



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACIÓN DE DISTINTAS FUENTES NUTRICIONALES  
EN LA TOLERANCIA DE ENFERMEDADES FOLIARES EN  
VIVERO DE PALMA ACEITERA (*Elaeis guineensis* Jacq) EN  
PUNTARENAS, COSTA RICA

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de  
Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales  
para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias  
Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Suelos

JUAN GABRIEL GARBANZO LEÓN

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2017

## *Dedicatoria*

A mis hermanas, hermanos y mamá por darme las oportunidades que he tenido, por ese apoyo incondicional brindado en todos los proyectos idealizados.

A mi estimada profesora y amiga Greta Núñez Rivas, por sus valiosos consejos y apoyo en este proceso.

A las personas que de una y otra manera estuvieron a mi lado, apoyándome desde los aspectos más sencillos hasta los más complicados.

A Luis Saúl y Mila que empiezan una nueva vida con nosotros.

“Solo Dios nos brinda las responsabilidades que podemos sacar adelante” *Auxiliadora León Jirón.*

*Gabriel*

# *Agradecimientos*

Manifiesto mi más profunda y sincera gratitud a todas las personas que estuvieron implicadas en cada aspecto de este trabajo.

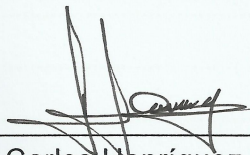
En primer lugar, a los miembros de mi comité asesor su compromiso, por sus consejos, ideas, por darme la posibilidad de aprender de ellos; mi director Eloy Molina, Gilberto Cabalceta, Edgardo Serrano, quienes me brindaron consejos valiosos para el desarrollo del proyecto. A Floria Ramírez por sus valiosos y excelentes consejos que fueron una guía en este proceso.

A mis amigas y amigos del Departamento de Investigación y Desarrollo de Palma Tica; Marjorie Mesen, Rolbin Rodríguez, Geovany Fernández, Wagner Acuña, Rigoberto Carranza, Roberto Carrillo, Johan Mesen, Nury Arce, Seidy Gómez, Diego Rodríguez, los asistentes del laboratorio y Ana Mora. Así mismo debo agradecer a los miembros externos del departamento, Ricardo Jiménez y Jorge Blanco. Por la gran colaboración en el aporte de ideas, facilidades y acciones en el desarrollo del proyecto, donde cada una de estas fortalecieron y mejoraron este proceso de investigación. Mi perpetua gratitud.

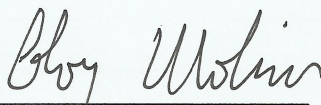
A mis amigos y profesores del Centro de Investigaciones Agronómicas, especialmente al LRN; Rafael Mata, Oldemar Vargas, Manuel Camacho, Mariel Álvarez, Alfredo Alvarado, Brayan Alemán, Roger Fallas, Carlos Henríquez, Floria Bersch. También a mi profesora Helga Blanco por incorporarme en sus investigaciones, por los consejos y guía en este camino. A todos por ese apoyo importante que me brindaron específicamente cada uno de ellos, por los consejos, acciones y detalles en el proceso de investigación.

Al departamento de Investigación y desarrollo de Palma Tica S.A, y El Laboratorio de Recursos Naturales y Laboratorio de Poscosecha del Centro de Investigaciones de la Universidad de Costa Rica, quienes en conjunto brindaron los equipos y recursos a lo largo de ésta Investigación.

“Ésta tesis fue aceptada por la comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica, en requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales con énfasis en Suelos”.



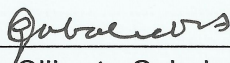
Ph.D. Carlos Henríquez Henríquez  
**Representante del Decano**  
**Sistema de Estudios de Posgrados**



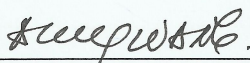
M.Sc. Eloy Molina Rojas  
**Director de Tesis**



Ph.D. Edgardo Serrano Elizondo  
**Asesor**



M.Sc. Gilberto Cabalceta Aguilar  
**Asesor**



M.Sc. Amy Wang Wong  
**Representante del Director**  
**Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales**



Juan Gabriel Garbanzo León  
**Candidato**

## TABLA DE CONTENIDOS

---

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
HOJA DE APROBACIÓN.....	iv
TABLA DE CONTENIDOS .....	v
RESUMEN .....	vii
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
CAPÍTULO 1 .....	7
EVALUACIÓN DE DISTINTAS FUENTES SILICIO AL SUELO EN LA SEVERIDAD DE ENFERMEDADES FOLIARES EN VIVERO DE PALMA ACEITERA.....	7
RESUMEN .....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
RESULTADOS .....	19
DISCUSIÓN.....	38
CONCLUSIONES .....	42
CAPÍTULO 2 .....	43
EFECTO DE MEZCLA DE COMPOST DE FIBRA CON SUELO EN EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE PALMA ACEITERA EN VIVERO Y LA INCIDENCIA DE ENFERMEDADES FOLIARES.....	43
RESUMEN .....	43
INTRODUCCIÓN.....	44
MATERIALES Y MÉTODOS .....	47
RESULTADOS .....	54
DISCUSIÓN.....	70
CONCLUSIONES .....	73

CAPÍTULO 3 .....	74
EVALUACIÓN DE DISTINTAS FUENTES DE Si Y Ca FOLIAR EN EL CRECIMIENTO E INCIDENCIA DE ENFERMEDADES FOLIARES EN PALMA ACEITERA.....	74
RESUMEN .....	74
INTRODUCCIÓN.....	75
MATERIALES Y MÉTODOS .....	77
RESULTADOS .....	83
DISCUSIÓN.....	92
CONCLUSIONES .....	95
CAPÍTULO 4 .....	96
DISCUSIÓN y CONCLUSIONES GENERALES.....	96
LITERATURA CITADA.....	99
ANEXOS	113

## RESUMEN

Se evaluó el efecto de fuentes nutricionales en la incidencia y severidad de enfermedades foliares (Complejo de Necrosis Foliar) en vivero de palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq) en el pacífico sur de Costa Rica. Para dar respuestas a la problemática de Complejo de Necrosis Foliar (CNF) en vivero se realizaron tres investigaciones simultáneas en 5280 plántulas de vivero. El primer experimento consistió en evaluar distintas fuentes de Si aplicadas al suelo, estas consistieron en 30 g de SiO<sub>2</sub> de dos fuentes de serpentinas (Simag y Smg), una fuente de diatomitas (SiF), una fuente soluble (SKH) y 177 g SiO<sub>2</sub> de un feldespato (Llane) mezclado en un Inceptisol eútrico. El segundo experimento consistió en evaluar dosis crecientes de compost de fibra en mezclas con el suelo de las bolsas, estas consistieron en mezclas volumétricas de 12%, 25% 37 y 50% de compost de fibra con un Inceptisol eútrico. El tercer experimento fue evaluar distintas fuentes de Si y Ca asperjados en la lámina foliar, para este experimento se seleccionaron 4 fertilizantes foliares de Ca, 3 fuentes de Si y una fuente de Ca con fitoalexinas. Se prepararon bolsas de 20 litros de suelo y se aplicaron los respectivos tratamientos, las bolsas fueron acomodadas en distintos boquetes para separar los experimentos y sembradas con la variedad Compacta x Gana. El diseño experimental que se utilizó en las tres investigaciones fueron de bloques completos al azar.

Se hicieron evaluaciones a los 85, 130, 175, 220, 265 y 300 dds del crecimiento morfológico de las plantas y el porcentaje de severidad en las hojas. Para el primer y segundo experimento se realizaron análisis químicos de suelos y foliares en las mismas fechas, se evaluó el peso seco de plantas y se calculó la absorción de nutrimentos. Así mismo, para el segundo experimento se evaluó la densidad aparente (Dap) y conductividad hidráulica (CH) en las mezclas a los 90 y 300 dds. Para el tercer experimento se evaluó a los 175, 220, 265 y 300 dds la concentración foliar de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, B y Si.

En el primer experimento se encontró que el tratamiento SiF mostró mayor tolerancia a enfermedades foliares significativamente en comparación al testigo, mientras que la fuente Simag mostró un mayor crecimiento. Se encontró que el Si no presentó un control en las enfermedades, sin embargo, la fuente de diatomitas mejoró las características químicas del suelo, la nutrición de las plantas y aumentó la tolerancia del CNF en vivero. En el segundo experimento se encontró que el tratamiento de 12% de compost de fibra con suelo mostró la menor severidad de CNF significativamente y presentó el mayor balance porcentual de eficiencia de fertilización de los nutrimentos en comparación al resto de los tratamientos. El tercer experimento se encontró que las aplicaciones de Si y Ca foliar no mostraron un efecto significativo en la tolerancia al CNF en el tiempo. El tratamiento Supcu proporcionó mayor concentración de Cu en las plantas de palma aceitera y redujo significativamente la severidad de CNF. Se concluyó que los fertilizantes foliares con contenidos de Ca y Si no son eficaces en Inceptisoles eútrico y que productos con contenidos de Cu pueden aumentar la tolerancia al Complejo de Necrosis foliar.



## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro N.</b>	<b>Pag.</b>
Cuadro 1. Características químicas de enmiendas con Si incorporadas en suelos de vivero de <i>E. guineensis</i> en la región Coto, Costa Rica.....	12
Cuadro 2. Dosis de fuentes de Si correspondientes a 30 gramos de Si para aplicación en bolsas de 20 l para vivero de <i>E. guineensis</i> en Coto, Costa Rica.....	13
Cuadro 3. Contenido de nutrimentos en el suelo utilizado para mezclas de fuentes de Si en el llenado de bolsas en vivero de palma aceitera.....	14
Cuadro 4. Fertilización propuesta con base en la curva de absorción en plantas de <i>E. guineensis</i> en etapa de vivero .....	15
Cuadro 5. Efecto de diferentes fuentes de Si en el índice de área bajo la curva en crecimientos morfológico y severidad de plantas de palma aceitera ....	20
Cuadro 6. Índice de área bajo la curva en peso húmedo, seco y peso seco total en plantas de Palma Aceitera tratadas con distintas fuentes de silicio en mezcla al suelo en fase de vivero .....	21
Cuadro 7. Efecto de diferentes fuentes de Si en el crecimientos morfológicos, peso seco total y severidad de plantas de palma aceitera a los 300 dds .....	22
Cuadro 8. Efecto de diferentes fuentes de Si en el pH, acidez y concentración de Ca, Mg y K en el suelo de vivero de palma aceitera .....	24
Cuadro 9. Efecto de diferentes fuentes de Si en la concentración de Si, P y micronutrimentos en dos profundidades de 0 – 15 y 15 - 30 cm en los suelos tratados de vivero de palma aceitera .....	27
Cuadro 10. Efecto de las fuentes de Si en el índice de áreas bajo la curva en la concentración de nutrimentos en plantas de palma aceitera en vivero.....	30
Cuadro 11. Efecto de las fuentes de Si en los contenidos de nutrimentos a los 300 dds en plantas de palma aceitera en vivero .....	33

<b>Cuadro N.</b>	<b>Pag.</b>
Cuadro 12. Comparación de eficiencia de fertilización en nutrimentos aplicados en tratamientos con distintas fuentes de Si en mezcla al suelo en vivero de palma aceitera .....	35
Cuadro 13. Contenido de nutrimentos en suelo utilizado para experimento de mezclas de fibra de frutos de palma con suelo en etapa de viveros ...	47
Cuadro 14. Determinación de nutrimentos totales a los 25 días de compostaje en fibra de palma aceitera en invernadero y vivero .....	48
Cuadro 15. Tratamientos de mezclas de compost y suelos .....	49
Cuadro 16. Fertilización propuesta con base a la curva de absorción en plantas de <i>E. guinensis</i> en etapa de vivero .....	50
Cuadro 17. Índice de área bajo la curva en crecimientos morfológico y severidad de CNF en plantas de palma aceitera, tratadas con distintas mezclas de compost de fibra y suelo en fase de vivero .....	55
Cuadro 18. Índice de área bajo la curva en peso húmedo, seco y peso seco total en plantas de palma aceitera, tratadas con distintas mezclas de compost de fibra con suelo en fase de vivero .....	56
Cuadro 19. Crecimientos morfológicos, peso seco total y severidad de plantas de palma aceitera a los 300 dds, tratadas con distintas mezclas de compost de fibra con suelo en fase de vivero .....	57
Cuadro 20. Efecto de las mezclas de compost en la fertilidad del suelo en vivero de palma aceitera .....	59
Cuadro 21. Efecto de la aplicación de compost de fibra mezclado con suelo en la concentración de Si, P y micronutrimentos en el suelo de plantas de palma aceitera en vivero .....	62
Cuadro 22. Índice de áreas bajo la curva en absorción de nutrimentos en plantas de palma aceitera, tratadas con compost de fibra en mezcla con suelo en vivero .....	64

<b>Cuadro N.</b>	<b>Pag.</b>
Cuadro 23. Comparación de eficiencia de fertilización en nutrimentos aplicados en tratamientos con distintas fuentes de Si en mezcla al suelo en vivero de palma aceitera .....	65
Cuadro 24. Efecto de la aplicación de compost en las características físicas del suelo en las bolsas de vivero de palma .....	69
Cuadro 25. Características químicas de fertilizantes foliares con Ca y Si asperjados en vivero de <i>E. guineensis</i> en la región Coto, Costa Rica .....	78
Cuadro 26. Contenido de nutrimentos en suelo utilizado para experimento foliar en etapa de vivero de palma aceitera .....	79
Cuadro 27. Fertilizantes foliares con Si y Ca evaluados en vivero de palma aceitera con distintas concentraciones según los días después de siembra (dds) .....	80
Cuadro 28. Índice de área bajo la curva en crecimientos morfológico y severidad de complejo de necrosis foliar en plantas de palma aceitera, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero .....	84
Cuadro 29. Concentración de N, P, K, Ca, Mg y S en hoja 1 de palma aceitera entre los 175 y 300 dds, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero .....	89
Cuadro 30. Concentración de Si, Al, Fe, Cu, Zn, Mn y B en hoja 1 de palma aceitera entre los 175 y 300 dds, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero .....	91

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura N.</b>	<b>Pag.</b>
<b>Figura 1.</b> Concentración de nutrimentos en la parte aérea de la planta y hoja número 1 a los 300 dds, tratadas con distintas fuentes de Si en mezcla al suelo en fase de vivero .....	32
<b>Figura 2.</b> Análisis de componentes principales para el contenido nutricional en el suelo, acumulación y severidad en palmas de vivero. a) Mapa de factor de individuos en dimensiones 1 y 2 para concentración de nutrimentos en suelos b) mapa de factor de variables en dimensiones 1 y 2 para concentración de nutrimentos en suelos. c) mapa de factor de individuos en dimensión 1 y 2 para contenido de nutrimentos en plantas. d) mapa de factor de variables en dimensiones 2 y 3 para contenidos de nutrimentos en plantas .....	37
<b>Figura 3.</b> Análisis de componentes principales para el contenido nutricional en el suelo, acumulación y severidad en palmas de vivero. a) Mapa de factor de individuos en dimensiones 1 y 2 para concentración de nutrientes en suelos b) mapa de factor de variables en dimensiones 1 y 2 para concentración de nutrientes en suelos. c) mapa de factor de individuos en dimensión 1 y 2 para acumulación de nutrientes en plantas. d) mapa de factor de variables en dimensiones 2 y 3 para acumulación de nutrientes en plantas .....	67
<b>Figura 4.</b> Severidad del Complejo de Necrosis Foliar en la hoja 1 en plantas de palma aceitera entre los 85 y 304 dds, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero .....	85
<b>Figura 5.</b> Severidad de complejo de necrosis foliar en las hojas totales en plantas de palma aceitera entre los 85 y 304 dds, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero.....	86
<b>Figura 6.</b> Diámetro de bulbo en plantas de palma aceitera entre los 85 y 304 dds, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero .....	87

## INTRODUCCIÓN

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq) es el cultivo oleaginoso de mayor producción de aceite por unidad de área. A nivel centroamericano se encuentran sembradas 336000 ha de palma aceitera (La Nación 2012). Costa Rica aporta a esas cifras 67000 ha siendo el tercer productor de todo el istmo. Los productores de palma aceitera han logrado sustanciales progresos en el desarrollo de prácticas de manejo del cultivo y de fertilización estandarizadas que permiten alta productividad, haciendo un cultivo muy rentable y propiciando a que en la actualidad se encuentre en renovación y expansión.

Uno de los factores más importantes en éxito del cultivo es el establecimiento y manejo de la fase de vivero. Los viveros generalmente son una herramienta eficiente para la producción de plántulas en la agricultura. Es importante en el caso de semillas híbridas de alto costo y asegura una plántula de alto potencial, que garantiza un establecimiento exitoso en campo y reduce el riesgo de pérdidas económicas.

La fase de vivero presenta enfermedades causadas principalmente por hongos afectando primordialmente el follaje. Generalmente, los pequeños productores de viveros en la zona sur de Costa Rica, conocen un solo síntoma (necrosis foliar) asociado a un olor característico. Se ha encontrado al patógeno *Colletotrichum gloeosporioides* entre el causante principal de estos síntomas y es conocido comúnmente: “antracnosis de palma de aceite” (Chavez 1986, Apuy 1997, Ortiz y Fernández 2000, ASD 2010) coincidiendo con otros cultivos y especies forestales (Rodríguez 1993, Solano y Arauz 1995, Zavala et al. 2005, Orozco 2008, Huerta et al. 2009, Arguedas y Cots 2012).

La antracnosis evaluada en los viveros de palma aceitera demostró que afecta significativamente el crecimiento de las plántulas. Investigaciones realizadas en Palma Tica S.A. donde evaluaron el crecimiento de las plántulas durante un

tiempo determinado, donde encontraron en sus variables morfológicas, una reducción significativa en el diámetro de bulbo (>20%), largo de raquis (>18%) y número de hojas (>14%) cuando se compararon plantas con antracnosis y plantas sanas (Ulloa y Serrano 2012). Las lesiones mostraron un comportamiento de afectación muy variable al iniciar la infección. Estudios realizados por Turner y Bull (1967), Renard y Quillec (1979) y Turner (1981) citados por Ulloa y Serrano (2012), determinaron que las lesiones provocadas por la antracnosis eran causadas por varios patógenos, entre estos: *Botrydiploidia* sp, *Colletotrichum* sp., *Melanconium* sp. Las lesiones foliares observadas en éstos viveros de palma no se asocian exclusivamente a un solo patógeno. Es decir que *C. gloeosporioides* es uno de los agentes causales, pero no necesariamente el único patógeno que afecta la planta (Turner 1981, Ulloa y Serrano 2012). Los estudios realizados en Palma Tica S.A. por Ulloa y Ramírez (2011) mencionaron que al poseer varios patógenos (*Botryodiplodia* sp., *Melanconium* sp., *Colletotrichum* sp. [*Glomerella* sp.] y *Curvularia* sp) el problema corresponde más a un complejo fungoso, el cual se denominó localmente Complejo de Necrosis Foliar abreviado con las siglas CNF.

El control de CNF en viveros se realiza mediante aplicaciones de fungicidas que en la actualidad aumentan cada vez más sus dosificaciones. Los fungicidas utilizados en viveros de palma aceitera generalmente son de acción sistémica de amplio espectro y de aplicaciones dirigidas al follaje, lo que provoca que los hogos aumenten las pérdidas de sensibilidad (Ortiz y Fernández 2000). Se ha encontrado que los fungicidas con base de clorotalonil, azoxistrobina y benzimidazoles mostraron poca efectividad para combatir los hongos *C. gloeosporioides* y *Curvularia lunata* (Ulloa y Serrano 2012). Así mismo, el exceso de humedad, el mal manejo de arvenses, aplicaciones excesivas de fungicidas de diferente marca comercial pero mismo sitio de acción y mal manejo de la nutrición son factores agronómicos que pueden propiciar el aumento de los problemas de CNF (Sánchez 1990, ASD 2010), lo que obliga a buscar alternativas para controlar los problemas

bióticos con un enfoque al manejo agronómico, entre estos, la nutrición de las plantas en la etapa de vivero.

La nutrición mineral en los viveros de palma es variable, debido a que existen pocos estudios sobre la absorción entre las variedades comercializadas. Muchos de los criterios nutricionales se basan en los síntomas observados en el vivero, cuando las plantas presentan las deficiencias (FAO 1980). A través de las experiencias nutricionales, se han logrado generalizar programas de fertilización que suplan las necesidades nutricionales de las plántulas (Corley y Tinker 2003). Sin embargo, estas proporcionan un uso ineficiente de los nutrimentos, debido a que muchas veces se aplica más de lo que requiere la planta y no se toma en cuenta el aporte nutricional del suelo usado en las bolsas (Ramírez y Muñoz 2010).

Durante la fase de vivero se aplica comúnmente N, P, K, Mg, B, Cu, Zn, y S, estos tres últimos solo en sitios determinados dependientes del suelo usado (ASD 2010). La cantidad total de fertilizante aplicado durante la fase de vivero se estima inferior a 0,5 kg, aplicado de forma fraccionada frecuentemente cada 8 a 10 días durante 14 meses (Hew y Toh 1973, ASD 2010, Posso 2010). El fertilizante es colocado cuidadosamente alrededor del tallo, sin tocarlo, ya que podría extraer el agua de la planta por difusión (Corley y Tinker 2003). Los programas de fertilización en vivero se efectúan según: el tipo de suelo, texturas, concentración de acidez y Ca (suelos aluviales) (ASD 2010). Las recomendaciones utilizadas actualmente son usadas por la poca información existente en la nutrición en vivero de palma aceitera (Corley y Tinker 2003, Ramírez y Muñoz 2010).

Las aplicaciones de fertilizante en vivero deben efectuarse utilizando datos de curvas de absorción de nutrimentos. Investigaciones realizadas en Costa Rica por la empresa Palma Tica S.A., demostraron que las aplicaciones utilizadas en los viveros de palma aceitera son ineficientes. Ya que no realizan los programas de acuerdo a las curvas de absorción en las distintas variedades de palmas (Ramírez y Muñoz 2010). Las curvas de absorción de nutrimentos que presenta cada cultivo en su ciclo, es el mejor punto de partida para planificar la fertilización (Bertsch y

Ramírez 1997, Bertsch 1998 y Bertsch 2009). En relación a la acumulación de materia seca en las distintas variedades se encontró que presentan un comportamiento similar. En los materiales Deli x LaMé (De x LaMé), Deli x Nigeria (De x Ng), Deli x Ghana (De x Gha) demostraron estadísticamente diferencias en la cantidad de acumulación en materia seca (Ramírez y Muñoz 2010). En Colombia, se evaluaron los materiales Tanzania x Ekona, Deli x Yangambi, Deli x Avros y Deli x Yangambi donde concluyeron que no hubo diferencias estadísticas en la acumulación de biomasa a través del tiempo (Reyes et al. 2008), determinando que el uso de estas investigaciones son una alternativa viable para la fertilización de los materiales en vivero.

El uso de silicio (Si) en la agricultura ha evidenciado activación de genes que proveen la producción de enzimas, que generan señales metabólicas que dan una respuesta de defensa a nivel fisiológico (Aziz et al. 2002, Tsai et al. 2004). Es decir, el ácido ortosilícico activa una rápida producción de las peroxidasas, polifenoxidasas, un aumento en la acumulación de compuestos fenólicos y una marcada estimulación de la actividad en las quitinasas y promotor de fitoalexinas (Fauteux et al. 2005, Chéfi et al. 1994 citado por Lobo 2013). En Costa Rica, se han realizado pruebas a nivel in-vitro con aplicaciones de Si en frutos de mango, donde encontraron una supresión del crecimiento de micelio tanto de *C. gloeosporioides* como de *Lasiodioploidia theobromae* a partir de una dosis de 50 mM Si, además demostró que 50 y 100 mM de Si impidieron por completo la germinación de esporas de *C. gloeosporioides* (Araya 2010). Estas respuestas pueden presentar indicios de un aumento en la integración de transducción a nivel celular, lo que posiblemente incremente la resistencia de las plantas por parte del nutrimento en el combate de patógenos.

Otra alternativa de gran importancia en la agricultura es el uso de materiales orgánicos, estos mejoran características fisicoquímicas en los suelos y mejoran la nutrición en las plantas. El uso de sustratos orgánicos en viveros forestales y cultivos han demostrado buenos comportamientos en el crecimiento de las plantas



(Quesada y Méndez 2005, Frangi et al. 2008, Varela y Basil 2011). Los sustratos orgánicos proporcionan un aumento de la retención de nutrientes, disminuye la compactación, incrementan la capacidad de retención de agua, no producen cambios rápidos en el pH y es fuente de energía para muchos microorganismos (Espinoza 1996, Larco 2005, Rochels 2010, Sánchez et al. 2005, Varela y Basil 2011). La industrialización de los racimos de la palma aceitera produce gran cantidad de estopas (racimos vacíos), éstos son composteados y agregados al campo para mejorar la nutrición en las áreas de la plantación y vivero (Umaña et al 1990, Segura 2001, Chiew y Rahman 2002). Los racimos de fruta vacíos son una fuente importante de K, donde 30 toneladas de estopa pueden suplir un equivalente de 120 kg de  $K_2O$  (Huan 1989, Uexkull y Fairhurst 1991 citado por Segura 2001). Estudios en viveros demostraron que la mezclas de un 60% de estopa con un 40% de boñiga de vaca, mostraron excelentes resultados con respecto a fertilización mineral en vivero (Odeoluwa y Adeoye 2008). Las aplicaciones de compost de estopas podrían mejorar la nutrición de las plántulas de vivero, sin embargo, no se encuentran estudios precisos del porcentaje de compost que tolera una planta.

La complejidad del problema de CNF y el escaso éxito de su combate, hacen necesario encontrar alternativas de manejo. Las aplicaciones excesivas de fungicidas y el agotamiento de moléculas por la resistencia adquirida en los patógenos, afectan los recursos naturales adyacentes a los sistemas de vivero y aumentan los costos operativos en los mismos. La optimización de los manejos agronómicos en estos sistemas son una alternativa viable en la reducción de la incidencia y la severidad de las enfermedades foliares. Mejorar la nutrición de las plántulas en el vivero es un pilar importante en el manejo agronómico. Los ajustes en los programas actuales de fertilización, el uso de nutrientes estructurales (Ca, Si) de reconocida importancia en la tolerancia a enfermedades y la utilización de sustratos de modo de enmiendas orgánicas para mejorar características de suelo, son alternativas potenciales que brindan a las plántulas mejoras en su nutrición vegetal, aumentando la tolerancia a los fitopatógenos en los sistemas de vivero.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de la nutrición en la incidencia y severidad de enfermedades foliares en vivero de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq).

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de la enmienda con silicio al suelo en el crecimiento de las plantas y en la incidencia de enfermedades foliares.
- Evaluar el efecto de compost de estopa de palma en mezcla con suelo sobre la nutrición de plántulas de palma aceitera y la incidencia de enfermedades foliares.
- Evaluar el efecto de distintas fuentes de Si y Ca foliar en el crecimiento de las plantas y en la incidencia de enfermedades foliares.

## CAPÍTULO 1

### EVALUACIÓN DE DISTINTAS FUENTES SILICIO AL SUELO EN LA SEVERIDAD DE ENFERMEDADES FOLIARES EN VIVERO DE PALMA ACEITERA

**Palabras claves:** Silicio, palma aceitera, nutrición de plantas, enfermedades, vivero.

#### RESUMEN

Se evaluó el efecto de diferentes fuentes de Si en la severidad de enfermedades foliares en plantas de vivero de palma aceitera en el Pacífico Sur de Costa Rica. Las fuentes de silicio consistieron en la aplicación de 30 g de  $\text{SiO}_2$  de dos fuentes de serpentinas (Simag y Smg), una fuente de diatomitas (SiF), una fuente soluble (SKH) y 177 g  $\text{SiO}_2$  de un feldespato (Llane) mezclado en un inceptisol eútrico. El diseño experimental fueron bloques completos al azar con 6 tratamientos y 4 repeticiones. Se evaluó a los 85, 130, 175, 220, 265 y 300 dds el crecimiento morfológico de las plantas y % de severidad de la enfermedad en las hojas. Además, se realizó análisis químicos de suelos y foliares en el tiempo, se evaluó el peso seco de plantas y se calculó la acumulación de nutrimentos. Se encontró que el tratamiento SiF mostró mayor tolerancia a enfermedades foliares significativamente en comparación al testigo, mientras que la fuente Simag mostró un mayor crecimiento. El Si presentó mayor acumulación en Simag, Test, Smg, SiF y exhibió diferencias significativas con SKH y Llane. A los 300 dds, el análisis de componentes principales correlacionó la severidad con las concentraciones de Ca en el suelo y mostró un comportamiento inverso a los contenidos de Zn, K, P, Mn y en el tiempo. Se concluye que el Si no presentó un efecto sobre el desarrollo de CNF, sin embargo, la fuente de diatomitas disminuyó la acidez intercambiable inducida por los fertilizantes y mejoró la disponibilidad de Zn, lo cual aumentó la tolerancia a CNF.

## INTRODUCCIÓN

El Si es uno de los nutrimentos absorbidos en mayor cantidad por muchas plantas (Quero 2008). El Si constituye entre 0,1% y 10% del peso seco de las plantas superiores, encontrándose en mayor proporción en plantas monocotiledóneas que las dicotiledóneas (Epstein 1999, Aguirre et al. 2007). Los análisis químicos de tejidos en una amplia variedad de plantas determinaron concentraciones de Si entre 0,1 y 10% (Quero 2008) y puede llegar a concentraciones superiores a Ca, Mg, P, y K (Epstein 1999 y Ahmed et al. 2012).

Aunque el Si no se considera esencial para el crecimiento de las plantas, se han encontrado efectos benéficos en la aplicación en los cultivos, debido a un aumento en la resistencia de las plantas principalmente a estrés biótico y abiótico incluyendo la tolerancia a enfermedades (Epstein 1999, Ahmed et al. 2012, Raya y Aguirre 2012). Otras investigaciones demostraron incrementos en el crecimiento de plantas y mineralización eficiente de nutrimentos del suelo, cuando fueron sometidas a dosis de ácido monosilícico en la siembra de cultivos (Borda et al. 2007).

En las células epidermales se impregnan en la cutícula una doble capa de sílice ( $2,5 \mu\text{m}$ ) y al asociarse con las pectinas y polifenoles en la pared celular, pueden formar barreras activas con la pérdida de agua, transpiración cuticular e infecciones fungosas (Yoshida et al. 1962, Ma 2004, Datnoff et al. 2007, citado por Lobo 2013, Epstein 1999, Marschner y Marschner 2012). Las plantas mueven las formas de  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  a los tricomas de manera que surjan recubrimientos de las paredes externas de las células, una vez efectuado este proceso pueden proteger y proporcionar fortaleza mecánica a las estructuras celulares, principalmente de factores bióticos y abióticos (Quero 2008).

