foliar…… 90

Figura 8A. Cosecha de racimo de palma aceitera…… 90

Figura 9A. Pesado de racimo de palma aceitera……..…… 91

Figura 10A. Secado de tejido foliar……. 91

INTRODUCCIÓN

En el Perú existen cerca de 100 mil ha de palma aceitera y su importancia económica aumenta cada año debido a la participación activa de la inversión privada que genera cientos de puestos de trabajo.

Reportes de la Dirección Regional de Agricultura de Ucayali señalan que al año 2015 existe un total de 17,794.7 ha instaladas con sembríos de palma aceitera. Su rendimiento oscila entre 12 a 22 t de RFF/ha/año, que al precio actual promedio de RFF de S/. 480.00 ($ 184.6 por t de RFF) le permite al productor, ingresos brutos carca a $ 3,300/ha/año, con una utilidad promedio de $ 1,650/ha/año.

La producción de la palma aceitera en suelos ácidos es con frecuencia limitada por uno o más de los siguientes factores: toxicidad de aluminio (Al) y manganeso (Mn) y deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) o molibdeno (Mo). Por ello es importante contar con estudios de investigación que permitan resolver los problemas nutricionales. En suelos tropicales uno de los elementos deficitarios en general es el fosforo, considerado fundamental para dar energía a la planta.

Rahman (2010) refiere que, el fósforo es esencial para el crecimiento de las plantas. Se requiere para el funcionamiento normal de las membranas celulares, además de ser parte importante del ácido nucleico y el ATP, molécula que alimenta en su gran mayoría a los procesos metabólicos. El fósforo también participa en la producción y transporte de azúcares, grasas y proteínas.

El silicio, según Quero (2009) tiene la capacidad de neutralizar la toxicidad causada por el aluminio en suelos ácidos, mejor que la práctica del encalado. Al emplear materiales ricos en silicio para la optimización del pH y la reducción de

toxicidad del aluminio, mejoran también la nutrición con fósforo, hierro, potasio y zinc.

Por lo anterior, el proyecto tuvo como objetivo, evaluar el efecto de diferentes dosis de óxido de silicio y oxido de magnesio en la absorción del fosforo disponible en el suelo y tejido foliar de plantas de palma aceitera de la variedad Deli x La Mé de tres años, así como su efecto en los parámetros productivos del cultivo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y fundamentación del problema

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) constituye uno de los cultivos oleaginosos de mayor importancia económica en la región amazónica del Perú, especialmente en el departamento de Ucayali, donde las condiciones edafoclimáticas favorecen su desarrollo. Sin embargo, uno de los principales factores que limita su productividad es la baja disponibilidad de fósforo (P) en los suelos tropicales, caracterizados por una alta acidez y elevada fijación de este elemento por óxidos de hierro y aluminio.

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de la palma aceitera, ya que interviene en procesos metabólicos fundamentales como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la formación de frutos. No obstante, en muchos suelos de la zona de Neshuya, su eficiencia de absorción por las plantas es reducida, aun cuando se realizan aplicaciones de fertilizantes fosfatados, lo que incrementa los costos de producción y reduce la rentabilidad del cultivo.

Diversos estudios señalan que el silicio y el magnesio, aplicados en forma de óxidos, pueden mejorar la disponibilidad y absorción del fósforo en el suelo, ya sea disminuyendo su fijación o favoreciendo su retención en el complejo coloidal, además de contribuir al mejor desarrollo fisiológico de las plantas. A pesar de ello, en la zona de Neshuya existen escasos estudios de campo que evalúen el efecto conjunto de diferentes dosis de

óxido de silicio y óxido de magnesio sobre la absorción del fósforo y el rendimiento de la palma aceitera en condiciones reales de producción.

Ante esta problemática, surge la necesidad de evaluar el efecto de la aplicación de cuatro dosis de óxido de silicio y óxido de magnesio sobre la absorción de fósforo en el suelo y en el tejido foliar, así como su impacto en los parámetros productivos del cultivo de palma aceitera en campo definitivo en la zona de Neshuya, Ucayali.

1.2. Formulación del problema generales y específicos

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el efecto de la aplicación de cuatro dosis de óxido de silicio y óxido de magnesio sobre la absorción de fósforo por plantas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) en campo definitivo en la zona de Neshuya, Ucayali?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influyen las diferentes dosis de óxido de silicio y óxido de magnesio en el contenido de fósforo disponible en el suelo?
- ¿Qué efecto tienen las dosis evaluadas sobre el contenido foliar de fósforo en la palma aceitera?
- ¿Cuál es la respuesta de los parámetros vegetativos (altura de planta, longitud de hoja y área foliar) ante la aplicación de óxido de silicio y óxido de magnesio?

- ¿Cómo afectan las diferentes dosis al número de racimos, peso de racimos y rendimiento por hectárea del cultivo?

1.3. Objetivo general y objetivos específicos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de la aplicación de cuatro dosis de óxido de silicio y óxido de magnesio sobre la absorción de fósforo por plantas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq) en campo definitivo en la zona de Neshuya, Ucayali.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de las diferentes dosis de óxido de silicio y óxido de magnesio sobre el fósforo disponible en el suelo.
- Evaluar el contenido foliar de fósforo en plantas de palma aceitera bajo la aplicación de las dosis estudiadas.
- Analizar la respuesta de los parámetros vegetativos de la palma aceitera frente a la aplicación de óxido de silicio y óxido de magnesio.
- Determinar el efecto de las dosis evaluadas sobre el número de racimos, peso de racimos y rendimiento por hectárea del cultivo.

1.4. Hipótesis y/o sistema de hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- La aplicación de cuatro dosis de óxido de silicio y óxido de magnesio mejora significativamente la absorción de fósforo en el suelo y en las plantas de palma aceitera, incrementando el rendimiento del cultivo en la zona de Neshuya, Ucayali.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Las dosis altas de óxido de silicio y óxido de magnesio incrementan el fósforo disponible en el suelo.
- La aplicación de óxido de silicio y óxido de magnesio mejora el contenido foliar de fósforo en la palma aceitera.
- Las diferentes dosis de óxido de silicio y óxido de magnesio influyen positivamente en los parámetros vegetativos del cultivo.
- Las dosis mayores de óxido de silicio y óxido de magnesio incrementan el número de racimos y el rendimiento por hectárea.

1.5. Operacionalización de las variables

1.5.1. Variable independiente

- Aplicación de Magnesil.

La variable independiente estuvo constituida por la aplicación de diferentes dosis de Magnesil en plantas de palma aceitera establecidas en campo definitivo. El Magnesil es un fertilizante compuesto por magnesio y silicio, elementos que contribuyen al mejoramiento de la fertilidad del suelo y al adecuado desarrollo fisiológico de la planta.

En la presente investigación se evaluaron cinco niveles de aplicación del producto: 0, 100, 200, 300 y 400 gramos de Magnesil por planta, considerando el aporte nutricional de MgO y SiO_2 en cada tratamiento. La aplicación se realizó de forma localizada alrededor de cada planta, siguiendo el programa de fertilización establecido durante el experimento.

1.5.2. Variable dependiente

- Comportamiento agronómico y productivo de la palma aceitera.

La variable dependiente estuvo representada por el comportamiento agronómico y productivo de las plantas de palma aceitera frente a la aplicación de diferentes dosis de Magnesil.

Para evaluar esta variable se consideraron indicadores relacionados con el crecimiento vegetativo, estado nutricional y rendimiento productivo del cultivo. Dentro de las variables agronómicas se evaluaron la altura de planta, longitud de hoja y área foliar; mientras que en el aspecto nutricional se analizó el contenido de fósforo disponible en el suelo y el contenido de fósforo foliar.

Asimismo, en relación con las variables productivas se evaluó el número de racimos de fruto fresco, el peso promedio de racimos y el

rendimiento por hectárea, permitiendo determinar la respuesta de las plantas a las diferentes dosis aplicadas durante el desarrollo del experimento.

1.6. Justificación e importancia

1.6.1. Justificación

La presente investigación se justifica desde los puntos de vista científico, técnico, económico, social y ambiental, debido a la problemática existente relacionada con la baja disponibilidad y absorción de fósforo en los suelos destinados al cultivo de palma aceitera en la zona de Neshuya, Ucayali.

Desde el punto de vista científico, el estudio genera información sobre el efecto de la aplicación de diferentes dosis de óxido de silicio y óxido de magnesio en la absorción del fósforo en el suelo y en el tejido foliar de la palma aceitera, contribuyendo al conocimiento del manejo nutricional del cultivo en condiciones de suelos tropicales ácidos, donde la fijación del fósforo limita su aprovechamiento por las plantas.

Desde el punto de vista técnico, la investigación permite evaluar alternativas de fertilización complementaria que podrían mejorar la eficiencia del uso del fósforo, optimizando los programas de fertilización y brindando recomendaciones prácticas para productores y técnicos agrícolas dedicados al cultivo de palma aceitera en la región.

Desde el punto de vista económico, el estudio busca incrementar el rendimiento del cultivo mediante un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo, lo que puede traducirse en una reducción de costos

por fertilización fosfatada y en un aumento de la productividad por hectárea, beneficiando directamente a los productores de palma aceitera.

Desde el punto de vista social, los resultados de la investigación pueden contribuir a mejorar los ingresos de los agricultores y generar mayor estabilidad económica en las zonas productoras de palma aceitera, fortaleciendo el desarrollo agrícola regional.

Finalmente, desde el punto de vista ambiental, el uso eficiente del fósforo mediante la aplicación de óxido de silicio y óxido de magnesio puede disminuir la necesidad de aplicaciones excesivas de fertilizantes químicos, reduciendo el riesgo de contaminación de suelos y cuerpos de agua, y promoviendo una agricultura más sostenible.

1.6.2. Importancia de la investigación

La importancia de la presente investigación radica en que aborda una problemática relevante para la producción de palma aceitera en la Amazonía peruana, relacionada con la baja eficiencia en la absorción del fósforo, uno de los nutrientes esenciales para el desarrollo y productividad del cultivo.

Este estudio proporciona información técnica y científica que puede ser utilizada como referencia para futuras investigaciones relacionadas con el manejo nutricional de la palma aceitera y otros cultivos en suelos tropicales ácidos. Asimismo, los resultados obtenidos pueden servir de base para la formulación de estrategias de fertilización más eficientes, adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la zona de Neshuya.

Además, la investigación tiene importancia práctica, ya que los resultados pueden ser aplicados directamente en campo por productores y empresas palmicultoras, contribuyendo a mejorar el rendimiento del cultivo y la sostenibilidad de los sistemas de producción.

Finalmente, el estudio es importante a nivel académico, ya que fortalece la formación profesional en el área de la agronomía y constituye un aporte significativo al conocimiento local sobre el uso de óxido de silicio y óxido de magnesio en la nutrición de la palma aceitera.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

A nivel internacional, diversos autores coinciden en señalar que el fósforo constituye uno de los nutrientes más limitantes para el cultivo de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en suelos tropicales, debido a su baja disponibilidad y a su fuerte fijación por óxidos de hierro y aluminio.

Corley y Tinker (2016) indican que, aun cuando se realizan aplicaciones de fertilizantes fosfatados, la eficiencia de absorción por la planta suele ser reducida, lo que repercute negativamente en el crecimiento vegetativo y el rendimiento del cultivo.

En este contexto, Fairhurst y Härdter (2003) destacan que una nutrición balanceada es fundamental para mejorar la eficiencia del fósforo en la palma aceitera, resaltando el papel del magnesio como nutriente secundario esencial en la fotosíntesis y en el transporte de asimilados. Los autores señalan que deficiencias de magnesio pueden limitar la respuesta del cultivo a la fertilización fosfatada, aun cuando el fósforo esté presente en el suelo. De manera similar, Viegas et al., (2012), en estudios realizados en la Amazonía brasileña, reportan que la interacción entre fósforo y magnesio influye significativamente en el estado nutricional foliar de la palma aceitera, evidenciando que una adecuada disponibilidad de magnesio favorece el aprovechamiento del fósforo por la planta.

Por otro lado, aunque la información científica sobre el uso del silicio en palma aceitera es aún escasa a nivel mundial, diversos estudios en nutrición vegetal resaltan su importancia en la mejora de la disponibilidad de nutrientes. Epstein y Bloom (2005) señalan que el silicio puede incrementar la disponibilidad del fósforo en el suelo al competir con los fosfatos por los sitios de adsorción, reduciendo su fijación en suelos ácidos. Asimismo, Savant et al., (1997) reportan que la aplicación de silicio en suelos tropicales ácidos incrementa la disponibilidad de fósforo y mejora el desarrollo radicular, lo que se traduce en una mayor capacidad de absorción de nutrientes por las plantas.

En relación con estudios específicos en palma aceitera, Regil (2014) desarrolló una investigación en Guatemala con el objetivo de evaluar la eficiencia en la absorción de fósforo mediante la aplicación de dos dosis de ácido silícico (150 y 250 g por planta) en plantas de palma africana. El estudio, realizado bajo un diseño de bloques completos al azar, no mostró diferencias significativas en las variables de crecimiento vegetativo; sin embargo, el contenido de fósforo foliar presentó una respuesta positiva, destacando el tratamiento con 150 g de silicio como el de mayor concentración de fósforo en hojas.

De manera complementaria, Corzo y Acosta (2014) evaluaron diferentes tecnologías de nutrición vegetal en viveros de palma aceitera en Guatemala, encontrando una tendencia al incremento de los contenidos foliares de nutrientes conforme aumentaba la dosis de silicio aplicada. Los mayores niveles nutricionales se registraron con dosis equivalentes a 120, 140 y 160 g de SiO_2 por planta, lo que evidencia el efecto positivo del silicio

sobre el estado nutricional del cultivo.

Asimismo, Corzo y Acosta (2013) desarrollaron un estudio de largo plazo en plantaciones adultas de palma aceitera, evaluando combinaciones de silicio y fertilización granulada. Los resultados mostraron mejoras en variables vegetativas y productivas, así como un incremento del fósforo disponible en el suelo; no obstante, el contenido de fósforo foliar no presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, lo que sugiere que el efecto del silicio sobre la absorción del fósforo puede estar más relacionado con su disponibilidad en el suelo que con su acumulación en el tejido vegetal.

Finalmente, López (2014), en estudios realizados en Guatemala, evaluó la aplicación de fertilizantes de liberación controlada en la fase de vivero de palma aceitera, demostrando que un suministro eficiente y gradual de nutrientes influye positivamente en el crecimiento vegetativo del cultivo, lo que refuerza la importancia de estrategias de manejo nutricional que optimicen la absorción de nutrientes esenciales.

Por otro lado, Rahman (2010) desarrolló una investigación titulada “El papel del fósforo en el desarrollo sostenible de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en suelos tropicales”. El objetivo del estudio fue analizar la importancia del fósforo en el crecimiento y productividad de la palma aceitera en suelos tropicales ácidos. El autor señaló que los Ultisoles y Oxisoles presentan elevada fijación de fósforo debido a la presencia de hierro y aluminio, limitando la disponibilidad del nutriente para las plantas. Asimismo, indicó que el manejo adecuado de fósforo mejora significativamente el rendimiento y contenido de aceite de la palma

aceitera. El estudio concluyó que la fertilización fosfatada constituye un factor fundamental para incrementar la productividad del cultivo en condiciones tropicales.

Puluá (2018) realizó una investigación titulada “Eficiencia de enmiendas floables y sólidas en corrección de pH en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.)”, desarrollada en Ecuador. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes enmiendas sobre las propiedades químicas del suelo y el comportamiento agronómico de la palma aceitera. Los resultados evidenciaron que las aplicaciones de enmiendas minerales mejoraron el pH del suelo y favorecieron la disponibilidad de nutrientes esenciales para el cultivo. El autor concluyó que la corrección de la acidez del suelo constituye una práctica importante para mejorar el crecimiento y productividad de la palma aceitera en zonas tropicales húmedas.