El aumento de la resistencia en la pared celular por acumulaciones de Si previenen el ingreso de haustorios de hongos fitopatógenos en las células (Ma y Yamaji 2008). Al estar fortalecida la pared celular, la segregación de enzimas

liberadas por los hongos tampoco dañan la pared, evitando el ingreso del patógeno y dificultando el proceso de infección en la planta (Arauz 2011). Los posibles mecanismos de defensa encontrados pertenecen a un proceso de inmovilización, que entre ellos incluyen la acumulación de lignina, compuestos fenólicos, quitinasas y peroxidasas (Epstein 1999 y Anderson 2012).

Investigaciones con fertilizantes silicatados ( $\text{SiO}_2$ ) en la reducción de mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp.) en cultivo de banano, encontraron una disminución en la severidad de los síntomas en las plantas, promoviendo una mayor biomasa en los tratamientos fertilizados con Si (Anderson 2012).

Trabajos realizados en palma aceitera demostraron reducción de enfermedades en pruebas exploratorias en Quepos, Costa Rica. Con aplicaciones de Si de  $1,7 \text{ kg.planta}^{-1}$  en distintos lotes hubo tendencias a reducción de flecha seca (Acosta et al. 2007). Por otro lado, investigaciones en Guatemala evaluaron la aplicación de 150 a 250 g de ácido silícico al suelo, donde no encontraron diferencias estadísticas en las variables de crecimiento, pero se encontró una mayor acumulación de P en las hojas a dosis de 150 g de Si (Regil 2014). Sin embargo, no evaluaron presencia de enfermedades en la investigación.

En Costa Rica, los viveros de palma aceitera han demostrado problemas en el control de enfermedades, principalmente en la zona de Corredores, donde la precipitaciones se encuentran entre  $4000 - 6000 \text{ mm.año}^{-1}$ . Entre las principales enfermedades que se mencionan, se encuentra la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) (Ortiz y Fernández 2000, ASD 2010). Sin embargo, los agentes causales encontrados en vivero pueden manifestarse según el crecimiento de la planta, condiciones climatológicas y manejo. Turner y Bull (1967), Renard y Quillec (1979), Turner (1981) citados en Ulloa y Serrano (2012), mencionaron la presencia de otros agentes causales que provocan lesiones importantes en las láminas foliares, entre estos se encuentran: *Botryodiplodia* sp., *Melanconium* sp., *Colletotrichum* sp. [*Glomerella* sp.] y *Curvularia* sp.. Según el porcentaje de

severidad en las láminas foliares, pueden reducir el crecimiento de las plantas significativamente (Ramírez y Muñoz 2011, Ulloa y Ramírez 2011).

Las enfermedades foliares son un problema actual en vivero de palma aceitera, por lo que es necesario buscar nuevas alternativas para su combate. Ésta investigación tiene el objetivo de determinar el efecto de enmiendas con Si al suelo en el crecimiento de las plantas y en la severidad de enfermedades foliares.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó cabo en la zona de vivero de la Compañía Palma Tica S.A., ubicada en Coto 47 en el cantón de Corredores en Puntarenas, Costa Rica. Esta zona se encuentra en la llanura aluvial de Coto-Corredores, con una elevación aproximada entre 24 – 30 msnm. La precipitación promedio anual registrada varía entre 3800 – 4500 mm. Se procedió a medir las condiciones climatológicas durante el periodo de evaluación que comprendió desde julio de 2014 y marzo 2015, se registró una precipitación total 2051 mm. La temperatura promedio durante el periodo fue max: 36,4 °C y min: 26,5, con una humedad relativa promedio de 87,4% y una radiación solar promedio de 377,2 Wat.m<sup>-2</sup>.

Se ubicaron “boquetes” dentro del vivero donde las plantas estuvieran en una zona con historial de frecuentes problemas de enfermedades foliares. Se seleccionaron “boquetes” de fácil acceso con un área de 900 m<sup>2</sup> de manera que se acomodaran 30 plantas de fondo por 24 filas. Se trasladó suelo aluvial (Inceptisol) utilizado en el periodo 2014 para el llenado de las bolsas de vivero en Coto 47 y posteriormente se cubrió con un plástico transparente para reducir pérdidas por lixiviación y escorrentía.

Se seleccionaron plantas de *E. guineensis* del material Compacta x Gana. Estas fueron sembradas en pre-vivero con Jiffi y fueron manejadas durante dos meses bajo condiciones controladas. La nutrición de estas plántulas se manejó bajo fuentes de lenta liberación (Osmocote®) y aplicaciones foliares en conjunto con fungicidas preventivos. Las plantas se seleccionaron de manera que el material fuera totalmente homogéneo, para lo cual se desecharon plantas elongadas, con presencia de enfermedades foliares, mal desarrolladas, entre otros. Posteriormente, se adquirieron bolsas de 25,4 cm de diámetro y 40 cm de altura (vol = 20,4 L.), estas bolsas se utilizaron para la etapa de vivero.

Se procedió a buscar fuentes de Si presentes en Costa Rica que fueran similares al producto Llanero® debido a que es la fuente utilizada comúnmente en

los viveros de Palma Tica. Observando que la curva de absorción en la planta requiere de al menos 25 gramos de macroelementos, se estimó una cantidad de 30 gramos de SiO<sub>2</sub> en la planta, con el fin de calcular la cantidad de gramos requerida por la fuente para el suministro comparativo de Si entre los tratamientos. Posteriormente, se seleccionaron tres fuentes de Si granular y una líquida. Se calcularon las dosis correspondientes para el volumen de suelos que se contenían en las bolsas de vivero y se pesaron en balanzas digitales para posteriormente almacenar en bolsas plásticas transparentes de polietileno de 11 x 20 cm.

**Cuadro 1.** Características químicas de enmiendas con Si incorporadas en suelos de vivero de *E. guineensis* en la región Coto, Costa Rica.

Productos	% p/v							Otros
	Total SiO <sub>2</sub> *	Soluble <sup>+</sup>		K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	
		SiO <sub>2</sub>	Si					
Llanero	59	0,81	0,38	0,27	10,7	0,27	3,69	-
SILIMAG	30	0,32	0,15	-	3,72	32,9	1,94	-
Stan SKH	20	-	-	18	-	-	-	Aci. húmicos
Sulfato de magnesio	20	3,91	1,83	-	2,84	17,9	10,2	-
Silycal-Flow	70	0,64	0,30	0,17	17,1	0,64	0,44	-

Análisis realizados en laboratorio de suelos y foliares Compañía palma Tica S.A.

+Metodología empleada según Sebastian et al. (2013) para fertilizantes sólidos con Si.

\* Silicio total reportada por fabricante de producto.

Las fuentes de Si fueron mezcladas con el suelo de forma manual (Cuadro 1). Se cuantificó el número de palas equivalente a una bolsa de 20 L según el suelo húmedo y seco. Para realizar las mezclas se utilizó un manteado de capa gruesa para evitar pérdidas. Se empleó el número de palas correspondientes al volumen de suelo que requieren una bolsa de vivero y se mezcló las dosis de las fuentes de Si para cada tratamiento (Cuadro 2). Posteriormente, se llenó la bolsa completamente y se golpeó contra el suelo para evitar las cavidades de aire, así mismo se alinearon entre los boquetes, se etiquetaron (enumeradas) cada una de las bolsas y se dejaron por 30 días en campo. El tratamiento testigo y SKH se dejaron con suelo solamente, para luego aplicar el tratamiento SKH después de las



siembras de las palmas. Es importante mencionar que se recolectaron muestras para un análisis químico de suelo antes de realizar las mezclas con las fuentes de Si (Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Dosis de fuentes de Si correspondientes a 30 gramos de Si para aplicación en bolsas de 20 l para vivero de *E. guineensis* en Coto, Costa Rica.

Tratamiento	Signo	Dosis	SiO <sub>2</sub> (g.bolsa <sup>-1</sup> )	Observaciones
1 <b>Testigo</b>	test	---	0	Fórmula usada en viveros
2 <b>Llanero</b>	Llane	300 g.bolsa <sup>-1</sup>	177	-
3 <b>SILIMAG</b>	Simag	100 g.bolsa <sup>-1</sup>	30	-
4 <b>Stan SKH*</b>	SKH	150 ml.bolsa <sup>-1</sup>	30	400 l.ha <sup>-1</sup> drench
5 <b>Sulfato de magnesio</b>	SMg	150 g.bolsa <sup>-1</sup>	30	-
6 <b>Silycal-Flow</b>	SiF	43 g.bolsa <sup>-1</sup>	30	-

\* 5 aplicaciones de 30 ml. planta<sup>-1</sup>

Previo a la siembra de las plantas, se realizó una aplicación de herbicida en toda el área de vivero, con el fin de realizar un manejo total de las malezas. Dos semanas después se trasplantaron plántulas de *E. guineensis*. Continuamente el tratamiento con la fuente de Si líquido (Stan SKH) se aplicó en forma de drench dirigido al suelo en las bolsas. Se usó un volumen de 500 l.ha<sup>-1</sup> de caldo, lo que equivale a 30 ml de Stan SKH y 30 ml de agua. Este se realizó en forma escalonado a los 3, 5, 7, 9, 10 meses después de siembra por tratarse de una fuente líquida con el fin de reducir la pérdida por lavado y lixiviación producto de las altas precipitaciones en la zona.

**Cuadro 3.** Contenido de nutrientes en el suelo utilizado para mezclas de fuentes de Si en el llenado de bolsas en vivero de palma aceitera.

<b>Mehlich-3</b>		<b>NC</b>	<b>S. mezcla</b>
<b>pH H<sub>2</sub>O (agua)</b>		<b>5,5</b>	6,42
<b>Acidez (KCl)</b>	cmol(+).l <sup>-1</sup>	<b>0,5</b>	0,30
<b>Ca</b>		<b>4</b>	34,5
<b>Mg</b>		<b>1,1</b>	3,8
<b>K</b>		<b>0,2</b>	0,55
<b>CICE</b>		<b>5</b>	39,1
<b>SA</b>		%	-
<b>P</b>	mg.l <sup>-1</sup>	<b>15</b>	22,4
<b>Zn</b>		<b>1,7</b>	2,64
<b>Cu</b>		<b>0,4</b>	19,5
<b>Fe</b>		<b>10</b>	308
<b>Mn</b>		<b>4</b>	36
<b>Si*</b>		<b>200</b>	170

+ Solución extractora Mehlich 3, Laboratorio suelos y foliares Palma Tica S.A.; NC = nivel crítico para Inceptisoles según Cabalceta y Molina (2006). CICE = Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva = Acidez + Ca + Mg + K. \* Metodología de extracción con ácido acético según Lobo (2013).

Se realizó el mismo manejo agronómico utilizado por el departamento de viveros, con excepción de la nutrición y el combate de enfermedades foliares. Para la aplicación de fertilizante se llevó a cabo de acuerdo al fraccionamiento propuesto por la unidad de investigación. Los nutrientes se aplicaron en forma granular en el área superficial de la bolsa, distanciados del bulbo para no producir pérdida de agua en la planta por difusión.

La fertilización se llevó a cabo en base a la curva de absorción propuesta por Ramírez y Muñoz (2010), donde se midió el consumo total de nutrientes en las plantas de vivero correspondiente a 365 días antes de ser sembradas en sitios definitivos (Cuadro 4). Posteriormente, en el 2012 se realizó una validación de la curva donde se evaluó distintas dosis de nutrientes incluyendo las aplicaciones convencionales en vivero con base a la absorción de las plantas, demostrando su efectividad y su validez en el crecimiento entre las distintas aplicaciones.

**Cuadro 4.** Fertilización propuesta con base en la curva de absorción en plantas de *E. guinensis* en etapa de vivero.

Consumo curva	N	P	K	Mg	S	Zn	B
Eficiencia*/dds**	60%	50%	70%	80%	50%	50%	10%
	----- g.planta <sup>-1</sup> -----						
<b>82</b>	0,05	0,01	0,03	0,02	0,01	0,15	0,63
<b>149</b>	0,93	0,09	0,26	0,07	0,06	1,01	2,03
<b>210</b>	2,79	0,27	1,03	0,24	0,19	2,53	6,52
<b>268</b>	5,94	0,72	2,98	0,56	0,51	8,29	25,02
<b>298</b>	8,71	1,03	4,76	0,80	0,73	11,52	29,91
<b>335</b>	17,48	2,25	10,28	1,69	1,64	29,13	61,77
<b>363</b>	24,40	3,01	13,09	2,45	2,45	47,49	94,89

\* Eficiencia fertilización propuesta. \*\* días después de siembra

La fórmula que se utilizó en vivero propuesto por Palma Tica corresponde a 15,50 – 9,76 – 15,50 – 4,00 – 3,20(S) – 0,30(B); el cual están constituidas por las fuentes de nitrato de amonio (NAM), Microessentials (SZ), cloruro de potasio (KCl), kiesierita y granubor.

#### **Variables evaluadas en vivero**

Una vez establecidas las plantas en vivero se evaluaron a los 85, 130, 175, 220, 265 y 300 dds, las variables se distribuyeron en: crecimiento morfológico de las plantas, evaluación de severidad de enfermedades foliares, análisis químico en plantas.

Entre las variables morfológicas se evaluaron; el largo de raquis que consistió en medir la hoja 1 desde la parte proximal de pecíolo hasta el meristemo apical de la hoja. Posteriormente, se midió el diámetro de bulbo, que consistió en medir con un vernier el ancho del bulbo de la planta a una altura de 1 – 2 cm desde la emisión de la raíz, además, se realizó un conteo de la cantidad de hojas totales completamente formadas a partir de la hoja 1.

Para las evaluaciones de severidad del CNF, se realizaron mediante una escala visual propuesta por la Compañía Palma Tica S.A., la escala fue

representada por 5 grados que determinan el porcentaje de daño en la hoja 1 y planta total. Están constituidos de la siguiente manera: 1 = representa el 3% de la hoja o planta dañada, 2 = 7%, 3 = 15%, 4 = 40%, 5 = 75%.

El análisis de la concentración total de nutrimentos en las plantas se realizó mediante la selección de una planta promedio. Ésta se efectuó mediante una selección estadística por medio de intervalos de confianza a partir de los datos morfológicos (diámetro de bulbo, largo de raquis y hojas totales). Los intervalos de confianza se calcularon evaluando el tamaño de la muestra y la desviación estándar con un alfa ( $\alpha$ ) = 0,01. Posteriormente, se calculó el límite superior y el límite inferior según la media de los datos. La selección de las plantas se estimó mediante un filtrado de las observaciones para cada repetición, donde se incluía los límites inferiores y superior correspondiente para cada una de las variables morfológicas. De las repeticiones que mostraron más de dos plantas con los intervalos de confianza estimados, se eligió la planta que mostró el diámetro de bulbo más cercano a la media de las observaciones.

Una vez identificada las plantas para el análisis de acumulación, se recolectó una planta por cada repetición en las parcelas experimentales, se lavó con abundante agua el suelo de las bolsas y se separaron la parte aérea y las raíces. Ambas partes se pesaron y se colocaron en hornos durante 3 días a 65 °C y posteriormente se evaluó el peso seco para luego incluir las muestras al laboratorio, ésta metodología se desarrolló según Ramírez y Muñoz (2010). Los muestreos se realizaron a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 días después de siembra.

El análisis foliar de las plántulas se realizó mediante la selección de la hoja 1 de acuerdo a la metodología de Rodríguez y Jiménez (2013). Ésta consistió en evaluar dos folios de cada lado para hojas normales y para hojas bifurcadas o lanceoladas se recolectó completamente la hoja. Este análisis comenzó a partir de los 164 dds debido al tamaño de las plantas, ya que no se recolectaba el peso suficiente para el análisis de laboratorio, los demás muestreos se realizaron a los 220 – 265 – 300 dds. Posteriormente, las muestras fueron enviadas al Laboratorio

de Suelos y Foliare de la Compañía Palma Tica S.A. y se realizaron determinaciones de Si mediante la metodología de Lobo (2013), N por combustión seca, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, mediante la digestión húmeda con HNO<sub>3</sub> y determinación por espectrometría de emisión atómica con plasma (ICP).

Los análisis químicos de los suelos en las bolsas, se realizaron a los 90, 170, 260 dds. Las muestras se recolectaron a dos profundidades de 0 – 15 y 15 – 30 utilizando un submuestreo de manera sistemática en 15 bolsas por repetición alternadas entre plantas. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Foliare de la Compañía Palma Tica S.A., se determinaron pH, acidez intercambiable, Ca, Mg, K, P, Fe, Zn, Mn, Cu mediante extracciones con Mehlich III de acuerdo a la metodología de Cabalceta y Molina (2006), Al por retitulación con HCl al 0,01 M y Si según la metodología de Lobo (2013).

### **Diseño experimental**

El experimento consistió de 6 tratamientos y 4 repeticiones con un diseño experimental de bloques completos al azar. Se montaron 4 bloques, cada bloque experimental fue representado por 240 plantas con un tamaño de 302 m<sup>2</sup>, las repeticiones fueron ordenadas en filas, cada repetición presentaba 30 plantas. Los bloques fueron ubicados en un sector plano que no mostraran problemas de topografía.

Para el análisis de los datos morfológicos se realizaron índices de áreas bajo la curva (abc), para reunir la información de las variables en el tiempo (Ecuación 1). Ésta metodología consistió en calcular el área de un trapecio entre dos fechas de evaluación, tomando en cuenta las evaluaciones morfológicas en cada fecha y los días transcurridos para realizar una sumatoria de las áreas calculadas entre los periodos. La sumatoria de las áreas determinó el índice de abc, lo cual mide el efecto de los tratamientos en trascurso del tiempo.

$$\sum \frac{b + B \times a}{2}$$

Ecuación 1

Donde:

B = medida en el tiempo 2 (t1).

b = medida en el tiempo 1 (t2).

a = número de días transcurridos entre t1 y t2.

Posteriormente los datos fueron sometidos a un análisis de varianza, se calcularon las diferencias estadísticas mediante pruebas de Dunnett test ( $\alpha = 0,05$ ) para los análisis morfológicos y LSD ( $\alpha = 0,05$ ) para los análisis químicos. Por último, para explicar la variabilidad del sistema se procedió a realizar un análisis multivariado mediante un análisis de componentes principales (CP) (Abdi y Williams 2010, Jolliffe 2005, Serrano 2003), con el fin de encontrar una posible estructura en la base de datos y explicar la variación según las dimensiones calculadas. Los cálculos fueron realizados mediante el programa estadístico Rstudio versión 0.98.1102.

## RESULTADOS

### **Efecto de las fuentes de Si en el crecimiento de las plantas y severidad de enfermedades foliares**

Las fuentes de Si presentaron incrementos en el crecimiento y tolerancia a las enfermedades foliares en vivero de palma aceitera (Cuadro 5). Al evaluar las variables morfológicas cada 45 días, el índice de área bajo la curva (abc) en el diámetro de bulbo presentó diferencia significativa ( $\alpha = 0,01$ ) en el tratamiento Simag en comparación al test (testigo) según la prueba de Dunnett test ( $p > |t|$ ). El abc en el largo de hoja y largo de raquis no mostraron incrementos importantes en relación al testigo. No obstante, se encontró diferencias estadísticas en el abc de hojas totales en los tratamientos Simag y Sif en comparación al testigo ( $p < 0,028$ ). En relación con la incidencia de las enfermedades foliares en vivero, las mismas estuvieron presentes en todas las evaluaciones y se encontró que el abc en severidad en la hoja 1 y total mostraron diferencias altamente significativas al comparar el tratamiento Sif con el testigo ( $p < 0,001$ ), el resto de los tratamientos no mostraron reducciones significativas en la severidad.

**Cuadro 5.** Efecto de diferentes fuentes de Si en el índice de área bajo la curva en crecimientos morfológico y severidad de plantas de palma aceitera.

Tratamientos	Diámetro	Largo	Largo	Hojas	Severidad	Severidad
	bulbo	Hoja	raquis	totales	Hoja 1	Total
	----- Índices de áreas bajo la curva -----					
Llane	610,3	764,8	2884,5	1380,2	1001,2	1784,4
SMg	607,6	788,2	2917,0	1333,6	1248,0	1926,5
Simag	636,8	796,8	3216,2	1389,1	1134,0	1901,0
SiF	617,2	786,7	3037,0	1389,5	917,2	1604,4
SKH	573,3	778,1	2928,3	1315,7	1209,8	2111,5
test	602,3	805,8	3089,1	1336,2	1057,7	1871,3
Comparaciones	----- Dunnett test Pr(> t ) -----					
Llane – Test	0,934	0,018	0,081	0,098	0,936	0,898
SMg - Test	0,985	0,597	0,185	1,000	0,058	0,998
Simag - Test	0,012	0,959	0,445	0,028	0,938	1,00
SiF - Test	0,561	0,534	0,966	0,029	0,042	<0,001
SKH - Test	0,056	0,186	0,238	0,743	0,070	0,057

n = 22525; Variables morfológicas y severidad evaluados a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 días después de siembra. Probabilidades por debajo de 0,05 (Pr>|t|) representan diferencias significativas de tratamientos en comparación al testigo.

Las plantas mostraron incrementos en biomasa y materia seca al aplicar fuentes de Si. En relación al peso húmedo en la parte aérea y raíz el abc presentó diferencias estadísticamente significativas ( $\alpha = 0,01$ ) en el tratamiento Simag al compararlo con el tratamiento testigo (Cuadro 6), los demás tratamientos no manifestaron el mismo efecto. Al evaluar el peso seco para ambas partes de las plantas no mostró diferencias estadísticamente significativas con respecto al testigo, sin embargo, se encontraron tendencias de mayor acumulación de materia seca en el tratamiento Simag. Al realizar la sumatoria de los pesos secos de ambas partes de la planta se encontró diferencias altamente significativas ( $\alpha = 0,01$ ) al comparar el tratamiento Simag con el testigo, los demás tratamientos no exhibieron diferencias.



**Cuadro 6.** Índice de área bajo la curva en peso húmedo, seco y peso seco total en plantas de palma aceitera tratadas con distintas fuentes de silicio en mezcla al suelo en fase de vivero.

Tratamientos	Peso húmedo	Peso húmedo	Peso seco	Peso seco	Peso seco
	aérea	Raíz	aéreo	Raíz	total
	----- Índices de áreas bajo la curva -----				
Llane	26135,1	10014,7	6430,6	1475,5	7906,1
SMg	28126,8	9864,6	7109,3	1463,2	8572,5
Simag	34877,2	12444,2	8211,5	1805,1	10016,8
SiF	28739,9	10808,6	6901,5	1538,5	8440,0
SKH	25034,7	9790,4	6196,4	1415,2	7611,6
test	27472,7	10630,4	7177,8	1570,3	8748,1
<b>Comparaciones</b>	----- <b>Dunnett test Pr(&gt; t )</b> -----				
Llane – Test	0,94	0,99	0,28	0,99	0,95
SMg - Test	1,00	1,00	0,99	0,99	0,20
Simag - Test	0,01	0,01	0,08	0,06	< 0,01
SiF - Test	0,96	0,54	0,94	0,86	0,31
SKH - Test	0,66	0,70	0,11	0,73	0,11

n = 144; Variables de crecimiento evaluadas a los 85, 132, 180, 223, 265, 308 días después de siembra. Probabilidades por debajo de 0,05 (Pr >|t|) representan diferencias significativas de tratamientos en comparación al testigo.

Las palmas mostraron tendencias a una mayor acumulación de materia seca y desarrollo de hojas totales en la mayoría de tratamientos a los 300 dds cuando se compararon con el testigo (Cuadro 7). El diámetro de bulbo (cm) y largo de raquis (cm) no presentaron diferencias estadísticas en todos los tratamientos ( $\alpha = 0,05$ ) cuando se comparó con el testigo, sin embargo, los tratamientos Simag y SiF presentaron tendencias de mayor desarrollo (5%). El desarrollo de hojas totales mostró diferencias altamente significativas ( $\alpha < 0,001$ ) con el tratamiento Simag cuando se comparó con el tratamiento testigo, el resto de los tratamientos no mostraron diferencias. En la acumulación de materia seca se encontró un mayor peso seco (g) en los tratamientos Smg y Simag con un 10 y 14 % más materia que el tratamiento testigo, respectivamente, el resto de los tratamientos no mostraron diferencias estadísticas con la particularidad que el Sif mostró tendencias con un pr = 0,06. El porcentaje severidad en la hoja 1 y severidad total (%) en las plantas no mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos.

**Cuadro 7.** Efecto de diferentes fuentes de Si en el crecimiento morfológicos, peso seco total y severidad del CNF en plantas de palma aceitera a los 300 dds.

Tratamientos	Diámetro	Largo	Hojas	Peso seco	Severidad	Severidad
	bulbo	raquis	totales	Total	Hoja 1	Total
	cm	cm	u	g	%	%
Llane	5,23	34,4	9,03	131,5	4,54 a*	10,23 a
SMg	5,03	35,4	9,21	151,2	3,90 a	8,94 a
Simag	5,41	39,1	9,47	144,7	4,54 a	9,51 a
SiF	5,34	36,5	8,90	138,3	3,97 a	8,71 a
SKH	4,86	35,8	8,99	109,8	3,72 a	9,99 a
test	5,19	37,4	8,81	130,8	3,92 a	8,86 a
Comparaciones	----- Dunnett test Pr(> t ) -----				Kruskal Wallis	
Llane – Test	0,997	0,027	0,581	0,197	-	-
SMg- Test	0,432	0,229	0,081	0,006	-	-
Simag - Test	0,141	0,567	<0,001	0,020	-	-
SiF - Test	0,454	0,912	0,986	0,063	-	-
SKH - Test	0,012	0,491	0,742	0,220	-	-

n = 2988; Variables de crecimiento evaluadas a los 308 días después de siembra; Probabilidades por debajo de 5 % (Pr (>|t|) < 0,05) representan diferencias significativas de tratamientos en comparación al testigo según prueba de Dunnett. \* Comparaciones múltiples según prueba de Kruskal Wallis p.adj = Bonferroni.  $\alpha = 0,05$ .

### Efectos de las fuentes de Si en la concentración de nutrimentos en el suelo

El pH del suelo se redujo en el tiempo (Cuadro 8). El pH evaluado hasta una profundidad de 0 – 15 cm mostró reducción significativa ( $\alpha = 0,05$ ) a los 175 dds y 265 dds en comparación a la concentración inicial. El tratamiento SKH mantuvo el mismo pH en forma significativa en el tiempo, el resto de los tratamientos no mostraron diferencias mínimas significativas a excepción de Simag, Sif, y Smg a los 175 dds. Al evaluar el pH a una profundidad de 15 – 30 cm no mostró diferencias mínimas significativas a los 85 dds y 175 dds entre los tratamientos, no obstante, a los 265 dds, los tratamientos Llane y Smg mostraron diferencias significativas en comparación a los demás tratamientos. Al comparar las dos profundidades presentaron tendencias de un comportamiento creciente en el pH conforme aumenta la profundidad.

La acidez intercambiable a una profundidad de 0 – 15 cm mostró un comportamiento creciente entre los 175 y 265 dds, con diferencias significativas entre tratamientos. SKH mostró la menor concentración de acidez y fue estadísticamente diferente ( $\alpha = 0,05$ ) del resto de los tratamientos. Todos los tratamientos aumentaron la acidez intercambiable a los 265 dds con excepción del silicato de potasio SKH. El efecto de la acidez a profundidad de 15 – 30 cm no mostró cambios significativos hasta los 265 dds, donde los tratamientos Llane y Smg mostraron la mayor acidez y difieren estadísticamente del resto de los tratamientos. Con relación a la concentración de Al a profundidad de 0 – 15 cm el tratamiento SKH presentó diferencias mínimas significativas en comparación al resto de los tratamientos a los 175 y 265 dds. El comportamiento del Al a profundidad de 15 – 30 cm no presentó diferencias mínimas significativas para todos los tratamientos en las tres fechas. Al evaluar ambas profundidades se encontró un comportamiento decreciente en la Acidez y Al intercambiable cuando aumentó la profundidad.

**Cuadro 8.** Efecto de diferentes fuentes de Si en el pH, acidez y concentración de Ca, Mg y K en el suelo de vivero de palma aceitera.

Profundidad	0 – 15 cm						15 – 30 cm					
Suelos	pH	Acidez	Al	Ca	K	Mg	pH	Acidez	Al	Ca	K	Mg
	----- cmol(+).l <sup>-1</sup> -----						----- cmol(+).l <sup>-1</sup> -----					
<b>NC<sup>†</sup></b>	<b>5,5</b>	<b>0,5</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>0,2</b>	<b>1,1</b>	<b>5,5</b>	<b>0,5</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>0,2</b>	<b>1,1</b>
<b>----- 85 dds -----</b>												
<b>test</b>	6,63 fg <sup>+</sup>	0,19 de	0,05 de	33,63 ab	0,43 gh	3,41 g	6,74 ab	0,20 ab	0,06 a	34,18 ab	0,38 a	3,33 f
<b>Llane</b>	6,18 de	0,25 de	0,09 de	34,51 a	0,46 fg	4,14 de	6,14 ab	0,21 ab	0,08 a	34,28 ab	0,46 ab	4,23 de
<b>Simag</b>	6,55 fg	0,18 de	0,00 e	34,55 a	0,41 gh	3,99 de	6,61 ab	0,17 ab	0,00 a	34,34 ab	0,41 ab	4,14 de
<b>SiF</b>	6,80 g	0,11 e	0,00 e	36,19 a	0,39 h	3,63 fg	6,90 a	0,10 a	0,00 a	35,92 a	0,37 a	3,51 f
<b>SKH</b>	7,12 g	0,09 e	0,00 e	34,30 ab	1,65 cd	3,49 g	6,71 ab	0,18 ab	0,04 a	34,28 ab	0,54 ab	3,41 f
<b>SMg</b>	6,41 ef	0,21 de	0,04 de	32,47 ab	0,39 gh	6,42 ab	6,01 ab	0,23 ab	0,04 a	31,91 bc	0,38 a	6,41 b
<b>----- 175 dds -----</b>												
<b>test</b>	5,25 ab	0,70 abc	0,38 bc	31,64 ab	1,06 de	3,83 ef	6,10 ab	0,27 ab	0,09 a	34,61 ab	0,48 ab	3,46 f
<b>Llane</b>	5,46 ab	0,54 bc	0,25 cd	31,55 ab	1,15 de	4,49 cd	5,86 bc	0,33 ab	0,13 a	32,88 ab	0,55 abc	4,28 de
<b>Simag</b>	5,76 cd	0,52 bc	0,28 cd	32,81 ab	0,89 ef	4,63 cd	6,24 ab	0,23 ab	0,05 a	33,83 ab	0,46 ab	4,44 cd
<b>SiF</b>	5,61 cd	0,44 cd	0,19 cd	32,60 ab	0,90 de	3,99 de	6,33 ab	0,18 ab	0,01 a	34,76 ab	0,44 ab	3,69 ef
<b>SKH</b>	6,43 ef	0,11 e	0,00 e	31,71 ab	5,27 b	3,87 ef	6,44 ab	0,17 ab	0,01 a	34,02 ab	0,94 f	3,48 f
<b>SMg</b>	5,52 cd	0,55 bc	0,29 cd	31,46 ab	0,79 ef	6,56 ab	5,86 bc	0,29 ab	0,10 a	32,62 ab	0,44 ab	6,77 b
<b>----- 265 dds -----</b>												
<b>test</b>	4,81 a	1,55 ab	1,06 ab	24,98 d	3,72 b	6,67 ab	5,65 cd	0,37 ab	0,15 a	33,04 ab	1,00 f	4,23 de
<b>Llane</b>	4,77 a	1,78 a	1,26 a	24,88 d	2,97 bc	5,97 b	5,54 d	0,46 c	0,19 a	33,94 ab	0,76 de	4,98 c
<b>Simag</b>	5,03 ab	1,34 ab	0,93 ab	27,46 cd	2,00 cd	6,03 b	5,80 bc	0,32 b	0,11 a	34,08 ab	0,66 cd	5,02 cd
<b>SiF</b>	5,07 ab	1,16 ab	0,79 ab	28,92 bc	2,25 cd	4,95 c	5,80 bc	0,28 ab	0,09 a	35,48 ab	0,72 bc	4,15 de
<b>SKH</b>	6,98 g	0,11 e	0,00 e	27,48 cd	12,90 a	4,29 cd	6,73 ab	0,11 ab	0,00 a	33,22 ab	2,71 g	3,74 ef
<b>SMg</b>	4,73 a	1,84 a	1,34 a	23,85 d	3,05 bc	7,47 a	5,53 d	0,46 c	0,23 a	31,33 c	0,85 ef	7,67 a
<b>Stand. Error</b>	0,31	0,35	0,28	2,048	0,301	0,061	0,28	0,15	0,10	1,381	0,115	0,228
<b>Adj r<sup>2</sup></b>	0,91	0,85	0,79	0,741	0,911	0,941	0,77	0,84	0,40	0,303	0,837	0,967
<b>p - value</b>	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

n = 864; \*cmol.l<sup>-1</sup> = cmol de carga (+) por litro de suelo, † NC: nivel crítico generales para la solución extractora usada. + Letras distintas denotan diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD TEST (p.adj= bonferroni p <0,05) del modelo lineal (LM).

El resultado indicó que la fuente de silicato de potasio en el tratamiento SKH logró neutralizar la acidez residual generada por los fertilizantes nitrogenado amoniacales, durante el transcurso del experimento. En la profundidad de 15 – 30 cm no hubo diferencias significativas entre los tratamientos lo que indicó que la acidez residual del fertilizante solo se presentó en la capa superficial del suelo en la bolsa.

Las concentraciones iniciales de Ca en el suelo superaron aproximadamente 8 veces el nivel crítico para inceptisoles. El Ca en los primeros 15 cm de los suelos no mostró diferencias estadísticamente significativas al comparar todos los tratamientos a los 85 y 175 dds, sin embargo, a los 265 dds hubo disminución del nivel de Ca en todos los tratamientos. En la profundidad de 15 – 30 cm no hubo diferencias en el contenido de Ca.

Las concentraciones de K aumentaron con el tiempo en todos los tratamientos en consecuencia del efecto residual del fertilizante aplicado. Esto fue 8 veces mayor ( $1,65 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ) al nivel crítico ( $0,2 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ). A los 175 y 265 dds el tratamiento SKH presentó las concentraciones más altas de K, con diferencias significativas en comparación a los demás tratamientos, lo mismo ocurrió en la profundidad de 15 – 30 cm. Este efecto fue causado por la alta concentración de K que presentó el SKH y que aportó al suelo en el transcurso del experimento.

La concentración de Mg en los suelos de vivero presentó un incremento significativo con las fuentes de Si que suministraron Mg. El tratamiento SMg presentó la mayor concentración ( $6,42 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ) de 0 – 15 cm, con diferencias significativas ( $\alpha = 0,05$ ) en comparación al resto de los tratamientos. Este comportamiento se mantuvo a los 175 ( $6,56 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ) y 265 dds ( $7,47 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ) para el mismo tratamiento, siendo comparado hasta la última fecha con el testigo ( $6,67 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ). La concentración de Mg a profundidad de 15 – 30 cm mostró el mismo incremento en el tiempo que los primeros 15 cm de suelo, no obstante, en las tres fechas de muestreo el Smg presentó la mayor acumulación significativa en

comparación al resto de los tratamientos. Al comparar la concentración de Mg en las dos profundidades se encontró a los 265 dds un incremento por arriba de 0,8  $\text{cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$  en la concentración de los primeros 15 cm de suelo. Este resultado se presentó debido a que el Smg es sulfato de magnesio con un contenido de 17,9% de MgO. El tratamiento de Simag también aumentó el nivel de Mg a través del tiempo, debido a que es una fuente de silicato de magnesio.

La concentración de Si en el suelo disminuyó con el tiempo, con excepción del tratamiento SKH donde más bien aumentó (Cuadro 9). El SKH a los 175 dds presentó significativamente la mayor concentración de Si en el suelo ( $217,2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), este mismo comportamiento se encontró a los 265 dds y fue estadísticamente significativo al compararlo con los demás tratamientos. El tratamiento que mostró la menor concentración de silicio fue el Llano y difiere estadísticamente de las demás fuentes incluyendo el testigo. Cuando se evaluó la concentración de Si a una profundidad de 15 – 30 cm, no se encontró diferencias mínimas significativas entre los tratamientos en los días 85 y 175 dds. Sin embargo, a los 265 dds el tratamiento SKH mostró la mayor concentración de Si, difiriendo estadísticamente de los tratamientos Test, Llano y Simag. Al evaluar las dos profundidades se encontró mayor tendencia de concentración de Si a 15 – 30 cm en comparación a los primeros 15 cm conforme pasa el tiempo.

El P aumentó en el suelo a través del tiempo, con mayor acumulación en la capa superficial del suelo que a más profundidad. La concentración de Zn en los suelos de vivero mostró incrementos en el tiempo para todos los tratamientos y fueron superiores al nivel crítico ( $1,7 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) evaluados para inceptisoles (Cuadro 9). Al evaluar la concentración de Zn en los primeros 15 cm de profundidad se encontró que a los 85 dds ninguno de los tratamientos mostraron diferencias mínimas significativas ( $\alpha = 0,05$ ), sin embargo, a los 175 y 265 dds el tratamiento SKH presentó la mayor concentración de Zn ( $6,6$  y  $9,9 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) y difirió estadísticamente de los demás tratamientos.

**Cuadro 9.** Efecto de diferentes fuentes de Si en la concentración de Si, P y micronutrientos en dos profundidades de 0 – 15 y 15 - 30 cm en los suelos tratados de vivero de palma aceitera.

Profundidad	0 – 15 cm						15 – 30 cm					
	Si	P	Zn	Cu	Fe	Mn	Si	P	Zn	Cu	Fe	Mn
Suelos	mg.l <sup>-1</sup> *											
NC†	200	15	1,7	0,4	10	4	200	15	1,7	0,4	10	4
<b>85 dds</b>												
<b>test</b>	168,7 cd <sup>+</sup>	19,5 ab	3,0 a	16,1 ab <sup>+</sup>	245,5 ef	36,9 c	174,4 bc	18,2 ab	3,3 ab	16,7 a	244,7 bc	44,7 a
<b>Llane</b>	194,7 ab	27,1 b	3,5 ab	17,6 ab	254,2 ef	32,6 c	176,2 bc	26,6 bc	3,8 ab	19,0 a	252,2 b	34,8 a
<b>Simag</b>	180,7 bc	18,0 ab	3,3 ab	14,1 ab	243,6 ef	34,2 c	181,7 ab	18,3 ab	3,8 ab	14,7 a	252,8 b	34,7 a
<b>SiF</b>	179,4 bc	17,7 a	3,1 ab	15,2 ab	245,4 ef	36,7 c	191,5 ab	16,8 a	3,2 ab	13,9 a	240,1 bc	39,2 a
<b>SKH</b>	188,5 bc	20,9 ab	3,6 ab	18,0 ab	232,0 fg	38,8 c	165,7 bc	18,6 ab	3,3 ab	16,9 a	245,5 bc	36,4 a
<b>SMg</b>	176,4 cd	16,4 a	3,0 a	12,9 bc	247,7 ef	33,1 c	177,7 bc	16,9 a	3,2 a	12,7 a	243,3 bc	32,6 a
<b>175 dds</b>												
<b>test</b>	159,1 cd	172,8 fg	3,8 bc	17,8 ab	324,1 ab	47,6 bc	173,1 bc	33,7 de	4,1 ab	17,7 a	269,5 ab	46,7 a
<b>Llane</b>	159,2 cd	102,2 def	4,8 de	19,1 ab	294,1 bc	44,9 c	170,7 bc	43,6 ef	4,4 bc	18,2 a	282,0 a	38,6 a
<b>Simag</b>	170,1 cd	52,3 c	4,1 cd	16,1 ab	282,6 de	41,3 c	185,6 ab	23,7 bc	4,1 ab	16,2 a	261,5 ab	33,2 a
<b>SiF</b>	170,8 cd	61,2 cd	3,9 cd	14,5 ab	278,9 de	40,2 c	190,0 ab	25,5 bc	3,7 ab	14,8 a	261,8 ab	37,7 a
<b>SKH</b>	217,2 ab	110,6 efg	6,6 fg	19,6 ab	264,3 ef	43,1 c	181,2 ab	30,6 cd	4,7 cd	18,6 a	257,7 ab	42,4 a
<b>SMg</b>	175,0 cd	48,1 cd	4,2 cd	13,4 bc	283,7 cd	46,6 bc	193,9 ab	21,4 ab	3,8 ab	15,3 a	271,6 ab	40,3 a
<b>265 dds</b>												
<b>test</b>	144,0 ef	290,0 g	3,9 bc	15,6 ab	368,3 a	70,3 a	166,9 c	64,0 g	3,2 a	16,2 a	254,3 ab	51,9 a
<b>Llane</b>	140,4 f	235,6 fg	7,9 fg	15,7 ab	341,0 ab	74,3 a	164,9 c	54,0 fg	4,3 ab	17,7 a	258,1 ab	46,7 a
<b>Simag</b>	157,2 cd	151,9 fg	6,7 ef	13,9 bc	323,3 ab	65,2 ab	175,9 bc	37,9 de	3,9 ab	15,3 a	245,2 bc	43,5 a
<b>SiF</b>	157,2 cd	193,1 fg	7,1 ef	12,5 bc	324,2 ab	64,5 ab	181,3 ab	53,4 fg	4,4 ab	15,9 a	246,9 b	45,4 a
<b>SKH</b>	232,1 a	165,0 fg	9,9 g	21,6 a	215,1 g	47,7 bc	205,0 a	50,1 fg	5,2 d	16,9 a	213,5 c	39,3 a
<b>SMg</b>	148,9 de	200,8 fg	7,1 ef	11,8 c	347,0 ab	80,8 a	179,7 ab	60,2 fg	4,2 ab	13,6 a	267,0 ab	49,8 a
<b>Stand. Error</b>	14,6	47,7	1,2	2,8	18,7	7,0	10,6	10,7	0,7	3,91	10,7	7,3
<b>Adj r<sup>2</sup></b>	0,80	0,95	0,84	0,58	0,89	0,87	0,60	0,89	0,61	0,33	0,73	0,48
<b>p - value</b>	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

n = 864; \*mg.l<sup>-1</sup>: miligramos de elemento en un litro de suelo, † NC: niveles críticos generales para la solución extractora usada. + Letras distintas denotan diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD Test (p.adj= bonferroni p <0,05) del modelo lineal (LM).

Las concentraciones de Zn a una profundidad de 15 – 30 cm mostraron diferencia significativa para el tratamiento SKH al compararlo con los demás tratamientos a los 175 y 265 dds. Al comparar ambas profundidades mostraron tendencias de mayor acumulación de Zn a profundidades de 15 – 30 cm que a 0 – 15 a los 85 dds, sin embargo, a los 265 este comportamiento fue inverso.

La concentración de Cu, Fe y Mn no mostraron cambios importantes en las primeras dos fechas de evaluación en las dos profundidades (Cuadro 9). El Cu mostró rangos de suficiencia ( $> 0,4 \text{ mg.l}^{-1}$ ) en todos los tratamientos evaluados y en sus dos profundidades donde no se encontró diferencias mínimas significativas ( $\alpha < 0,05$ ) entre los tratamientos. En relación al Fe mostró rangos muy altos ( $> 232 \text{ mg.l}^{-1}$ ) en todos los tratamientos y manifestó diferencias mínimas significativas entre las fechas de evaluación (85 – 265 dds) para los primeros 15 cm de profundidad pero no significativas para profundidades entre 15 – 30 cm. El tratamiento SKH a los 265 dds mostró la menor concentración significativamente del Fe en ambas profundidades. El Mn presentó rangos de suficiencia en los suelos, estos rangos estuvieron por arriba de  $32 \text{ mg.l}^{-1}$ . El Mn mostró un incremento significativo a los 265 dds, cuando se evaluó a profundidad de 0 – 15 cm y el tratamiento SKH fue el que presentó significativamente la menor concentración de Mn en relación a los demás tratamientos. El Mn evaluado a profundidad de 15 – 30 cm no mostró diferencias mínimas significativas entre los tratamientos y las fechas evaluadas.

### **Efecto de las fuentes de Si en la concentración de nutrimentos en las plantas de vivero**

El contenido de N, P, K, Ca, Mg, S y Si aumentó en los tratamientos que mostraron un crecimiento mayor en las plantas (Cuadro 10). El abc del contenido de N y P, mostraron valores más altos (224,2 y 21,0) en el tratamiento Simag y difieren estadísticamente ( $\alpha = 0,05$ ) de los tratamientos Llana y SKH. El K y Ca presentaron el mayor contenido en el tratamiento Simag y mostró diferencias mínimas significativas al compararlos a los tratamientos Simg, SKH y Llana. En



relación al Mg y S presentó mayor contenido al tratamiento Simag y difieren estadísticamente de los tratamientos Llane y SKH. El Si mostró mayor contenido en los tratamientos Simag, test, Smg y SiF y presentó diferencias mínimas significativas con los tratamientos SKH y Llane.

Los contenidos de los nutrimentos Al, Fe, Cu, Zn, Mn y B mostraron mayores tendencias en los tratamientos con mayor crecimiento. El Fe y Al mostraron la mayor concentración según el abc en el tratamiento Simag y difieren estadísticamente ( $\alpha = 0,05$ ) del resto de los tratamientos. El Cu presentó la mayor abc (267,5) en los tratamientos Simag y no presentó diferencias significativas al resto de los tratamientos a excepción del tratamiento Llane, el cual mostró significativamente el menor contenido de Cu (193,6). El contenido de Zn fue mayor en los tratamientos Simag y SiF (333,1 y 304), éstos difieren estadísticamente de los demás tratamientos. El Mn y B mostraron el mayor contenido en el tratamiento testigo, y no difieren estadísticamente del tratamiento Simag, los demás tratamientos mostraron la menor concentración en éstos micronutrimentos.

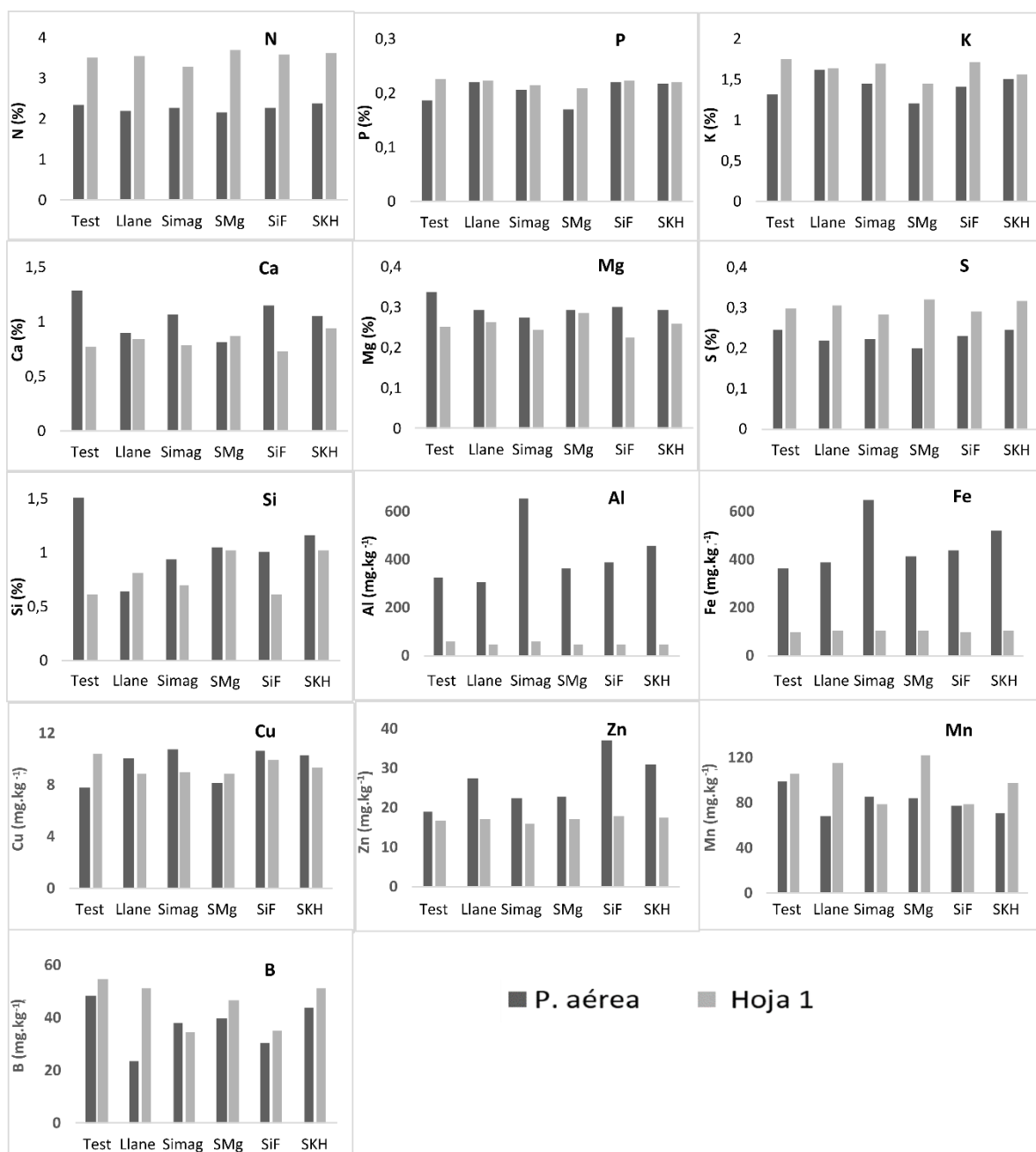
**Cuadro 10.** Efecto de las fuentes de Si en el índice de áreas bajo la curva en la concentración de nutrimentos en plantas de palma aceitera en vivero.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
	----- índices de área bajo la curva -----						
Llane	170,3 b <sup>+</sup>	17,1 b	130,6 b	72,2 c	24,6 bc	18,5 b	78,4 c
SMg	194,8 ab	16,7 b	122,9 b	72,4 bc	28,5 ab	18,8 b	103,6 ab
Simag	224,2 a	21,0 a	157,0 a	93,4 a	30,6 a	22,8 a	113,1 a
SiF	194,6 ab	17,9 ab	131,7 ab	82,8 abc	25,5 abc	20,2 ab	95,1 abc
SKH	173,7 b	16,4 b	127,8 b	67,9 c	22,9 c	17,9 b	86,7 bc
Test	196,0 ab	18,8 ab	136,2 ab	86,8 ab	28,3 ab	21,0 ab	107,1 a
Stand. Error	15,25	1,45	10,69	6,36	2,10	1,58	7,61
Adj r2	0,80	0,78	0,77	0,83	0,81	0,77	0,86
p - value	< 0,001	< 0,001	< 0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Tratamientos	Al	Fe	Cu	Zn	Mn	B	-
	----- índices de área bajo la curva -----						
Llane	82936,5 b	7394,2 b	193,6 b	251,1 bc	827,1 bc	184,3 d	-
SMg	99054,2 b	9055,9 b	208,6 ab	259,4 bc	858,7 bc	262,1 bc	-
Simag	141069,2 a	12548,3 a	267,5 a	333,1 a	955,2 ab	286,5 ab	-
SiF	105490,1 b	9351,4 b	251,4 ab	304,0 a	788,8 c	246,7 bc	-
SKH	81002,1 b	7260,4 b	213,5 ab	245,7 c	613,1 d	225,9 cd	-
test	76338,4 b	6972,5 b	208,8 ab	249,0 bc	1041,8 a	308,5 a	-
Stand. Error	11920	990,3	24,0	23,1	66,3	18,8	-
Adj r2	0,87	0,88	0,75	0,83	0,90	0,90	-
p - value	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	-

n = 2016; <sup>+</sup> Letras distintas denotan diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD Test (p.adj= bonferroni p < 0,01) del modelo lineal (LM).

La concentración de N, P y K en la parte aérea y hoja 1, se encontró que el N mostró tendencias de mayor concentración en la hoja 1 al compararlo con la parte aérea (Figura 1). El P mostró una menor concentración en la parte aérea en los tratamientos testigo. El K presentó mayores tendencias de concentración en la hoja 1 a excepción del tratamiento Llane que mostró una concentración similar. El Ca presentó mayor concentración en la parte aérea. Las concentraciones de Mg presentaron un comportamiento similar al Ca debido a que mostró mayor concentración en la parte aérea y fue similar en la hoja 1 en el tratamiento Smg. El Si mostró mayor tendencia a concentrarse en la parte aérea que en la hoja 1, al observar detalladamente los tratamientos Test, SiF y Simag tendieron a concentrar mucho más Si en la parte aérea que los otros tratamientos.

Las concentraciones de Al y Fe mostraron diferencias importantes en la parte aérea con referencia a la concentración de la hoja 1, siendo el tratamiento Simag el que mostró mayor tendencia de acumulación en ambos nutrimentos. El Cu mostró concentraciones variables según el tratamiento, en relación a los tratamientos Test y Smg mostraron tendencias de mayor concentración en la hoja 1 que la parte aérea, mientras que los demás tratamientos el comportamiento fue inverso. El Zn presentó mayor concentración en la parte aérea y es importante destacar que el tratamiento SiF mostró la mayor tendencia de acumulación al compararlos con los demás tratamientos. Al evaluar el Mn y B mostraron tendencias de mayores concentraciones en la hoja 1, sin embargo, los tratamientos Simag y SiF mostraron en sus concentraciones para ambas estructuras tendencias muy similares en ambos nutrimentos.



**Figura 1.** Concentración de nutrientes en la parte aérea de la planta y hoja número 1 a los 300 dds, tratadas con distintas fuentes de Si en mezcla al suelo en fase de vivero.

Al evaluar la acumulación de nutrientes en las plantas a los 300 dds se encontró concentraciones muy similares en N, P, K, Ca, S y Si, mientras que en

micronutrientes se encontraron diferencias significativas en los tratamientos (Cuadro 11). Los nutrientes N, P, K y S no mostraron diferencias mínimas significativas entre los tratamientos, mientras que Ca mostró diferencias entre Llane y SiF y testigo. El Si mostró la menor acumulación significativamente en el tratamiento Llane cuando se comparó con el resto de los tratamientos. Entre los micronutrientes solo el Zn mostró diferencias mínimas significativas en el tratamiento SiF en comparación al resto de los tratamientos, lo cual presentó la mayor acumulación.

**Cuadro 11.** Efecto de las fuentes de Si en los contenidos de nutrientes a los 300 días en plantas de palma aceitera en vivero.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
	g.planta <sup>-1</sup>						
Llane	2,68 a <sup>+</sup>	0,27 a	2,16 a	1,07 b	0,37 ab	0,30 a	0,85 c
SMg	3,15 a	0,25 a	1,96 a	1,14 ab	0,45 a	0,32 a	1,61 ab
Simag	3,04 a	0,28 a	2,18 a	1,40 ab	0,41 ab	0,33 a	1,57 ab
SiF	2,95 a	0,29 a	2,08 a	1,43 a	0,41 ab	0,34 a	1,57 ab
SKH	2,38 a	0,22 a	1,65 a	1,05 b	0,31 b	0,27 a	1,31 b
Test	2,84 a	0,24 a	1,85 a	1,49 a	0,42 a	0,33 a	1,87 a
Stand. Error	0,32	0,03	0,23	0,15	0,04	0,04	0,16
Adj r2	0,57	0,56	0,56	0,74	0,65	0,49	0,88
p - value	0,06	0,05	0,07	< 0,001	< 0,02	0,16	< 0,01
Tratamientos	Al	Fe	Cu	Zn	Mn	B	-
	mg.planta <sup>-1</sup>						
Llane	670,3 e	72,6 d	2,50 b	3,81 b	8,30 b	3,13 c	-
SMg	1302,5 bc	121,2 bc	3,22 ab	3,93 b	12,4 a	5,85 ab	-
Simag	2299,2 a	205,4 a	3,11 ab	3,80 b	13,0 a	5,62 ab	-
SiF	1570,3 b	146,8 b	4,11 a	5,70 a	11,2 a	4,62 b	-
SKH	1105,9 cd	106,1 cd	3,21 ab	3,67 b	8,14 b	4,89 ab	-
test	818,2 de	82,7 d	2,51 b	2,76 b	12,2 a	6,02 a	-
Stand. Error	160,4	14,7	0,43	0,50	1,16	0,53	-
Adj r2	0,95	0,94	0,72	0,84	0,83	0,86	-
p - value	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-

n = 312; <sup>+</sup> Letras distintas denotan diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD Test (p.adj= bonferroni p < 0,01) del modelo lineal (LM).

La eficiencia de fertilización (EF) en los viveros de palma aceitera generalmente fue muy baja cuando se evaluó a los 300 días y varía según la fuente de silicio y calcio que se aplicó en mezcla al suelo (Cuadro 12). En N tuvo la mayor

EF en el tratamiento Smg (23%) en comparación al resto de los tratamientos, la EF más baja registrada se observó en el tratamiento Test (12,3%). El P expresado en  $P_2O_5$  mostró la mayor EF en el tratamiento SiF (16,5%) mientras que el tratamiento testigo presentó la menor (2,35%). El K representado en  $K_2O$  reveló la mayor EF en el tratamiento Simag y mostró la menor EF en el tratamiento Test.

En relación al Ca, el cual fue suministrado por las fuentes de Si, mostró que los tratamientos Testigo y SKH presentaron la mayor EF ya que estos tratamientos no aportaron Ca, sin embargo, al comparar los tratamientos que fueron aplicados con Ca mostraron que el tratamiento Simag presentó la mayor EF y que el tratamiento Llana manifestó la menor EF. El Mg, representado en  $MgO$ , manifestó que el tratamiento Smg presentó la mayor eficiencia (34,6) y el tratamiento testigo presentó la menor (4,8%). El S expresado en  $SO_4$  reveló que el tratamiento SiF presentó la mayor (36,4 %) EF y que el tratamiento Test la menor (7,02 %).

El Si en términos de  $SiO_2$  demostró que el tratamiento SMg obtuvo la mayor EF (11,5 %) entre los tratamientos que se aplicó silicio y el tratamiento Llana fue el que mostró la menor EF (1,0 %) en comparación al resto de los tratamientos, es importante destacar que el tratamiento Test mostró la mayor EF (>200 %) cuando se compararon todos los tratamientos. Por último, el B mostró que el tratamiento Smg presentó la mayor EF (7,20%) y el tratamiento test presentó la menor (3,70%).

**Cuadro 12.** Comparación de eficiencia de fertilización en nutrientes aplicados en tratamientos con distintas fuentes de Si en mezcla al suelo en vivero de palma aceitera.

Tratamiento	Rubro	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	B
Llane	Requisito (g.planta <sup>-1</sup> )	2,7	0,6	2,6	1,5	0,6	0,9	1,8	0,01
	Dosis aplicada (g.planta <sup>-1</sup> )	13,7	4,1	11,4	32,1	2,1	9,1	177,0	0,26
	% eficiencia	19,6	15,2	22,8	4,7	28,8	9,9	1,0	3,90
SMg	Requisito (g.planta <sup>-1</sup> )	3,2	0,6	2,4	1,6	0,7	1,0	3,5	0,02
	Dosis aplicada (g.planta <sup>-1</sup> )	13,7	4,1	11,1	4,3	2,1	21,2	30,0	0,26
	% eficiencia	23,0	14,1	21,2	37,6	34,6	4,7	11,5	7,20
Simag	Requisito (g.planta <sup>-1</sup> )	3,0	0,6	2,6	2,0	0,7	1,0	3,4	0,02
	Dosis aplicada (g.planta <sup>-1</sup> )	13,7	4,1	11,1	3,7	2,1	4,7	30,0	0,26
	% eficiencia	22,2	15,7	23,5	52,8	31,4	21,3	11,2	7,00
SiF	Requisito (g.planta <sup>-1</sup> )	3,0	0,7	2,5	2,0	0,7	1,0	3,4	0,01
	Dosis aplicada (g.planta <sup>-1</sup> )	13,7	4,1	11,2	7,4	2,1	7,1	30,0	0,26
	% eficiencia	21,5	16,5	22,3	27,3	32,0	14,1	11,2	5,70
SKH	Requisito (g.planta <sup>-1</sup> )	2,4	0,5	2,0	1,5	0,5	0,8	2,8	0,02
	Dosis aplicada (g.planta <sup>-1</sup> )	13,7	4,1	38,1	0,01	2,1	2,8	30,0	0,26
	% eficiencia	17,4	12,3	5,2	> 200	24,0	29,3	9,4	6,10
Test	Requisito (g.planta <sup>-1</sup> )	2,8	0,5	2,2	2,0	0,7	1,0	4,0	0,02
	Dosis aplicada (g.planta <sup>-1</sup> )	23,0	23,0	50,0	0,01	14,0	14,0	0,01	0,52
	% eficiencia	12,3	2,4	4,4	> 200	4,8	7,0	> 200	3,70

n = 312; + Letras distintas denotan diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD Test (p.adj= bonferroni p < 0,01) del modelo lineal (LM).