Lazo et al., (2015) desarrollaron una investigación titulada “Manejo integrado del suelo para mejorar la producción del cultivo de *Elaeis guineensis* (palma africana) en tres fincas de Quinindé, Ecuador”. El objetivo fue evaluar el efecto del manejo integrado del suelo mediante la aplicación de enmiendas y microorganismos benéficos sobre la producción y rendimiento de la palma aceitera. Los resultados demostraron que la aplicación de magnesita y otras enmiendas mejoró las propiedades edáficas, incrementando la producción y rendimiento del cultivo durante los años evaluados. Los autores concluyeron que el manejo nutricional y la aplicación de enmiendas minerales favorecieron significativamente la productividad de la palma aceitera en condiciones tropicales.

Santacruz (2016) elaboró el boletín técnico titulado “Importancia del silicio en palma de aceite y otros cultivos”. El autor sostuvo que el silicio constituye un elemento benéfico para el desarrollo y crecimiento de las plantas debido a que mejora la tolerancia frente a estrés biótico y abiótico. Asimismo, indicó que el silicio fortalece las paredes celulares, mejora la resistencia frente a enfermedades y favorece la eficiencia fisiológica de la palma aceitera. El estudio concluyó que la adecuada disponibilidad de silicio contribuye al crecimiento y productividad del cultivo, especialmente en suelos tropicales con limitaciones nutricionales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Amasifuén (2016) realizaron una investigación titulada “Dosis de fertilización con óxido de magnesio en plántulas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en la etapa de vivero en la empresa Plantaciones Ucayali S.A.C.”, desarrollada en la región Ucayali. El objetivo fue evaluar el efecto de cuatro dosis de óxido de magnesio sobre el crecimiento y desarrollo vegetativo de plántulas de palma aceitera en vivero. La investigación utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los resultados mostraron que el tratamiento con 17 g de Q-MAG presentó los mayores valores en altura de planta, longitud de hoja, número de hojas, diámetro del tallo y materia seca total. Los autores concluyeron que el incremento de las dosis de óxido de magnesio favoreció significativamente el crecimiento vegetativo de la palma aceitera.

Pinedo (2013) desarrolló una investigación titulada “Efecto de la aplicación de cuatro dosis de N, P, K y Mg en el cultivo de palma aceitera

(*Elaeis guineensis* Jacq.) realizado en el vivero de la empresa Palmas del Shanusi S.A.” El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización mineral sobre el crecimiento y rentabilidad económica del cultivo de palma aceitera. El estudio utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los resultados evidenciaron que la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio incrementó significativamente las variables de crecimiento vegetativo y mejoró el desarrollo de las plántulas. El autor concluyó que una adecuada nutrición mineral favorece el crecimiento y productividad del cultivo de palma aceitera.

Nashnato (2012) realizó una investigación titulada “Efectos de tres dosis de fertilización NPK en vivero de palma aceitera (*Elaeis guineensis*)” en la región Loreto. El objetivo fue determinar el efecto de diferentes dosis de fertilización sobre el crecimiento vegetativo de plántulas de palma aceitera. Los resultados mostraron incrementos favorables en altura de planta, número de hojas y desarrollo radicular conforme aumentaron las dosis de fertilización. El autor concluyó que la disponibilidad adecuada de nutrientes minerales influye significativamente sobre el crecimiento y desarrollo fisiológico del cultivo.

Leveau (2018) desarrolló una investigación sobre la sustentabilidad de fincas productoras de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en el valle del río Shanusi, Loreto. El estudio evaluó aspectos agronómicos, ambientales y productivos relacionados con el manejo del cultivo. Los resultados evidenciaron que la fertilización y manejo nutricional constituyen factores fundamentales para mantener la productividad sostenible de la palma

aceitera en condiciones tropicales.

2.1.3. Antecedentes locales

Ríos (2017) realizó una investigación titulada “Evaluación de diferentes niveles de fertilización mineral en el crecimiento de plántulas de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en vivero, región Ucayali”. El objetivo fue determinar el efecto de diferentes niveles de fertilización mineral sobre variables agronómicas del cultivo. La investigación utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tratamientos distribuidos en condiciones de vivero. Los resultados mostraron que la fertilización mineral favoreció significativamente el crecimiento vegetativo de las plántulas, incrementando la altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas. El autor concluyó que la adecuada disponibilidad de nutrientes mejora el desarrollo fisiológico de la palma aceitera en condiciones tropicales.

Vásquez (2015) desarrolló una investigación titulada “Efecto de la fertilización fosfatada en el crecimiento de plántulas de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en condiciones de Ucayali”. El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes dosis de fósforo sobre el crecimiento vegetativo del cultivo. Los resultados evidenciaron incrementos favorables en altura de planta, área foliar y desarrollo radicular conforme aumentaron las dosis de fósforo aplicadas. El autor concluyó que el fósforo constituye un nutriente esencial para el adecuado crecimiento y desarrollo de la palma aceitera en suelos amazónicos.

Tello (2014) realizó una investigación titulada “Influencia de la fertilización mineral en el crecimiento y desarrollo de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en vivero”. El objetivo fue determinar la respuesta del cultivo frente a diferentes niveles de fertilización mineral. Los resultados demostraron que las aplicaciones de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio incrementaron significativamente las variables agronómicas evaluadas, especialmente altura de planta y biomasa vegetal. El autor concluyó que el manejo nutricional constituye un factor fundamental para mejorar el crecimiento vegetativo de la palma aceitera.

Panduro (2016) desarrolló una investigación sobre las características químicas de suelos cultivados con palma aceitera en la región Ucayali. El estudio determinó que los suelos presentaron bajos niveles de fósforo disponible y limitaciones nutricionales relacionadas con calcio y magnesio. El autor recomendó la aplicación de fertilización mineral y enmiendas agrícolas para mejorar la disponibilidad de nutrientes y productividad del cultivo en condiciones tropicales húmedas.

Arce (2018) desarrolló un estudio sobre el potencial productivo y condiciones edafoclimáticas del cultivo de palma aceitera en la Amazonía peruana. El autor señaló que los suelos de la región Ucayali presentan limitaciones nutricionales relacionadas principalmente con fósforo, calcio y magnesio, recomendando el manejo adecuado de fertilización mineral para mejorar la productividad del cultivo. Asimismo, indicó que la palma aceitera presenta mejores rendimientos en condiciones de adecuada disponibilidad de nutrientes y manejo agronómico eficiente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cultivo de palma aceitera

Descripción botánica

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) es uno de los cultivos tropicales más importantes a nivel mundial debido a su elevada producción de aceite vegetal y su importancia económica en regiones tropicales húmedas. Este cultivo presenta características morfológicas y fisiológicas que le permiten adaptarse eficientemente a diferentes condiciones ambientales y sistemas de producción.

Fairhurst y Hardter (2003) sostienen que el sistema radicular de la palma aceitera se concentra principalmente entre los primeros 5 y 50 cm de profundidad del suelo y está conformado por raíces primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias. Las raíces primarias alcanzan entre 15 y 20 metros de longitud y cumplen funciones de anclaje y soporte, mientras que las raíces cuaternarias, localizadas principalmente a 30 cm de profundidad, son las responsables de la absorción de agua y nutrientes.

Respecto al tallo, Fairhurst y Hardter (2003) refieren que la palma aceitera posee un estípite único, erecto y sin ramificaciones, alcanzando alturas entre 15 y 20 metros en estado adulto. Asimismo, Cayón et al. (2002) indican que el crecimiento del tronco oscila entre 35 y 75 cm por año, dificultando progresivamente las labores de cosecha.

En relación con las hojas, Hardter (2003) menciona que una palma adulta puede mantener entre 40 y 56 hojas funcionales bajo condiciones normales de cultivo, produciendo entre 20 y 30 hojas por año. Estas

estructuras son fundamentales para el proceso fotosintético y acumulación de biomasa vegetal.

La palma aceitera es considerada una planta monoica debido a que desarrolla inflorescencias masculinas y femeninas separadas en la misma planta. Los racimos de frutos presentan forma ovoide, alcanzan pesos entre 25 y 50 kg y contienen entre 800 y 4000 frutos por racimo (Fairhurst y Hardter, 2003).

El fruto de la palma aceitera corresponde a una drupa compuesta por exocarpio, mesocarpio, endocarpio y almendra. El mesocarpio constituye la principal fuente de aceite vegetal utilizado industrialmente.

2.2.2. Requerimientos nutricionales de la palma aceitera

La palma aceitera es un cultivo de alta extracción nutricional debido a su elevada producción de biomasa y racimos de fruto fresco. Owen (1992) sostiene que los requerimientos nutricionales dependen de factores como clima, tipo de suelo, material genético, edad de la plantación y manejo agronómico.

Hartley (1987), citado por Villegas (2015), señala que una plantación con densidad promedio de 143 plantas por hectárea puede absorber entre 300 y 600 kg de nutrientes esenciales del suelo.

Por su parte, Fairhurst y Hardter (2003) reportan que una plantación adulta con producción aproximada de 25 t/ha de racimos de fruto fresco absorbe alrededor de 192.5 kg de nitrógeno, 26 kg de fósforo, 251.4 kg de potasio, 61.3 kg de magnesio y 99.3 kg de calcio por hectárea.

En consecuencia, la fertilización balanceada constituye una práctica indispensable para mantener la productividad y sostenibilidad del cultivo.

2.2.3. El silicio

El silicio es considerado un elemento benéfico para numerosas especies vegetales debido a sus efectos positivos sobre el crecimiento, resistencia y productividad de las plantas. PROMIX (2018) señala que el silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre y que las plantas lo absorben principalmente en forma de ácido monosilícico (H4SiO4).

Epstein (1999) refiere que el silicio fortalece las paredes celulares, mejora la resistencia frente a estrés biótico y abiótico y favorece el desarrollo vegetal.

Solubilidad del silicio

Quero (2009) explica que el dióxido de silicio amorfo reacciona con el agua formando ácido silícico soluble, compuesto químico que constituye la principal forma de silicio absorbida por las plantas:

$$[SiO_2+H_2O=H_4SiO_4]$$

El ácido ortosilícico favorece la liberación de fósforo retenido en el suelo y mejora la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Este proceso ocurre debido a que el silicio compite con el fósforo por los sitios de adsorción presentes en los óxidos de hierro y aluminio característicos de los suelos tropicales ácidos, permitiendo que una mayor cantidad de

fósforo permanezca disponible en la solución del suelo.

Asimismo, Quero (2009) sostiene que el ácido ortosilícico puede formar cadenas poliméricas capaces de movilizar nutrientes minerales hacia la rizósfera, facilitando su absorción por el sistema radicular. Este efecto resulta particularmente importante en Ultisoles y Oxisoles, donde gran parte del fósforo aplicado mediante fertilización queda fijado químicamente y no puede ser aprovechado eficientemente por las plantas.

Del mismo modo, Moncada, Puentes y Mesa (1991) señalan que el silicio incrementa la eficiencia de fertilización fosfatada debido a que disminuye la precipitación del fósforo en formas insolubles, contribuyendo a mejorar el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Por otro lado, Epstein (1999) refiere que el silicio no solo favorece la disponibilidad de nutrientes, sino que también mejora la estructura y estabilidad de los tejidos vegetales, incrementando la resistencia frente a estrés hídrico, toxicidad por aluminio, salinidad y ataque de patógenos.

Además, el silicio participa indirectamente en el fortalecimiento del sistema radicular, permitiendo una mayor exploración del suelo y mejor aprovechamiento de agua y nutrientes. Ma y Takahashi (2002) sostienen que las plantas acumuladoras de silicio presentan mayor eficiencia fisiológica y mejor capacidad de adaptación frente a condiciones adversas del ambiente.

En consecuencia, el silicio constituye un elemento benéfico de gran importancia para la agricultura moderna, especialmente en suelos tropicales ácidos, debido a su capacidad para mejorar la disponibilidad de fósforo, favorecer la absorción de nutrientes y contribuir al crecimiento y

productividad de los cultivos.

Importancia del silicio

Ma y Takahashi (2002) clasifican las plantas según su capacidad de acumulación de silicio en acumuladoras, intermedias y excluyentes. Esta clasificación se basa principalmente en la concentración de silicio presente en los tejidos vegetales y en la relación silicio/calcio (Si/Ca), parámetros que permiten identificar la capacidad de absorción y almacenamiento de este elemento en las diferentes especies vegetales.

Tabla 1

Criterios utilizados para identificar las plantas acumuladoras de silicio

Criterio	Acumuladoras	Intermedias	Excluyentes
Concentración de Si (%)	> 1.0	1.0 – 0.5	< 0.5
Relación Si/Ca	> 1.0	1.0 – 0.5	< 0.5
Acumulación de silicio	+	+/-	-

Fuente: Ma y Takahashi (2002).

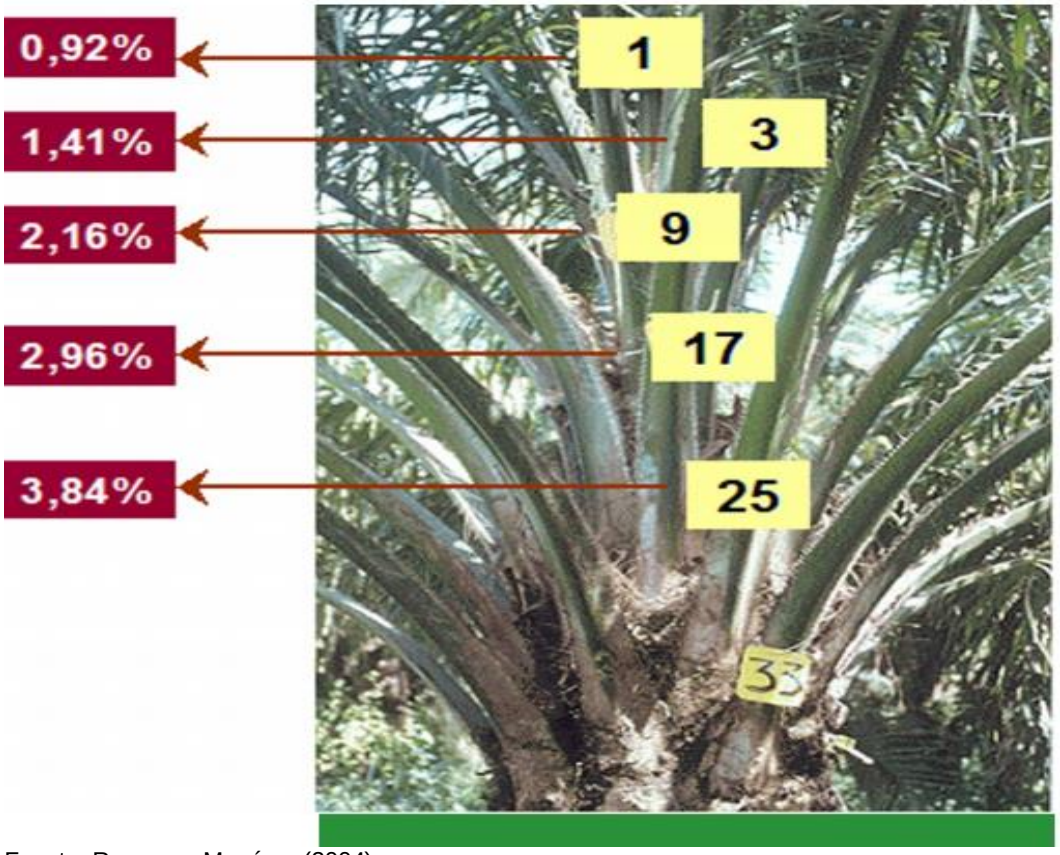
Según los criterios descritos anteriormente, la palma aceitera es considerada una planta acumuladora de silicio debido a su capacidad de absorber y almacenar cantidades importantes de este elemento en sus tejidos vegetales. Esta característica le permite mejorar diversos procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento, absorción de nutrientes y resistencia frente a factores de estrés ambiental.

Romero y Munévar (2004) demostraron que la acumulación de silicio en la palma aceitera varía según el número de hoja y el estado fisiológico

de la planta, observándose mayores concentraciones en hojas fisiológicamente activas. Los autores sostienen que la acumulación progresiva de silicio fortalece las estructuras celulares y favorece la actividad metabólica del cultivo.

Figura 1

Acumulación foliar de silicio por número de hoja



Fuente: Romero y Munévar (2004).