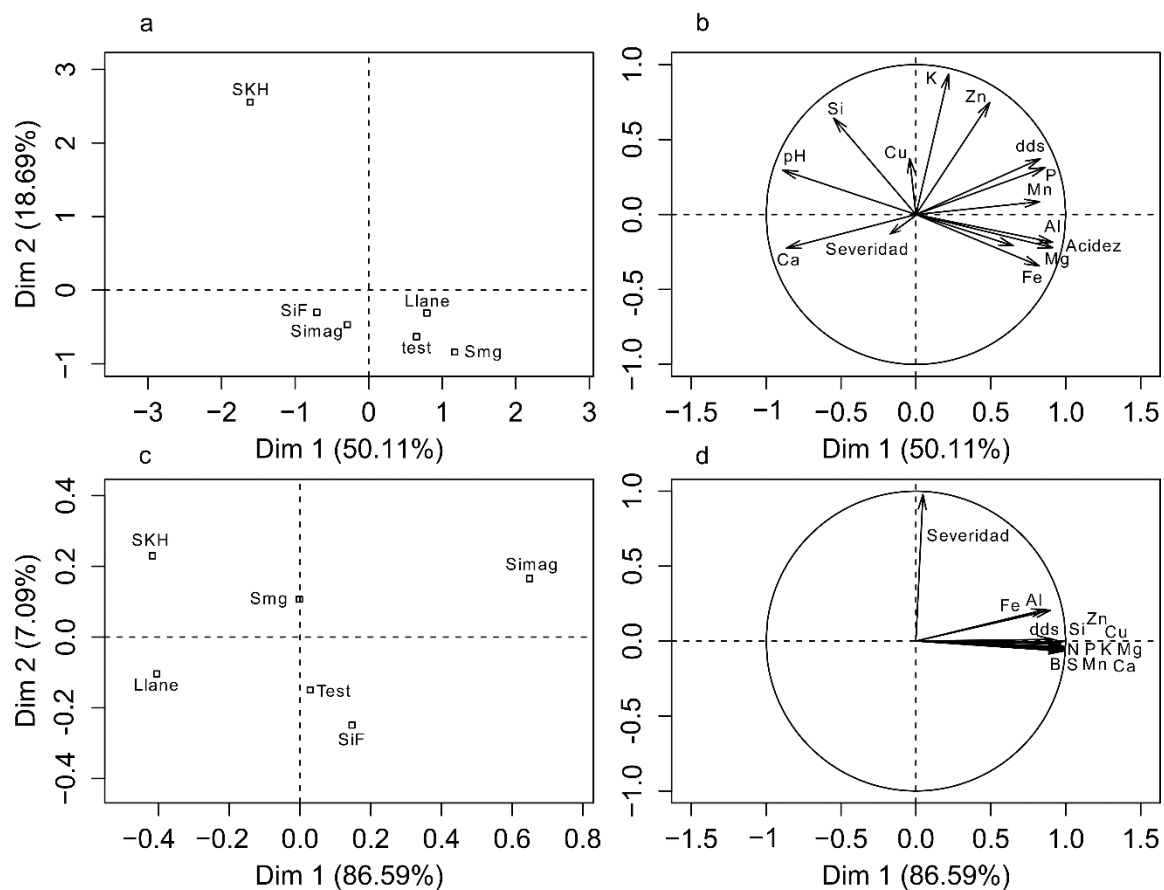
### **Análisis multivariado de acumulación de nutrientes en las plantas y concentración de nutrientes en el suelo en relación a la severidad.**

Con el fin de encontrar una posible estructura en la variabilidad de las variables químicas del suelo y las plantas en relación a la severidad, se realizó un análisis de componente principales (ACP). Dicho análisis mostró que las primeras dos dimensiones para los nutrientes del suelo explicaron un 69% y que para las primeras dos dimensiones en los nutrientes acumulados en las plantas explicaron un 94% de la varianza observada en vivero (Figura 2). La primera dimensión que explica el comportamiento de los nutrientes con la severidad, explicó un 50,1% de la variación del sistema y la segunda un 18,7 %. La primera dimensión que explica la acumulación de nutrientes en la planta, explicó un 86,6% de la variación y la segunda un 7,1% según el mapa de factores de individuos.

El ACP agrupó los distintos tratamientos según su similitud en las concentraciones de nutrimentos en el suelo según la variación que mostró el suelo de las bolsas (Figura 2a, b). El ACP separó los distintos tratamientos en tres grupos según la dimensión 1 y 2, el primer grupo fue conformado por el tratamiento SKH, el segundo por los tratamientos Sif y Simag, el tercer grupo fue asignado para los tratamientos Llane, Test y Smg, éstos grupos fueron seleccionados según una relación dimensional con respecto a las variables químicas de suelo y posiblemente su relación en el comportamiento en las concentraciones obtenidas con el tiempo. Al observar el comportamiento dimensional de las variables química con la severidad y el tiempo (dds), se encontró que la severidad mostró correlación directa con las concentraciones de Ca en el suelo y mostró un comportamiento inverso a los contenidos de Zn, K, P, Mn y los dds. Por otro lado, el Si mostró correlación directa con las concentraciones de Cu y el pH de los suelos, además mostró una correlación inversa con las concentraciones de Acidez, Mg, Fe y Al.

Al observar el comportamiento de la acumulación de nutrimentos en las plantas según el ACP, mostró una alta correlación con el tiempo, pero poco importante con la severidad (Figura 2c, d). El ACP encontró solo una agrupación con dos tratamientos siendo los demás separados en distintas coordenadas según la dimensión 1 y 2, el grupo fue conformado por el tratamiento SiF y Test mostrando un comportamiento inverso con los tratamientos Smg y SKH, según la relación dimensional con respecto a la acumulación de nutrimento en el tiempo. Al calcular el comportamiento de las variables químicas de acumulación en las plantas no se encontró una relación en las dimensiones de los nutrimentos con respecto a la severidad. Al parecer solo se encontró una tendencia baja de relación con el Fe y Al con la severidad, sin embargo, ambos nutrimentos tienen más relación con el resto de los nutrimentos, lo cual llevan una correlación más fuerte con el tiempo (dds).





**Figura 2.** Análisis de componentes principales para el contenido nutricional en el suelo, acumulación y severidad en palmas de vivero. a) Mapa de factor de individuos en dimensiones 1 y 2 para concentración de nutrimentos en suelos b) mapa de factor de variables en dimensiones 1 y 2 para concentración de nutrimentos en suelos. c) mapa de factor de individuos en dimensión 1 y 2 para contenido de nutrimentos en plantas. d) mapa de factor de variables en dimensiones 2 y 3 para contenidos de nutrimentos en plantas.

## DISCUSIÓN

Las plantas de vivero mostraron mayor tolerancia a enfermedades foliares en el tratamiento SiF y un mayor crecimiento en el tratamiento Simag. Es muy probable que este efecto sea producto de los balances de nutrimentos que se encontraron en el suelo en el transcurso del tiempo.

Al observar el pH desde los 85 dds se encontró que los tratamientos SiF y Simag presentaron un pH por arriba de 5,0, mientras que los demás tratamientos disminuyeron en excepción de SKH, debido a que este último producto se suministraba cada 60 días. Este efecto se observó detalladamente en las concentraciones de acidez ( $1,16 - 1,34 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ) y aluminio intercambiable ( $0,79 - 0,93 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ), donde las concentraciones fueron superiores al nivel crítico ( $0,5 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ) producto de la acidificación de los suelos por los fertilizantes suministrados, lo cual se encuentra bien documentado (Molina 1998, Zapata 2004). Esta acidificación se respalda al observar las mayores concentraciones de acidez en los primeros 15 cm de profundidad, cuando se compararon con las concentraciones entre los 15 – 30 cm. Es probable que el efecto sea producto de las concentraciones de CaO y MgO que tiene Simag (3,72%, 32,9% respectivamente) y SiF (17,1%, 0,64 % respectivamente), los cuales, actúan realizando un efecto de corrección de acidez prolongadamente. El efecto de corrección de acidez está bien documentado en suelos ácidos (Espinosa y Molina 1999, Bernier y Alfaro 2006). También el Si es una enmienda en suelos lo que es probable que también tuvo efecto en la reducción de acidez en los suelos de vivero.

El Si mostró las concentraciones por debajo del NC ( $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) establecido para los suelos en Costa Rica (Lobo 2013), solo el SKH mantuvo sus concentraciones por arriba de NC, lo cual fue el único producto que aumentó las concentraciones de Si significativamente en los suelos. La concentración de Si en estos suelos rondaron entre los  $144 - 169 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (testigo), las aplicaciones de las fuentes de Si al inicio aumentaron significativamente, sin embargo, conforme fue

pasando el tiempo esto disminuyó siendo menor entre los primeros 15 cm de profundidad y mayor concentración entre 15 – 30 cm. Lo cual está relacionado inversamente con la acidez intercambiable causado por los fertilizantes (Lucas et al. 1993). La mayor concentración de Si a los 265 días en el suelo lo presentaron la fuente de SKH. El Llane a pesar de que suministró la mayor cantidad de Si (177 g SiO<sub>2</sub> por bolsa) en comparación a los demás tratamientos, no mostró diferencias estadísticamente diferentes con el testigo. Al analizar el orden de solubilidad de silicio según el método validado de NA<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (Sebastian et al. 2013), se determinó que la fuente de serpentina (Smg) mostró mayor solubilidad de Si, que los Zeolita (Llane) y las fuentes de diatomitas (SiF) (Cuadro 1). Esto comprobó que las fuentes de Zeolitas no son adecuadas para vivero de palma en Costa Rica (Inceptisoles) y que las fuentes de silicio soluble (SKH), serpentinas y diatomitas mostraron una mejor solubilidad y efecto en la concentración química de los suelos a los 265 dds. Además, en Inceptisoles la concentración de Si es alta, debido a que estos suelos son de arcillas mixtas (Alvarado et al. 2014) lo cual tienen una liberación constante de Si producto de la sustitución isomorfa en las configuraciones laminares (Matichenkov et al. 2000, Zapata 2004, Datnoff et al. 2007), lo cual probablemente pudo ser acelerado por la acidificación inducida por los fertilizantes nitrogenados. Por otro lado, el P mostró una alta acumulación en los suelos de las bolsas producto de la fertilización que llevaba las fórmulas aplicadas en la fertilización de vivero.

Los contenidos de nutrimentos mostraron un efecto directo con el crecimiento de las plantas. Al evaluar el tratamiento Simag, mostró la mayor acumulación de nutrimentos, lo cual es determinado por la biomasa acumulada en el tiempo. El índice de área bajo la curva no determina la cantidad de nutrimentos (masa) acumulado, pero sí es sensible en determinar el efecto acumulativo entre dos y más fechas mediante sus índices. El SiF no se diferencia significativamente del Simag en la acumulación de nutrimentos, pero al evaluar las concentraciones de Zn y Mn en la parte foliar y parte aérea de la planta, se encontró tendencias de una mayor

concentración en los tejidos para el Zn, Cu en el tratamiento SiF en comparación al resto. Esto queda demostrado en el Cuadro 12 determinando mayor acumulación a los 300 dds. Además, el Mn mostró una tendencia de estabilización en las concentraciones de la parte aérea y hoja 1 a los 300 dds.

La eficiencia de fertilización calculadas para cada tratamiento mostró que las planta en vivero son sobre fertilizadas y el efecto de las altas concentraciones de los nutrimentos en las bolsas provienen de la fertilización. Si bien las fertilizaciones en los tratamientos se basaron según la curva de absorción (Ramírez y Muñoz 2010), se debe de aumentar las eficiencias de fertilización en los cálculos de los requerimientos, debido a que los nutrimentos no presentan pérdidas por lixiviación, lavado, o escorrentía lo cual ocasionaría pérdidas importantes en los suelos. La fertilización efectuada con las fórmulas convencionales en vivero (testigo) mostraron las menores eficiencias en los nutrimentos que fueron aplicados con los planes utilizados en vivero, lo cual probablemente ocasione mayor gravedad en los desbalances de los suelos.

El comportamiento de la severidad de CNF en las plantas de vivero presentó relaciones con las concentraciones de Ca, Zn, Cu, K, P y Mn en los suelos. Los mapas de los factores calculados para los suelos, relacionaron los tratamientos SiF y Simag en relación al comportamiento de los nutrimentos y la severidad. Debido a que los tratamientos mostraron mejores características de crecimiento (Simag) y tolerancia a las enfermedades en el tiempo (SiF). Mientras que el mapa de factores en la acumulación de nutrimentos relacionó estos parámetros con Simag, debido a la mayor acumulación de nutrimentos por el tratamiento. El ACP determinó que la concentración de Cu y Zn correlaciona inversamente con la tolerancia a enfermedades foliares, es probable que a una mayor concentración en los suelos y en las plantas la severidad disminuya. Este mismo efecto también se observó en las concentraciones de K, P y Mn.

El ACP relacionó un comportamiento proporcional de la severidad con las concentraciones de Ca en los suelos y relacionó las concentraciones de Si con el tratamiento SKH. Lo que probablemente el desbalance causado en los suelos por este nutrimento sea el factor relacionado directamente con la nutrición del vivero. Estas tendencias se observaron claramente al analizar la concentración de Ca en la hoja 1, lo cual mostró que el tratamiento SiF presentó la menor concentración en comparación al resto de los tratamientos.

Al evaluar las concentraciones foliares respaldan el ACP debido a que los nutrimentos mostraron tendencias a mayores acumulaciones en el SiF, cuando se compararon con el resto de los tratamientos. Esto también se respalda con la acumulación de nutrimentos a los 300 dds, donde el Zn se acumula en el tratamiento SiF. Los datos concuerdan con investigaciones en cereales, donde encontraron que mayores acumulaciones de Zn incentiva a una mayor tolerancia a enfermedades, mostrando correlaciones inversas entre los mayores contenidos de Zn y severidad en las plantas (Thongbai et al. 1993). Además, se ha demostrado que las aplicaciones de Zn en el suelo reducen significativamente la severidad de enfermedades (Graham y Webb 1991, Grewal et al. 1996). Por otro lado, sujetando el efecto de Zn con *E. guinensis*, en palmas adultas se reportan la hipótesis sobre la vinculación de Cu, Zn y Fe en la afectación de PC (Chinchilla y Duran 1998), lo cual establecen una posible relación importante con enfermedades del cultivo.

## CONCLUSIONES

El Si en suelos aluviales no mostró un efecto directo con el control de enfermedades foliares en vivero de palma aceitera. Se encontró que solo el tratamiento SKH logró aumentar las concentraciones de Si por arriba del nivel crítico significativamente. No obstante, el SiF mostró mayor tolerancia a enfermedades, debido a que la enmienda facilita la absorción de Zn, lo cual mejora la nutrición de la planta. Sin embargo, en relación al crecimiento de las palmas Simag mostró el mayor crecimiento, pero no mostró tolerancia a las enfermedades foliares.

## CAPÍTULO 2

### EFFECTO DE MEZCLA DE COMPOST DE FIBRA CON SUELO EN EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE PALMA ACEITERA EN VIVERO Y LA INCIDENCIA DE ENFERMEDADES FOLIARES

**Palabras claves:** Compost, palma aceitera, nutrición de plantas, enfermedades, vivero.

#### RESUMEN

Se evaluó el efecto de diferentes mezclas de compost de fibra con suelo en vivero de palma aceitera y su efecto en la severidad del Complejo de Necrosis Foliar (CNF) en el Pacífico Sur de Costa Rica. Se realizaron mezclas volumétricas de 12%, 25%, 37 y 50% de compost de fibra con un Inceptisol eútrico. Se sembraron plantas de palma aceitera del material Compacta x Gana, se llenaron bolsas de 20 l y se acomodaron en un diseño experimental de bloques completos al azar, que comprendieron 5 tratamientos y 4 repeticiones. Se evaluó a los 85, 130, 175, 220, 265 y 300 días después de siembra (dds), el crecimiento morfológico de las plantas y porcentaje de severidad de CNF en las hojas. Se evaluaron los nutrientes en el suelo y foliares en el tiempo, se evaluó el peso seco de plantas y se calculó la absorción de nutrientes. Por último, se evaluó la densidad aparente (Dap) y conductividad hidráulica (CH) en las mezclas a los 90 y 300 dds. Se encontró que el tratamiento de 12% de fibra con suelo mostró el menor porcentaje de severidad de CNF significativamente y presentó el mayor balance porcentual de eficiencia de fertilización de los nutrientes en comparación al resto de los tratamientos. La Dap fue inferior y la CH superior significativamente en todas las mezclas. Se concluye que la mezcla de 12% de fibra con 88% suelo mejoró la absorción de nutrientes en las plantas y aumentó la tolerancia a CNF.

## INTRODUCCIÓN

La calidad de las plantas en vivero de palma aceitera es fundamental para el establecimiento de sitios de siembra definitivo. Debido a que fluye directamente sobre su capacidad de sobrevivir y tolerar ambientes cambiantes según las condiciones agroecológicas (Negreros-Castillo et al. 2010). Sin embargo, para obtener plántulas de calidad se deben mejorar los factores agronómicos, entre estos: fertilización, nutrición, riego, control de problemas fitosanitarios, entre otros. Éstos factores influyen directamente con la fisiología y el crecimiento de las plantas, lo cuales también se encuentran asociados a condiciones del clima, suelos y ambiente (Fairhurst et al. 2012).

El uso de la materia orgánica en los suelos agrícolas tiene amplios beneficios para mejorar las características fisicoquímicas en el tiempo (Ferrera y Alarcón 2001, Cruz-Ruiz et al. 2012). El compost de fibras de fruta fresca de palma aceitera es muy rico en C, N, K y micronutrientes que se reciclan y vuelven a los sistemas agro-productivos (Miranda et al. 2014, Rodríguez et al. 2015), además de reducir la huella de carbono producido en la extracción de la industria. El uso de materia orgánica en los cultivos resulta de vital importancia en relación a la nutrición y manejo de enfermedades. Investigaciones elaboradas en bancos de germoplasma de palma aceitera demostraron que aplicaciones de materia orgánica en la rodaja en conjunto con drenajes y descompactación del suelo, ayuda al crecimiento de las raíces y mejora condiciones para prevenir enfermedades, entre estas la PC (Torres 2013, Henry 2015).

En vivero de palma aceitera existen escasos estudios sobre el uso de compost en mezcla con el suelo para mejorar el crecimiento de las plantas. Ensayos realizados con granza de arroz, cascarilla de endocarpo y fibra de mesocarpo de frutas de palma, determinaron que los materiales con menor densidad mostraron mejor facilidad de manipulación al disminuir su peso, no obstante, no encontraron diferencias marcadas con respecto al crecimiento de la raíz y la parte aérea de las



palmas entre los sustratos (Umaña et al. 1990). Los mismos autores no cuantifican la absorción de nutrimentos que obtienen las plantas, basándose en fertilizaciones generales de los fertilizantes 18 – 46 – 0 y 15 - 15 – 15.

Investigaciones en el crecimiento de plantas de vivero demostraron un comportamiento estadísticamente similar en la curva de acumulación de materia seca, entre los materiales Deli x LaMé, Deli x Nigeria, Deli x Ghana (Ramírez y Muñoz 2010). Así mismo en Colombia demostraron que los materiales Tanzania x Ekona, Deli x Yangambi, Deli x Avros y Deli x Yangambi no mostraron diferencias estadísticas en la acumulación de biomasa en el tiempo (Reyes et al. 2008, Reyes et al. 2009). Al realizar el estudio de acumulación de nutrimentos en las plantas se determinó que el material Deli x LaMé presentó la tendencia de mayor absorción, seguido del material De x Ng y posteriormente de De x Gha, proyectando un consumo de nutrimentos en el siguiente orden decreciente: N > K > Ca > Mg > P > S (Ramírez y Muñoz 2010). Lo que estableció que las variedades tienen distintos consumos de nutrimentos y que es probable que el aporte de nutricional que se suministró sea explícitamente de las fertilizaciones y del suelo, ya que ambas investigaciones se realizaron en bolsas con suelo sin presencia de materiales orgánicos.

Por otro lado, en Costa Rica los viveros de palma aceitera han mostrado problemas en el control de enfermedades foliares, principalmente en la zona de Corredores, donde la precipitaciones se encuentran entre 4000 – 6000 mm.año<sup>-1</sup>. Entre las principales enfermedades foliares reportadas en Corredores, se encuentra la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) (Ortiz y Fernández 2000, ASD 2010). Sin embargo, las agentes causales reportadas en vivero pueden manifestarse según el estado de desarrollo de la planta, condiciones climatológicas y manejo. Turner y Bull (1967), Renard y Quillec (1979), Turner (1981) citados por Ulloa y Serrano (2012), reportaron la presencia de otros agentes causales que causan lesiones importantes en las láminas foliares, entre estos se encuentran: *Botryodiplodia* sp., *Melanconium* sp., *Colletotrichum* sp. [*Glomerella* sp.] y

*Curvularia* sp.. Por ser este un problema de que involucra a varios patógenos se le denominó Complejo de Necrosis Foliar (CNF) (Ulloa y Serrano 2012). Los efectos reportados según el porcentaje de severidad en las láminas foliares, pueden reducir el crecimiento de las plantas significativamente (Ramírez y Muñoz 2011, Ulloa y Ramírez 2011). Lo cual ocasiona un problema constante en la producción de vivero de palma aceitera.

Debido a las búsquedas de alternativa de producción y manejo de enfermedades en vivero de palma aceitera, esta investigación tuvo el objetivo de evaluar el efecto de mezcla de compost de fibra con el suelo en el crecimiento, los contenidos de nutrimentos y determinar su efecto en la severidad del Complejo de Necrosis Foliar (CNF) en plantas de palma aceitera en fase de vivero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó cabo en la zona de vivero de la Compañía Palma Tica S.A., ubicada en Coto 47 en el cantón de Corredores en Puntarenas, Costa Rica. Esta zona se encuentra en la llanura aluvial de Coto-Corredores, con una elevación aproximada entre 24 – 30 msnm. La precipitación promedio anual registrada varía entre 3800 – 4500 mm. Se procedió a medir las condiciones climatológicas durante el periodo de evaluación que comprendió desde julio de 2014 y marzo 2015, se registró una precipitación total 2051 mm. La temperatura promedio durante el periodo fue Max: 36,4 °C y Min: 26,5, con una humedad relativa promedio de 87,4% y una radiación solar promedio de 377,2 Wat.m<sup>-2</sup>.

Se ubicó un boquete en la zona de vivero con dimensiones de 36 x 23 m de largo con una zona de topografía plana, cerca al centro del vivero. Se procedió a trasladar suelo (Inceptisol eútrico) en una vagoneta de 12 m<sup>3</sup> al boquete dentro del vivero. Los montículos de suelo fueron cubiertos por un plástico transparente de polietileno durante el tiempo que se procesaba el compost y se recolecto muestras para laboratorio (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Contenido de nutrimentos en suelo utilizado para las mezclas con compost de fibra de frutos de palma en etapa de vivero.

ID+ Mehlich 3	pH H <sub>2</sub> O	Acidez (KCl)	cmol(+).l <sup>-1</sup>				% SA	mg.l <sup>-1</sup>					
			Ca	Mg	K	CICE		P	Zn	Cu	Fe	Mn	Si*
NC	5,5	0,5	4	1,1	0,2	5		15	1,7	0,4	10	4	200
Suelo inicio	6,24	0,28	35,2	3,97	0,46	39,9	0,70	18,2	2,52	12,3	283	57	173

+ Solución extractora Mehlich 3, laboratorio suelos y foliares Palma Tica S.A.; NC = nivel crítico para Inceptisoles según Cabalceta y Molina (2006). CICE = Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva = Acidez + Ca + Mg + K. \* Metodología de extracción con ácido acético según Lobo (2013).

Se procedió a compostear fibra de estopa de palma aceitera durante 30 días en un invernadero, removiendo los residuos diariamente y se aplicó efluente de los residuos de la planta extractora. A los 25 días de compostaje se procedió a realizar 5 análisis químicos en distintos puntos de la cama con el fin de determinar su concentración de nutrimentos totales (Cuadro 14), se dejó por 5 días en el

invernadero y después se trasladó 12 m<sup>3</sup> de compost de fibra al vivero, se cubrió con un plástico de polietileno transparente por una semana y se realizó un sexto análisis químico total del compost.

**Cuadro 14.** Determinación de nutrimentos totales a los 25 días de compostaje en fibra de palma aceitera en invernadero y vivero.

Nutrimento		Fibra M1	Fibra M2	Fibra M3	Fibra M4	Fibra M5	F. Vivero M6*	$\bar{X}$
pH	H <sub>2</sub> O	9,04	9,17	9,24	9,21	9,05	8,54	9,04
N		2,22	1,81	1,96	1,76	2,07	1,69	1,92
C		40,6	41,7	40,9	41,4	41,4	42,7	41,5
C/N		18,3	23,1	20,9	23,5	20,0	25,3	21,8
P	%	0,48	0,41	0,45	0,35	0,4	0,39	0,41
K		4,02	3,54	3,78	3,70	3,70	3,14	3,65
Ca		1,26	0,98	1,11	0,88	1,04	1,01	1,05
Mg		0,73	0,6	0,68	0,55	0,61	0,62	0,63
S		0,34	0,28	0,29	0,27	0,31	0,31	0,30
Si		-	-	-	-	-	0,85	-
Fe		2089	1728	1873	1508	1811	1985	1832
Cu		46,4	38,1	43,4	38,7	41,2	41,5	41,6
Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	69	57	71	54	64	59	62,3
Mn		122	102	118	88	104	107	106,8
B		33	28	31	27	30	25	29,0
Humedad	%	70,5	69,2	69,5	67,8	69,1	67,2	68,9

\*.Fibra con una semana de estar bajo cubierta en área de vivero; pH: relación material: agua 1:16.7. AOAC 973.04. Elementos: extracción por microondas. Detección ICP-OES Óptima 8500. C/N por combustión seca. CHN.

Según investigaciones preliminares con mezclas de materia orgánica y suelo en los viveros comerciales de Palma Tica S.A, se diseñaron 4 mezclas potenciales a evaluar partiendo de un 50% de cada material (Cuadro 15). Posteriormente se cubrió un “balde” de montacargas de 0,5 m<sup>3</sup> para la estimación de diluciones de compost con suelo.

En la elaboración de las mezclas se realizaron mediante dilución de mezclas madres, estas se efectuaron de la siguiente manera: Se mezcló 12 baldes de suelo y 12 baldes de compost en un montículo sobre el área a llenar las bolsas, estas se removieron constantemente hasta que los materiales fueran homogéneos, de ésta forma se realizó la mezcla 50% suelo y 50% compost (mezcla 1); Posteriormente se llenaron 9 baldes de la mezcla 1 y 9 baldes de suelo, se removieron

simultáneamente hasta lograr una homogenización de los materiales y concluir con las proporción de 75% suelo y 25% compost (mezcla 2). Continuamente se combinaron 5 baldes de la mezcla 1 y 5 baldes de la mezcla 2, se homogenizaron para definir con la mezcla 62,5% suelo y 37% compost. Por último, se diluyeron 4 baldes de la mezcla 2 con 4 baldes de suelo para lograr la mezcla 87,5% suelo y 12,5% compost.

Posteriormente se procedió a cubrir las mezclas con plástico transparente de polietileno durante una semana. Luego se llenaron las bolsas de vivero con las distintas mezclas, removiendo nuevamente el montículo con tridentes para separar las estopas cementadas con el suelo y se mezcló nuevamente. Así mismo se llenaron las bolsas de 20 L con las distintas mezclas de compost y suelo, efectuando golpes leves para comprimir y eliminar las cavidades de aire, se alinearon de acuerdo al mapa experimental y se etiquetaron con números para sus respectivas evaluaciones.

**Cuadro 15.** Tratamientos de mezclas de compost y suelos.

<b>Mezcla</b>	<b>Id.</b>	<b>Tratamientos.</b>
1	50C	50% Suelo + 50% Compost
2	25C	75% Suelo + 25% Compost
3	37C	62,5% Suelo + 37,5% Compost
4	12C	87,5% Suelo + 12,5% Compost
5	T	100% Suelo

Se seleccionaron plantas de *E. guineensis* del material Compacta x Gana. Estas fueron sembradas en pre-vivero con Jiffi y fueron manejadas durante dos meses bajo condiciones controladas. La nutrición de estas plántulas se manejó bajo fuentes de lenta liberación (Osmocote®) y aplicaciones foliares en conjunto con fungicidas preventivos. Las plantas se seleccionaron de manera que el material fuera totalmente homogéneo, lo cual se desecharon plantas alongadas, con presencia de enfermedades foliares, mal desarrolladas entre otros.

Previo a la siembra de las plantas, se realizó una aplicación de herbicida en toda el área de vivero, con el fin de realizar un manejo total de las malezas. Dos semanas después se trasplantaron plántulas de *E. guineensis*. Se realizó el mismo manejo agronómico utilizado por el departamento de viveros, con excepción de la nutrición y el control de enfermedades foliares. La fórmula que se utilizó en vivero corresponde a 15,50 – 9,76 – 15,50 – 4,00 – 3,20(S) – 0,30(B); el cual están constituidas por las fuentes de nitrato de amonio (NAM), Microessentials (SZ), cloruro de potasio (KCl), kiesierita y granubor. Ésta fórmula se calculó según los requisitos calculados mediante la curva de absorción propuesta por Ramírez y Muñoz (2010) (Cuadro 16). La fertilización se aplicó cada 15 días, ésta fue de forma granular en el área superficial de la bolsa, distanciados del bulbo para no producir pérdida de agua en la planta por difusión.

**Cuadro 16.** Fertilización propuesta en base a la curva de absorción en plantas de *E. guineensis* en etapa de vivero.

Consumo curva	N	P	K	Mg	S	Zn	B
Eficiencia*/dds**	60%	50%	70%	80%	50%	50%	10%
	----- g.planta <sup>-1</sup> -----						
<b>82</b>	0,05	0,01	0,03	0,02	0,01	0,15	0,63
<b>149</b>	0,93	0,09	0,26	0,07	0,06	1,01	2,03
<b>210</b>	2,79	0,27	1,03	0,24	0,19	2,53	6,52
<b>268</b>	5,94	0,72	2,98	0,56	0,51	8,29	25,02
<b>298</b>	8,71	1,03	4,76	0,80	0,73	11,52	29,91
<b>335</b>	17,48	2,25	10,28	1,69	1,64	29,13	61,77
<b>363</b>	24,40	3,01	13,09	2,45	2,45	47,49	94,89

\* Eficiencia fertilización propuesta. \*\* días después de siembra

### Variables evaluadas

Se realizaron muestreos a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 días después de siembra (dds), para determinar el crecimiento de la planta. Se midieron con una cinta métrica el largo de raquis que comprende el tamaño desde la parte proximal de peciolo hasta el meristemo apical de la hoja. El número de hojas totales en las plantas y con un vernier se midió el diámetro de bulbo que se encuentra a nivel del suelo.

Las evaluaciones de severidad del complejo de necrosis foliar (CNF) se realizaron mediante una escala visual propuesta por la Compañía Palma Tica S.A. La escala está representada por 5 grados que determinan el porcentaje de daño en la hoja 1 y toda la planta. Están constituidos de la siguiente manera: 1 = representa el 3% de la hoja o planta dañada, 2 = 7%, 3 = 15%, 4 = 40%, 5 = 75%. Se realizaron evaluaciones de severidad en la hoja 1 y planta total. Se digitaron los datos de crecimiento para estimar una planta promedio para el análisis de absorción de acuerdo a las mediciones.

La selección de plantas para el análisis de absorción en vivero se realizó por medio de una media estimada a partir de los datos morfológicos. Cada repetición estaba compuesta por 28 - 24 plantas donde se calculó un intervalo de confianza para el diámetro de bulbo, largo de raquis y hojas totales. El intervalo de confianza se calculó evaluando la desviación estándar, el tamaño de la muestra con un alfa ( $\alpha$ ) = 0,01. Posteriormente se determinó el límite superior y el límite inferior según la media de los datos. La selección de las plantas para análisis de absorción se estimó mediante un filtrado de los datos para cada repetición, donde se incluía los límites inferiores y superior correspondiente para cada uno de las variables morfológicas. Las repeticiones que mostraban más de dos plantas con los intervalos de confianza estimados, se seleccionaba la planta que mostraba el diámetro de bulbo más cercano a la media.

Se recolectó una planta por repetición a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 dds, se lavó el adobe (mezcla) con abundante agua en presencia de un sarán para evitar la pérdida de raíces y posteriormente se pesó la parte aérea y las raíces. Ambas partes se secaron en un horno durante 3 días a 60 °C y se procedió a pesar el peso seco de las plantas. Posteriormente se enviaron al laboratorio para su respectivo análisis de nutrimentos para la parte área y raíz.

Por otro lado, se realizó un muestreo foliar según la metodología de Rodríguez y Jiménez (2013), el cual consistió en cortar la hoja 1 para el caso de las hojas bifurcadas y lanceoladas, para el caso de hojas compuestas totalmente

abiertas se recolectaron 2 folios a cada lado de la parte media, se extrajeron las venas de las hojas y se secaron a 60 °C durante 3 días. Ambas muestras se realizaron determinaciones de Si mediante la metodología de Lobo (2013), N por combustión seca, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, mediante la digestión húmeda con HNO<sub>3</sub> y determinación por espectrometría de emisión atómica con plasma (ICP).

Los análisis químicos en suelos se realizaron en los días 90, 170, 260 dds. Las muestras se recolectaron a dos profundidades de 0 – 15 y 15 – 30 utilizando un submuestreo en 15 bolsas por repetición alternadas entre plantas. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Foliarios de la Compañía Palma Tica S.A., se determinaron pH, Ac, Ca, Mg, K, P, Fe, Zn, Mn, Cu, Si y Al mediante extracciones con Mehlich III de acuerdo a la metodología de Cabalceta y Molina (2006) y las determinaciones de silicio por el método de Lobo (2013).

Las variables físicas se evaluaron en las mezclas de compost de fibra una vez sembradas las plantas en las bolsas. Estas fueron la densidad aparente y conductividad hidráulica, el cual se determinaron mediante el método de Forsythe (1980). Las muestras fueron tomadas a los 90 y 320 dds, estas se obtuvieron de los primeros 10 cm de la superficie de suelo en la bolsa, mediante cilindros de acero inoxidable insertados bajo presión. Posteriormente fueron extraídos mediante una espátula y envueltos en papel aluminio para posteriormente enviarlos al laboratorio de Física de Suelos del departamento de investigación de Palma Tica S.A.

La infiltración de agua en los suelos de las bolsas se realizó mediante la metodología de calidad de suelos USDA (2001). Ésta metodología consistió en insertar un cilindro de 6 pulgadas de diámetro en el suelo y cuantificar el tiempo que tarda en infiltrar una pulgada de agua. Sin embargo, ésta metodología se adaptó para las bolsas de vivero, utilizando un cilindro de 2 pulgadas de diámetro, lo cual permitió evaluar la infiltración en el área de la superficie de las bolsas.



### Diseño experimental

El experimento fue constituido por 5 tratamientos y 4 repeticiones con un diseño experimental de bloques completos al azar. Los bloques fueron ubicados un sector céntrico, con historial de enfermedades foliares y sin problemas de topografía. Se prepararon 4 bloques, cada bloque fue representado por 210 plantas con un tamaño de 265 m<sup>2</sup>, cada repetición tenía un total de 30 plantas.

Para el análisis de los datos morfológicos se realizaron índices de áreas bajo la curva (abc), para reunir la información de las variables en el tiempo (Ecuación 2). Ésta metodología consistió en calcular el área de un trapecio entre dos fechas de evaluación, tomando en cuenta las evaluaciones morfológicas en cada fecha y los días transcurridos para realizar una sumatoria de las áreas calculadas entre los periodos. La sumatoria de las áreas determinó el índice de abc, lo cual mide el efecto de los tratamientos en transcurso del tiempo.

$$\sum \frac{b + B \times a}{2}$$

Ecuación 2

Donde:

B = medida en el tiempo 2 (t1)

b = medida en el tiempo 1 (t2)

a = número de días transcurridos entre t1 y t2

Posteriormente los datos fueron sometidos a un análisis de varianza, se calcularon las diferencias estadísticas mediante pruebas de Dunnett test ( $\alpha = 0,05$ ) para los análisis morfológicos y LSD ( $\alpha = 0,05$ ) para los análisis químicos. Por último, para explicar la variabilidad del sistema se procedió a realizar un análisis multivariado mediante un análisis de componentes principales (CP) (Abdi y Williams 2010, Jolliffe 2005, Serrano 2003). Con el fin de encontrar una posible estructura en la base de datos y explicar la variación según las dimensiones calculadas. Los cálculos fueron realizados mediante el programa estadístico Rstudio versión 0.98.1102.

## RESULTADOS

### **Efecto de las mezclas con compost en el crecimiento de plantas y la severidad de CNF**

La aplicación de compost aumentó el crecimiento y disminuyó la severidad del CNF en vivero de palma aceitera (Cuadro 17). Al evaluar las variables morfológicas de crecimiento y severidad en vivero, se encontró que el diámetro de bulbo según el índice de área bajo la curva (abc) no mostró diferencias estadísticas significativas ( $\alpha=0,05$ ) cuando se compararon los tratamientos con el testigo (631,1). Sin embargo, se encontraron tendencias de mayor diámetro de bulbo con el tratamiento 12C (646,1). El abc calculado para el largo de hoja 1 no mostró diferencias estadísticas significativas al comparar el testigo con el resto de los tratamientos.

El largo de raquis mostró el menor crecimiento significativamente en los tratamientos 25C (2986,5) y 50C (2861,5) cuando se comparó con el testigo (3210,9). Al evaluar el número de hojas se encontró que el tratamiento 37C mostró el menor número de hojas (3034,4) significativamente cuando se comparó con el testigo (3210,9). El abc calculado en la severidad de la hoja 1 no mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos al compararlo con el testigo, sin embargo, existen tendencia de menor severidad de CNF en el tratamiento 12C. La severidad de CNF en las hojas totales de la planta mostró que el tratamiento 12C presentó la menor severidad (1782,1) y tuvo diferencias estadísticamente significativas cuando se comparó con el testigo (2019,5).

**Cuadro 17.** Índice de área bajo la curva en crecimientos morfológico y severidad de CNF en plantas de palma aceitera, tratadas con distintas mezclas de compost de fibra y suelo en fase de vivero.

Tratamientos	Diámetro bulbo	Largo Hoja	Largo raquis	Hojas totales	Severidad Hoja 1	Severidad Total
	----- Índices de áreas bajo la curva -----					
12C	646,1	733,1	3107,2	3107,2	1062,4	1782,1
25C	638,5	727,2	2986,5	2986,5	1106,0	1857,1
37C	625,2	736,4	3034,4	3034,4	1134,0	1815,9
50C	617,6	706,2	2861,5	2861,4	1083,7	1949,5
Testigo	631,1	763,5	3210,9	3210,9	1175,8	2019,5
Comparaciones	----- Dunnett test Pr(> t ) -----					
12C – Testigo	0,51	0,16	0,49	0,53	0,53	0,03
25C – Testigo	0,92	0,07	0,02	0,11	0,68	0,18
37C – Testigo	0,97	0,25	0,09	0,05	0,85	0,10
50C – Testigo	0,60	0,001	<0,001	0,99	0,65	0,65

n = 18801; Variables morfológicas y severidad evaluados a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 días después de siembra. Probabilidades por debajo de 5 % ( $Pr(>|t|) < 0,05$ ) representan diferencias significativas de tratamientos en comparación al testigo.

Las mezclas de compost de fibra de palma con el suelo mostraron tendencias de mayor acumulación de biomasa seca en las plantas de vivero (Cuadro 18). Al comparar el abc de peso húmedo y seco aéreo de los tratamientos con el testigo no se encontró diferencias estadísticas significativas. El abc de peso húmedo y seco de raíz no mostró diferencias estadísticas significativas cuando se comparó los tratamientos con el testigo. Al realizar la sumatoria de los pesos secos de raíz y parte aérea, se calculó el abc de peso seco total, este parámetro no mostró diferencias estadísticamente significativas al comparar los tratamientos con los tratamientos testigo. Sin embargo, en todos los pesos tanto aéreo, raíz y total se encontró tendencias de mayor acumulación de biomasa en el tiempo con el tratamiento 12C cuando se comparó al resto de los tratamientos incluyendo el testigo.

**Cuadro 18.** Índice de área bajo la curva en peso húmedo, seco y peso seco total en plantas de palma aceitera, tratadas con distintas mezclas de compost de fibra con suelo en fase de vivero.

Tratamientos	Peso húmedo	Peso seco	Peso húmedo	Peso seco	Peso seco
	aérea	aérea	Raíz	Raíz	total
	----- Índices de áreas bajo la curva -----				
12C	34455,7	8719,9	11127,6	1805,2	10525,1
25C	30885,8	7709,1	10761,3	1715,3	9424,3
37C	30833,7	7539,1	10583,2	1615,1	9154,2
50C	31489,6	6855,1	11043,6	1704,2	8559,3
Testigo	31190,1	7646,8	12392,6	1767,7	9414,5
Comparaciones	----- Dunnett test Pr(> t ) -----				
12C – Test	0,70	0,28	0,80	1,00	0,45
25C - Test	1,00	1,00	0,64	1,00	1,00
37C - Test	1,00	0,99	0,56	0,92	1,00
50C - Test	1,00	0,52	0,77	1,00	0,67

n = 120; Variables de crecimiento evaluadas a los 85, 132, 180, 223, 265, 308 días después de siembra; Probabilidades por debajo de 5 % (Pr (>|t|) < 0,05) representan diferencias significativas de tratamientos en comparación al testigo.

Los tratamientos con compost de fibra de palma mostraron un mayor crecimiento en las plantas cuando se evaluaron a los 300 dds (Cuadro 19). Al evaluar las variables morfológicas y severidad de CNF en la planta a los 300 dds, el diámetro de bulbo (cm) mostró diferencias altamente significativas ( $\alpha < 0,001$ ) cuando se comparó el tratamiento 12C (5,88 cm) contra el tratamiento testigo (5,40 cm). En relación al largo de raquis se encontró un menor crecimiento en el tratamiento 50C (35,24 cm) y mostró diferencias altamente estadísticas ( $\alpha < 0,001$ ) cuando se comparó contra el tratamiento testigo (38,96 cm). El número de hojas totales y el peso seco total en las plantas no mostraron diferencias significativas cuando se compararon los tratamientos con el testigo, sin embargo, el tratamiento 12 C mostró tendencias de mayor número de hojas (9,45) y peso seco (161 g) que los demás tratamientos. La severidad del CNF en la hoja 1 y total en la planta no mostró diferencias significativas al comparar los tratamientos a los 300 dds, no obstante, los tratamientos presentaron tendencias de menor % de severidad al compararlo con el testigo.

**Cuadro 19.** Crecimientos morfológicos, peso seco total y severidad de plantas de palma aceitera a los 300 dds, tratadas con distintas mezclas de compost de fibra con suelo en fase de vivero.

Tratamientos	Diámetro bulbo	Largo raquis	Hojas totales	Peso Seco Total	Severidad Hoja 1	Severidad Total
	cm	cm	u	g	%	%
12C	5,88	37,81	9,45	161,03	4,71 a	8,58 a
25C	5,52	36,79	9,39	151,28	3,46 a	8,36 a
37C	5,62	36,96	9,42	129,13	4,28 a	8,74 a
50C	5,46	35,24	9,19	134,41	4,16 a	8,44 a
Testigo	5,40	38,96	9,21	141,53	4,79 a	9,42 a
Comparaciones	Dunnnett test Pr(> t )				Kruskal Wallis	
12C – Testigo	<0,001	0,73	0,60	0,51	-	-
25C – Testigo	0,68	0,21	0,82	0,91	-	-
37C – Testigo	0,18	0,24	0,71	0,82	-	-
50C – Testigo	0,96	0,003	1,00	0,97	-	-

n = 2476; Variables de crecimiento evaluadas a los 85, 132, 180, 223, 265, 308 días después de siembra; Probabilidades por debajo de 5 % ( $\alpha < 0,05$ ) representan diferencias significativas de tratamientos en comparación al testigo.

### Efecto de las mezclas con compost en la concentración de nutrimentos en el suelo

El pH del suelo disminuyó y la acidez y el aluminio intercambiable aumentaron con la edad de las plantas en vivero (Cuadro 20). Al comparar el pH en los primeros 15 cm de profundidad se encontró una disminución significativa entre los 85 dds y 265 dds, donde el tratamiento 50C y 12C mostraron el mayor pH (5,54 y 5,22) en el último muestreo. Al comparar el pH a una profundidad de 15 – 30 cm se encontró el mismo comportamiento significativo, sin embargo, al comparar las dos profundidades se encontró un mayor pH a mayor profundidad. La acidez intercambiable en los primeros 15 cm de profundidad mostró un incremento significativo ( $\alpha=0,05$ ) entre los 85 y 265 dds, se encontró que el tratamiento 25C y el Testigo presentaron la mayor acidez en comparación al resto de los tratamientos siendo superior al nivel crítico. Al evaluar la acidez a una profundidad de 15 - 30 cm

ésta no superó el nivel crítico y se mantuvo constante en el tiempo, a excepción del testigo el cual reveló rangos superiores al nivel crítico en las dos últimas fechas. El Al intercambiable en ambas profundidades no presentó incrementos importantes en las dos primeras fechas de evaluación, sin embargo, en la última fecha el testigo mostró la mayor concentración de Al significativamente al compararlo con el resto de los tratamientos.

**Cuadro 20.** Efecto de las mezclas de compost en la fertilidad del suelo en vivero de palma aceitera.

Profundidad Suelos	0 – 15 cm						15 – 30 cm					
	pH	Acidez	Al inter.	Ca	K	Mg	pH	Acidez	Al inter.	Ca	K	Mg
	----- cmol(+).l <sup>-1</sup> * -----						----- cmol(+).l <sup>-1</sup> -----					
NC <sup>†</sup>	5,5	0,5	-	4	0,2	1,1	5,5	0,5	-	4	0,2	1,1
----- 85 dds -----												
<b>Testigo</b>	6,4 de <sup>+</sup>	0,3 de	0,1 cd	32,6 bc <sup>+</sup>	0,4 h	3,5 g	6,4 cd	0,3 b	0,1 c	32,7 bc	0,4 f	3,5 g
<b>12C</b>	7,1 b	0,1 e	0,0 d	37,5 a	0,8 g	4,0 ef	7,2 b	0,1 c	0,0 d	35,8 ab	0,8 e	3,9 fg
<b>25C</b>	7,0 bc	0,1 e	0,0 d	34,5 ab	1,3 ef	4,4 de	7,1 b	0,1 c	0,0 d	34,4 ab	1,3 bc	4,4 def
<b>37C</b>	7,1 bc	0,1 e	0,0 d	34,1 ab	1,6 cd	4,9 cd	7,2 ab	0,1 c	0,0 d	34,2 ab	1,8 ab	4,8 cd
<b>50C</b>	7,6 a	0,1 e	0,0 d	36,5 ab	2,1 bc	4,7 cd	7,7 a	0,1 c	0,0 d	36,0 ab	2,3 a	4,7 de
----- 175 dds -----												
<b>Testigo</b>	5,2 fg	0,8 b	0,5 b	29,5 fg	1,1 fg	3,8 fg	5,8 ef	0,5 a	0,2 b	30,8 e	0,5 f	3,6 g
<b>12C</b>	6,1 e	0,1 e	0,0 d	33,3 ab	1,3 de	4,5 de	6,8 bc	0,1 c	0,0 d	34,1 ab	0,9 de	4,1 ef
<b>25C</b>	6,3 de	0,1 e	0,0 d	31,4 cd	1,6 cd	4,9 cd	6,9 bc	0,1 c	0,0 d	31,9 de	1,4 bc	4,5 def
<b>37C</b>	6,2 e	0,1 e	0,0 d	32,0 bc	2,2 bc	5,4 bc	6,9 bc	0,1 c	0,0 d	31,9 de	1,8 ab	5,0 cd
<b>50C</b>	6,7 cd	0,1 e	0,0 d	32,1 bc	2,5 ab	5,2 bc	7,2 ab	0,1 c	0,0 d	33,2 ab	2,3 a	4,9 cd
----- 265 dds -----												
<b>Testigo</b>	4,8 g	1,6 a	1,1 a	25,6 g	3,6 a	6,8 a	5,4 f	0,6 a	0,3 a	32,0 cd	1,2 cd	4,8 cd
<b>12C</b>	5,2 fg	0,4 cd	0,2 bc	31,7 cd	2,1 bc	5,4 bc	6,0 de	0,2 c	0,0 d	36,2 a	1,4 bc	5,0 cd
<b>25C</b>	4,8 g	0,7 bc	0,4 bc	28,6 ef	3,1 ab	6,0 ab	5,9 ef	0,1 c	0,0 d	34,4 ab	1,8 ab	5,4 bc
<b>37C</b>	5,1 g	0,5 cd	0,2 cd	28,4 fg	3,6 a	6,8 a	6,0 de	0,1 c	0,0 d	34,2 ab	2,4 a	6,2 a
<b>50C</b>	5,5 f	0,2 de	0,0 d	30,5 cd	3,7 a	6,4 a	6,4 cd	0,1 c	0,0 d	35,3 ab	2,8 a	5,8 ab
<b>Stand. Error</b>	0,17	0,22	0,099	0,12	0,19	0,01	0,18	0,05	0,03	1,27	0,28	0,27
<b>Adj r<sup>2</sup></b>	0,96	0,95	0,931	0,85	0,94	0,94	0,95	0,94	0,91	0,71	0,94	0,92
<b>p - value</b>	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

n = 720; \*cmol.l<sup>-1</sup> = cmol de carga (+) por litro de suelo, † NC: nivel crítico generales para la solución extractora usada. + Letras distintas indican diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD TEST (p.adj= bonferroni p <0,05) del modelo lineal (LM).

Las concentraciones de las bases intercambiables evaluadas en los suelos mezclados con compost de fibra, mostraron concentraciones por arriba del nivel crítico, un decrecimiento en el Ca y una acumulación de K y Mg en el tiempo (Cuadro 20). Las concentraciones de Ca en los primeros 15 cm de suelo presentó un decrecimiento significativo ( $\alpha=0,05$ ) entre los 85 y 265 dds, mostrando en esta última fecha las mayores concentraciones de Ca en los tratamientos 12C (31,6  $\text{cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ) y 50C (30,6  $\text{cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ) y difirieron estadísticamente del testigo (25,6  $\text{cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ). El K en los primeros 15 cm de profundidad a los 85 dds mostró la mayor concentración en el tratamiento 50C (2,11  $\text{cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ) mientras que el testigo mostró la menor concentración (0,4  $\text{cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ). A los 265 dds el K mostró un incremento significativo siendo los tratamientos 50C, 37C y testigo los que mostraron la mayor concentración (3,7 – 3,6  $\text{cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ ). Al evaluar el K a una profundidad de 15 – 30 cm mostró el mismo comportamiento de acumulación que las capas superficiales, sin embargo, las concentraciones son menores. Las concentraciones de Mg incrementaron significativamente en el tiempo para las dos profundidades, se encontró que a los 265 dds los tratamientos 37C, 50C y testigo mostraron significativamente la mayor concentración de este nutriente y que el tratamiento 12C la menor concentración. A profundidad de 15 – 30 el testigo mostró la menor concentración sin embargo no difiere estadísticamente del tratamiento 12C.

La concentración de Si en el suelo disminuyó con el tiempo mientras, que el P y Zn aumentaron significativamente (Cuadro 21). Al evaluar la concentración de Si en los primeros 15 cm de profundidad, se encontró que el testigo presentó las concentraciones más bajas significativamente ( $\alpha=0,05$ ) al compararlas con los demás tratamientos. Este mismo comportamiento también se encontró a profundidades de 15 – 30 cm, sin embargo, la concentración de Si en los tratamientos no varió en el tiempo. El P mostró un incremento importante entre los 175 dds y 265 dds en los primeros 15 cm de profundidad. Se encontró que el tratamiento testigo mostró la mayor concentración de P en las últimas dos fechas



de evaluación (163,0 – 227,2 mg.l<sup>-1</sup>) y difieren estadísticamente del resto de los tratamientos (121 – 182 mg.l<sup>-1</sup>).

**Cuadro 21.** Efecto de la aplicación de compost de fibra mezclado con suelo en la concentración de Si, P y micronutrientes en el suelo de plantas de palma aceitera en vivero.

Profundidad	0 – 15 cm						15 – 30 cm					
	Si	P	Zn	Cu	Fe	Mn	Si	P	Zn	Cu	Fe	Mn
Suelos	mg.l <sup>-1</sup> *											
NC <sup>†</sup>	200	15	1,7	0,4	10	4	200	15	1,7	0,4	10	4
<b>85 dds</b>												
<b>Testigo</b>	151,8 e <sup>+</sup>	17,9 a	2,7 a	17,9 a <sup>+</sup>	240,8 f	28,8 e	150,4 b	18,8 a	3,1 a	19,2 a	243,7 g	38,4 ab
<b>12C</b>	189,8 a	20,6 a	3,9 bc	12,5 b	321,8 cd	105,6 c	186,6 a	19,2 ab	3,9 bc	12,4 bc	379,6 de	161,4 cd
<b>25C</b>	182,0 ab	23,7 ab	3,7 bc	12,9 b	359,8 bc	127,6 c	177,5 a	18,4 a	3,3 ab	11,4 bc	469,3 ab	212,2 f
<b>37C</b>	181,1 ab	33,1 b	4,2 cd	12,5 b	381,2 ab	127,4 c	176,7 a	23,9 ab	3,7 ab	10,5 bc	494,5 ab	200,8 ef
<b>50C</b>	184,1 ab	34,1 b	4,4 de	12,4 b	449,7 a	138,0 bc	177,0 a	25,0 ab	4,1 bc	9,4 c	530,8 a	186,5 de
<b>175 dds</b>												
<b>Testigo</b>	151,8 f	163,0 ef	3,5 bc	16,5 a	306,4 ef	41,6 de	157,4 b	37,3 bc	3,4 ab	19,0 a	257,0 g	35,4 a
<b>12C</b>	183,3 ab	74,8 cd	5,0 ef	12,4 b	318,3 de	105,7 c	186,9 a	27,4 ab	4,3 cd	13,5 bc	355,3 ef	134,4 cd
<b>25C</b>	175,9 ab	62,7 c	5,4 ef	13,7 b	362,0 bc	122,8 c	180,4 a	26,9 ab	3,9 bc	13,5 bc	459,3 ab	141,3 cd
<b>37C</b>	178,6 ab	86,4 cd	6,2 fg	12,7 b	367,0 bc	132,4 c	181,8 a	38,2 bc	4,8 de	13,3 bc	437,7 bc	121,5 c
<b>50C</b>	181,0 ab	70,4 cd	6,4 fg	13,5 b	418,1 ab	137,0 bc	182,7 a	36,8 bc	4,9 de	12,8 bc	478,4 ab	128,5 cd
<b>265 dds</b>												
<b>Testigo</b>	138,1 f	227,2 f	3,4 b	18,3 a	354,5 bc	68,1 d	156,2 b	66,2 d	3,0 a	22,7 a	262,3 g	46,3 b
<b>12C</b>	165,9 d	121,5 cd	7,1 fg	12,4 b	344,4 bc	138,8 bc	186,2 a	68,6 cd	6,3 de	13,3 bc	323,7 fg	143,3 cd
<b>25C</b>	150,2 e	182,2 ef	7,0 g	12,7 b	380,0 ab	170,0 ab	177,4 a	52,1 cd	4,4 cd	14,4 b	357,8 ef	162,7 cd
<b>37C</b>	156,1 de	163,3 ef	8,1 g	12,5 b	380,0 ab	188,7 a	176,4 a	72,4 d	6,1 e	13,9 b	356,5 ef	167,6 cd
<b>50C</b>	168,3 b	131,3 de	7,5 g	12,4 b	394,6 ab	202,4 a	182,6 a	50,9 cd	5,3 de	14,1 b	403,7 cd	155,0 cd
<b>Stand. Error</b>	5,39	0,01	1,28	0,81	22,61	13,24	6,86	17,67	1,08	1,62	25,95	28,18
<b>Adj r<sup>2</sup></b>	0,88	0,96	0,95	0,90	0,80	0,95	0,80	0,84	0,82	0,867	0,93	0,98
<b>p - value</b>	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

n = 720; \*mg.l<sup>-1</sup>: miligramos de elemento en un litro de suelo. † NC: nivel crítico generales para la solución extractora usada. <sup>+</sup> Letras distintas indican diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD Test (p.adj= bonferroni p < 0,05) del modelo lineal (LM).

### **Efecto de las mezclas de compost de fibra y suelo en la absorción de nutrimentos en las plantas**

La absorción de nutrimentos según el abc no mostró para los nutrimentos N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn y B diferencias mínimas significativas ( $\alpha = 0,05$ ) entre los distintos tratamientos y el testigo, sin embargo, es importante destacar que se encontraron tendencias de mayor acumulación en el tratamiento 12C, a excepción del B el cual mostró la mayor tendencia de acumulación en el testigo (Cuadro 22). El Si mostró una mayor acumulación en el tratamiento 12C y no difiere estadísticamente del tratamiento 37C y testigo. Al comparar la acumulación de Al se encontró que el tratamiento 12C mostró la mayor absorción de este nutrimento, sin embargo, no fue diferente estadísticamente del tratamiento 37C. Ésta misma tendencia de acumulación se presentó con el Fe en los mismos tratamientos incluyendo el 25C significativamente. El Mn mostró la mayor acumulación en el testigo y manifestó diferencias estadísticamente significativas al compararlo con el resto de los tratamientos.

**Cuadro 22.** Índice de áreas bajo la curva en absorción de nutrimentos en plantas de palma aceitera, tratadas con compost de fibra en mezcla con suelo en vivero.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
	----- índices de área bajo la curva -----						
Testigo	196,6 a	20,3 a	153,1 a	92,0 a	29,1 a	21,9 a	98,7 ab
12C	237,7 a	23,3 a	179,7 a	100,4 a	29,5 a	25,0 a	114,0 a
25C	205,9 a	20,4 a	154,4 a	82,6 a	25,1 a	21,7 a	86,1 b
37C	217,0 a	22,4 a	153,8 a	82,8 a	27,0 a	22,6 a	92,1 ab
50C	206,0 a	21,0 a	146,6 a	78,6 a	24,9 a	19,8 a	74,3 b
Stand. Error	23,4	2,43	19,24	10,4	3,24	2,61	11,1
Adj r2	0,72	0,73	0,73	0,74	0,70	0,71	0,81
p - value	0,012	0,01	0,02	< 0,01	0,02	0,02	< 0,01
Tratamientos	Al	Fe	Cu	Zn	Mn	B	-
	----- índices de área bajo la curva -----						
Testigo	77999,0 b	7205,7 b	261,7 a	287,9 a	1197,4 a	301,3 a	-
12C	112371,6 a	11735,6 a	267,5 a	333,6 a	867,4 b	255,5 a	-
25C	70532,2 b	9339,9 ab	213,3 a	278,3 a	838,4 b	224,5 a	-
37C	86103,9 ab	9754,9 ab	246,6 a	306,7 a	881,4 b	237,8 a	-
50C	65987,9 b	7770,6 b	235,1 a	259,4 a	801,4 b	247,7 a	-
Stand. Error	11490	1173	40,9	35,94	119,7	33,6	-
Adj r2	0,83	0,82	0,54	0,70	0,82	0,75	-
p - value	< 0,001	0,001	0,13	0,02	0,001	< 0,01	-

n = 1680; \* Letras distintas indican diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD Test (p.adj= bonferroni p < 0,01) del modelo lineal (LM).

Al calcular la eficiencia de fertilización de los nutrimentos N, P, K, Mg, S en expresión de fertilizantes (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, SO<sub>4</sub>) se encontró que la tendencia de mayores eficiencias las presentó el tratamiento 12C (43,9 – 19,0 %) mientras que las eficiencias más bajas las manifestó el Testigo (12,0 – 2,8 %) (Cuadro 23). El B mostró la mayor tendencia de eficiencia de fertilización en el tratamiento 50C mientras que el testigo mostró la menor eficiencia.

**Cuadro 23.** Comparación de eficiencia de fertilización en nutrientes aplicados en tratamientos con distintas fuentes de silicio en mezcla al suelo en vivero de palma aceitera.

Tratamiento	Rubro	unidades	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>4</sub>	B	BP
12C	Requisito	g.planta <sup>-1</sup>	3,5	0,8	3,0	0,7	1,2	0,005	-
	Dosis aplicada		13,7	4,1	11,1	2,1	2,8	0,26	-
	eficiencia	%	25,3	19,0	27,2	32,4	43,9	1,75	<b>24,9</b>
25C	Requisito	g.planta <sup>-1</sup>	2,7	0,7	2,9	0,7	1,0	0,004	-
	Dosis aplicada		13,7	4,1	11,1	2,1	2,8	0,26	-
	eficiencia	%	19,6	17,3	25,7	32,4	38,1	1,63	<b>22,5</b>
37C	Requisito	g.planta <sup>-1</sup>	2,6	0,7	2,5	0,6	0,9	0,004	-
	Dosis aplicada		13,7	4,1	11,1	2,1	2,8	0,26	-
	eficiencia	%	19,3	16,3	22,9	26,7	33,4	1,67	<b>20,1</b>
50C	Requisito	g.planta <sup>-1</sup>	3,2	0,7	2,8	0,6	1,1	0,005	-
	Dosis aplicada		13,7	4,1	11,1	2,1	2,8	0,26	-
	eficiencia	%	23,3	16,9	24,9	28,4	38,5	2,03	<b>22,3</b>
Testigo	Requisito	g.planta <sup>-1</sup>	2,8	0,6	2,5	0,6	1,0	0,005	-
	Dosis aplicada		23,0	23,0	50,0	14,0	14,0	0,52	-
	eficiencia	%	12,0	2,8	5,1	4,6	7,4	0,99	<b>5,5</b>

n = 260; <sup>+</sup> Letras distintas indican diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD Test (p.adj= bonferroni p < 0,01) del modelo lineal (LM). BP = balance porcentual (promedio de los %).