Moncada, Puentes y Mesa (1991) sostienen que el silicio incrementa entre 40 y 60% la absorción de fósforo y mejora considerablemente la eficiencia de fertilización fosfatada, debido a que este elemento reduce la fijación del fósforo en el suelo y evita la formación de compuestos insolubles con hierro y aluminio, especialmente en Ultisoles y Oxisoles característicos de las zonas tropicales. Asimismo, los autores refieren que

el silicio favorece la liberación de fósforo retenido en el complejo coloidal, permitiendo una mayor disponibilidad de este nutriente para las plantas y contribuyendo a mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

De igual manera, Quero (2009) señala que el ácido ortosilícico presente en el suelo participa activamente en la movilización de nutrientes minerales hacia la rizósfera, facilitando su absorción por las raíces. Además, menciona que el silicio reduce las pérdidas de nutrientes por lixiviación, principalmente de nitrógeno y potasio, manteniéndolos disponibles durante mayor tiempo en la solución del suelo.

Por otro lado, Epstein (1999) indica que el silicio aumenta la resistencia de las plantas frente a enfermedades, insectos, toxicidad por aluminio y condiciones ambientales adversas. Este elemento fortalece las paredes celulares mediante la acumulación de sílice en los tejidos epidérmicos, formando una barrera física que dificulta el ataque de patógenos e insectos. Asimismo, el silicio mejora la tolerancia frente a estrés hídrico, altas y bajas temperaturas, salinidad y presencia de metales pesados en el suelo.

El mismo autor sostiene que el silicio contribuye a mejorar la eficiencia fotosintética y disminuye la pérdida excesiva de agua por transpiración, favoreciendo el equilibrio fisiológico de la planta. Además, incrementa la rigidez y resistencia mecánica de tallos y hojas, reduciendo el acame o vuelco de las plantas y favoreciendo un mejor desarrollo vegetativo.

En cultivos tropicales, la aplicación de silicio ha mostrado efectos positivos sobre el crecimiento radicular, área foliar, acumulación de

biomasa y rendimiento productivo, especialmente en condiciones de estrés nutricional y acidez del suelo. Por ello, actualmente el silicio es considerado un elemento benéfico de gran importancia en la agricultura moderna, debido a sus múltiples efectos favorables sobre la nutrición vegetal y productividad agrícola.

2.2.4. El magnesio

El magnesio constituye un macronutriente secundario esencial para el crecimiento y desarrollo vegetal. Intagri (2015) sostiene que la absorción de magnesio depende de factores como disponibilidad del elemento, pH del suelo, textura y capacidad de intercambio catiónico.

Asimismo, las pérdidas de magnesio se producen principalmente por lixiviación, especialmente en suelos tropicales sometidos a altas precipitaciones.

El magnesio en suelos ácidos

En suelos ácidos, el magnesio suele encontrarse en concentraciones deficientes debido a procesos de lixiviación e interacciones con aluminio.

Cakmak (2010) reportó que existe relación positiva entre la absorción de magnesio y el crecimiento radicular y foliar de las plantas.

Por su parte, Fageria (2013) sostiene que el magnesio favorece el desarrollo del sistema radicular y mejora el transporte de carbohidratos dentro de la planta.

Sánchez (1990) refiere que la deficiencia de magnesio ocasiona clorosis foliar, reducción del crecimiento y alteraciones fisiológicas importantes.

2.2.5. Magnesil

Generalidades del producto

Mejiosulfatos (s.f.) define a Magnesil como una enmienda agrícola compuesta por 28% de MgO y 35% de SiO_2 utilizada para mejorar las propiedades químicas del suelo y favorecer el crecimiento de los cultivos.

El magnesio presente en el producto participa en la formación de clorofila y favorece la absorción de fósforo, mientras que el silicio disminuye la fijación de fósforo y reduce la toxicidad por aluminio, hierro y manganeso en suelos ácidos.

Características del Magnesil

Mejiosulfatos (s.f.) sostiene que el silicio presente en Magnesil incrementa el pH del suelo, mejora la disponibilidad de nutrientes y favorece la producción de materia seca. Este efecto es particularmente importante en suelos tropicales ácidos, donde predominan problemas de toxicidad por aluminio y elevada fijación de fósforo. El silicio contribuye a neutralizar parcialmente la acidez del suelo y favorece la liberación de nutrientes retenidos en el complejo coloidal, permitiendo una mayor disponibilidad para las plantas.

Asimismo, el producto fortalece las defensas naturales de las plantas frente a enfermedades y plagas, actuando como barrera física y

fisiológica. El silicio se deposita en las paredes celulares y tejidos epidérmicos, incrementando la rigidez estructural y dificultando el ingreso de hongos, bacterias e insectos. Además, promueve la síntesis de fitoalexinas y otros compuestos de defensa vegetal que incrementan la resistencia fisiológica de la planta frente a factores bióticos y abióticos.

De igual manera, Mejiosulfatos (s.f.) refiere que el silicio presente en Magnesil disminuye la toxicidad de elementos como aluminio, hierro, manganeso y metales pesados, los cuales afectan negativamente el crecimiento radicular y la absorción de nutrientes en suelos ácidos. En suelos alcalinos, el producto también contribuye a reducir el exceso de sales, especialmente sodio, favoreciendo un mejor equilibrio nutricional y fisiológico de la planta.

Por otro lado, el magnesio presente en el fertilizante interviene en procesos de transferencia de energía, transporte de carbohidratos y regulación osmótica. Este elemento constituye el átomo central de la molécula de clorofila, siendo indispensable para el proceso fotosintético y producción de energía en las plantas.

Asimismo, el magnesio participa en la activación de numerosas enzimas relacionadas con la síntesis de proteínas, metabolismo de carbohidratos y formación de compuestos fosfatados. Epstein y Bloom (2005) sostienen que una adecuada disponibilidad de magnesio favorece el crecimiento vegetativo, desarrollo radicular y acumulación de biomasa vegetal.

El Magnesil también contribuye a mejorar la absorción y utilización del fósforo, nitrógeno y potasio, incrementando la eficiencia de fertilización

y favoreciendo mayores rendimientos agrícolas. Además, mejora la aireación y actividad biológica del suelo, permitiendo un mejor desarrollo del sistema radicular y una mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes.

En consecuencia, el Magnesil constituye una enmienda agrícola de gran importancia para cultivos establecidos en suelos tropicales, debido a sus efectos positivos sobre la fertilidad del suelo, disponibilidad de nutrientes, crecimiento vegetal y productividad agrícola.

Recomendaciones de uso

Mejiosulfatos (s.f.) recomienda aplicaciones entre 150 y 750 kg/ha según el cultivo y condiciones del suelo. En palma aceitera adulta se recomiendan aplicaciones entre 1500 y 2000 g/palma/año.

2.2.6. El fósforo en el suelo y la planta

El fósforo constituye uno de los macronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a su participación en numerosos procesos fisiológicos y metabólicos relacionados con la transferencia de energía, síntesis de ATP y formación de tejidos vegetales. Este elemento interviene activamente en procesos de división celular, respiración, fotosíntesis y formación de compuestos orgánicos indispensables para el metabolismo vegetal.

Yara (2004) sostiene que los suelos tropicales generalmente presentan bajos niveles de fósforo disponible, razón por la cual requieren fertilización fosfatada continua para mantener adecuados niveles de

productividad agrícola. Sin embargo, gran parte del fósforo aplicado mediante fertilización no es aprovechado eficientemente por las plantas debido a procesos de fijación química que ocurren en el suelo.

Moncada, Puentes y Mesa (1991) señalan que los Ultisoles y Oxisoles presentan elevada capacidad de fijación de fósforo debido a la abundante presencia de hierro y aluminio, elementos que reaccionan con los fosfatos formando compuestos insolubles y poco disponibles para las plantas. Esta condición representa una de las principales limitantes químicas en los suelos tropicales húmedos, incrementando los costos de fertilización y reduciendo la eficiencia agronómica del fósforo aplicado.

Asimismo, los autores sostienen que en estos suelos el fósforo disponible puede disminuir rápidamente debido a fenómenos de adsorción y precipitación química, afectando directamente el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Por ello, actualmente se promueve el uso de acondicionadores y enmiendas que permitan mejorar la disponibilidad fosfórica en el suelo.

Rahman (2010) refiere que el fósforo participa en la formación de ácidos nucleicos, proteínas y membranas celulares, además de favorecer el crecimiento radicular y desarrollo foliar. También menciona que este elemento es indispensable para la síntesis y transferencia de energía mediante compuestos como ATP y ADP, fundamentales para el funcionamiento metabólico de la planta.

Por su parte, Navarro y Navarro (2003) sostienen que el fósforo interviene activamente en la biosíntesis de lípidos y transporte energético dentro de la planta. Asimismo, participa en procesos relacionados con la

formación de semillas, maduración de frutos y acumulación de biomasa vegetal.

El suministro adecuado de fósforo favorece el crecimiento rápido, desarrollo de hojas y mayor producción de frutos (Yara, 2004). Del mismo modo, promueve una mejor formación del sistema radicular, permitiendo una mayor exploración del suelo y eficiencia en la absorción de agua y nutrientes.

Cuando las plantas presentan deficiencia de fósforo, el crecimiento vegetativo disminuye considerablemente, las hojas adquieren tonalidades verde oscuras o púrpuras y se reduce la formación de raíces, flores y frutos. Además, la deficiencia de este elemento limita la fotosíntesis y reduce la acumulación de materia seca.

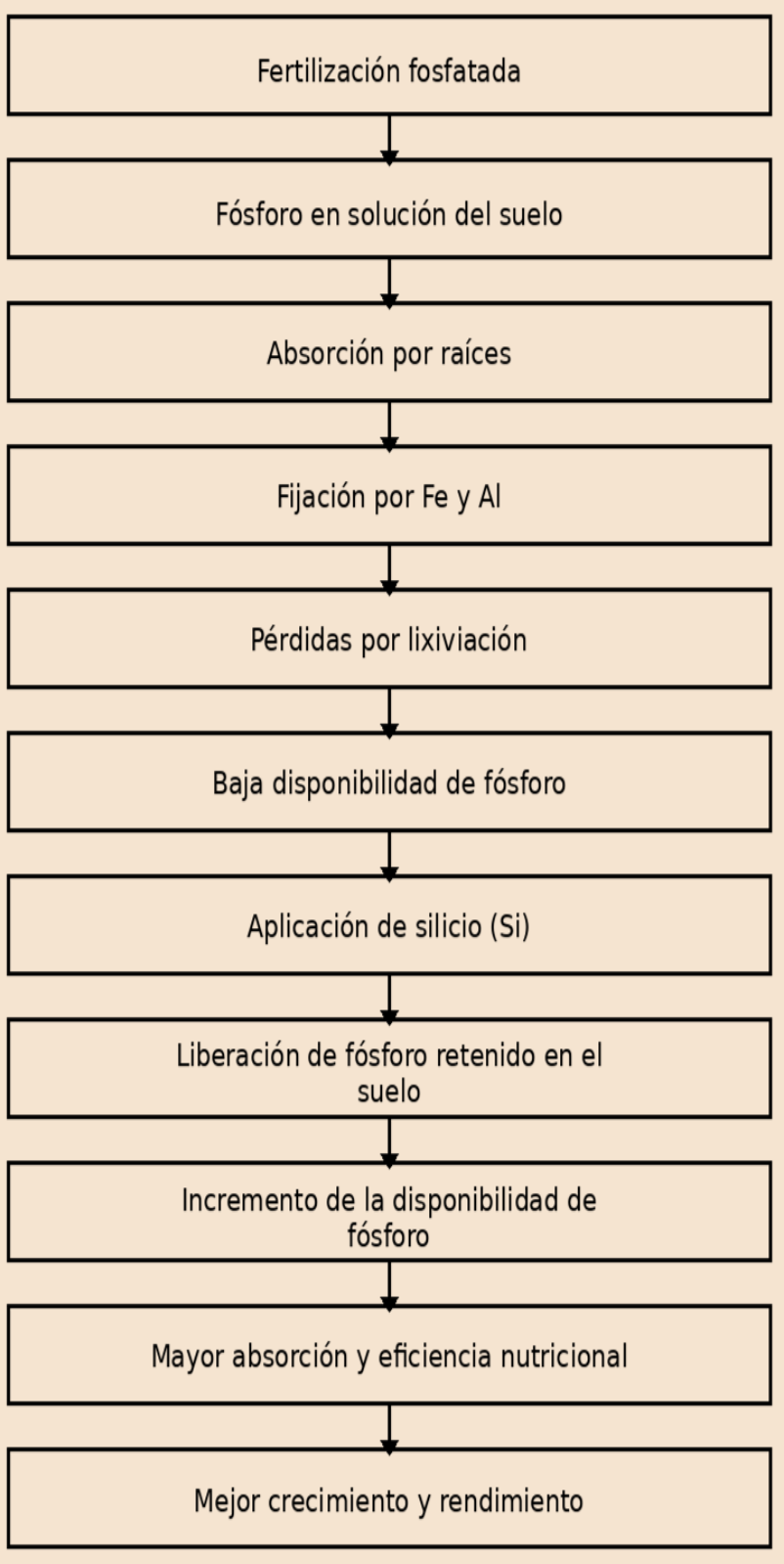
En palma aceitera, Fairhurst y Hardter (2003) sostienen que el fósforo es esencial para mantener adecuados niveles de producción de racimos de fruto fresco, debido a su participación en procesos fisiológicos relacionados con la producción de energía y crecimiento vegetativo.

Por otro lado, Quero (2009) afirma que el silicio favorece la liberación del fósforo retenido en el suelo mediante la formación de ácido ortosilícico, permitiendo una mayor disponibilidad de este nutriente para las plantas. Este efecto resulta especialmente importante en suelos tropicales ácidos donde predominan procesos de fijación fosfórica.

En consecuencia, el fósforo constituye un nutriente esencial para la productividad agrícola, debido a su participación en múltiples procesos fisiológicos, metabólicos y estructurales relacionados con el crecimiento y desarrollo vegetal.

Figura 2

Dinámica del fósforo en suelos tropicales ácidos



Fuente: Adaptado de Moncada, Puentes y Mesa (1991).

2.3. Definiciones conceptuales

- **Magnesil:** Fertilizante mineral compuesto principalmente por magnesio y silicio, utilizado para mejorar las propiedades químicas del suelo, incrementar la disponibilidad de nutrientes y favorecer el crecimiento y productividad de los cultivos.

- **Palma aceitera:** Planta oleaginosa tropical perteneciente a la especie *Elaeis guineensis* Jacq., cultivada principalmente para la producción de aceite vegetal obtenido a partir de sus frutos.

- **Magnesio:** Macronutriente secundario esencial para las plantas, involucrado en la formación de clorofila, fotosíntesis y activación enzimática.

- **Silicio:** Elemento benéfico que fortalece los tejidos vegetales, mejora la resistencia de las plantas y favorece la absorción de nutrientes.

- **Fósforo disponible:** Fracción del fósforo presente en el suelo que puede ser absorbida y utilizada por las plantas para sus procesos metabólicos.

- **Análisis foliar:** Procedimiento técnico utilizado para determinar la concentración de nutrientes presentes en los tejidos vegetales.

- **Área foliar:** Superficie total ocupada por las hojas de una planta, relacionada con su capacidad fotosintética.

- **Racimo de fruto fresco:** Conjunto de frutos producidos por la palma aceitera que son cosechados para la extracción de aceite.

- **Rendimiento:** Cantidad total de producción obtenida por unidad de superficie cultivada, generalmente expresada en toneladas por hectárea.

- **Fertilidad del suelo:** Capacidad que posee el suelo para suministrar nutrientes esenciales en cantidades adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

El método utilizado en la presente investigación fue el método experimental, debido a que se evaluó el efecto de diferentes dosis de Magnesil sobre el comportamiento agronómico y productivo de la palma aceitera en condiciones de campo definitivo. La investigación se desarrolló mediante la manipulación deliberada de la variable independiente, correspondiente a las dosis de Magnesil aplicadas a las plantas, con la finalidad de observar y analizar su influencia sobre las variables dependientes relacionadas con crecimiento, nutrición y rendimiento del cultivo.

Asimismo, el método experimental permitió controlar parcialmente las condiciones del ensayo mediante el uso de tratamientos y repeticiones, facilitando la comparación objetiva de los resultados obtenidos entre las diferentes dosis evaluadas. Este método permitió además establecer relaciones de causa y efecto entre la aplicación del fertilizante y las respuestas agronómicas observadas en las plantas de palma aceitera.

El desarrollo del experimento se efectuó bajo condiciones de campo definitivo, considerando prácticas agronómicas uniformes para todos los tratamientos, con el propósito de reducir posibles efectos externos que pudieran alterar los resultados de la investigación.

3.2. Tipo y nivel de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, debido a que estuvo orientada a generar conocimientos prácticos relacionados con el manejo nutricional del cultivo de palma aceitera mediante el uso de fertilizantes a base de magnesio y silicio. Asimismo, buscó contribuir con alternativas de manejo agronómico que permitieran mejorar la disponibilidad de nutrientes, crecimiento vegetativo y rendimiento productivo del cultivo en condiciones de suelos tropicales ácidos.

El nivel de investigación fue explicativo, debido a que se analizó la relación causa-efecto existente entre la aplicación de diferentes dosis de Magnesil y el comportamiento agronómico y productivo de la palma aceitera. En ese sentido, se evaluó la influencia del fertilizante sobre variables relacionadas con el contenido de fósforo en suelo y planta, crecimiento vegetativo y rendimiento del cultivo.

Asimismo, la investigación presentó un enfoque cuantitativo, debido a que los datos obtenidos durante las evaluaciones fueron expresados numéricamente y analizados mediante procedimientos estadísticos, permitiendo interpretar objetivamente las diferencias existentes entre tratamientos.

3.3. Población y muestra

La población estuvo conformada por 7150 plantas adultas de palma aceitera del cruce Deli x Lamé, instaladas en aproximadamente 50 hectáreas pertenecientes a la empresa Palma Brava S.A.C., ubicadas en

el distrito de Neshuya, provincia Padre Abad, región Ucayali.

La muestra estuvo constituida por 320 plantas adultas de tres años de edad establecidas en campo definitivo, representando aproximadamente el 5% de la población total. Las plantas seleccionadas presentaron características agronómicas homogéneas relacionadas con edad, estado fisiológico, vigor vegetativo y condiciones de manejo agronómico.

Asimismo, las unidades experimentales fueron distribuidas considerando criterios de uniformidad del terreno y desarrollo vegetativo, con la finalidad de reducir la variabilidad experimental y garantizar mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

3.4. Componentes en estudio

Los componentes en estudio estuvieron constituidos por plantas adultas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) del cruce Deli x Lamé de tres años de edad, establecidas en campo definitivo bajo condiciones de manejo agronómico convencional.

Asimismo, se utilizaron como componentes complementarios el fertilizante Magnesil, compuesto por magnesio y silicio, además de insumos y materiales requeridos para las labores de fertilización, evaluación agronómica y manejo del ensayo experimental.

Las plantas evaluadas presentaron condiciones fitosanitarias adecuadas y uniformidad en crecimiento y desarrollo vegetativo, permitiendo realizar comparaciones objetivas entre tratamientos.

3.5. Tratamientos en estudio

Los tratamientos evaluados estuvieron conformados por cinco dosis de Magnesil aplicadas por planta de palma aceitera en campo definitivo. Las dosis fueron establecidas considerando el aporte nutricional de magnesio y silicio proporcionado por el producto comercial.

Tabla 2

Tratamientos evaluados en el experimento

Tratamiento	Dosis de Magnesil
T1	0 g de Magnesil
T2	100 g de Magnesil
T3	200 g de Magnesil
T4	300 g de Magnesil
T5	400 g de Magnesil

La aplicación de los tratamientos se realizó de manera localizada alrededor de cada planta, siguiendo el programa de fertilización establecido para el cultivo. Asimismo, las dosis fueron aplicadas en dos oportunidades durante el desarrollo del ensayo experimental.

3.6. Diseño experimental

Se empleó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), conformado por cinco tratamientos y cuatro repeticiones, haciendo un total de 20 unidades experimentales. Este diseño permitió reducir el efecto de la variabilidad del terreno y mejorar la precisión experimental en la comparación de los tratamientos evaluados.

Cada unidad experimental estuvo conformada por 16 plantas de palma aceitera, de las cuales se evaluaron únicamente las cuatro plantas centrales, consideradas como plantas útiles o netas, con la finalidad de evitar efectos de borde.

Asimismo, la distribución de los tratamientos y repeticiones se realizó considerando la uniformidad del terreno, las condiciones agronómicas del cultivo y la adecuada separación entre parcelas experimentales.

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó el análisis de varianza (ANVA) y posteriormente la prueba de comparación de medias de Tukey al 5% de significancia.

El modelo aditivo lineal utilizado fue el siguiente:

$$Yij = U + Ti + Bj + Eij$$

Donde:

Y_ij: Observación de la unidad experimental correspondiente al tratamiento -i y bloque -j.

U: Media general de las observaciones.

Ti: Efecto del i-ésimo tratamiento.

Bj: Efecto del j-ésimo bloque o repetición.

E_ij: Error experimental asociado a cada observación.

Tabla 3

Esquema del análisis de varianza (ANVA)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad
Tratamientos	5 – 1 = 4
Repeticiones	4 – 1 = 3
Error experimental	(5 – 1) (4 – 1) = 12
Total	(5) (4) – 1 = 19

Dimensiones del área experimental

Del campo experimental

- Largo: 180 m
- Ancho: 108 m
- Área total: 19 440 m²

De los bloques

- Largo: 108 m
- Ancho: 36 m
- Área total: 3 888 m²
- Número de bloques: 4 bloques

De la unidad experimental

- Largo: 36 m
- Ancho: 27 m
- Área total: 972 m²
- Número de plantas por unidad experimental: 16 plantas

Figura 3

Croquis de distribución de tratamientos en campo experimental

TRATAMIENTOS					
REPETICIONES	T4R4	T2R4	T5R4	T1R4	T3R4
	T2R3	T4R3	T1R3	T3R3	T5R3
	T5R2	T3R2	T4R2	T2R2	T1R2
	T1R1	T2R2	T4R3	T5R4	T1R3

El croquis experimental mostró la distribución de los tratamientos y repeticiones dentro del área experimental bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), permitiendo visualizar la disposición de las unidades experimentales en campo definitivo y facilitando el desarrollo ordenado de las evaluaciones agronómicas y productivas realizadas durante el experimento.

3.7. Ejecución del experimento

3.7.1. Ubicación y duración del estudio

La investigación se realizó en el caserío El Triunfo, ubicado en el km 64 de la carretera Federico Basadre, interior 3 km margen derecha, distrito de Neshuya, provincia Padre Abad, región Ucayali.

Geográficamente, el área experimental se localizó aproximadamente a 8°39’33’’ de latitud sur y 75°30’12’’ de longitud oeste, a una altitud aproximada de 210 msnm.

El estudio tuvo una duración de 16 meses, iniciándose en junio del año 2016 y culminando en setiembre del año 2017, periodo durante el cual se realizaron las evaluaciones agronómicas y productivas correspondientes.

3.7.2. Condiciones ambientales

La zona de estudio presentó condiciones climáticas propias de un bosque húmedo tropical, de acuerdo con la clasificación de Holdridge (1967). Asimismo, se caracterizó por presentar elevadas precipitaciones pluviales, temperaturas relativamente altas y humedad ambiental durante gran parte del año.

Durante el desarrollo del experimento, la temperatura y precipitación pluvial variaron entre las diferentes etapas de evaluación, influyendo sobre el crecimiento vegetativo y comportamiento productivo del cultivo.

Las condiciones edafoclimáticas del área experimental fueron favorables para el desarrollo del cultivo de palma aceitera, debido a que presentaron características típicas de zonas tropicales húmedas de la región amazónica.

3.7.3. Proceso experimental

El proceso experimental comprendió diversas actividades agronómicas desarrolladas durante la ejecución del ensayo, iniciándose

con la demarcación del área experimental mediante el uso de GPS para la distribución de tratamientos y repeticiones.

Posteriormente, se seleccionaron las unidades experimentales considerando uniformidad en edad, vigor y estado fitosanitario de las plantas. Asimismo, se realizaron análisis de suelo y análisis foliar al inicio y final del experimento con la finalidad de determinar las condiciones nutricionales del cultivo.

La aplicación del Magnesil se realizó en dos oportunidades, considerando las dosis establecidas para cada tratamiento experimental. El fertilizante fue aplicado alrededor de cada planta antes de la fertilización anual programada.

Además, se efectuaron labores de control de malezas, construcción y mantenimiento de zanjas de infiltración, fertilización complementaria y manejo agronómico general del cultivo.

La recolección de datos se realizó mediante evaluaciones periódicas de las variables agronómicas y productivas establecidas en el estudio, registrándose la información en fichas y libretas de campo para su posterior procesamiento estadístico.

3.7.4. Variables evaluadas

Las variables evaluadas durante el desarrollo de la investigación estuvieron relacionadas con el estado nutricional, crecimiento vegetativo y rendimiento productivo de la palma aceitera.

Las variables consideradas fueron las siguientes:

- Contenido de fósforo en el suelo.

- Contenido de fósforo foliar.
- Altura de planta.
- Longitud de hoja.
- Área foliar.
- Número de racimos de fruto fresco.
- Peso de racimos de fruto fresco.
- Rendimiento por hectárea.

Las evaluaciones fueron realizadas periódicamente durante las diferentes etapas del ensayo experimental, permitiendo determinar la respuesta agronómica y productiva de las plantas frente a las diferentes dosis de Magnesil aplicadas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Contenido de fósforo (P) en el suelo y foliar

Los resultados del contenido de fósforo disponible en el suelo al inicio y final del ensayo se presentan en la Tabla 4 y la Figura 4**.** Al inicio, los valores oscilaron entre 3.36 y 4.86 ppm, por debajo del umbral recomendado de 7 ppm (Díaz, 2012), indicando baja disponibilidad de fósforo en los suelos evaluados.

Tabla 4

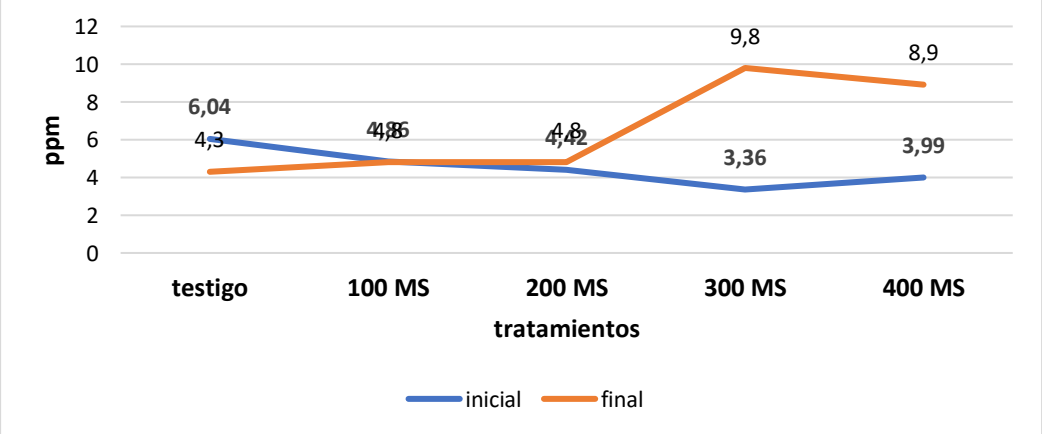
Contenido de fósforo en suelo y foliar por tratamiento

Tratamiento	P suelo inicio (ppm)	P suelo final (ppm)	P foliar inicio (%)	P foliar final (%)
Testigo	4.30 b	6.04 b	0.15 a	0.18 a
100 g Magnesil	4.86 a	4.86 b	0.14 a	0.18 a
200 g Magnesil	4.42 ab	4.42 b	0.15 a	0.18 a
300 g Magnesil	3.36 b	9.80 a	0.15 a	0.19 a
400 g Magnesil	3.99 b	8.90 a	0.14 a	0.18 a

Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p < 0.05$).

Figura 4

Contenido de fósforo en el suelo inicial y final por tratamiento

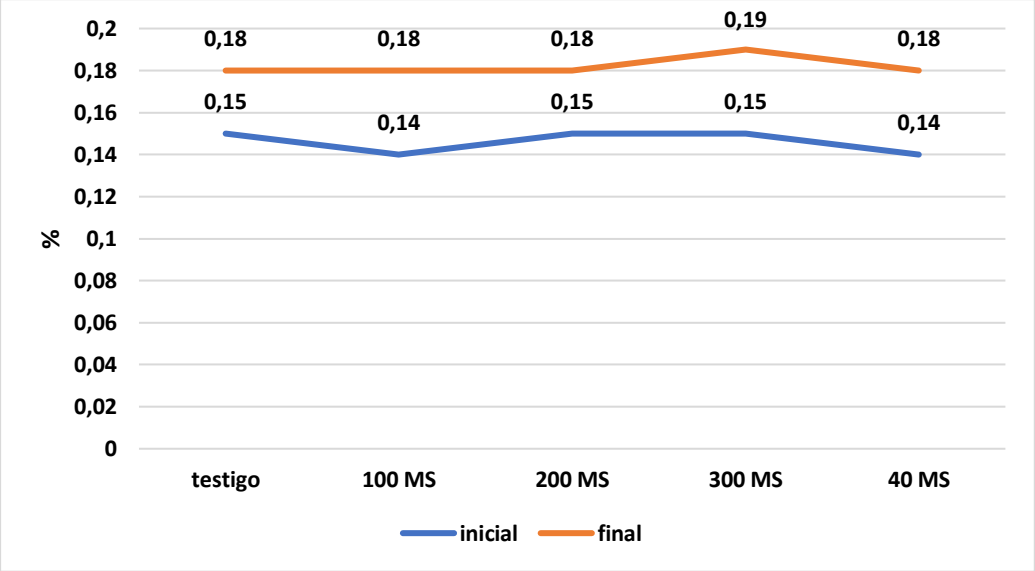


Las dosis más altas de Magnesil (300 y 400 g/planta) aumentaron significativamente el P disponible en el suelo, mostrando el efecto positivo de la combinación de sílice y magnesio sobre la retención de fósforo.

El contenido de fósforo foliar se mantuvo estable en todos los tratamientos (0.14-0.15% al inicio y 0.18-0.19% al final), dentro del rango óptimo recomendado (Rahman, 2010), lo que indica que las plantas absorbieron adecuadamente el nutriente, incluso en suelos pobres en fósforo (Figura 5).

Figura 5

Contenido de fósforo foliar inicial y final por tratamiento



La estabilidad del P foliar sugiere un suministro adecuado durante todo el ensayo, destacando la relación positiva entre N y P foliar.

4.2. Altura de planta

La altura de la palma mostró incrementos progresivos durante las cuatro etapas de evaluación (Tabla 5 y Figura 6).