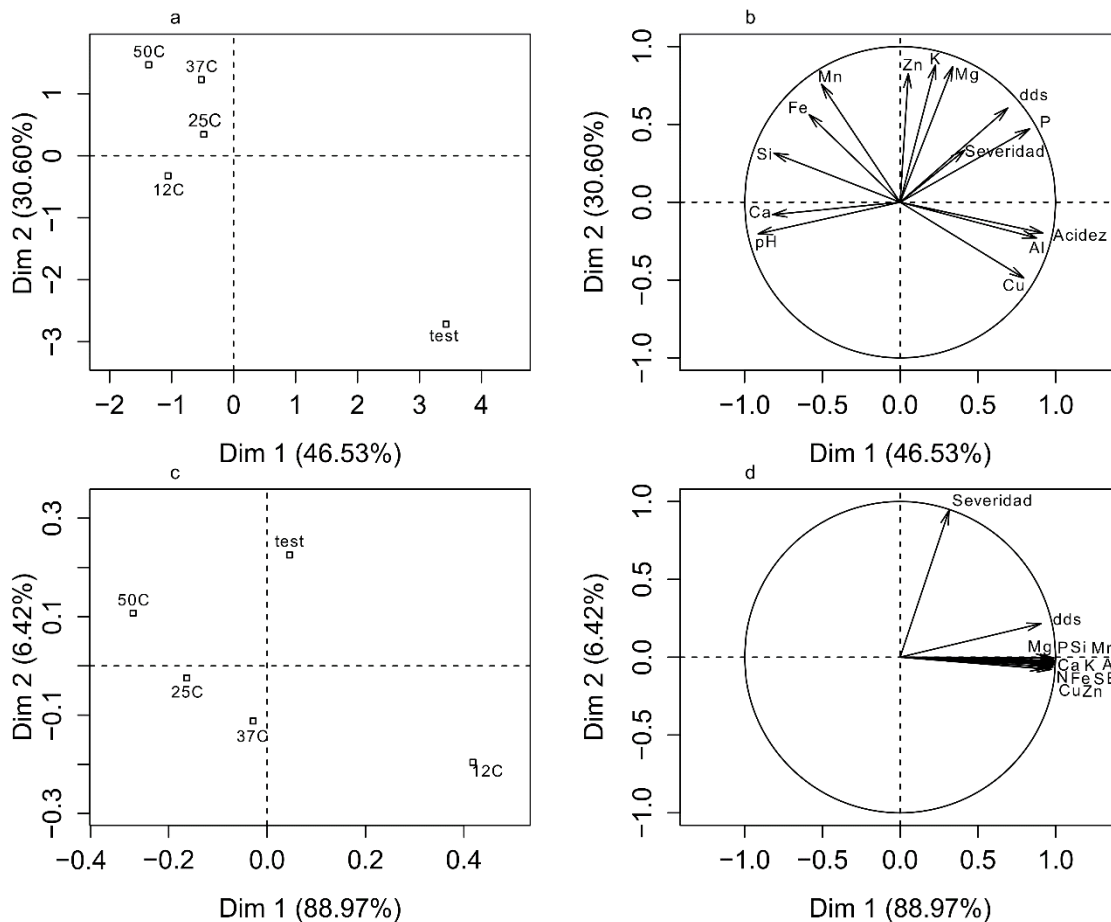
### **Análisis multivariado de la absorción de nutrientes en las plantas y concentración de nutrientes en el suelo en relación a la severidad de CNF.**

Al calcular el comportamiento dimensional de la variabilidad con el análisis de componentes principales (ACP), explicó un 77,1% en las variables de suelo y 95,4 % en las variables de acumulación de nutrientes en las 2 primeras dimensiones (Figura 3). El análisis de agrupamiento se realizó para encontrar una relación entre la severidad del CNF en el tiempo con las variables químicas de suelo y absorción de nutrientes en la planta. Donde el ACP en las primeras 3 dimensiones en las variables de suelo logró explicar un 77,1% de la variación, es decir en la primera dimensión logra explicar el 46,5% y la segunda logra un 30,6 %. En las variables de acumulación de nutrientes se logró explicar en la primera

dimensión un 89,0 % y en la segunda un 6,4 %, lo cual determinó que las variables mostraron poca variación y son altamente correlativas.

El comportamiento dimensional de los nutrimentos en las mezclas de compost con el suelo mostró un agrupamiento importante entre las mezclas de mayor proporción de fibra (Figura 3a, b). Al evaluar la dimensión 1 del ACP ésta separó el tratamiento testigo de los tratamientos con mezcla de compost, mientras que la dimensión 2 separó los tratamientos 50C, 37C y 25C del tratamiento 12C y testigo. Lo que determinó que el tratamiento 12C presentó un comportamiento nutricional distinto al Testigo y que a su vez estos tienen comportamientos distintos a los tratamientos 50C, 37C y 25C. Al evaluar las correlaciones de los nutrimentos el análisis multivariado mostró que la severidad presentó una correlación directa con el tiempo (dds) y fuertemente con los contenidos de P, mientras que K, Zn y Mg mostró una correlación débil. Además, el Ca y pH mostraron una correlación inversa con el tiempo y la severidad, lo cual posiblemente influiría directamente con las enfermedades foliares.

El comportamiento de la acumulación de los nutrimentos en las plantas no mostró una relación directa con la enfermedad foliares (Figura 3c, d). Al comparar el agrupamiento dimensional de los individuos, se encontró que el tratamiento 12C presentó una relación distinta al Testigo (6,4%) y que ambos mostraron comportamientos diferentes a los demás tratamientos (89%). Al comparar las variables en el mapa de factores se encontró que todos los nutrimentos acumulados mostraron una relación directa con los dds y presentaron una relación débil con la severidad total en la planta.



**Figura 3.** Análisis de componentes principales para el contenido nutricional en el suelo, acumulación y severidad en palmas de vivero. a) Mapa de factor de individuos en dimensiones 1 y 2 para concentración de nutrientes en suelos b) mapa de factor de variables en dimensiones 1 y 2 para concentración de nutrientes en suelos. c) mapa de factor de individuos en dimensión 1 y 2 para acumulación de nutrientes en plantas. d) mapa de factor de variables en dimensiones 2 y 3 para acumulación de nutrientes en plantas.

## **Análisis físicos de suelos**

Las mezclas de compost de fibra mejoraron significativamente los parámetros físicos de los suelos en las bolsas de vivero (Cuadro 24). Al comparar los parámetros físicos a los 90 dds se encontró que la infiltración en las bolsas con mezclas de compost mostró diferencias (42,1 – 92,7 mm.min<sup>-1</sup>) altamente significativas ( $< 1 \times 10^{-4}$ ) en comparación al testigo (9,5 mm.min<sup>-1</sup>). La densidad aparente (Dap) disminuyó conforme aumentó el porcentaje de compost en el suelo, donde el testigo mostró la mayor Dap (0,98 g.cm<sup>-3</sup>) y se diferenció significativamente de los tratamientos 25C, 37C y 50C, con valores de 0,88, 0,81 y 0,75 g.cm<sup>-3</sup> respectivamente. La conductividad hidráulica (CH) aumentó en relación al porcentaje de fibra en mezcla con el suelo y el testigo mostró la menor CH (5,20 cm.h<sup>-1</sup>) con diferencias significativas al resto de tratamientos.

Las mezclas de compost de fibra mantuvieron en el tiempo las mejoras de los parámetros físicos evaluados en los suelos de las bolsas de vivero. (Cuadro 24). Al evaluar los mismos parámetros a los 300 dds se encontró que la infiltración mostró diferencias altamente significativas cuando se compararon los tratamientos (31,3 – 115,5 mm.min<sup>-1</sup>) con el testigo (2,29 mm.min<sup>-1</sup>). En relación a la Dap los tratamientos 37C y 50C mostraron significativamente la mayor densidad al compararlo con el testigo. Todos los tratamientos con compost presentaron la mayor CH que el testigo, con diferencias significativas.



**Cuadro 24.** Efecto de la aplicación de compost en las características físicas del suelo en las bolsas de vivero de palma.

Tratamientos	Infiltración	Dap	CH	Infiltración	Dap	CH
	(mm.min <sup>-1</sup> )	(g.cm <sup>-3</sup> )	(cm.h <sup>-1</sup> )	(mm.min <sup>-1</sup> )	(g.cm <sup>-3</sup> )	(cm.h <sup>-1</sup> )
	----- 90 dds -----			----- 300 dds -----		
12C	42,1	0,92	15,0	31,3	0,91	30,2
25C	42,8	0,88	34,2	59,0	0,89	34,4
37C	92,7	0,81	43,4	40,8	0,80	55,0
50C	54,0	0,75	60,5	115,5	0,81	66,8
Testigo	9,5	0,98	5,20	2,29	0,93	4,9
Comparaciones	----- Dunnett test Pr(> t ) -----					
12C – Testigo	< 1×10 <sup>-4</sup>	0,184	0,793	< 1×10 <sup>-10</sup>	0,715	0,050
25C – Testigo	< 1×10 <sup>-4</sup>	0,008	0,041	< 1×10 <sup>-10</sup>	0,137	0,018
37C – Testigo	< 1×10 <sup>-4</sup>	<0,001	0,002	< 1×10 <sup>-10</sup>	<0,001	<0,001
50C – Testigo	< 0,001	<0,001	<0,001	< 1×10 <sup>-10</sup>	<0,001	<0,001

n = 400; Infiltración instantánea, **Dap** = Gramos de partícula + espaciado en partículas en un volumen determinado; **CH** = Conductividad hidráulica; Probabilidades por debajo de 5 % (Pr (>|t|) < 0,05) representan diferencias significativas de tratamientos en comparación al testigo.

## DISCUSIÓN

Las plantas de palma aceitera mostraron mayor tolerancia al Complejo de Necrosis Foliar con el tratamiento de 12% de fibra, no obstante, los demás tratamientos no mostraron reducción en la severidad de CNF. El crecimiento también se presentó con mayores tendencias en el tratamiento 12C, es probable que al tener una mayor tolerancia a las enfermedades foliares, el crecimiento en estas plantas fue mayor que los demás tratamientos. Esto se observó detalladamente a los 300 dds debido a que el diámetro de bulbo mostró un incremento altamente significativo en comparación al tratamiento Testigo y mayor en relación a los demás tratamientos. Los efectos concuerdan con Ramírez y Muños (2011), Ulloa y Serrano (2012) donde determinaron que CNF o bien enfermedades foliares mostraron reducciones importantes en el diámetro de bulbo, largo de raquis y número de hojas.

El análisis de crecimiento no mostró diferencias significativamente entre los tratamientos. Es probable que las características químicas de las fibras semicomposteadas no beneficiaron en la nutrición de las plantas en vivero. Aunque posee relaciones C:N ideales  $> 20\%$  (Lozada et al. 2014), las plantas con dosis crecientes de fibra no presentaron incrementos en las fechas evaluadas. Sin embargo, se encontró que por arriba de un 25% de compost en mezcla con el suelo tuvieron reducciones con el vigor de las plantas precisamente con el diámetro de bulbo. Probablemente por el porcentaje de potasio que aporta las fibras y la acumulación que mostraron los análisis químicos en el tiempo, tuviera atribución con la absorción de micronutrientes de cargas positivas ( $Zn^{+}$ ).

La absorción de Zn en las plantas de palma aceitera no mostró diferencias significativas al comparar con los tratamientos en el tiempo, sin embargo, mostró tendencias de mayor acumulación en el tratamiento 12C. Al observar ésta tendencia se analizó la acumulación de Zn a los 300 días y se encontró la mayor acumulación significativamente en el tratamiento 12C (Anexo 1). El N, P, K, Ca, Mg, S y Cu

también mostró una tendencia de mayor acumulación sin embargo no fueron significativos. Esto demostró que es muy probable que la absorción de Zn en palmas de vivero pueda tornar más tolerantes a las enfermedades foliares. Forde (1968), mencionó que la aplicación de elementos traza o bien micronutrientes en vivero de palma aceitera no mostraron resultados precisos debido a la alta variabilidad entre las plantas, sin embargo, concuerda que un balance en las concentraciones de nutrientes en el suelo puede propiciar un mayor crecimiento en las palmas. A nivel nutricional, Datnoff et al. (2009) determinó que el Zn actúa contra los hongos estrictamente moderando la acumulación de ácido cítrico, en forma de un compuesto quelatante, además el Zn envuelve muchas funciones celulares, induciendo a formas de antibióticos en la planta.

La acumulación de nutrientes en el suelo y mezclas de sustrato producto de la fertilización probablemente sea otra causa del problema de enfermedades foliares en palma aceitera. Este parámetro se demostró al observar la acumulación de macronutrientes en el suelo en el tiempo.

La absorción de nutrientes en las plántulas no se favoreció por el exceso de nutrientes en el suelo. Al comparar la eficiencia de fertilización (EF) se encontró que éstos no sobrepasaron 44%, lo que indicó que hubo un exceso de fertilización y se debería hacer un ajuste en el programa de fertilización del vivero.

El uso de curvas de absorción mejoró la EF en la nutrición de vivero. Esto se respalda cuando se comparó las EF del tratamiento testigo con el resto de los tratamientos, donde el plan nutricional de este tratamiento se efectúa según las recomendaciones generales para vivero de palma y propicio las eficiencias más bajas según el balance porcentual. El plan nutricional de los tratamientos con fibras se realizó mediante el uso de curvas de absorción estudiadas por (Ramírez y Muñoz 2010) donde los tratamientos mostraron mayor porcentaje de EF según el balance porcentual. Esto también respaldaría que el tratamiento 12C posee el mayor balance porcentual al igual que mayor tolerancia a enfermedades. Lo anterior respalda la teoría de Velasco (1999) donde mencionó que las plantas enfermas con

una nutrición balanceada pueden resistir más el efecto de los patógenos, lo cual se observa en un mejor desarrollo y rendimiento de la propia planta.

Por otro lado, los parámetros físicos evaluados en los suelos de las bolsas mejoraron significativamente en todos los tratamientos con compost de fibra al compararlos con el testigo. Si bien es cierto no se encontró una relación directa de las variables físicas con la severidad, éstos parámetros presentaron un comportamiento similar en su comportamiento físico en el tiempo. El ACP encontró una relación similar entre las variables químicas del suelo. Lo cual es probable que las características fisicoquímicas de las fibras en mezcla con suelo son diferentes al comportamiento fisicoquímico del suelo por sí solo, que se encuentra contenido en las bolsas. El mejoramiento en las características fisicoquímicas de los suelos de las bolsas se logró a partir de la aplicación de 12% de compost.

## **CONCLUSIONES**

La aplicación de fibra de estopas de fruta de palma aceitera mostró efectos significativos en la tolerancia de enfermedades en mezclas de 12% de compost con el suelo. Las plantas expuestas a 12% de fibra mostró mayor vigor de plantas a los 300 dds, una mayor acumulación de Zn y una mejor eficiencia de fertilización. Las características fisicoquímicas de los suelos en mezclas con compost mejoraron significativamente en comparación al testigo y entre las mezclas no se encontraron diferencias importantes. Las mezclas por arriba de 25% de compost no mejoraron el crecimiento de las plantas de vivero de palma aceitera.

## CAPÍTULO 3

### EVALUACIÓN DE DISTINTAS FUENTES DE Si Y Ca FOLIAR EN EL CRECIMIENTO E INCIDENCIA DE ENFERMEDADES FOLIARES EN PALMA ACEITERA

**Palabras claves:** Silicio, calcio, palma aceitera, concentración foliar, nutrición, enfermedades, vivero.

#### RESUMEN

Se realizaron aplicaciones de distintas fuentes de Si y Ca foliar en vivero de palma aceitera y se evaluó el efecto de la severidad del Complejo de Necrosis Foliar (CNF) en el Pacífico Sur de Costa Rica. Se utilizaron 4 fertilizantes foliares de Ca, 3 fuentes de Si y una fuente de Ca con fitoalexinas. El diseño experimental fueron bloques completos al azar con 9 tratamientos y 4 repeticiones. Se evaluó a los 85, 130, 175, 220, 265 y 300 días después de siembra (dds) el crecimiento morfológico de las plantas y el porcentaje de severidad de CNF en las hojas. A los 175, 220, 265 y 300 dds se evaluó la concentración foliar de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, B y Si. Las aplicaciones de Si y Ca foliar no mostraron un efecto significativo en la tolerancia al CNF en el tiempo. No se encontró diferencias significativas en las concentraciones foliares de Si y Ca. El tratamiento Supcu proporcionó mayor concentración de Cu en las plantas de palma aceitera y redujo significativamente la severidad de CNF. Además, se encontró que productos con contenidos de K y P en forma de fosfitos pueden aumentar el vigor en las plantas. Se concluyó que los fertilizantes foliares con Ca y Si no fueron eficaces para el control del CNF y que productos con Cu pueden aumentar la tolerancia a este complejo.

## INTRODUCCIÓN

El Si es un nutrimento no esencial para las plantas, se caracteriza por ser el segundo elemento de mayor abundancia y disperso en la corteza terrestre superado por el Oxígeno (Quero 2008, Seron 2004). El Si representa entre 0,1% y 10% del peso seco de las plantas superiores, encontrándose en mayor porción en monocotiledóneas que en dicotiledóneas (Epstein 1999, Aguirre et al. 2007). Este nutrimento puede llegar a concentrarse en las plantas en cantidades superiores a Ca, Mg, P, y K, principalmente en Poaceae (Epstein 1999 y Ahmed et al. 2012). El Si se absorbe de forma energéticamente pasiva de la solución del suelo en forma de ácido monosilícico, siendo depositado en la pared celular en forma de polímero hidratado o sílice amorfo (Ma y Yamaji 2006, Carneiro et al. 2010 citado por Lobo 2013) que se impregnan en una fina capa de 2,5  $\mu\text{m}$  (Epstein 1999, Pilon et al. 2009). Ésta forma es ligeramente soluble en las hojas y corteza, convirtiendo el ácido silícico en sílice coloidal y posteriormente en gel de sílice (“Opalo o fitólitos”  $\text{SiO}_2\text{-nH}_2\text{O}$ ) mediante un proceso de polimeración o policondensación (Savant et al. 1997 y Da Costa et al. 2005).

El Ca es un catión divalente esencial para el desarrollo de las plantas superiores, se caracteriza por estar mayoritariamente presente en las rocas sedimentarias que emergieron de los levantamientos de los pisos marinos de la corteza terrestre (Hardy 1970, Buol 2003, Jaramillo 2011). Se encuentra entre un 0,1 y 5% del peso seco de las plantas superiores, con una movilidad limitada en las células (Marschner y Marschner 2012). Este nutrimento se absorbe en forma pasiva, siendo transportado por la corriente transpiratoria de la planta hacia las células del tallo y hojas (Nath 2015). Posee un papel importante en la estructura de la planta, debido a que da estabilidad en la pared celular, promueve formación de pectatos y oxalatos, participa en la división celular, regulación estomática, participa en procesos enzimáticos y hormonales entre otros (Benton 1998, Mengel et al. 2001, Taiz y Zeiger 2006).

El Si y Ca se encuentran involucrados en la tolerancia al estrés producido por problemas bióticos. Estudios realizados con Si evidenciaron su importancia en la activación de genes que proveen la producción de enzimas, que son correlacionadas con los mecanismos de defensa de las plantas (Chérif et al. 1994, Bélanger et al. 1995, Fawe 1998 citado por Tsai et al. 2004, Liang et al. 2015). Por otro lado, tanto en Si y Ca se acumulan en la pared celular, lo que previenen el ingreso de haustorios en las células (Datnoff et al. 2007, Ma y Yamaji 2006). Al estar fortalecida la pared celular, la segregación de enzimas liberadas por los hongos tampoco dañan la pared (Fauteux et al. 2005), evitando el ingreso del patógeno y dificultando el proceso de infección en las plantas (Epstein 1999, Arauz 2011, Anderson 2012).

La fertilización foliar es una herramienta utilizada en la actualidad para suplir nutrimentos suplementarios a los requerimientos en la nutrición de las plantas. La absorción de nutrimentos foliar se realiza por diversos mecanismos en los tejidos foliares, iniciando la penetración de los nutrimentos a través de la cutícula en forma pasiva (Marschner y Marschner 2012, Nath G. 2015). Los nutrimentos son guiados hacia unas prolongaciones llamados ectositos, éstos conectan la parte externa de las membranas celulares hasta el interior de la cutícula. Posteriormente los nutrimentos son traslocados hacia las células epidérmicas donde son transportados mediante forma activa y pasiva (Mengel et al. 2001, Taiz y Zeiger 2006). La velocidad de absorción de los diferentes nutrimentos varía según el intercambio catiónico y la valencia del ión aplicados en la hoja, es decir que los iones monovalentes penetran con mayor facilidad que los iones de mayores valencias (Trinidad y Aguilar 1999).

Los viveros de palma aceitera generalmente son afectados por enfermedades foliares, que reducen el crecimiento y el vigor de las plantas entre un 10 – 20% (Ulloa y Ramírez 2011, Ulloa y Serrano 2012). Investigaciones realizadas por Turner y Bull (1967), Renard y Quillec (1979), Turner (1981) citados en Ulloa y Serrano (2012), reportaron la presencia de agentes causales que causan lesiones



importantes en las láminas foliares en vivero, entre estos se encuentran: *Botryodiplodia* sp., *Melanconium* sp., *Colletotrichum* sp. [*Glomerella* sp.] y *Curvularia* sp.. Investigaciones en Costa Rica reportadas en Corredores encontraron *Colletotrichum gloeosporioides* afectando láminas foliares (Ortiz y Fernández 2000, ASD 2010). Sin embargo, las agentes causales de enfermedades reportadas en vivero pueden variar según el crecimiento de la planta, condiciones climatológicas y manejo.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de distintas fuentes de Si y Ca foliar en el crecimiento e incidencia de enfermedades foliares en palma aceitera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó cabo en los viveros de la Compañía Palma Tica S.A., ubicada en Coto 47 en el cantón de Corredores en Puntarenas, Costa Rica. Ésta zona se encuentra en la llanura aluvial de Coto-Corredores, con una elevación aproximada entre 24 – 30 msnm. La precipitación promedio anual registrada varía entre 3800 – 4500 mm. Se procedió a medir las condiciones climatológicas durante el periodo de evaluación que comprendió desde julio de 2014 y marzo 2015, se registró una precipitación total 2051 mm. La temperatura promedio durante el periodo fue Max: 36,4 °C y Min: 26,5, con una humedad relativa promedio de 87,4% y una radiación solar promedio de 377,2 Wat.m<sup>2</sup>.

Se ubicó una zona de vivero donde es frecuente la presencia de enfermedades foliares, homogénea entre sus boquetes y que tuvieran las dimensiones según el diseño experimental. Se utilizaron 3480 bolsas con suelo aluvial inceptisol, lo cual se utiliza comúnmente en vivero, cada bolsa contenía 20 l de suelo. Las bolsas fueron distribuidas en campo de manera que en los boquetes presentaran filas de 30 plantas, posteriormente se etiquetaron con números continuos (1 – 1080) dejando 2 filas (plantas bordes) entre las filas etiquetadas. Las

bolsas se dejaron 60 días en reposo mientras crecían las plantas de etapa de pre-vivero.

Se utilizaron fertilizantes foliares con concentraciones superiores a 9% de Si y 7% de Ca, que fueran soluciones concentradas para mejorar su solubilidad y evitar obstaculizar las boquillas de aplicación. Se seleccionaron 4 fuentes foliares de Ca, 3 fuentes de Si y una fuente de Ca con fitoalexinas (Cuadro 25).

**Cuadro 25.** Características químicas de fertilizantes foliares con Ca y Si asperjados en vivero de *E. guineensis* en la región Coto, Costa Rica.

Productos	% p/v								
	CaO	N	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	B	MgO	S	Cu	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Cal56</b>	56,0	6,9	-	-	-	-	-	-	-
<b>Supa Cobre</b>	30,6	-	-	-	-	-	-	5,6	-
<b>Polisulfuro de calcio</b>	7,5	-	-	-	-	-	15,0	-	-
<b>Calcimax</b>	14,3	-	-	-	0,64	-	-	-	-
<b>Sifol Plus</b>	2,5	-	20,0	9,0	-	-	-	1,3	18,0
<b>Firmeza KCS</b>	9,8	1,8	11,0	6,0	-	-	4,1	-	-
<b>Stan SKH</b>	-	-	20,0	18,0	-	-	-	-	-
<b>Alexin</b>	4,3	-	-	10,1	0,25	1,68	-	-	-

Antes de la siembra se aplicó una dosis de herbicida para eliminar la maleza presente en el área de vivero y las bolsas, con el fin de aligerar la siembra de las plantas. Así mismo se realizó un análisis químico para determinar el estado nutricional del suelo de las bolsas (Cuadro 26) y dos semanas después se sembraron plántulas de *E. guineensis* de la variedad Compacta x Gana, estas fueron sembradas en Jiffi en la etapa de pre-vivero, donde pasaron dos meses de establecimiento bajo condiciones controladas.

Se realizó el mismo manejo agronómico utilizado por el departamento de viveros, con excepción de la nutrición y el control de enfermedades foliares. La fórmula que se utilizó en vivero corresponde a 15,50 – 9,76 – 15,50 – 4,00 – 3,20(S) – 0,30(B); el cual están constituidas por las fuentes de nitrato de amonio (NAM), Microessentials (SZ), cloruro de potasio (KCl), kiesierita y granubor. Ésta fórmula se

calculó según los requisitos calculados mediante la curva de absorción propuesta por Ramírez y Muñoz (2010). La fertilización se aplicó cada 15 días, esta fue de forma granular en el área superficial de la bolsa, distanciados del bulbo para no producir pérdida de agua en la planta por difusión.

**Cuadro 26.** Contenido de nutrimentos en suelo utilizado para experimento foliar en etapa de vivero de palma aceitera.

ID+ Mehlich 3	pH H <sub>2</sub> O	Acidez (KCl)	cmol(+).l <sup>-1</sup>				% SA	mg.l <sup>-1</sup>					
			Ca	Mg	K	CICE		P	Zn	Cu	Fe	Mn	Si*
NC	5,5	0,5	4,0	1,1	0,2	5,0		15	1,7	0,4	10	4	200
Suelo inicio	6,38	0,34	36,0	4,11	0,49	40,9	0,83	18,7	2,44	16,3	314	35	176

+ Solución extractora Mehlich 3, laboratorio suelos y foliares Palma Tica S.A.; NC = nivel crítico para Inceptisoles según Cabalceta y Molina (2006). CICE = Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva = Acidez + Ca + Mg + K. \* Metodología de extracción con ácido acético según Lobo (2013).

Posteriormente, se procedió a calcular una dosis estándar dentro del rango de las recomendaciones establecidas entre los productos y ajustarla al plan de aspersión establecida en vivero de la Compañía Palma Tica S.A. en conjunto con el crecimiento de las plantas. Las aspersiones se realizaron de la siguiente manera: entre los 85 y 135 días después de sembrado (dds) aplicaron 0,6 l.ha<sup>-1</sup> de cada producto, de 150 y 200 dds 1,05 l.ha<sup>-1</sup> y a partir de los 215 dds hasta terminar la etapa de vivero 1,5 l.ha<sup>-1</sup> (Cuadro 27). Estas aplicaciones se realizaron continuamente cada 15 días desde la primera semana de siembra en vivero.

**Cuadro 27.** Fertilizantes foliares con Si y Ca evaluados en vivero de palma aceitera con distintas concentraciones según los días después de siembra (dds).

n	Producto comercial	Tratamiento	85 – 135 dds l.ha <sup>-1</sup>	150 – 200 dds l.ha <sup>-1</sup>	≥ 215 dds l.ha <sup>-1</sup>
1	Testigo	Test	---	---	---
2	Cal 56 <sup>®</sup>	Ca56	0,6	1,05	1,5
3	Supa Cobre <sup>®</sup>	SupCu	0,6	1,05	1,5
4	Polisulfuro de Ca <sup>®</sup>	PolCal	0,6	1,05	1,5
5	Calcimax <sup>®</sup>	Calmax	0,6	1,05	1,5
6	Sifol Plus <sup>®</sup>	Sifol	0,6	1,05	1,5
7	Alexin <sup>®</sup>	Alexi	0,6	1,05	1
8	Stan SKH <sup>®</sup>	Stan	0,6	1,05	1,5
9	Firmeza <sup>®</sup>	Firmez	0,6	1,05	1,5

Se realizó la calibración del equipo previo a cada aplicación de manera que el caldo de aplicación fuera lo suficiente para asperjar la dosis homogéneamente sobre la superficie foliar. Se utilizó una bomba de espalda con compresor de batería modelo “Battery sprayer KB-16E-8”, de 1,8 – 2,2 amperios y 3 bares de presión en trabajo. Para la calibración del equipo, se aplicó un volumen conocido de agua sobre 4 filas bordes y se midió el remanente para obtener el volumen de aplicación. Posteriormente fueron asperjadas las filas con las dosis correspondientes a cada tratamiento.

### **Variables evaluadas**

Se muestrearon a dos profundidades de 0 – 15 cm y de 15 – 30 cm los suelos que se encontraban en la bolsa, en dos fechas distintas a los 130 dds y 300 dds, este consistió en un análisis general de los suelos de este experimento. Se determinó los contenidos de Acidez intercambiable con KCl y Al intercambiable por retitulación con HCl al 0,01 M, pH, Ca, Mg, K, P, Fe, Zn, Mn y Cu mediante la solución extractora Mehlich III y Si mediante la extracción con ácido acético según la metodología de Lobo (2013). Para las hojas lanceoladas y bifurcadas se recolectó el total de la hoja 1, en los muestreos realizados a los 175 y 220 dds. Para la hoja 1

expandidas (con separaciones entre los folios) se recolectaron 2 folios a cada lado según la metodología de Rodríguez y Jiménez (2013), ésta recolección de los folios se realizó a los 265 y 300 dds. Las muestras foliares se recolectaron 8 días después de la aspersión foliar, se extrajo las venas de las hojas y se secaron a 60 °C durante 3 días. Posteriormente, fueron enviadas al laboratorio de Suelos y Foliares de la Compañía Palma Tica S. A., donde se realizaron determinaciones de Si mediante la metodología de (Lobo 2013), N por combustión seca, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Mn, Cu, mediante la digestión húmeda con HNO<sub>3</sub> y determinación por espectrometría de Emisión atómica con Plasma (ICP).