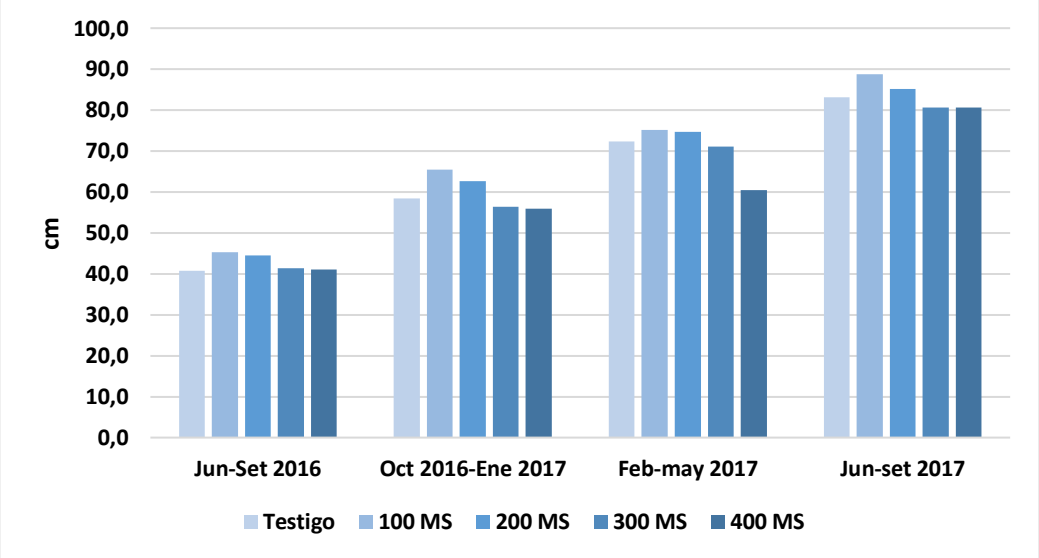
Tabla 5

Altura de planta por tratamiento y etapa de evaluación (cm)

Tratamiento	Jun-Sep 2016	Oct 2016-Dec 2017	Feb-May 2017	Jun-Sep 2017
Testigo	40.75 a	58.45 ab	72.40 a	83.17 a
100 g Magnesil	45.20 a	65.40 a	75.12 a	88.70 a
200 g Magnesil	44.45 a	62.75 ab	74.67 a	85.15 a
300 g Magnesil	41.37 a	56.45 b	71.02 a	80.62 a
400 g Magnesil	41.12 a	55.97 b	70.57 a	80.67 a

Figura 6

Altura de planta por etapas de evaluación



No se observaron diferencias significativas, aunque los tratamientos 100 y 200 g de Magnesil alcanzaron mayor altura, sugiriendo un efecto moderado de estas dosis en el crecimiento vegetativo.

4.3. Longitud de hoja

En la Tabla 6 y Figura 7 se presentan los resultados de longitud de hoja por etapas de evaluación.

Tabla 6

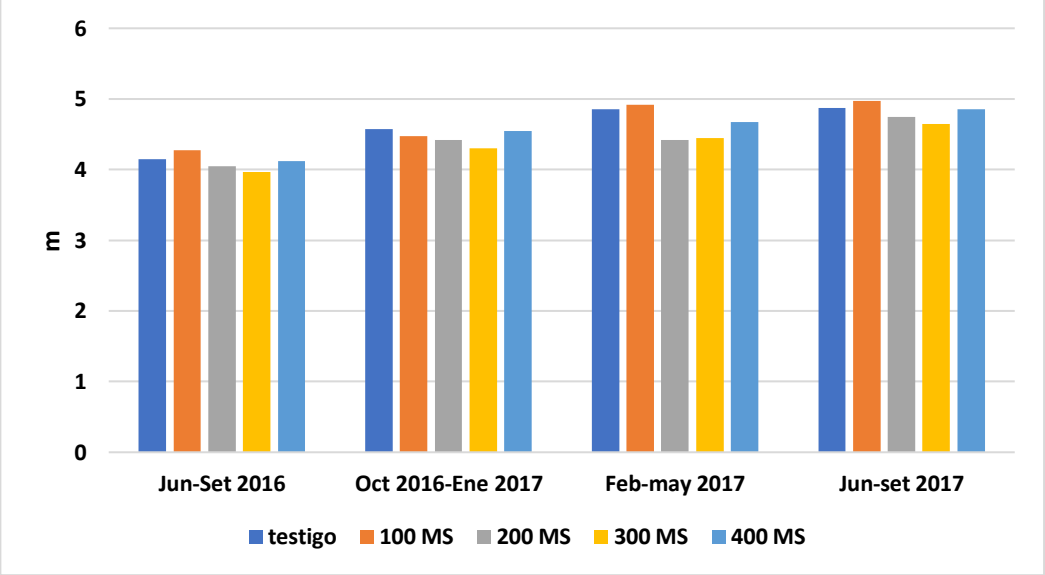
Longitud de hoja por etapas de evaluación

Tratamientos	Jun-Set 2016	Oct 2016-Ene 2017	Feb-May. 2017	Jun-Set 2017
Testigo	4.15 ab	4.57 a	4.85 a	4.87 ab
100 g Magnesil	4.27 a	4.47 ab	4.92 a	4.97 a
200 g Magnesil	4.05 b	4.42 ab	4.42 b	4.75 bc
300 g Magnesil	3.97 b	4.30 b	4.45 b	4.65 c
400 g Magnesil	4.12 ab	4.55 a	4.67 ab	4.85 ab

Nota. Letras iguales indican que no existieron diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 7

Longitud de hoja por etapas de evaluación



Los resultados mostraron variaciones estadísticas entre tratamientos en la longitud de hoja. En la primera evaluación, el tratamiento con 100 g de Magnesil presentó el mayor valor, con 4.27 m. En la segunda evaluación, destacaron el testigo y el tratamiento con 400 g de Magnesil, con 4.57 y 4.55 m, respectivamente.

En la tercera evaluación, los mayores valores correspondieron al tratamiento con 100 g de Magnesil y al testigo, con 4.92 y 4.85 m.

Finalmente, en la última evaluación, el tratamiento con 100 g de Magnesil alcanzó la mayor longitud de hoja, con 4.97 m, seguido del testigo y el tratamiento con 400 g de Magnesil.

4.4. Área foliar

En la Tabla 7 y Figura 8 se presentan los resultados del área foliar por etapas de evaluación.

Tabla 7

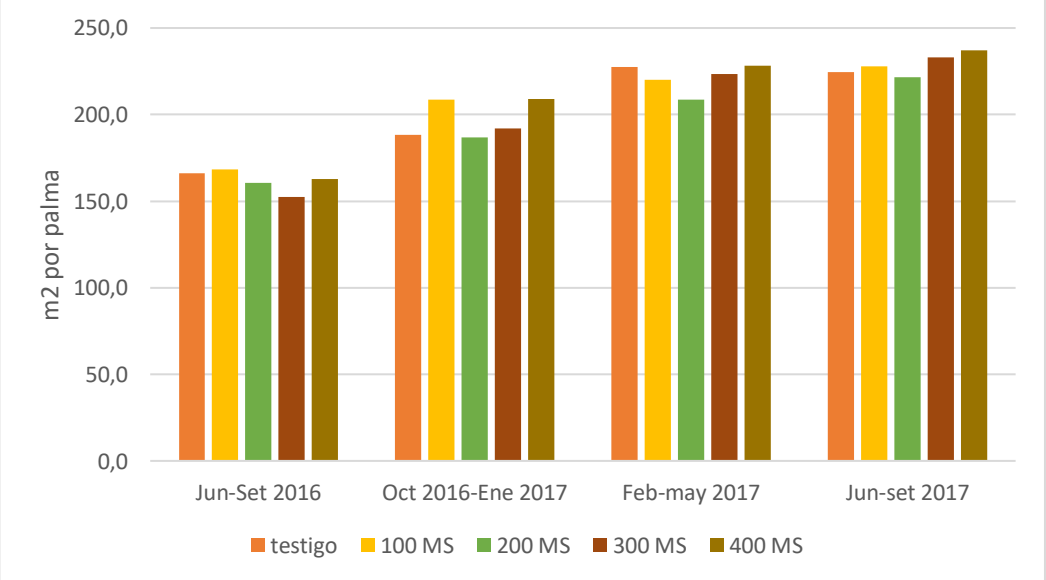
Área foliar por etapas de evaluación

Tratamientos	Jun-Set 2016	Oct 2016-Ene 2017	Feb-May 2017	Jun-Set 2017
Testigo	166.2 a	188.4 a	227.6 a	224.5 a
100 g Magnesil	168.2 a	208.5 a	220.0 a	227.8 a
200 g Magnesil	160.6 a	186.9 a	208.8 a	221.5 a
300 g Magnesil	152.6 a	192.0 a	223.5 a	233.1 a
400 g Magnesil	162.7 a	209.1 a	228.4 a	237.0 a

Nota. Letras iguales indican que no existieron diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 8

Área foliar por etapas de evaluación



Los resultados indicaron que el área foliar no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos durante las etapas evaluadas. Sin embargo, se observaron diferencias numéricas importantes. En la primera evaluación, el mayor valor correspondió al tratamiento con 100 g de Magnesil, con 168.2 m²/palma.

En la segunda evaluación, el tratamiento con 400 g de Magnesil registró el mayor valor, con 209.1 m²/palma, seguido del tratamiento con 100 g de Magnesil, con 208.5 m²/palma. En la tercera evaluación, el tratamiento con 400 g de Magnesil y el testigo presentaron los mayores valores, con 228.4 y 227.6 m²/palma.

En la evaluación final, los tratamientos con 400 y 300 g de Magnesil alcanzaron los mayores valores de área foliar, con 237.0 y 233.1 m²/palma, respectivamente. Esto evidenció una tendencia favorable de las dosis altas de Magnesil sobre el desarrollo foliar de la palma aceitera.

4.5. Número de racimos de fruto fresco

En la Tabla 8 y Figura 9 se presentan los resultados del número de racimos de fruto fresco por etapas de evaluación.

Tabla 8

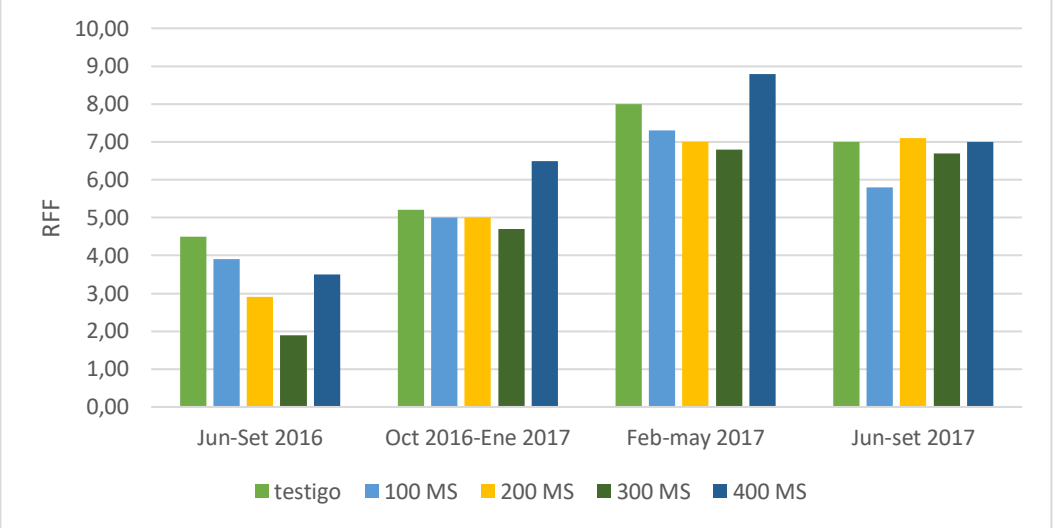
Número de racimos de fruto fresco por etapas de evaluación

Tratamientos	Jun-Set 2016	Oct 2016-Ene 2017	Feb-May 2017	Jun-Set 2017
Testigo	4.50 a	5.20 c	8.00 b	7.00 a
100 g Magnesil	3.90 a	5.00 c	7.30 b	5.80 c
200 g Magnesil	2.90 ab	5.00 c	7.00 b	7.10 a
300 g Magnesil	1.90 b	4.70 b	6.80 b	6.70 b
400 g Magnesil	3.50 a	6.50 a	8.80 a	7.00 a

Nota. Letras iguales indican que no existieron diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 9

Número de racimos de fruto fresco por etapas de evaluación



Los resultados demostraron diferencias estadísticas entre tratamientos en el número de racimos de fruto fresco. En la primera evaluación, los mayores valores fueron registrados por el testigo, el tratamiento con 100 g de Magnesil y el tratamiento con 400 g de Magnesil, con 4.50, 3.90 y 3.50 racimos por planta, respectivamente.

A partir de la segunda evaluación, el tratamiento con 400 g de Magnesil presentó los mayores valores, alcanzando 6.50 racimos en la segunda etapa y 8.80 racimos en la tercera etapa. En la evaluación final, los tratamientos con 200 g, 400 g y el testigo presentaron valores similares, con 7.10, 7.00 y 7.00 racimos por planta, respectivamente.

Estos resultados indicaron que la dosis de 400 g de Magnesil mostró una respuesta favorable sobre el número de racimos durante la mayor parte del periodo evaluado.

4.6. Peso de racimos de fruto fresco

En la Tabla 9 y Figura 10 se muestran los resultados del peso promedio de racimos de fruto fresco por etapas de evaluación.

Tabla 9

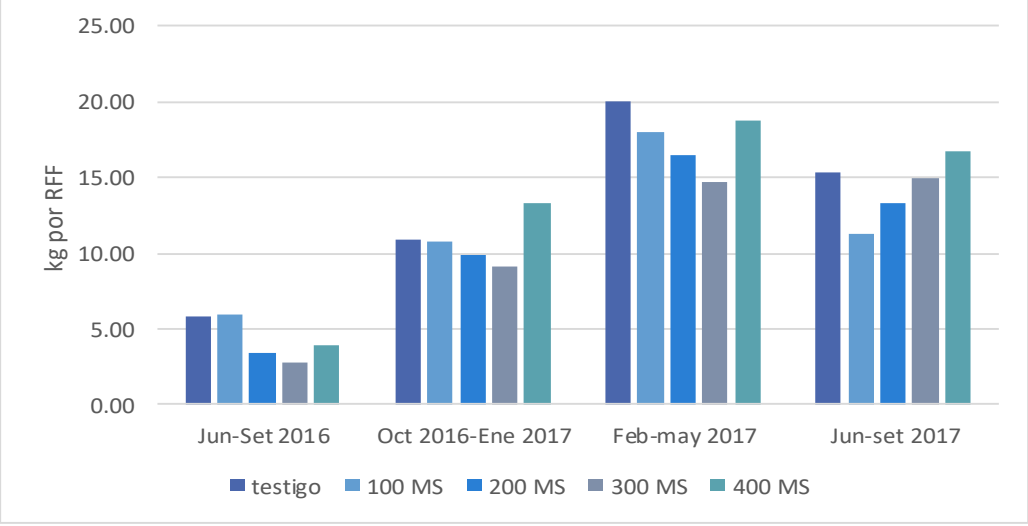
Peso promedio de racimos de fruto fresco por etapas de evaluación

Tratamientos	Jun-Set 2016	Oct 2016-Ene 2017	Feb-May 2017	Jun-Set 2017
Testigo	5.80 a	10.87 a	20.07 a	15.30 a
100 g Magnesil	6.00 a	10.82 a	18.02 a	11.22 a
200 g Magnesil	3.42 ab	9.85 a	16.42 a	13.30 a
300 g Magnesil	2.72 b	9.12 a	14.67 a	14.90 a
400 g Magnesil	3.97 ab	13.27 a	18.70 a	16.77 a

Nota. Letras iguales indican que no existieron diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 10

Peso promedio de racimos de fruto fresco por etapas de evaluación



Los resultados mostraron que, en la primera evaluación, se presentaron diferencias entre tratamientos, destacando el tratamiento con

100 g de Magnesil con 6.00 kg/racimo, seguido del testigo con 5.80 kg/racimo.

En la segunda evaluación, el tratamiento con 400 g de Magnesil alcanzó el mayor peso promedio, con 13.27 kg/racimo. En la tercera evaluación, el testigo presentó el valor más alto, con 20.07 kg/racimo, seguido del tratamiento con 400 g de Magnesil, con 18.70 kg/racimo.

En la evaluación final, el tratamiento con 400 g de Magnesil registró el mayor peso promedio de racimos, con 16.77 kg/racimo, seguido del testigo, con 15.30 kg/racimo. En general, los mayores pesos se presentaron entre la tercera y cuarta evaluación.

4.7. Rendimiento por hectárea

En la Tabla 10 y Figura 11 se presentan los resultados del rendimiento por hectárea por etapas de evaluación.