En las mediciones de crecimiento morfológico se realizaron para tres partes de la planta según la metodología de Ramírez y Muñoz (2010), estas residieron en: el largo de raquis, el cual es la medida en cm a partir de la base de la hoja 1 hasta el meristemo apical. El diámetro de bulbo, se fundamentó en medir el crecimiento del bulbo que se encuentra en la base de la palma, este se midió con un vernier en cm. Por ultimo las hojas totales, estas consistieron en cuantificar la cantidad de hojas emitidas por las plantas en un periodo de tiempo determinado.

Para evaluar la presencia de enfermedades foliares o bien denominado Complejo de Necrosis Foliar (CNF), se realizó mediante una escala visual representada por 5 grados de severidad en las plantas. Los grados se fundamentaron de la siguiente manera: 1 = representó el 3% de la hoja o planta dañada, 2 = 7%, 3 = 15%, 4 = 40%, 5 = 75%. Estas se realizaron para la hoja 1 y para la planta total, de manera que ésta última cuantificara la severidad en fechas anteriores. Las evaluaciones de CNF se evaluaron en conjunto con las mediciones morfológicas a los 85, 130, 175, 220, 265 y 300 dds.

### **Diseño experimental**

El experimento fue constituido por 9 tratamientos y 4 repeticiones con un diseño experimental de Bloques Completos al Azar. Los bloques fueron ubicados un sector céntrico, con historial de enfermedades foliares y sin problemas de

topografía. Se prepararon 4 bloques, cada bloque fue representado por 870 plantas con un tamaño de 1096 m<sup>2</sup>, cada repetición tenía un total de 30 plantas.

Para el análisis de los datos morfológicos se realizaron índices de áreas bajo la curva (abc), para reunir la información de las variables en el tiempo (Ecuación 3). Ésta metodología consistió en calcular el área de un trapecio entre dos fechas de evaluación, tomando en cuenta las evaluaciones morfológicas en cada fecha y los días transcurridos para realizar una sumatoria de las áreas calculadas entre los periodos. La sumatoria de las áreas determinó el índice de abc, lo cual mide el efecto de los tratamientos en transcurso del tiempo.

$$\sum \frac{b + B \times a}{2}$$

Ecuación 3

Donde:

B = medida en el tiempo 2 (t1)

b = medida en el tiempo 1 (t2)

a = número de días transcurridos entre t1 y t2

Posteriormente los datos fueron sometidos a un análisis de varianza, se calcularon las diferencias estadísticas mediante pruebas de Dunnett test ( $\alpha = 0,05$ ) para los análisis morfológicos, Kruskal Wallis ( $\alpha = 0,05$ ) para los análisis no paramétricos y para los análisis químicos LSD ( $\alpha = 0,05$ ). Los cálculos fueron realizados mediante el programa estadístico Rstudio versión 0.98.1102.

## RESULTADOS

Las aplicaciones de fuentes de Ca y Si foliar no mostraron un efecto significativo en la tolerancia al complejo de necrosis foliar (CNF) a través del tiempo (Cuadro 28). Al analizar el índice de área bajo la curva, el tratamiento Supcu mostró una tolerancia altamente significativa ( $p < 0,001$ ) en la hoja 1 (808,6) en comparación al tratamiento testigo (1017,3), este mismo comportamiento mostró tendencias en la severidad de las hojas totales, mientras que los tratamientos Alexi (1269,7) y Cal56 (1230,1) mostraron la mayor severidad significativamente en comparación al tratamiento testigo. Se encontró un mayor crecimiento significativo ( $p = 0,001$ ) en el largo de raquis en el tratamiento Sifol (3290,2) en comparación al testigo (3018,4). Este mismo tratamiento mostró un mayor diámetro de bulbo (647,9) que el tratamiento testigo (606,8) mientras que los demás tratamientos no mostraron diferencias. El tratamiento PolCal mostró un mayor número de hojas totales (1375,1) significativamente al tratamiento testigo (1312,8). Por último, el índice calculado para el largo de la hoja reveló una diferencia significativa cuando se aplicó el tratamiento Firmez (803,0) en comparación al testigo (763,4).

**Cuadro 28.** Índice de área bajo la curva en crecimientos morfológico y severidad de complejo de necrosis foliar en plantas de palma aceitera, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero.

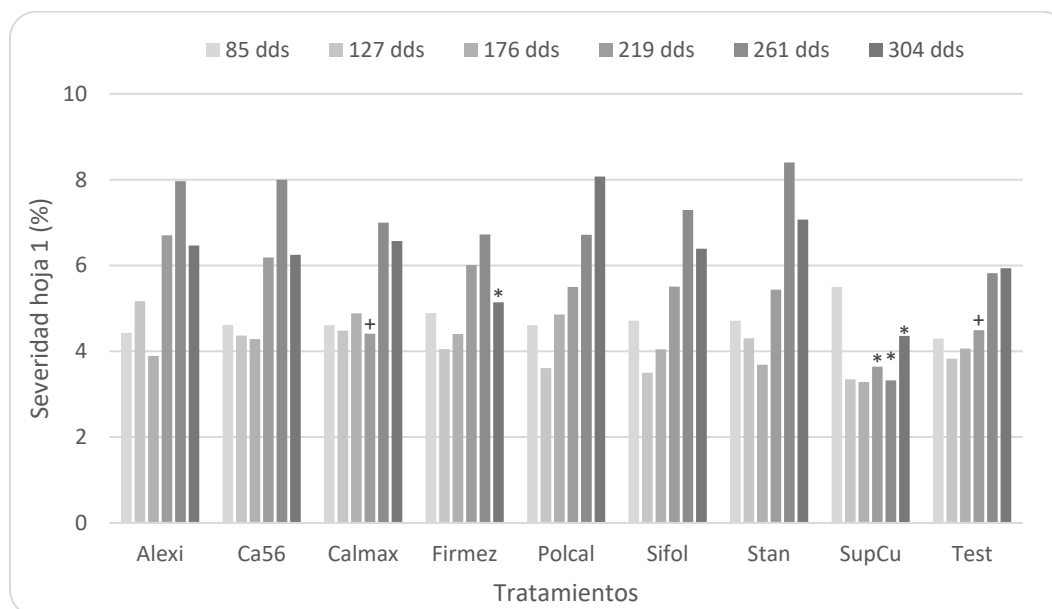
Tratamientos	Severidad	Severidad	Largo	Hojas	Diámetro	Largo
	Hoja 1	Total	raquis	totales	bulbo	Hoja
----- Índices de áreas bajo la curva -----						
Alexi	1269,7	1854,6	2889,4	1284,2	581,7	767,1
Ca56	1230,1	1979,3	2963,8	1360,7	608,5	780,9
Calmax	1151,6	1829,4	2975,6	1338,7	597,8	741,3
Firmez	1141,4	1803,6	2987,5	1294,6	606,0	803,4
PolCal	1176,9	1821,8	2950,6	1375,1	613,5	761,7
Sifol	1125,9	1776,2	3290,2	1359,1	647,9	780,9
Stan	1204,6	1921,7	2984,2	1332,0	596,2	792,1
SupCu	808,6	1633,5	3033,1	1333,3	605,2	760,8
Test	1017,3	1818,2	3018,4	1312,8	606,8	763,4
Comparaciones	----- Dunnett test Pr(> t ) -----					
Alexi – test	<0,001	1,00	0,180	0,411	0,026	1,00
Ca56 – test	<0,001	0,07	0,932	0,032	1,00	1,00
Calmax – test	0,066	1,00	0,982	0,521	0,869	0,449
Firmez – test	0,078	1,00	0,998	0,848	1,000	0,022
PolCal – test	0,014	1,00	0,819	0,001	0,969	1,00
Sifol – test	0,410	0,989	<0,001	0,041	<0,001	0,698
Stan – test	0,002	0,673	0,996	0,814	0,756	0,185
SupCu – test	<0,001	0,07	1,00	0,750	1,00	1,00

n = 36288; Variables morfológicas y severidad evaluados a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 días después de siembra. Probabilidades por debajo de 5 % (Pr (>|t|) < 0,05) representan diferencias significativas de tratamientos en comparación al testigo.

Las fuentes de Si y Ca foliar mostraron tolerancia significativa en la severidad de CNF de la hoja 1 hasta los 220 dds (Figura 4). Al evaluar el comportamiento del porcentaje de severidad en la hoja 1, el tratamiento SupCu mostró tolerancia significativamente ( $\alpha < 0,05$ ) a CNF, manteniendo un efecto desde los 220 dds hasta los 304 dds. Sin embargo, en el tratamiento Calcimax a los 219 no se diferencia del tratamiento SupCu y los demás tratamientos. Al analizar la severidad del CNF a los 304 dds al igual que el tratamiento SupCu, el tratamiento Firmez mostraron mayor



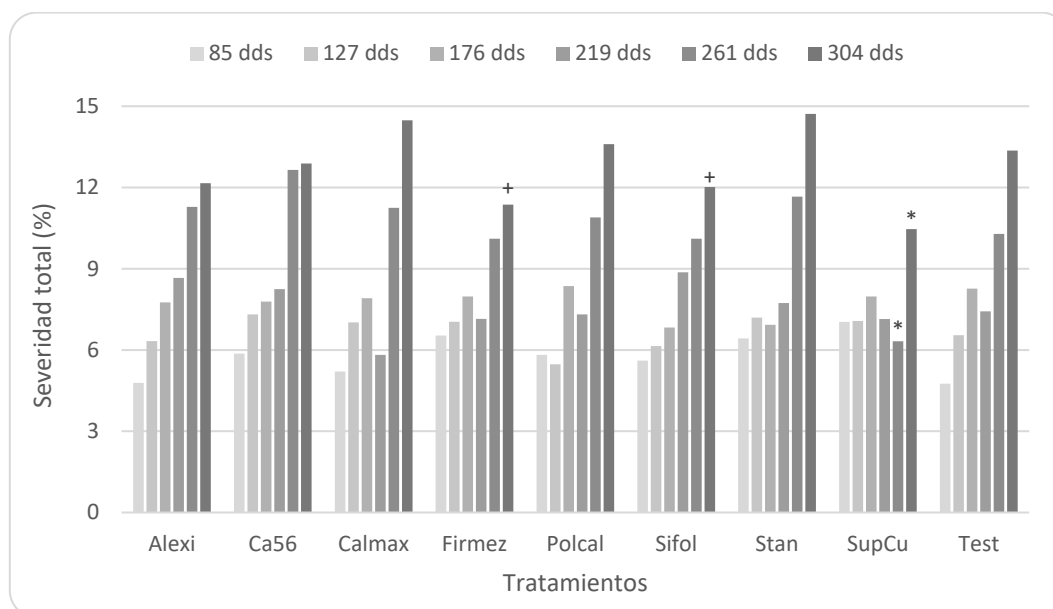
tolerancia a enfermedades foliares y difieren estadísticamente del resto de los tratamientos.



n = 6048; Severidad en hoja 1 evaluada a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 días después de siembra. \* Probabilidades por debajo de 5 % ( $\alpha < 0,05$ ) representan diferencias significativas entre tratamientos según pruebas de Kruskal Wallis. + no existen diferencias entre y el resto de tratamientos.

**Figura 4.** Severidad del Complejo de Necrosis Foliar en la hoja 1 en plantas de palma aceitera entre los 85 y 304 dds, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero.

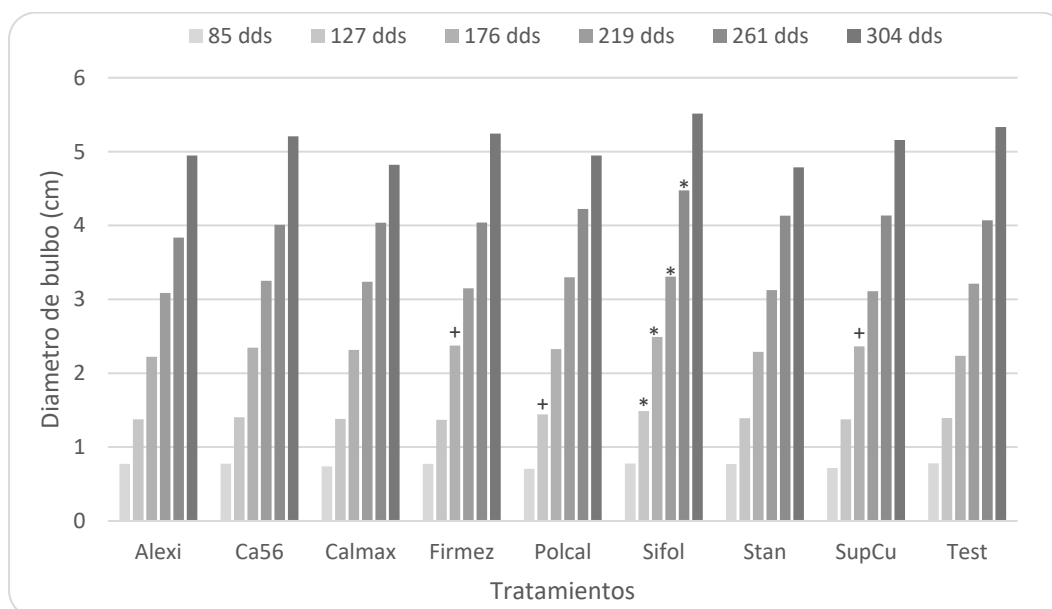
Al evaluar la severidad de CNF en las hojas totales se encontró un aumento en la tolerancia a los 261 dds (Figura 5). Las plantas lograron una tolerancia significativa en el tratamiento SupCu a los 261 dds y con diferencias significativas del resto de los tratamientos. Este efecto se mantuvo en el tratamiento SupCu hasta los 304 dds, sin embargo, no varió estadísticamente de los tratamientos Sifol y Firmez. Los demás tratamientos no mostraron diferencias significativas en relación al testigo en las distintas fechas de evaluación.



n = 6048; Severidad total evaluada a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 días después de siembra.  
 \*Probabilidades por debajo de 5 % ( $\alpha < 0,05$ ) representan diferencias significativas entre tratamientos según pruebas de Kruskal Wallis. + no existen diferencias entre y el resto de tratamientos.

**Figura 5.** Severidad de complejo de necrosis foliar en las hojas totales en plantas de palma aceitera entre los 85 y 304 dds, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero.

Las plantas mostraron un mayor crecimiento en el diámetro de bulbo cuando se aplicaron fuentes de Si y Ca foliar a partir de los 127 dds (Figura 6). El efecto solo se logró significativamente en el tratamiento Sifol a partir de los 127 dds y se mantuvo hasta los 261 dds. Sin embargo, el tratamiento PolCal no se diferenció estadísticamente del Sifol a los 127 dds y de los tratamientos Firmez y SupCu a los 176 dds. Los demás tratamientos no mostraron diferencias mínimas significativas entre ellos y las fechas de evaluación.



n = 6048; Diámetro de bulbo evaluado a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 días después de siembra. \* Probabilidades por debajo de 5 % ( $\alpha < 0,05$ ) representan diferencias significativas entre tratamientos según pruebas de Kruskal Wallis. + no existen diferencias entre y el resto de tratamientos.

**Figura 6.** Diámetro de bulbo en plantas de palma aceitera entre los 85 y 304 dds, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero.

No hubo diferencias significativas en la concentración de macronutrientes en la hoja 1 de las plántulas con la aplicación de fertilizantes foliares (Cuadro 29). La concentración de N varió entre 3,25 % y 3,92% a los 175 y 310 dds y no mostró diferencia estadística ( $\alpha < 0,05$ ) entre los tratamientos. El P varió entre 0,20 % y 0,26% en todas las fechas de muestreo. La concentración de K en las plantas no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, con una variación entre 1,23 y 1,65 %. La concentración de Ca no mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos, sin embargo, el tratamiento SupCu mostró una tendencia de mayor concentración en la última fecha. La concentración de Ca en las plantas de vivero varió entre un 0,79 y 1,06% en la hoja 1. La concentración de Mg en la planta fue mayor a los 175 dds en comparación al resto de los tratamientos, no obstante, después de los 265 dds la concentración de Mg no mostró diferencia entre los tratamientos oscilando entre 0,25 y 0,35%. La concentración de S se encontró entre

0,23 y 0,31% donde no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a los 175 y 265 dds, sin embargo, a los 310 dds mostró tendencia de mayor concentración en el tratamiento SupCU (0,31), encontrando diferencias estadísticas en comparación al Calmax (0,27%).

**Cuadro 29.** Concentración de N, P, K, Ca, Mg y S en hoja 1 de palma aceitera entre los 175 y 300 dds, tratadas con distintas fuentes de Si y Ca foliar en fase de vivero.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S
	%					
<b>175 dds</b>						
Alexi	3,49 a*	0,25 a	1,59 a	1,06 a	0,33 ab	0,31 a
Ca56	3,49 a	0,25 a	1,57 a	0,97 a	0,31 b	0,28 a
Calmax	3,41 a	0,26 a	1,55 a	1,03 a	0,31 b	0,29 a
Firmez	3,25 a	0,25 a	1,54 a	0,98 a	0,31 b	0,28 a
PolCal	3,45 a	0,25 a	1,56 a	1,00 a	0,31 b	0,27 a
Sifol	3,48 a	0,25 a	1,54 a	1,01 a	0,32 b	0,28 a
Stan	3,28 a	0,25 a	1,65 a	1,00 a	0,32 b	0,30 a
SupCu	3,49 a	0,26 a	1,63 a	1,00 a	0,32 b	0,29 a
Test	3,35 a	0,24 a	1,45 a	1,00 a	0,35 a	0,29 a
Adj r <sup>2</sup>	0,48	0,38	0,40	0,28	0,64	0,42
<b>220 dds</b>						
Alexi	3,84 a	0,20 c	1,30 a	0,91 abc	0,26 ab	0,27 ab
Ca56	3,75 a	0,20 bc	1,23 a	0,87 bc	0,25 b	0,23 ab
Calmax	3,92 a	0,20 c	1,27 a	0,90 abc	0,25 ab	0,27 ab
Firmez	3,82 a	0,22 a	1,29 a	0,89 abc	0,26 ab	0,29 a
PolCal	3,81 a	0,21 bc	1,31 a	0,84 c	0,25 b	0,25 bc
Sifol	3,82 a	0,19 c	1,25 a	0,98 a	0,27 ab	0,28 ab
Stan	3,64 a	0,19 c	1,37 a	0,88 abc	0,26 ab	0,27 ab
SupCu	3,73 a	0,20 bc	1,36 a	0,97 ab	0,28 a	0,25 bc
Test	3,60 a	0,22 ab	1,31 a	0,94 abc	0,27 ab	0,29 a
Adj r <sup>2</sup>	0,60	0,78	0,71	0,75	0,74	0,01
<b>265 dds</b>						
Alexi	3,36 a	0,22 a	1,58 a	0,86 a	0,25 a	0,26 a
Ca56	3,49 a	0,23 a	1,57 a	0,93 a	0,27 a	0,28 a
Calmax	3,26 a	0,22 a	1,58 a	0,90 a	0,26 a	0,27 a
Firmez	3,38 a	0,22 a	1,48 a	0,91 a	0,26 a	0,27 a
PolCal	3,33 a	0,23 a	1,62 a	0,85 a	0,25 a	0,27 a
Sifol	3,29 a	0,23 a	1,63 a	0,87 a	0,25 a	0,27 a
Stan	3,42 a	0,22 a	1,58 a	0,87 a	0,25 a	0,25 a
SupCu	3,54 a	0,22 a	1,54 a	0,90 a	0,26 a	0,27 a
Test	3,50 a	0,22 a	1,59 a	0,84 a	0,25 a	0,27 a
Adj r <sup>2</sup>	0,47	0,42	0,28	0,24	0,33	0,45
<b>310 dds</b>						
Alexi	3,62 a	0,21 a	1,46 a	0,91 a	0,27 a	0,29 ab
Ca56	3,43 a	0,22 a	1,62 a	0,79 a	0,25 a	0,28 ab
Calmax	3,41 a	0,21 a	1,53 a	0,79 a	0,25 a	0,27 b
Firmez	3,48 a	0,22 a	1,62 a	0,83 a	0,27 a	0,30 ab
PolCal	3,46 a	0,22 a	1,60 a	0,79 a	0,24 a	0,28 ab
Sifol	3,39 a	0,21 a	1,53 a	0,80 a	0,25 a	0,27 ab
Stan	3,42 a	0,21 a	1,51 a	0,83 a	0,25 a	0,29 ab
SupCu	3,67 a	0,22 a	1,49 a	0,92 a	0,29 a	0,31 a
Test	3,37 a	0,21 a	1,56 a	0,85 a	0,27 a	0,30 ab
Adj r <sup>2</sup>	0,47	0,50	0,36	0,36	0,48	0,64

n = 864; Severidad en hoja 1 evaluada a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 días después de siembra. \* Letras distintas denotan diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD Test (p.adj= bonferroni,  $\alpha < 0,05$ ) del modelo lineal (LM).

La concentración foliar de Si en la hoja 1 en las palmas no aumentó con las aplicaciones foliares, sin embargo, aumentó la concentración de Cu y B en algunas fuentes (Cuadro 30). Al evaluar la concentración de Si foliar a los 175, 220, 265 y 310 dds no se encontró una diferencia significativa ( $\alpha < 0,05$ ) entre los tratamientos, pero mostró tendencias de mayor acumulación en los tratamientos Alexi ( $0,94 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ) y SupCu ( $1 \text{ mg.Kg}^{-1}$ ) a los 310 dds. Las concentraciones de Cu en las plantas mostraron diferencias mínimas significativas en todas las fechas de muestreo, se encontró la mayor concentración en los tratamientos SupCu ( $32,1 - 52,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y Sifol ( $16,3 - 26,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) en comparación al resto de los tratamientos ( $8,9 - 12,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ).

**Cuadro 30.** Concentración de Si, Al, Fe, Cu, Zn, Mn y B en hoja 1 de palma aceitera entre los 175 y 300 dds, tratadas con distintas fuentes de silicio y calcio foliar en fase de vivero.

Tratamientos	Si %	mg.kg <sup>-1</sup>					
		Al	Fe	Cu	Zn	Mn	B
----- 175 dds -----							
Alexi	1,13 a	180,36 a	213,59 a	11,44 c	16,71 a	126,61 a	19,93 b
Ca56	0,90 a	219,63 a	230,26 a	11,94 c	18,83 a	109,29 a	17,31 ab
Calmax	0,96 a	164,84 a	193,22 a	11,50 c	17,47 a	117,88 a	16,69 ab
Firmez	1,17 a	248,72 a	252,03 a	12,75 c	17,33 a	101,37 a	15,92 ab
PolCal	1,00 a	150,63 a	177,79 a	12,15 c	17,07 a	108,11 a	14,80 ab
Sifol	0,96 a	175,96 a	213,10 a	26,07 b	16,72 a	111,33 a	17,46 ab
Stan	1,04 a	251,98 a	261,21 a	12,28 c	16,67 a	114,49 a	19,94 b
SupCu	0,94 a	181,01 a	190,89 a	51,71 a	19,02 a	105,12 a	18,09 ab
Test	1,22 a	191,99 a	227,78 a	9,38 c	15,84 a	132,40 a	13,28 a
Adj r <sup>2</sup>	0,57	0,49	0,53	0,99	0,52	0,59	0,56
----- 220 dds -----							
Alexi	0,97 b	31,97 a	92,75 a	9,82 c	14,80 bc	112,56 a	24,48 b
Ca56	1,03 ab	35,05 a	95,83 a	10,52 c	16,88 abc	111,32 a	22,31 b
Calmax	1,05 ab	52,01 a	109,78 a	9,90 c	15,34 bc	115,05 a	23,76 b
Firmez	1,13 ab	43,16 a	105,74 a	11,07 c	18,53 a	109,15 a	24,25 b
PolCal	1,00 b	27,42 a	87,44 a	10,65 c	15,73 abc	107,25 a	22,21 b
Sifol	1,15 ab	47,51 a	108,83 a	22,41 b	15,26 bc	135,86 a	26,70 ab
Stan	1,04 ab	39,34 a	94,66 a	10,06 c	14,32 c	112,97 a	21,84 b
SupCu	1,07 ab	30,95 a	97,81 a	52,90 a	16,76 abc	118,35 a	26,22 ab
Test	1,26 a	33,08 a	98,92 a	10,16 c	17,40 ab	129,89 a	30,84 a
Adj r <sup>2</sup>	0,54	0,55	0,90	0,80	0,44	0,64	0,59
----- 265 dds -----							
Alexi	0,76 a	22,26 a	75,80 a	10,38 b	16,35 a	99,63 a	25,22 b
Ca56	0,81 a	24,63 a	72,87 a	11,01 b	16,85 a	109,68 a	27,09 b
Calmax	0,82 a	22,80 a	70,68 a	10,86 b	17,16 a	103,92 a	26,51 b
Firmez	0,83 a	25,48 a	76,84 a	10,98 b	17,48 a	99,18 a	24,50 b
PolCal	0,76 a	19,48 a	66,69 a	11,42 b	17,90 a	96,42 a	23,83 b
Sifol	0,80 a	28,97 a	77,92 a	16,28 b	16,97 a	106,33 a	24,94 b
Stan	0,85 a	23,46 a	72,72 a	10,97 b	16,33 a	104,20 a	25,93 b
SupCu	0,82 a	29,85 a	79,12 a	50,54 a	18,40 a	113,54 a	27,90 b
Test	0,80 a	19,94 a	70,80 a	10,88 b	17,01 a	106,85 a	40,78 a
Adj r <sup>2</sup>	0,13	0,30	0,37	0,91	0,30	0,26	0,69
----- 310 dds -----							
Alexi	0,94 a	43,67 a	99,01 a	8,92 a	18,59 a	125,94 a	47,17 ab
Ca56	0,79 a	38,05 a	86,05 a	9,55 a	17,11 a	106,09 a	36,51 b
Calmax	0,77 a	36,66 a	84,49 a	8,98 a	16,98 a	102,85 a	38,38 ab
Firmez	0,82 a	31,78 a	87,12 a	9,72 a	16,94 a	102,41 a	37,45 ab
PolCal	0,75 a	41,11 a	104,80 a	9,55 a	15,65 a	100,91 a	33,53 b
Sifol	0,73 a	34,93 a	89,62 a	22,08 b	17,19 a	105,47 a	38,25 ab
Stan	0,87 a	33,60 a	86,48 a	9,35 a	16,17 a	108,70 a	42,67 ab
SupCu	1,00 a	40,73 a	95,65 a	32,06 b	18,95 a	138,39 a	50,50 ab
Test	0,83 a	42,89 a	93,34 a	9,16 a	17,59 a	116,44 a	55,89 a
Adj r <sup>2</sup>	0,37	0,53	0,42	0,82	0,56	0,48	0,61

n = 1008; Severidad en hoja 1 evaluada a los 85, 127, 176, 219, 261, 304 días después de siembra. \* Letras distintas denotan diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD Test (p.adj= bonferroni,  $\alpha < 0,05$ ) del modelo lineal (LM).

## DISCUSIÓN

Las aplicaciones de Ca y Si foliar en palma aceitera no tuvieron efecto con la incidencia del complejo de necrosis foliar en plantas de palma aceitera en vivero. Al analizar que el tratamiento SupCu mostró la mayor tolerancia significativamente en la hoja 1, este no presentó concentraciones altas de Si y Ca en las hojas cuando se analizaron todas las fechas y estadísticamente no mostró diferenciación con el resto de los tratamientos. La aplicación de éstos nutrimentos en las hojas presentó poca penetración en la cutícula, el comportamiento concuerda con Fregoni (1986), Malavolta 1986 Trinidad y Aguilar (1999), donde encontraron que aplicaciones de fuentes de Ca foliar penetraron solo un 50% en la cutícula después de 96 horas, lo cual es muy baja en comparación a N, K, Zn, Na y Cl. Además, se sumaría el efecto de la forma de absorción de los nutrimentos, específicamente de Si, el cual se absorbe metabólicamente en forma de ácido ortosilícico en forma pasiva (Ma y Yamaji 2006, Datnoff et al. 2007, Marschner 2012, Pilon et al. 2013), mientras que las fuentes foliares que se usaron se mostraron en forma de óxidos de silicio soluble. Por otro lado, es probablemente que el efecto de las constantes precipitaciones en la zona lavó el producto, principalmente en épocas lluviosas (agosto - diciembre) y también en verano (diciembre - abril) por el riego por aspersión que se utilizó en el vivero.

La concentración de Ca y Si en el suelo fueron altas y probablemente afectó los resultados del análisis foliar para ambos nutrimentos. Debido al alto contenido de Ca y Si en el suelo la planta tendría cantidades significativas disponibles, ya que muchos se absorben en su mayoría por el flujo de masas e intercepción desde el suelo y ambos son elementos no móviles (Lambers et al. 1998, Sposito 2008, Marafon y Endres 2013, Pilon et al. 2014, Ma 2015). Es probable que mucho del Si es disponible para las plantas en el tiempo (Zapata 2004, Quero 2008, Czeschlik 2005), debido a que estos son liberados directamente de las estructuras que poseen las arcillas (Alvarado 1985, Klein y Hurlbut 2003, Lizcano et al. 2006, Jaramillo 2011, Alvarado et al. 2014). Es probable que el Si y Ca se absorbiera muy poco debido a



su inmovilidad y que la hoja 1 es muy activa fisiológicamente lo cual permitiría la acumulación del Si mayoritariamente por la corriente transpiratoria (Yoshida 1965, Ma y Yamaji 2006). Lo que explicaría que la absorción de Si foliar no es significativa en relación a la absorción por las raíces.

Al analizar las concentraciones de los nutrimentos en las hojas, solo la concentración de Cu mostró relación con la severidad del CNF. Al encontrarse una relación inversamente proporcional, es decir a mayor concentración de Cu menor severidad de CNF en la hoja 1, y una tendencia de menor severidad en las hojas totales. Al igual que el tratamiento SupCu el tratamiento Sifol también mostró una mayor acumulación de Cu en la lámina foliar. Esto se debe probablemente a que ambos productos presentan Cu en la solución, el SupCu tiene 5,6 % (p.v<sup>-1</sup>) de Cu, mientras que el Sifol posee un 1,3% (Cuadro 25). Es por ésta razón que los demás tratamientos no poseen concentraciones altas en las hojas, debido a que éstos son obtenidos de las concentraciones que se encontraban en los suelos de vivero (16,3 mg.l<sup>-1</sup>). El efecto del cobre sobre el control de las enfermedades está bien demostrado en otros cultivos (Albrigo y Timmer 1997, Datnoff 2007, Behau et al. 2009).