Tabla 10

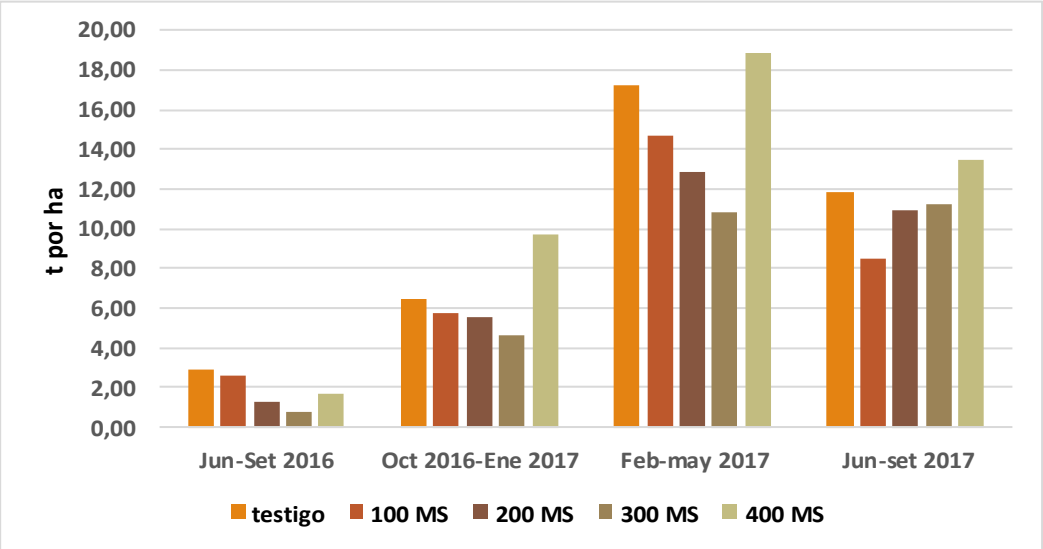
Rendimiento por hectárea por etapas de evaluación

Tratamientos	Jun-Set 2016	Oct 2016-Ene 2017	Feb-May 2017	Jun-Set 2017
Testigo	2.94 a	6.43 ab	17.19 a	11.80 a
100 g Magnesil	2.60 ab	5.76 ab	14.71 a	8.51 a
200 g Magnesil	1.26 ab	5.56 ab	12.90 a	10.91 a
300 g Magnesil	0.72 b	4.66 b	10.80 a	11.19 a
400 g Magnesil	1.69 ab	9.69 a	18.87 a	13.46 a

Nota. Letras iguales indican que no existieron diferencias significativas entre tratamientos.

Figura 11

Rendimiento por hectárea por etapas de evaluación



Los resultados evidenciaron que el rendimiento por hectárea varió entre tratamientos y etapas de evaluación. En la primera evaluación, el mayor rendimiento correspondió al testigo, con 2.94 t RFF/ha, seguido del tratamiento con 100 g de Magnesil, con 2.60 t RFF/ha.

En la segunda evaluación, el tratamiento con 400 g de Magnesil alcanzó el mayor rendimiento, con 9.69 t RFF/ha. En la tercera evaluación, el mismo tratamiento presentó nuevamente el mayor valor, con 18.87 t RFF/ha, seguido del testigo, con 17.19 t RFF/ha.

En la cuarta evaluación, el tratamiento con 400 g de Magnesil mantuvo el mayor rendimiento, con 13.46 t RFF/ha, seguido del testigo y del tratamiento con 300 g de Magnesil, con 11.80 y 11.19 t RFF/ha, respectivamente.

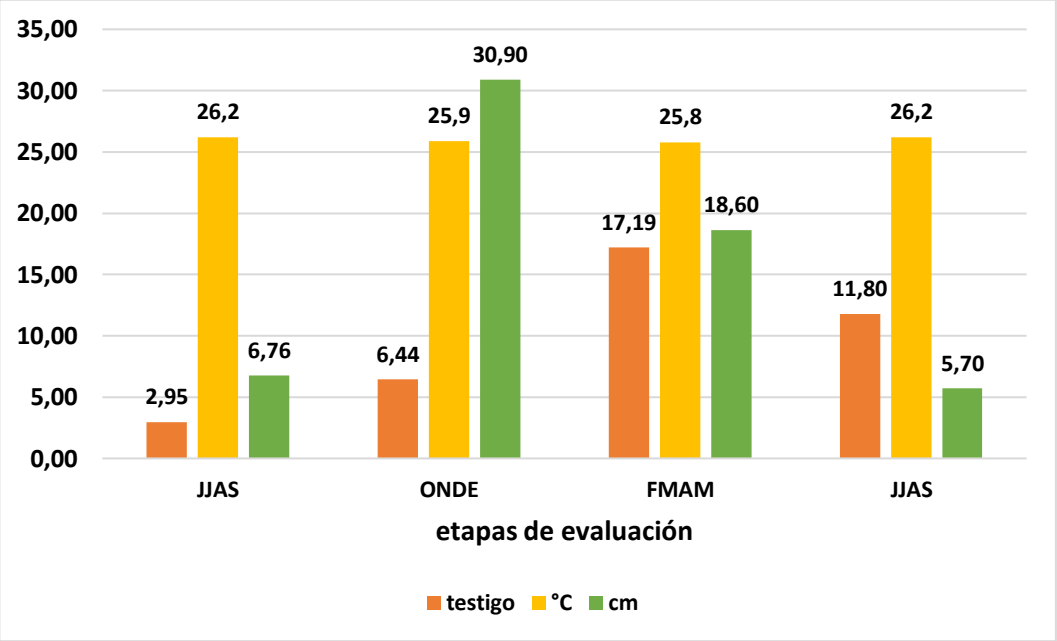
En términos generales, el tratamiento con 400 g de Magnesil mostró el mejor comportamiento productivo durante las tres últimas etapas de evaluación.

4.8. Relación entre rendimiento y clima

En esta sección se presentó el comportamiento del rendimiento por hectárea en relación con las condiciones climáticas registradas durante las etapas de evaluación, considerando principalmente la temperatura media y la precipitación pluvial.

Figura 12

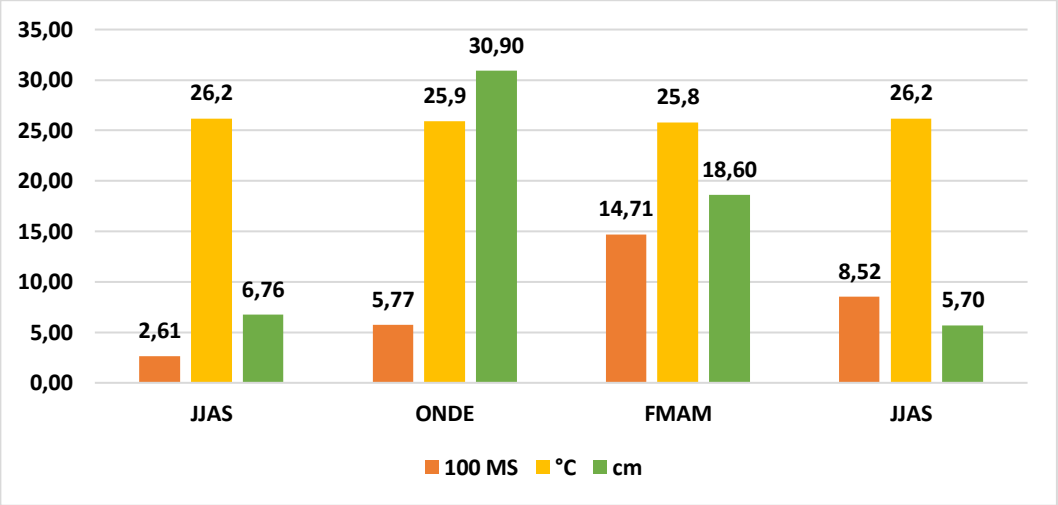
Rendimiento del tratamiento testigo en relación con el clima



En el tratamiento testigo, el rendimiento mostró variaciones durante las etapas evaluadas. En la segunda etapa, a pesar de registrarse la mayor precipitación pluvial, con 30.9 cm, el rendimiento alcanzó 6.43 t/ha. Los mayores rendimientos se obtuvieron en la tercera y cuarta etapa, con 17.19 y 11.80 t/ha, respectivamente.

Figura 13

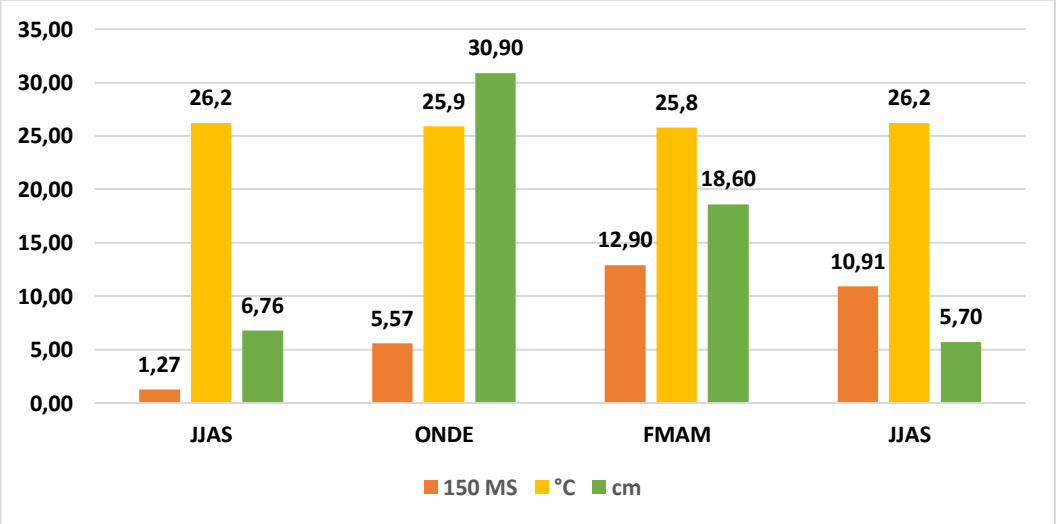
Rendimiento del tratamiento 100 g de Magnesil en relación con el clima



En el tratamiento con 100 g de Magnesil por planta, el rendimiento se incrementó desde la segunda hasta la tercera evaluación. En la segunda etapa alcanzó 5.76 t/ha y en la tercera evaluación aumentó a 14.71 t/ha. En la cuarta etapa, el rendimiento disminuyó a 8.51 t/ha.

Figura 14

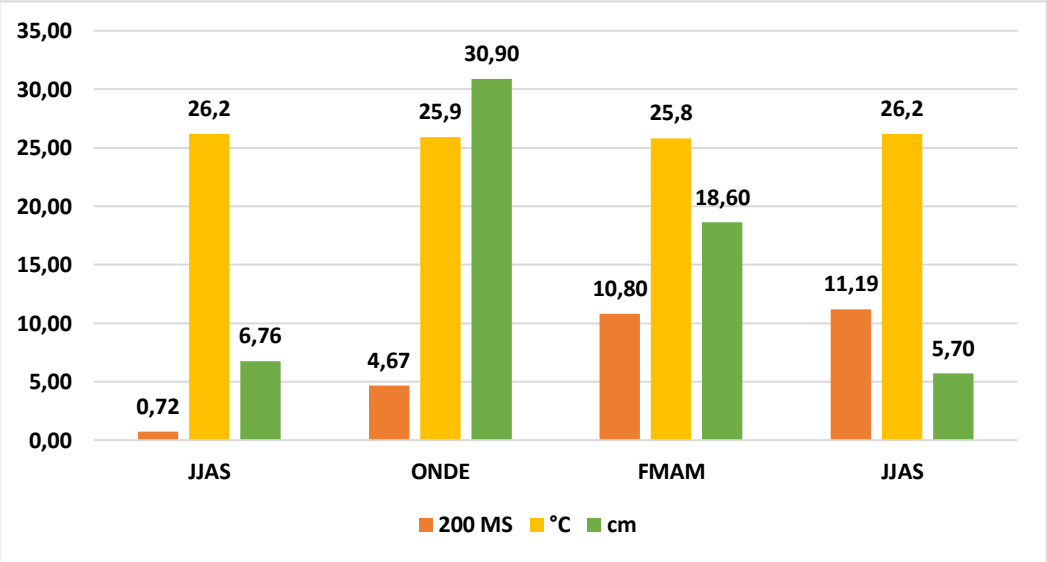
Rendimiento del tratamiento 200 g de Magnesil en relación con el clima



En el tratamiento con 200 g de Magnesil por planta, el rendimiento presentó un incremento progresivo desde la primera hasta la tercera evaluación. Se registraron valores de 1.26, 5.56 y 12.90 t/ha en las tres primeras etapas, respectivamente. En la cuarta evaluación, el rendimiento fue de 10.91 t/ha.

Figura 15

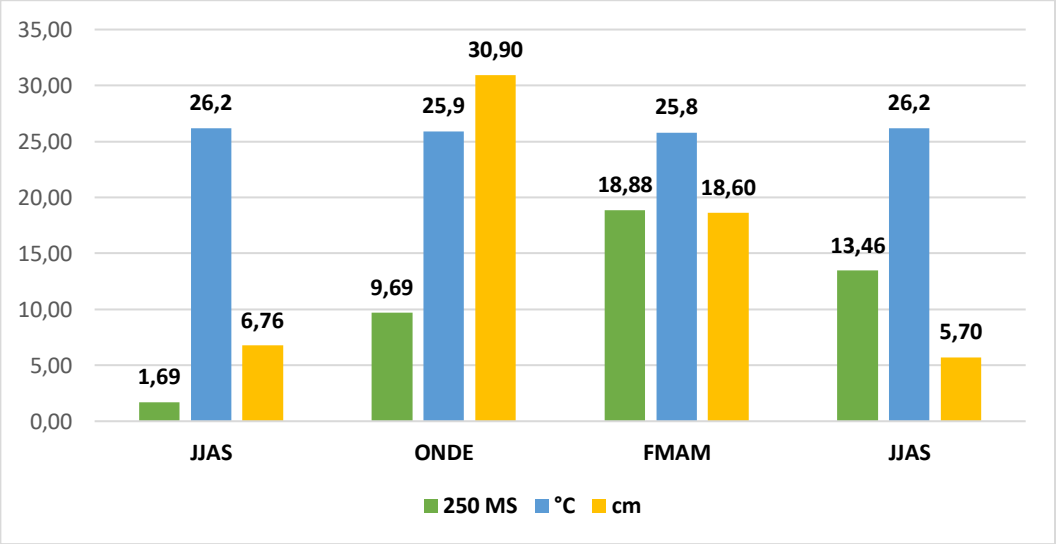
Rendimiento del tratamiento 300 g de Magnesil en relación con el clima



En el tratamiento con 300 g de Magnesil por planta, el rendimiento fue menor en las dos primeras etapas, con 0.72 y 4.66 t/ha. Posteriormente, se incrementó en la tercera y cuarta etapa, alcanzando 10.80 y 11.19 t/ha, respectivamente.

Figura 16

Rendimiento del tratamiento 400 g de Magnesil en relación con el clima



En el tratamiento con 400 g de Magnesil por planta, se observó el mejor comportamiento productivo. El rendimiento fue de 1.69 t/ha en la primera etapa, aumentó a 9.69 t/ha en la segunda, alcanzó el valor máximo de 18.87 t/ha en la tercera y se mantuvo en 13.46 t/ha en la cuarta etapa.

En general, los resultados mostraron que los mayores rendimientos se presentaron en la tercera etapa de evaluación, especialmente en el tratamiento con 400 g de Magnesil por planta. Asimismo, se observó que la variación climática, principalmente la precipitación pluvial, estuvo relacionada con el comportamiento productivo del cultivo durante el periodo experimental.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Contenido de fósforo en el suelo y fósforo foliar

Los resultados obtenidos demostraron que las dosis de 300 y 400 g de Magnesil incrementaron significativamente el contenido de fósforo disponible en el suelo, alcanzando valores de 9.80 y 8.90 ppm, respectivamente. Estos resultados evidenciaron el efecto positivo de la combinación de silicio y magnesio sobre la disponibilidad fosfórica en suelos tropicales ácidos.

Los resultados coincidieron con lo señalado por Moncada, Puentes y Mesa (1991), quienes sostuvieron que el silicio incrementa entre 40 y 60 % la absorción de fósforo y mejora considerablemente la eficiencia de fertilización fosfatada, debido a que disminuye la fijación del fósforo por hierro y aluminio en Ultisoles y Oxisoles.

Asimismo, Quero (2009) indicó que el ácido ortosilícico favorece la liberación del fósforo retenido en el suelo, permitiendo una mayor disponibilidad del nutriente para las plantas. Este comportamiento se observó en la presente investigación, donde las mayores dosis de Magnesil incrementaron el fósforo disponible en comparación con el tratamiento testigo.

De igual manera, Epstein y Bloom (2005) señalaron que el silicio puede competir con los fosfatos por los sitios de adsorción en suelos ácidos, reduciendo la fijación del fósforo y favoreciendo su permanencia en la solución del suelo.

Respecto al contenido de fósforo foliar, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, manteniéndose valores entre 0.18 y 0.19%. Estos resultados coincidieron con Corzo y Acosta (2013), quienes reportaron incrementos en el fósforo disponible del suelo, pero sin diferencias estadísticas importantes en el contenido foliar de fósforo en palma aceitera.

Asimismo, Rahman (2010) sostuvo que el fósforo participa en procesos fisiológicos y metabólicos esenciales de la planta, manteniéndose dentro de rangos adecuados cuando existe un suministro continuo del nutriente.

En consecuencia, los resultados evidenciaron que el efecto principal del Magnesil estuvo relacionado con la mejora de la disponibilidad del fósforo en el suelo más que con su acumulación en el tejido foliar.

5.2. Altura de planta

Los resultados mostraron incrementos progresivos en la altura de planta durante las diferentes etapas de evaluación, destacando los tratamientos con 100 y 200 g de Magnesil, los cuales alcanzaron mayores valores al finalizar el ensayo.

Estos resultados coincidieron con Cakmak (2010), quien reportó una relación positiva entre la absorción de magnesio y el crecimiento vegetativo de las plantas, especialmente en el desarrollo radicular y foliar.

Asimismo, Fageria (2013) señaló que el magnesio favorece el transporte de carbohidratos y mejora el crecimiento del sistema radicular, permitiendo un mayor aprovechamiento de agua y nutrientes.

De igual manera, Epstein (1999) sostuvo que el silicio fortalece los tejidos vegetales y favorece el crecimiento de las plantas bajo condiciones de estrés ambiental y nutricional.

Aunque no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, los resultados evidenciaron una tendencia favorable de las dosis moderadas de Magnesil sobre el crecimiento vegetativo de la palma aceitera.

5.3. Longitud de hoja

Los resultados mostraron que el tratamiento con 100 g de Magnesil presentó las mayores longitudes de hoja durante gran parte de las evaluaciones, alcanzando 4.97 m en la última etapa.

Estos resultados coincidieron parcialmente con Corzo y Acosta (2014), quienes reportaron incrementos en variables vegetativas de palma aceitera conforme aumentaban las dosis de silicio aplicadas.

Asimismo, Romero y Munévar (2004) señalaron que el silicio se acumula principalmente en hojas fisiológicamente activas, fortaleciendo las estructuras celulares y favoreciendo el desarrollo vegetativo del cultivo.

Epstein (1999) también indicó que el silicio mejora la eficiencia fotosintética y disminuye la pérdida excesiva de agua por transpiración, favoreciendo el crecimiento foliar y el equilibrio fisiológico de las plantas.

Sin embargo, las dosis más altas de Magnesil no presentaron incrementos proporcionales en longitud de hoja, lo que sugiere que dosis moderadas favorecieron mejor el crecimiento vegetativo de la palma aceitera.

5.4. Área foliar

Los resultados indicaron que no existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para el área foliar; sin embargo, numéricamente los tratamientos con 300 y 400 g de Magnesil alcanzaron mayores valores durante las evaluaciones finales.

Estos resultados guardaron relación con Epstein (1999), quien sostuvo que el silicio mejora el desarrollo vegetal y fortalece los tejidos de las plantas, favoreciendo la acumulación de biomasa y el crecimiento foliar.

Asimismo, Quero (2009) señaló que el silicio mejora la movilización y disponibilidad de nutrientes en el suelo, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Corzo y Acosta (2014) también reportaron incrementos en el área foliar y variables vegetativas de palma aceitera mediante aplicaciones de silicio.

En consecuencia, aunque no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos, las dosis altas de Magnesil evidenciaron una tendencia favorable sobre el desarrollo foliar de la palma aceitera.

5.5. Número de racimos de fruto fresco

Los resultados demostraron que el tratamiento con 400 g de Magnesil presentó el mayor número de racimos de fruto fresco durante las diferentes etapas de evaluación, alcanzando 8.80 racimos por planta.

Estos resultados coincidieron con Fairhurst y Hardter (2003), quienes señalaron que la adecuada disponibilidad de nutrientes favorece la producción de racimos de fruto fresco en palma aceitera.

Asimismo, Rahman (2010) sostuvo que el fósforo participa activamente en procesos de transferencia de energía y desarrollo reproductivo, favoreciendo la formación de frutos y estructuras productivas.

Corzo y Acosta (2013) también reportaron mejoras productivas en palma aceitera mediante aplicaciones de silicio y fertilización complementaria.

En consecuencia, el incremento del número de racimos observado en el tratamiento con 400 g de Magnesil pudo estar relacionado con una mayor disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales para la producción del cultivo.

5.6. Peso de racimos de fruto fresco

Los resultados obtenidos mostraron que el tratamiento con 400 g de Magnesil alcanzó mayores pesos promedio de racimos durante las últimas evaluaciones, registrando 16.77 kg/racimo.

Estos resultados coincidieron con Fairhurst y Hardter (2003), quienes sostuvieron que el peso de los racimos de fruto fresco depende directamente del estado nutricional y fisiológico de la palma aceitera.

Asimismo, Navarro y Navarro (2003) señalaron que el fósforo participa activamente en procesos metabólicos relacionados con la acumulación de biomasa y desarrollo de frutos.

De igual manera, Epstein (1999) indicó que el silicio fortalece fisiológicamente las plantas y mejora su respuesta frente a condiciones ambientales adversas, favoreciendo el rendimiento agrícola.

En términos generales, las dosis altas de Magnesil favorecieron el peso promedio de los racimos de fruto fresco durante las etapas finales del experimento.

5.7. Rendimiento por hectárea

Los resultados demostraron que el tratamiento con 400 g de Magnesil presentó los mayores rendimientos durante las últimas etapas de evaluación, alcanzando 18.87 t RFF/ha en la tercera evaluación.

Estos resultados coincidieron con Fairhurst y Hardter (2003), quienes señalaron que la fertilización balanceada y la adecuada disponibilidad de nutrientes son factores fundamentales para incrementar el rendimiento productivo de la palma aceitera.

Asimismo, Quero (2009) sostuvo que el silicio mejora la disponibilidad de nutrientes y favorece el crecimiento y productividad de los cultivos en suelos tropicales ácidos.

Moncada, Puentes y Mesa (1991) también indicaron que el silicio mejora la eficiencia de fertilización fosfatada y contribuye al incremento del rendimiento agrícola.

De igual manera, Lazo et al., (2020) reportaron que la aplicación de enmiendas minerales y manejo nutricional favorecen significativamente la productividad de la palma aceitera en condiciones tropicales.

En consecuencia, los resultados evidenciaron que las dosis altas de Magnesil favorecieron el rendimiento del cultivo debido a una mejor disponibilidad de fósforo y mayor eficiencia nutricional.

5.8. Relación entre rendimiento y clima

Los resultados mostraron que las variaciones de precipitación pluvial estuvieron relacionadas con el comportamiento productivo de la palma aceitera durante las diferentes etapas de evaluación.

Los mayores rendimientos se registraron durante la tercera etapa de evaluación, especialmente en el tratamiento con 400 g de Magnesil.

Estos resultados coincidieron con Owen (1992), quien sostuvo que los requerimientos nutricionales y productivos de la palma aceitera dependen de factores climáticos como temperatura y precipitación.

Asimismo, Fairhurst y Hardter (2003) señalaron que las condiciones climáticas influyen directamente sobre el crecimiento vegetativo, absorción de nutrientes y producción de racimos de fruto fresco.

En consecuencia, los resultados demostraron que las condiciones climáticas, principalmente la precipitación pluvial, influyeron sobre el comportamiento agronómico y productivo de la palma aceitera durante el periodo experimental.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitieron establecer conclusiones en relación con los objetivos planteados sobre el efecto de las dosis de óxido de silicio y óxido de magnesio en la absorción de fósforo y el comportamiento productivo de la palma aceitera en condiciones de campo definitivo en Neshuya, Ucayali, sustentadas en el análisis estadístico y la interpretación agronómica de los resultados.

- La aplicación de óxido de silicio y óxido de magnesio incrementó significativamente la disponibilidad de fósforo en el suelo**,** especialmente en las dosis de 300 y 400 g de Magnesil por planta, alcanzando valores de hasta 9.80 ppm, lo que evidencia el efecto positivo de estos elementos en la reducción de la fijación del fósforo en suelos ácidos de la zona de Neshuya.

- El contenido de fósforo en tejido foliar no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos**,** manteniéndose dentro del rango óptimo de suficiencia (0.18–0.19%), lo que indica que la palma aceitera reguló eficientemente la absorción de fósforo, independientemente del incremento del fósforo disponible en el suelo.

- Las variables de crecimiento vegetativo (altura de planta, longitud de hoja y área foliar) no mostraron una respuesta consistente a la aplicación de las dosis de Magnesil**,** lo que sugiere que, bajo las condiciones edafoclimáticas

del área de estudio, estos parámetros presentan una limitada sensibilidad a la fertilización con silicio y magnesio durante el periodo evaluado.

- El número de racimos de fruto fresco y el rendimiento por hectárea fueron favorecidos por la aplicación de la dosis más alta de Magnesil (400 g por planta)**,** evidenciando que la combinación de óxido de silicio y óxido de magnesio tiene un efecto positivo sobre los componentes reproductivos y productivos del cultivo.

- La respuesta del rendimiento estuvo estrechamente relacionada con la precipitación pluvial**,** observándose mayores rendimientos en las etapas con mayor disponibilidad hídrica, especialmente en el tratamiento de 400 g de Magnesil por planta, lo que confirma la interacción entre nutrición mineral y condiciones climáticas en la expresión productiva de la palma aceitera.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas en la presente investigación, se formulan las siguientes recomendaciones de carácter técnico y científico, orientadas a optimizar el manejo nutricional de la palma aceitera y a promover futuras líneas de investigación en condiciones edafoclimáticas similares a las de la zona de Neshuya, Ucayali.

- Implementar la aplicación de óxido de silicio y óxido de magnesio a dosis de 300 y 400 g por planta en plantaciones de palma aceitera establecidas en suelos ácidos, con el propósito de mejorar la disponibilidad de fósforo en el suelo y aumentar la eficiencia de la fertilización fosfatada.

- Complementar la fertilización fosfatada con evaluaciones periódicas de análisis foliar, considerando la relación nitrógeno:fósforo (N:P), a fin de obtener un diagnóstico más preciso del estado nutricional del cultivo y realizar ajustes oportunos en los programas de fertilización.

- Desarrollar investigaciones de mayor duración y en distintas etapas fenológicas del cultivo, que permitan evaluar el efecto acumulativo del óxido de silicio y óxido de magnesio sobre el crecimiento vegetativo, la absorción de nutrientes y el rendimiento de la palma aceitera, considerando la naturaleza perenne del cultivo.

- Incorporar el uso de silicio y magnesio dentro de un manejo nutricional integral y balanceado, que incluya macronutrientes y micronutrientes

esenciales, con la finalidad de mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo en suelos con alta fijación de fósforo.

- Planificar las prácticas de fertilización en función de las condiciones climáticas locales, especialmente la precipitación pluvial, priorizando las aplicaciones en periodos de adecuada disponibilidad hídrica, de manera que se optimice la absorción de nutrientes y se maximice el rendimiento del cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amasifuén Tuanama, D. (2016). *Dosis de fertilización con óxido de magnesio en plántulas de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en la etapa de vivero en la empresa Plantaciones Ucayali S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional UNSM.

Arce Góngora, J. (2018). *Palma aceitera: Potencial productivo y condiciones edafoclimáticas en la Amazonía peruana*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP).

Cakmak, I. (2010). Magnesium in crop production, food quality and human health. *Plant and Soil*, 368(1-2), 1-4.

Cayón, G., Romero, H., & Sánchez, M. (2002). Desarrollo vegetativo de la palma aceitera. *Revista Palmas*, 23(3), 15-27.

Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2016). *The oil palm* (5th ed.). Wiley-Blackwell.

Corzo, J., & Acosta, R. (2013). *Comparación entre diferentes combinaciones de silicio y fertilizante granulado en plantaciones adultas de palma aceitera*. Guatemala.

Corzo, J., & Acosta, R. (2014). *Evaluación de tecnologías de nutrición vegetal con aplicación de silicio en viveros de palma aceitera*. Guatemala.

Díaz, J. (2012). *Manejo nutricional y fertilización fosfatada en suelos tropicales*. Editorial Agrícola.

Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641–664.

Epstein, E., & Bloom, A. J. (2005). *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives* (2nd ed.). Sinauer Associates.

Espinoza, J. R. (2015). *Efecto de la aplicación de óxido de magnesio y óxido de silicio en el desarrollo de plantones de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en vivero en la región Ucayali*.

Fageria, N. K. (2013). *The role of plant roots in crop production*. CRC Press.

Fairhurst, T., & Hardter, R. (2003). *Oil palm: Management for large and sustainable yields*. Potash & Phosphate Institute.

Fairhurst, T., & Härdter, R. (2003). *Oil palm: Management for large and sustainable yields*. Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash Institute of Canada (PPIC) & International Potash Institute (IPI).

Faustino, L. E. (2020). *Efecto de diferentes fuentes y dosis de óxido de magnesio sobre las características agronómicas de plantones de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en vivero de la Asociación de Palmicultores de Shambillo, Ucayali*.

Hardter, R. (2003). Nutrición y crecimiento de la palma aceitera. En T. Fairhurst & R. Hardter (Eds.), *Oil palm: Management for large and sustainable yields* (pp. 191-230). Potash & Phosphate Institute.

Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center.

Intagri. (2015). Importancia del magnesio en los cultivos agrícolas. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura.

Lazo, Y. L., Pérez, Y. L., & colaboradores. (2020). Manejo integrado del suelo para mejorar la producción del cultivo de *Elaeis guineensis* (palma africana) en tres fincas de Quinindé, Ecuador. *Ciencia y Tecnología, 13*(1), 1–8.

Leveau Tuanama, R. (2018). *Sustentabilidad de fincas productoras de palma aceitera (Elaeis guineensis) en el valle del río Shanusi, Loreto*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

López, J. A. (2014). *Evaluación del efecto de fertilizantes de liberación controlada (Osmocote) en el crecimiento vegetativo de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en fase de vivero*.

Lucas Eustaquio, D. (2020). *Efecto de la fertilización con fuentes y dosis de fósforo en plántulas de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.)*. Universidad Nacional de Ucayali.

Ma, J. F., & Takahashi, E. (2002). *Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan*. Elsevier.

Mejiosulfatos. (s.f.). *Manual técnico de Magnesil*. Mejiosulfatos S.A.

Ministerio de Agricultura y Riego. (2014). *Diagnóstico de la fertilidad de suelos en zonas palmicultoras de la Amazonía peruana*. MINAGRI.

Moncada, J., Puentes, O., & Mesa, L. (1991). Manejo del fósforo en suelos tropicales ácidos. *Suelos Ecuatoriales*, 21(2), 95-103.

Nashnato Pacaya, R. F. (2012). *Efectos de tres dosis de fertilización NPK en vivero de palma aceitera (Elaeis guineensis)*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

Navarro, G., & Navarro, S. (2003). *Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal* (2ª ed.). Mundi-Prensa.

Owen, G. (1992). *Management of oil palm plantations*. Incorporated Society of Planters.

Panduro Mozombite, J. (2016). *Caracterización química de suelos cultivados con palma aceitera en la región Ucayali*. Universidad Nacional de Ucayali.

Pinedo Dávila, A. (2013). *Efecto de la aplicación de cuatro dosis de N, P, K y Mg en el cultivo de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) realizado en*

el vivero de la empresa Palmas del Shanusi S.A. Universidad Nacional de San Martín.

PROMIX. (2018). Importancia del silicio en la nutrición vegetal. PROMIX Plant Health.

Puluá, N. A. (2020). *Eficiencia de enmiendas floables y sólidas en corrección de pH en el cultivo de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.)* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].

Quero, E. (2009). *Nutrición con silicio y sus aplicaciones a cultivos a cielo abierto y en agricultura protegida: Un pequeño recorrido por la naturaleza*. Simposio Internacional de Nutrición Vegetal, Guadalajara, Jalisco, México

Rahman, Z. A. (2010). El papel del fósforo en el desarrollo sostenible de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en suelos tropicales. *Revista Palmas, 31*(Especial), 205–215.

Regil, J. A. (2014). *Evaluación de la eficiencia en la absorción de fósforo mediante la aplicación de ácido silícico en plantas de palma africana (Elaeis guineensis Jacq.) en vivero*.

Ríos Ramírez, E. (2017). *Evaluación de diferentes niveles de fertilización mineral en el crecimiento de plántulas de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en vivero, región Ucayali*. Universidad Nacional de Ucayali.

Romero, H., & Munévar, F. (2004). Acumulación de silicio en hojas de palma aceitera. *Revista Palmas, 25*(1), 33–41.

Sánchez, P. A. (1990). *Suelos del trópico: Características y manejo*. IICA.

Santacruz, L. (2016). *Importancia del silicio en palma de aceite y otros cultivos*. GREPALMA.

Savant, N. K., Snyder, G. H., & Datnoff, L. E. (1997). Silicon management and sustainable rice production. *Advances in Agronomy*, 58, 151–199.

Tello García, M. (2014). *Influencia de la fertilización mineral en el crecimiento y desarrollo de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en vivero*.

Vásquez Panduro, R. (2015). *Efecto de la fertilización fosfatada en el crecimiento de plántulas de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.) en condiciones de Ucayali*.

Viegas, I. J. M., Botelho, S. M., Frazão, D. A. C., & Okumura, R. S. (2012). Nutrient concentrations in oil palm leaf tissue as affected by fertilization. *Bioscience Journal*, 28(6), 954–963.

Villegas, M. (2015). Nutrición mineral en palma aceitera. *Revista Agronomía Tropical*, 65(2), 45-58.

Yara. (2004). *Manual internacional de nutrición vegetal*. Yara International.

ANEXOS

ANEXO 1

RESULTADO DE ANÁLISIS DE SUELO INICIAL

Universidad Nacional de Ucayali					
Proyecto Silice en palma aceitera					
Resultados de analisis de suelos					
Fuente: Lab de Qumica Agricola Cañete			**Fecha: 26.05.16**		
Parametro	**Tratamientos**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Textura (%)					
Arena	**31**	**40**	**42**	**36**	**41**
Limo	**39**	**28**	**29**	**34**	**30**
Arcilla	**30**	**32**	**29**	**30**	**29**
Clase textural	**FrAr**	**FrAr**	**FrAr**	**FrAr**	**FrAr**
Ca CO3 (%)	**< a 0.01**	**< a 0.01**	**< a 0.01**	**< a 0.01**	**< a 0.01**
CE (dS/m)	**0.31**	**0.23**	**0.25**	**0.24**	**0.23**
pH	**4.22**	**4.48**	**4.27**	**4.39**	**4.29**
P disponible (ppm)	**4.30**	**4.86**	**4.42**	**3.36**	**3.99**
Materia organica (%)	**3.24**	**2.45**	**2.62**	**2.93**	**2.37**
K disponible (ppm)	**104.0**	**137.4**	**84.2**	**80.3**	**92.4**
B disponible (ppm)	**1.41**	**0.76**	**0.73**	**0.59**	**0.45**
Cationes cambiables (mEq/100 g)					
Ca	**1.25**	**1.29**	**1.08**	**1.65**	**1.42**
Mg	**0.49**	**0.60**	**0.50**	**0.56**	**0.51**
Na	**0.12**	**0.09**	**0.14**	**0.09**	**0.12**
K	**0.25**	**0.34**	**0.21**	**0.20**	**0.21**
Al + H	**3.35**	**3.43**	**3.05**	**2.67**	**2.88**
PAl	**61.39**	**59.68**	**61.32**	**51.72**	**54.03**
CICE	**5.45**	**5.74**	**4.98**	**5.17**	**5.14**
Micronutrientes disponibles (ppm)					
Si	**6.3**	**5.8**	**6.1**	**5.5**	**5.6**
Cu	**0.50**	**0.75**	**0.45**	**0.51**	**0.62**
Zn	**16.10**	**16.43**	**14.36**	**16.03**	**15.71**
Mn	**11.55**	**7.09**	**6.30**	**11.98**	**8.94**
Fe	**333.0**	**348.9**	**354.6**	**344.6**	**335.2**

ANEXO 2

RESULTADO DE ANÁLISIS DE SUELO FINAL

Universidad Nacional de Ucayali					
Proyecto Silice en palma aceitera					
Resultados de analisis de suelos					
Fuente: Certificadora del Peru CERPER S.A.			Fecha: 02.11.17		
Parametro	Tratamientos				
	1	2	3	4	5
Textura (%)					
Arena	38	60	52	56	52
Limo	42	26	32	26	32
Arcilla	20	14	16	18	16
Clase textural	Franco	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso
Ca CO3 (%)	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
CE (dS/m)	0.75	0.24	0.25	0.19	0.44
pH	4.71	4.83	4.72	4.96	4.80
P disponible (ppm)	6.04	4.86	4.42	9.80	8.90
Materia organica (%)	2.42	2.36	2.51	2.43	2.83
K disponible (ppm)	77.2	47.00	57.7	121.0	221.9
B disponible (ppm)	0.57	1.13	0.43	0.39	0.43
Cationes cambiables (mEq/100 g)					
Ca	1.23	1.25	0.49	0.56	1.00
Mg	0.47	0.57	0.25	0.30	0.64
Na	0.28	0.19	0.26	0.11	0.13
K	0.13	0.11	0.11	0.14	0.43
Al + H	2.34	2.15	2.62	2.10	2.02
PAI	52.58	50.35	70.24	65.42	47.86
CICE	4.45	4.27	3.73	3.21	4.22
Micronutrientes disponibles (ppm)					
Si					
Cu	0.66	1.16	0.32	0.46	0.48
Zn	2.22	3.88	0.96	0.70	1.38
Mn	6.13	10.03	4.08	3.52	9.57
Fe	145.8	222.5	213.9	239.0	213.5

ANEXO 3

RESULTADO DE ANÁLISIS FOLIAR INICIAL Y FINAL

Universidad Nacional de Ucayali

Proyecto Silice en palma aceitera

Resultados de analisis foliar inicial

Fuente: Lab de Qumica Agricola Cañete **Fecha: 26.05.16**

Parametro	Tratamientos				
	1	2	3	4	5
macroelementos					
N (%)	3.18	3.18	3.18	3.17	3.03
P (%)	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14
K (%)	0.99	1.02	0.92	0.95	1.03
Na (%)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Ca (%)	0.69	0.72	0.72	0.69	0.72
Mg (%)	0.36	0.32	0.31	0.32	0.35
S (%)	0.19	0.19	0.18	0.19	0.19
Cl (%)	0.54	0.49	0.53	0.45	0.50
microelementos					
B (ppm)	20.5	20.8	21.4	20.10	21.3
Fe (ppm)	91.8	94	90.2	101.6	88.3
Cu (ppm)	7.95	6.8	7.36	6.89	7.43
Zn (ppm)	21.4	16.9	16.5	14.00	16.10
Mn (ppm)	647.8	563.8	671.6	623.6	555.00
Mo (ppm)	0.12	1.21	0.03	0.13	0.01

Resultados de analisis foliar final

Fuente: Certificadora del Peru CERPER S.A. **Fecha: 02.11.17**

Parametro	Tratamientos				
	1	2	3	4	5
macroelementos					
N (%)	2.75	2.53	2.23	2.22	2.68
P (%)	0.18	0.18	0.18	0.19	0.18
K (%)	1.09	0.86	0.97	1.06	0.82
Na (%)	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08
Ca (%)	0.60	0.66	0.62	0.63	0.63
Mg (%)	0.30	0.34	0.31	0.29	0.28
S (%)	0.18	0.15	0.15	0.15	0.17
Cl (%)	1.27	1.08	1.26	1.11	1.09
microelementos					
B (ppm)	13.27	12.97	11.77	11.87	12.97
Fe (ppm)	109.8	82.09	84.85	96.82	82.34
Cu (ppm)	7.86	6.39	6.35	6.82	6.22
Zn (ppm)	17.20	15.92	15.08	15.81	13.17
Mn (ppm)	363.4	431.4	364.9	349.50	330.5
Mo (ppm)	0.10	1.43	0.01	0.20	0.01

ANEXO 4

TABLAS DE ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 1A

ANVA de altura planta EVA 1

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	69.11	17.27	0.93	0.47
Repeticiones	3	33.81	11.27	0.61	0.62
Error	12	223.39	18.61		
Total	19	326.33			
CV (%) = 10.13			R^2 = 0.31		

Tabla 2A

ANVA de altura de planta EVA 2

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	270.36	67.59	2.80	0.07
Repeticiones	3	42.52	14.17	0.59	0.63
Error	12	289.53	24.12		
Total	19	602.42			
CV (%) = 8.21			R^2 = 0.52		

Tabla 3A

ANVA de altura de planta EVA 3

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	68.69	17.17	1.14	0.38
Repeticiones	3	27.30	9.10	0.60	0.62
Error	12	181.00	15.08		
Total	19	277.00			
CV (%) = 5.33			R^2 = 0.34		

Tabla 4A

ANVA de altura de planta EVA 4

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	183.91	45.97	1.15	0.25
Repeticiones	3	82.27	27.42	0.92	0.45
Error	12	356.47	29.70		
Total	19	622.66			
	CV (%) = 6.51		R^2 = 0.43		

Tabla 5A

ANVA de longitud de hoja EVA 1

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	0.20	0.05	3.78	0.03
Repeticiones	3	0.14	0.04	3.52	0.04
Error	12	0.16	0.01		
Total	19	0.50			
	CV (%) = 2.81		R^2 = 0.68		

Tabla 6A

ANVA de longitud de hoja EVA 2

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	0.19	0.04	2.55	0.09
Repeticiones	3	0.08	0.02	1.51	0.26
Error	12	0.22	0.01		
Total	19	0.50			
	CV (%) = 3.08		R^2 = 0.55		

Tabla 7A

ANVA de longitud de hoja EVA 3

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	0.82	0.20	7.41	0.003
Repeticiones	3	0.009	0.003	0.11	0.95
Error	12	0.33	0.02		
Total	19	1.16			
	CV (%) = 3.57		R^2 = 0.71		

Tabla 8A

ANVA de longitud de hoja EVA 4

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	0.24	0.06	4.89	0.02
Repeticiones	3	0.12	0.04	2.74	0.08
Error	12	0.18	0.01		
Total	19	0.55			
	CV (%) = 2.54		R^2 = 0.67		

Tabla 9A

ANVA de área foliar EVA 1

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	599.89	149.97	1.14	0.38
Repeticiones	3	455.41	151.80	1.15	0.36
Error	12	1582.95	131.91		
Total	19	2638.26			
	CV (%) = 7.08		R^2 = 0.39		

Tabla 10A

ANVA de área foliar EVA 2

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	1911.26	477.80	1.26	0.33
Repeticiones	3	278.65	92.88	0.25	0.86
Error	12	4534.26	377.85		
Total	19	6724.14			
	CV (%) = 9.86		R^2 = 0.32		

Tabla 11A

ANVA de área foliar EVA 3

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	1005.56	251.39	1.20	0.20
Repeticiones	3	1124.55	374.85	1.79	0.35
Error	12	2509.41	209.11		
Total	19	4639.52			
	CV (%) = 6.52		R^2 = 0.45		

Tabla 12A

ANVA de área foliar EVA 4

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	636.15	159.03	1.15	0.37
Repeticiones	3	689.35	229.78	1.66	0.22
Error	12	1658.04	138.17		
Total	19	2983.55			
	CV (%) = 5.13		R^2 = 0.44		

Tabla 13A

ANVA de número de RFF EVA 1

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	15.48	2.21	9.52	0.0002
Repeticiones	3	0.50	0.25	1.09	0.36
Error	12	3.25	0.23		
Total	19				
	CV (%) = 5.31		R^2 = 0.83		

Tabla 14A

ANVA de número de RFF EVA 2

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	15.48	2.21	9.52	0.0002
Repeticiones	3	0.50	0.25	1.09	0.36
Error	12	3.25	0.23		
Total	19				
	CV (%) = 5.31		R^2 = 0.83		

Tabla 15A

ANVA de número de RFF EVA 3

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	15.48	2.21	9.52	0.0002
Repeticiones	3	0.50	0.25	1.09	0.36
Error	12	3.25	0.23		
Total	19				
	CV (%) = 5.31		R^2 = 0.83		

Tabla 16A

ANVA de número de RFF EVA 4

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	15.48	2.21	9.52	0.0002
Repeticiones	3	0.50	0.25	1.09	0.36
Error	12	3.25	0.23		
Total	19				
	CV (%) = 5.31		R^2 = 0.83		

Tabla 17A

ANVA de peso de fruto EVA 1

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	15.48	2.21	9.52	0.0002
Repeticiones	3	0.50	0.25	1.09	0.36
Error	12	3.25	0.23		
Total	19				
	CV (%) = 5.31		R^2 = 0.83		

Tabla 18A

ANVA de peso de fruto EVA 2

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	15.48	2.21	9.52	0.0002
Repeticiones	3	0.50	0.25	1.09	0.36
Error	12	3.25	0.23		
Total	19				
	CV (%) = 5.31		R^2 = 0.83		

Tabla 19A

ANVA de peso de fruto EVA 3

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	15.48	2.21	9.52	0.0002
Repeticiones	3	0.50	0.25	1.09	0.36
Error	12	3.25	0.23		
Total	19				
	CV (%) = 5.31		R^2 = 0.83		

Tabla 20A

ANVA de peso de fruto EVA 4

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	15.48	2.21	9.52	0.0002
Repeticiones	3	0.50	0.25	1.09	0.36
Error	12	3.25	0.23		
Total	19				
	CV (%) = 5.31		R^2 = 0.83		

Tabla 21A

ANVA de rendimiento por ha EVA 1

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	0.24	0.06	4.89	0.02
Repeticiones	3	0.12	0.04	2.74	0.08
Error	12	0.18	0.01		
Total	19	0.55			
	CV (%) = 2.54		R^2 = 0.67		

Tabla 22A

ANVA de rendimiento por ha EVA 2

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	0.24	0.06	4.89	0.02
Repeticiones	3	0.12	0.04	2.74	0.08
Error	12	0.18	0.01		
Total	19	0.55			
	CV (%) = 2.54		R^2 = 0.67		

Tabla 23A

ANVA de rendimiento por ha EVA 3

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	0.24	0.06	4.89	0.02
Repeticiones	3	0.12	0.04	2.74	0.08
Error	12	0.18	0.01		
Total	19	0.55			
	CV (%) = 2.54		R^2 = 0.67		

Tabla 24A

ANVA de rendimiento por ha EVA 4

Fuente variabilidad	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	Pr < F
Tratamientos	4	0.24	0.06	4.89	0.02
Repeticiones	3	0.12	0.04	2.74	0.08
Error	12	0.18	0.01		
Total	19	0.55			
	CV (%) = 2.54		R^2 = 0.67		

ANEXO 5

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS

Figura 1A

Delimitación del área de estudio



Figura 2A

Limpieza del terreno



Figura 3A

Limpieza del terreno para realizar las zanjas



Figura 4A

Realizando la delimitación de las zanjas



Figura 5A

Realizando las zanjas de infiltración



Figura 6A

Verificación de las zanjas de inflitración culminadas



Figura 7A

Toma de datos del área foliar



Figura 8A

Cosecha de racimo de palma aceitera



Figura 9A

Pesado de racimo de palma aceitera



Figura 10A

Secado de tejido foliar