En relación al crecimiento el tratamiento Sifol mostró el mayor vigor de planta, cuando se analizó el diámetro de bulbo y largo de raquis al compararlo con el testigo. A diferencia del testigo y los demás tratamientos, este producto posee K y P, este último en forma de fosfitos, lo cual es muy probable que mejore los balances nutricionales en la planta y ayudó a un mayor crecimiento, más aún cuando este nutrimento se encuentra involucrado en múltiples procesos fisiológicos y de energía en las plantas (Marschner y Marschner 2012). Por otro lado, al tener concentraciones altas de Cu es probable que optimizara los balances nutricionales en la planta, mejorando su crecimiento. Efectos similares encontraron Sidhu et al. (2001) donde aplicaciones de Cu foliar, ayudaron en el crecimiento y vigor del vivero sembrado con suelo del orden Espodozol y concuerda con el tratamiento SupCu en algunas fechas en la medición del diámetro de bulbo en comparación al tratamiento Sifol (Figura 6). Es importante destacar que las concentraciones de muchos

nutrimentos en la hoja 1 no mostraron diferencias significativas, sin embargo, al tener un vigor superior a los demás tratamientos es muy probable que la acumulación de la mayoría de nutrimentos sea superior en los tratamientos Sifol y SupCu al resto de los tratamientos.

## **CONCLUSIONES**

La concentración de Si y Ca en la hoja 1 en vivero de palma aceitera no varió con la aplicación de las fuentes foliares y no presentaron ningún efecto en el control del Complejo de Necrosis Foliar. El Cu mostró un aumento significativo en la tolerancia de CNF en plantas de vivero de palma. Las aplicaciones de productos de K y P en forma de fosfitos aumentaron el vigor de la planta en vivero, pero no tuvo efecto en la tolerancia a CNF.

## CAPÍTULO 4

### DISCUSIÓN y CONCLUSIONES GENERALES

Las aplicaciones de fuentes nutricionales no mostraron un control en las enfermedades foliares de vivero, pero si desarrollaron tolerancia a la severidad de CNF. Las aplicaciones de fuentes de silicio en el suelo no manifestaron un efecto en la acumulación en las plantas y no correlacionaron con la severidad de las enfermedades en vivero. Es probable que éstos suelos tengan constantes liberaciones de Si al poseer acillas mixtas productos de las sustituciones, lo cual se encuentra en la solución del suelo, también existe la posibilidad que la acidificación inducida por los fertilizantes nitrogenados acelerase este proceso. Lo cual está bien demostrado por distintos autores, producto de la sustitución isomórfica y meteorización de las partículas de suelo por hidrolisis (Alvarado 1985, Quero 2005, Barré et al. 2009).

El tratamiento que tuvo mayor impacto en aumentar el pH y reducir la acidez intercambiable fue el tratamiento SKH, posiblemente porque este producto se aplicó cada 2 meses en los suelos de las bolsas de vivero. Sin embargo, la fuente de SiF fue la que aumentó la tolerancia a las enfermedades foliales y probablemente esto se dio porque permitió que otros elementos como el Zn se absorbiera en mayor concentración por las plantas de palma aceitera. Lo que probablemente se diera porque mantuvo el pH entre 5,0 – 5,1, lo cual permitió mayor disponibilidad del nutrimento en el suelo para las plantas. Esto demostró que las enmiendas que lograron sostener en pH en los primeros 15 cm de suelo, lograron incrementar la absorción de Zn, mientras que las otras enmiendas no lograron sostener el pH en el tiempo y por ende hubo problemas en el crecimiento. El efecto de las enmiendas con Si está bien demostrado por distintos autores (Savant et al. 1999, Lepsch 2004, Horna 2007), donde determinan que al encontrarse óxidos de Si en la solución puede disminuir la cantidad de Al intercambiable, efectuando un efecto de buffer en

la acidez e incrementando la absorción de nutrimentos y mejorando la nutrición de la planta.

La fuente de SiF proveniente de diatomitas mantuvo el efecto buffer en el tiempo. Es posible que por esta razón se diera una mejora en la acumulación de otros micronutrimentos en las plantas, principalmente de catiónicos entre estos Zn que para esta investigación correlacionó con la reducción de las enfermedades foliares. Esto concuerda con Yoshida y Tanaka (1968) donde mencionó que las altas concentraciones de Ca en el suelo presentaron un antagonismo en la absorción de elementos catiónicos entre estos Zn en las plantas. También está reportado que la absorción de Zn aumenta con la reducción de pH en los suelos (Casanova 1991, Bohn et al. 1993, Marcano et al. 2003).

Las fuentes de Si y Ca foliar no mostraron un efecto significativo en el control de enfermedades foliares, no obstante, algunos productos con presencia de Cu y fosfitos ayudaron a tolerar la severidad. Es probable que las constantes precipitaciones y riegos por aspersión no ayudaron en la penetración de Si y Ca en la cutícula, debido a que estas ocupan hasta 96 horas para absorber un 50 % (Malavolta 1986 Trinidad y Aguilar 1999). La hipótesis de la aplicación de Ca foliar en suelos con altos contenidos de Ca, no presentaron ningún efecto significativo con la tolerancia a enfermedades. Propiciando que muchos de los micronutrientes acompañados que tenían las fuentes foliares, mejorar los contenidos en las hojas.

En las aplicaciones de Silicio y Ca en el suelo y foliar demostraron que algunas fuentes ayudan a mejorar la absorción de otros micronutrimentos que se encuentran no disponibles para las plántulas de palma aceitera. Ambos experimentos mostraron que el Si no tuvo efecto directo en el control de las enfermedades, pero si favoreció una mejor absorción de otros microelementos, lo cual aumenta la tolerancia a la severidad de CNF.

De la aplicación de compost de fibra en los suelos no presentó efecto significativo en el control de CNF, pero si hubo tolerancia a la severidad en las hojas totales en el tiempo. Las aplicaciones de compost de fibra mayores a un 25% no aumentaron el crecimiento de las plantas y no disminuyó la severidad del CNF, es

posible que la aplicación por arriba de este porcentaje, brindaría un aumento en la solubilidad de los nutrimentos, lo que tendría aumentar los desbalances de los nutrimentos en el suelo de las bolsas. También es importante mencionar que, en las observaciones de campo, se encontraron problemas de gleización en las partículas de suelo que se encontraban próximas a las fibras, producto de la demanda de oxígeno y la humedad que requería las fibras.

En los tres experimentos se encontró que las enfermedades foliares poseen un efecto directo con la concentración de los micronutrientes en las hojas. Específicamente cuando se analizó la concentración de Zn, Cu, Fe y Mn, que son micronutrientes catiónicos, los cuales poseen antagonismos con las concentraciones altas de Ca en estos suelos. Las aplicaciones de éstos nutrimentos no se contemplaron en los planes de fertilización en vivero de palma, lo cual la planta no posee una absorción esencial ni balanceada en los suelos de vivero.

Por otro lado, el análisis químico de suelo en el tiempo mostró una sobre fertilización que afecta negativamente el crecimiento de las plantas. Principalmente por la adición de nutrimentos (eficiencias de fertilización) que no requiere la planta. Esto provocó una acidificación en los suelos de las bolsas producto de la sobre fertilización. Este efecto solo se encontró entre los primeros 15 cm de profundidad, posteriores a los 15 cm no se encontró efectos de acidificación por los fertilizantes. En las observaciones de campo cuando se fertilizaban los viveros de palma, se observó que en los días de fertilización muchos de los gránulos aplicados no se habían solubilizado.

Es muy probable que las plantas de vivero se tornen más susceptibles al CNF debido al efecto de la sobre fertilización. Las aplicaciones de fertilizante en vivero deben ajustarse a las curvas de absorción generadas para las distintas variedades, y ajustar la eficiencia de fertilización para elevar el balance porcentual en la relación aplicación vs absorción. Así mismo es importante mejorar o implementar las aplicaciones de micronutrientes especialmente los catiónicos, por tratarse de suelos con altos contenidos de Ca.

## LITERATURA CITADA

- ABDI H., L. WILLIAMS. 2010. Principal component analysis. Wiley Interdiscip. Rev. Comput. Stat. 2(4): 433 – 459.
- ACOSTA A., RAMÍREZ F., ALBERTAZZI H. 2007. El papel del silicio en el desempeño de palmas con flecha seca en una plantación comercial de palma aceitera en Quepos, Costa Rica. Revista Palmas 28(1): 389 – 393.
- AGUIRRE C., CHÁVEZ T., GARCIA P., RAYA J. 2007. El silicio en los organismos vivos. Revista Interciencia. 32 (8): 504-509.
- AHMED M., ASIF M., GOYAL A. 2012 Silicon the non-essential beneficial plant nutrient to enhanced drought tolerance in wheat. Crop Plant. University Rawalpindi – University of Alberta, Edmonton, Ab. Pakistan – Canada. 240 p.
- ALBRIGO L., TIMMER L. 1997. Copper fungicides – Residues for disease control and potential for spray burn. Proc. Fla. State Hort. Soc. 110: 67 - 70.
- ALVARADO A. 1985. El origen de los suelos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. Serie de Materiales de Enseñanza N° 24. 54 p.
- ALVARADO A., MATA R., CHINCHILLA M. 2014. Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2012: I Historia, metodología de análisis y mineralogía de arcillas en suelos derivados de cenizas volcánicas. Agronomía Costarricense 38(1): 75 – 106.
- ANDERSON J. 2012. Efecto a través del tiempo del uso de fertilizantes silicatados para la reducción del mal de panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp.) en el

- cultivar Gros Michel (*musa AAA*). Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 104 p.
- APUY M. 1997. Etiología y manejo de la antracnosis en vivero de palma aceitera (*Elaeis guinensis jacq.*). Tesis de maestría. Sistemas de Estudios de Posgrado Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 61 p.
- ARAUZ F. 2011. Fitopatología un enfoque agroecológico. 2 ed. Edit. UCR. San José, Costa Rica. 514 p.
- ARAYA L. 2010. Evaluación de la eficacia in-vitro de la aplicación de sílice en frutos de mango (*Mangifera indica*) var. Tommy Atkins para el control de enfermedades poscosecha. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 71 p.
- ARGUEDAS M., COTS J. 2012. La "antracnosis" (*Colletotrichum spp.*) en viveros forestales. Rev. Kurú. 9(22): 60-62.
- ASD. 2010. Establishment and management of oil palm nurseries (en línea). Coto 47, Costa Rica. Consultado 19 abr. 2013. Disponible en: <http://www.asd-cr.com/images/nurserie-guide.pdf>.
- AZIZ T. AHMAD M. RAHMATULLAH G. 2002. Silicon nutrition and crop production: a review. Pak. J Agri. Sci. 39(3): 181-187.
- BEHLAY F., BELASQUE J., GRAHAM J., LEITE R. 2009. Effect of frequency of copper applications on control of citrus canker and the yield of young bearing sweet orange trees. Crop Protection 29(3): 300 - 305
- BENTON J. 1997. Plant Nutrition Manual. CRC Press LLC. Florida, USA. 230 p.
- BERNIER R., ALFARO M. 2006. Acidez de los suelos y efectos del encalado. Boletín 151. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Osomo, Chile. 46 p.



- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- BERTSCH F. 2009. Absorción de nutrimentos por los cultivos. 1 ed. multimedia. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 1 disco: 308 p.
- BERTSCH F. RAMÍREZ F. 1997. Metodologías para afinar los programas de fertilización de los cultivos por medio de uso de curvas de absorción de nutrimentos. In: Memorias Jornadas de Investigación. San José, Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 183 p.
- BOHN H., MCNEAL B., O'CONNOR G. (1993). Química de Suelos. Limusa. México. 356 pp.
- BORDA O., BARON F., GÓMEZ M. 2007. El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa*) respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. Agronomía Colombiana. 25(2): 273-279.
- BUOL S. 2003. Soil genesis and classification. 5th ed. Iowa State Press, Ames, Iowa. 494 p.
- CABALCETA G., MOLINA E. 2006. Niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3. Agronomía Costarricense 30(2): 31 – 44.
- CASANOVA E. (1991) Introducción a la ciencia de suelo. CDCH. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 393 pp.
- CHAVEZ F. 1986. Enfermedades de palma africana en Ecuador y su combate. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP). Quito, Ecuador. 21 p.

- CHIEW L., RAHMAN Z. 2002. The effects oil palm empty fruit bunches on oil palm nutrition and yield, and soil chemical properties. *Journal of Oil Palm Research*. Vol. 14(2). 1-9.
- CHINCHILLA C., DURAN N. 1998. Manejo de problemas fitosanitarios en palma de aceite. Una perspectiva agronómica. *Revista Palmas* 19: 242 – 256.
- CORLEY R., TINKER P. 2003. *The Oil Palm*. 4 ed. Oxford. Blackwell Science. Reino Unido. 562 p.
- CRUZ-RUIZ E., CRUZ-RUIZ A., AGUILERA-GÓMEZ L. 2012. Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Tierra Latinoamericana* 30(2): 189 – 197.
- CZESCHLIK D. 2005. *Nutrient acquisition by plants*. Springer. Berlin, Alemania. 359 p.
- DA COSTA L., GUEDES I., MORRIS L., DE OLIVEIRA D. 2005. Biogeochemistry of silica phytoliths in agricultura. III Silicon In agriculture Conference. Uberlândia, Brasil. 151 p.
- DATNOFF L., ELMER W., HUBER D. 2007. *Mineral nutrition and plant disease*. American Phytopathological Society - Press. St Paul. USA. 278 p.
- EPSTEIN E. 1999. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 50: 641-664.
- ESPINOSA J., MOLINA E. 1999. Acidez y encalados de los suelos. International Plan Nutrition Institute. Ecuador. 42 p.
- ESPINOSA J. 1996. Relación entre la fertilización mineral, la materia orgánica y los microorganismos del suelo. Instituto de potasa y el fósforo. X congreso nacional agronómico/ II congreso de suelos. Quito, Ecuador. p. 119-128.

- FAIRHURST T., HÄRDTER R. 2012. Palma aceitera. Manejo para rendimientos altos y sostenibles. International Plan Nutrition Institute (IPNI) y International Potash Institute (IPI). Ecuador. 404 p.
- FAO. 1980. La palma de aceite. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Serie mejores cultivos. Roma. 47 p.
- FASSBENDER H., BORNEMISZA E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelo de América Latina. 2 ed. IICA. San José, Costa Rica. 420 p.
- FAUTEUX F., RÉMUS B., MENZIES J., BÉLANGER R. 2005. Silicon and plant disease against pathogenic fungi. FEMS Microbiology Letters. 249(1): 1-6.
- FERRERA R., ALARCON A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. Ciencias Naturales y Agropecuarias 8(2): 175 – 183.
- FORDE S. 1968. The trace element nutrition of oil palm seedlings. Journal of Niger. Inst. Oil Palm Res 5(17): 77 – 88.
- FORSYTHE W. 1980. Física de suelo. Manual de laboratorio. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. 212 p.
- FRANGI P., CASTELNUOVO M., POZZI A., VALAGUSSA M. 2008. A comparison of methods for the analysis of compost-based growing media. Acta Horticulture 779. International Society for Horticultural Science. p. 113-120.
- FREGONI M. 1986. Some aspects of epigen nutrition of grapevines. First International Symposium of Foliar Fertilization by Shering Agrochemical Division. Berlin, Alemania. p. 205 – 210.
- GRAHAM D., WEBB M. 1991. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants, in: Mortvedt J.J., Cox F.R., Shuman L.M., Welch R.M. (Eds.), Micronutrients in Agriculture, 2nd ed., Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. p. 329–370.

- GREWAL H., GRAHAM R., RENGEL Z. 1996. Genotypic variation in zinc efficiency and resistance to crown rot disease (*Fusarium graminearum* Schw. Group 1) in wheat, *Plant Soil* 186 (1): 219–226.
- HARDY F. 1970. Suelos tropicales: pedología tropical con énfasis en América. Herrero Hermanos. México. 270 p.
- HENRY J. 2015. Evaluación de terapias para la recuperación de palmas aceiteras (*Elaeis guineensis* Jacq.) afectadas por la pudrición del cogollo (PC). Tesis de Licenciatura. Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 71 p.
- HEW CK., TOH PY. 1973. The effects of nursery manuring on the growth and nutrition of oil palm seedlings. In: R.L. Weastie y D.A. Earp. *Advances in oil palm cultivation*. The Incorporated Society of Planters. Kuala Lumpur. p. 469.
- HUERTA G., HOLGUÍN F., BENÍTEZ F. TOLEDO J. 2009. Epidemiología de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc.] en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 27:93-105.
- JARAMILLO D. 2011. El Suelo. Origen, propiedades, espacialidad. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. p. 17-38.
- JOLLIFFE I. 2005. Principal Component Analysis. In Everitt, B.S., Howell, D.C. (eds.), *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. 488 p.
- KLEIN C., HURLBUT C. 2003. *Manual de mineralogía*. 4ed. Reverte S. A. Barcelona, España. 679 p.
- LA NACIÓN. 2012. Honduras se consolida como líder regional en producción de Aceite de Palma (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 19 abr.

2013. Disponible en: <http://www.nacion.com/2012-10-08/Economia/honduras-se-consolida-como-lider-regional-en-produccion-de-aceite-de-palma.aspx>.

LAMBERS H., STUART F., PONS T. 1998. Plan Physiological Ecology. Springer. New York, USA. 539 p.

LARCO E. 2005. Desarrollo y evaluación de lixiviados de compost y lombricompost para el manejo de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* M.), en plátano. Tesis de Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 77 p.

LIANG Y., NIKOLIC M., BÉLANGER R., GONG H., SONG A. 2015. Silicon in agriculture. From theory to practice. Springer. New York. USA. 250 p.

LIZCANO A., HERRERA M., SANTAMARINA J. 2006. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Rev. Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura. 6 (2): 167-198.

LOBO A. 2013. Validación de un protocolo para la determinación de silicio (Si) en muestras de suelo y tejidos vegetales. Tesis de licenciatura. Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San Pedro, Costa Rica. 95 p.

LOZADA J., SORIANO P., COSTA M. 2014. Relaciones suelo – Vegetación en una toposecuencia del Escudo Guayanés, Venezuela. Rev. Biología Tropical 62(1): 385 – 408.

LUCAS Y., LUIZAO F., CHAUVEL A., ROUILLER J., NAHON D. 1993. The relation between biological activity of the rainforest and mineral composition of the soils. Science 260:521-523.

MA J., YAMAJI N. 2006. Functions and transport of silicon in plants. Cellular and molecular life sciences. 65(1): 3049-3057.

- MALAVOLTA E. 1986. Foliar fertilization in Brasil. Present and perspectivas. International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin, Alemania. p. 173 – 192.
- MARAFON A., ENDRES L. 2013. Silicon: Fertilization and nutrition in higher plants. Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 56 (4): 380 – 388.
- MARCANO A., RODRÍGUEZ J., MOHSIN M. 2003. Efecto del azufre elemental sobre el pH y la solubilidad de algunos nutrimentos en fosfocomposts. Interciencia 29(9): 504 – 511.
- MARSCHNER P., MARSCHNER H. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Elsevier/Academic Press. Londres, Inglaterra. 651 p.
- MATICHENKOV V., BOCHARNIKOVA E., CALVERT D., SNYDER G. 2000. Comparison study of soil silicon status in sandy soils of south Florida. Soil Crop Sci. Florida. 59:132-137.
- MENDEZ J., BERTSCH F. 2012. El uso de bases de datos en el estudio de la fertilidad de los suelos agrícolas de Costa Rica: Estado Actual y principales cambios en el tiempo (En línea). International Plant Nutrition Institute. IAH8. Latinoamerica. Consultado 04 nov. 2015. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B87AB673F79296C705257B5D006F25FD/\\$FILE/Art%207.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B87AB673F79296C705257B5D006F25FD/$FILE/Art%207.pdf)
- MENGEL K., KIRKBY E., KOSEGARTEN H., APPLE T. 2001. Principles of plant nutrition. 5 ed. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. USA. 851 p.
- MIRANDA E., PANDURO G. 2014. Determinación del tiempo de descomposición del escobajo de palma aceitera (*Elaeis guinensis* Jacq), bajo condiciones ambientales en el distrito de campo verde-provincia de coronel portillo. Revista Científica Tzhoecoen 6(1): 179 – 194.

- MOLINA E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 45 p.
- NATH G. 2015. Regulation of nutrient uptake by plants. A biochemical and molecular approach. Springer. New York, USA. 209 p.
- NEGREROS-CASTILLO P., APODACA-MARTÍNEZ M., MIZE C. 2010. Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera bosques* 16(2): 7-18.
- ODEOLUWA O., ADEOYE O. 2008. Potential of oil palm empty fruit bunch (EFB) as fertilizer in oil palm (*Elaeis guineensis* jacq) nurseries. 16th IFOAM organic world congress (en línea). Italia. Consultado 19 abr. 2010. Disponible en: <http://orgprints.org/view/projects/conference.html>
- OROZCO S. 2008. Biología y manejo integrado de antracnosis en cítricos. Instituto Nacional de Investigación Forestal y Pecuarias. Campo experimental Tecomán. Colima, México. p 2-10.
- ORTIZ R., FERNÁNDEZ O. 2000. Cultivo de palma aceitera. EUNED, San José, Costa Rica. 208 p.
- PILON C., SORATTO R., BROETTO F., FERNANDES A. 2014. Foliar or soil applications of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants. *Agronomy Journal - Crop Ecology y Physiology* 106(6): 2325 - 2334.
- PORTA J., LÓPEZ M., ROQUERO C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 929 p.
- POSSO J. 2010. Evaluación de diferentes dosis de compost y lombricompost aplicado al suelo de vivero de palma aceitera (*Elaeis guineensis*). Tesis de especialista. Universidad Nacional de Colombia. 90 p.
- QUERO E. 2008. La biosilificación proceso biológico fundamental en la productividad vegetal (en línea). Portal de silicio en los sistemas biológicos.

México. Consultado 11 jul 2013. Disponible en: [http://loquequero.com/portal/index.php?option=com\\_content&task=view&id=27&Itemid=1](http://loquequero.com/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=1).

QUESADA G., MÉNDEZ C. 2005. Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas. *Agronomía Tropical (CR)* 35(1): 01-13.

RAMÍREZ F., MUÑOZ F. 2010. Curva de nutrientes para la etapa de vivero de tres materiales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) (en línea). Congreso ecuatoriano de la ciencia del suelo. Santo Domingo, Ecuador. Consultado 19 abr. 2013. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/XIICongreso/Simposios/Nutricion/Magistrales/2.%20Floria%20Ramirez.%20Curva%20materiales%20vivero.%20PALM%20ATICA,%20Costa%20Rica.pdf>

RAYA J., AGUERRE C. 2012. El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *Conciencia tecnológica*. 43(1): 42-46.

REGIL J. 2014. Eficiencia del ácido silicio para favorecer la absorción de fosforo en plantas de palma africana, variedad deli x Nigeria, en etapas de vivero. Tesis de licenciatura. Universidad Rafael Landivaer. Asunción, Guatemala. 57 p.

REYES R., RODRÍGUEZ H., PEÑA E., BASTIDAS S. 2008. Crecimiento de vivero de materiales comerciales de palma aceitera (*Elaeis guinensis* Jacq.) en Tumaco, Colombia. *Rev. CORPOICA – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 9(2): 12 – 18.

ROCHELS B. 2010. Respuesta de la palma de aceite (*Elaeis guinensis*) a la aplicación de biofertilizantes en previvero. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 53 p.



- RODRÍGUEZ C. 1993. Utilización de condiciones climáticas como criterio para programar el combate químico de la antracnosis en mango (*Mangifera indica*) en condiciones del trópico seco de Costa Rica. Tesis Ingeniero Agrónomo, Carrera de Agronomía, Universidad de Costa Rica, Liberia, Costa Rica. p 4-16.
- RODRÍGUEZ D., RAMÍREZ N., GARCÍA J. 2015. Evaluación de la incidencia de la producción de compost usando biomasa de la planta de beneficio, en la huella de carbono del aceite de palma. Estudio de caso. Revista Palmas 36(1): 27 – 39.
- RODRIGUEZ R., JIMÉNEZ E. 2013. Procedimiento para la evaluación de medidas de crecimiento de la hoja 1 y muestreo foliar en plantas de vivero. Boletín Mensual de la Unidad de Investigación de Palma Tica S.A. y Cukra Development Corporation. San José, Costa Rica. 8 p.
- SÁNCHEZ A. 1990. Enfermedades de la palma de aceite en américa latina. Rev. Palmas. 11(4): 5 – 38.
- SÁNCHEZ R., ORDAZ V., BENEDICTO G., HIDALDO C., PALMA D. 2005. Cambios en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricompost de cachaza y estiércol. INTERCIENCIA. 30 (12): 775-779.
- SAVANT N., SNYDER G., DATNOFF L. 1997. Silicon management and sustainable rice production. Adv. in Agr. 58: 151-199.
- SEBASTIAN D., HUGH R., KINSEY C., KORNDORFER G., PEREIRA H., BUCK G., DATNOFF L., MIRANDA S., PROVANCE-BROWLEY M. 2013. A 5-day method for determination of soluble silicon concentrations in nonliquid fertilizer materials using a sodium carbonate – ammonium nitrate extractant followed by visible spectroscopy with heteropoly blue analysis:

Single – Laboratory Validation. Journal of AOAC international 96(2): 251-259.

SEGURA J. 2001. Uso de dos bioensayos para estimar el efecto residual y el valor nutricional de un compost hecho de fibra de racimos vacíos de la palma aceitera (*Elaeis Guineensis* jacq). Tesis Ingeniero Agrónomo, Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 62 p.

SERON H. 2004. Características agronômicas e eficiência de fontes de silício. Universidad Federal de Goiás. Jataí, Brasil. 13 p.

SERRANO R. 2003. Introducción al análisis de datos experimentales: tratamiento de datos en bioensayos. Universitat Jaume I, Castellon de la Plana, España. 189 p.

SOLANO V., ARAUZ F. 1995. Combate de antracnosis en frutos de papaya mediante aplicaciones de fungicidas en el campo en la zona atlántica de Costa Rica. Agronomía Costarricense 19(2): 25-30.

SPOSITO G. 2008. The chemistry of soil. 2 ed. Oxford University Press. USA 344p.

TAIZ L., ZEIGER E. 2006. Fisiología Vegetal. 3 ed. Universitat Jaume. Castellón, España. 583 p.

THONGBAI P., HANNAM R., GRAHAN R., WEBB M. 1993, Interaction between zinc nutritional status of cereals and *Rhizoctonia* root severity. Plant and Soil 151(1):207-214.

TORRES J. 2013. Caracterización morfo-fisiológica de palmas aceiteras (*Elaeis guineensis* Jacq.) afectadas por la pudrición del cogollo (PC) en Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 73 p.

TRINIDAD A., AGUILAR D. 1999. Fertilización foliar un respaldo importante en rendimiento de los cultivos. Revista Terra. 17(3): 247 – 255.

- TSAI S., FILHO F., LIMA G., FRAGGIANI E., SALOMAO R., MARTINATI J., GUZZO S., STAFFOCKER A. 2004. Interações do silício com patógenos e resistência sistêmica induzida em plantas. III Silicon In agriculture Conference, Uberlândia, Brasil. 151 p.
- TSAI S., FILHO F., LIMA G., FRAGGIANI E., SALOMAO R., MARTINATI J., GUZZO S., STAFFOCKER A. 2004. Interações do silício com patógenos e resistência sistêmica induzida em plantas. III Silicon In agriculture Conference. Uberlândia, Brazil. 151 p.
- TURNER P. 1981. Oil palm diseases and disorders. Oxford University Press, Selangor, Malaysia, 280 p.
- ULLOA M., RAMÍREZ F. 2011. Resultado del diagnóstico sobre la necrosis foliar del vivero Coto 49. Boletín Mensual de la Unidad de Investigación de Palma Tica S.A. y Cukra Development Corporation. Costa Rica. 3 p.
- ULLOA M., SERRANO E. 2012. Prueba de sensibilidad in vitro de *Colletotrichum gloeosporioides* y *Curvularia lunata*, principales agentes causales del Complejo de Necrosis Foliar (CNF) a diferentes fungicidas. Boletín Mensual de la Unidad de Investigación de Palma Tica S.A. y Cukra Development Corporation. Cosa Rica. 9 p.
- UMAÑA C., CHINCHILLA C., RICHARDSON D. 1990. Material de desarrollo avanzado en vivero de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) II. Condiciones del sustrato. Turrialba 40 (1): 440 – 451.
- USDA. 2001. Soil quality test kit guide. Soil Quality Institute. Washington, 88 p.
- VARELA S., BASIL G. 2011. Uso de compost en la producción de plantines de especies forestales. Silvicultura en Vivero, Cuadernillo No 4. Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria (INTA). Bariloche, Argentina. 11 p.

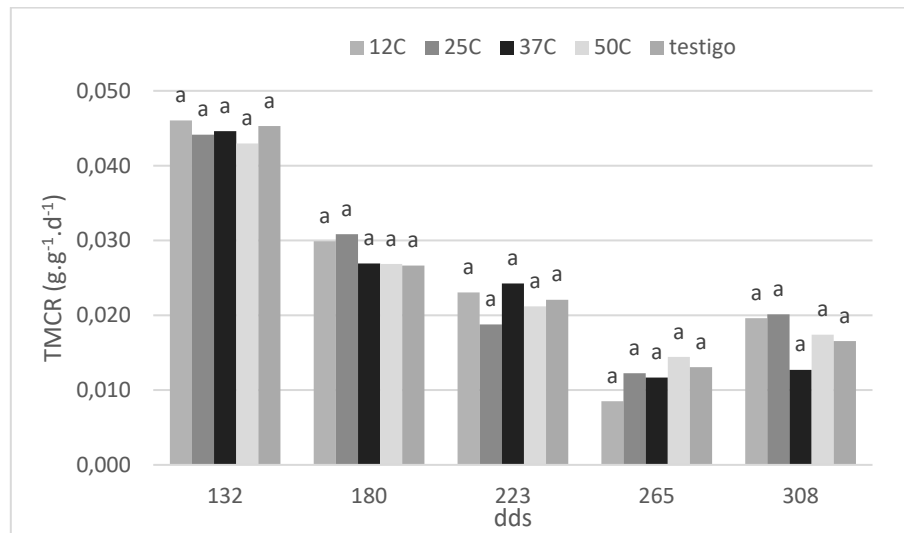
- VELASCO V. 1999. Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. *Rev.Terra* 17(3): 193 – 200.
- YOSHIDA S. 1965 chemical aspects of the role of silicon in physiology of rice plant. *Bulletin of the National Institute of agricultural Science*. 15(1): 1-58
- YOSHIDA S., TANAKA A. 1969. Zinc deficiency of the rice plant in calcareous soils. *Soil Science and Plant Nutrition*. 15(2): 75- 80.
- ZAPATA R. 2004. La química de la acidez del suelo. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. Medellin, Colombia. 207 p.
- ZAVALA M., TUN J., CRISTÓBAL J., RUIZ E., GUTIÉRREZ O., VÁZQUEZ M., MÉNDEZ R. 2005. Control pos cosecha de la antracnosis en papaya y sensibilidad de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Sacc. a fungicidas organosintéticos. *Revista Chapingo, serie horticultura*. 11(2): 251-255.

## ANEXOS

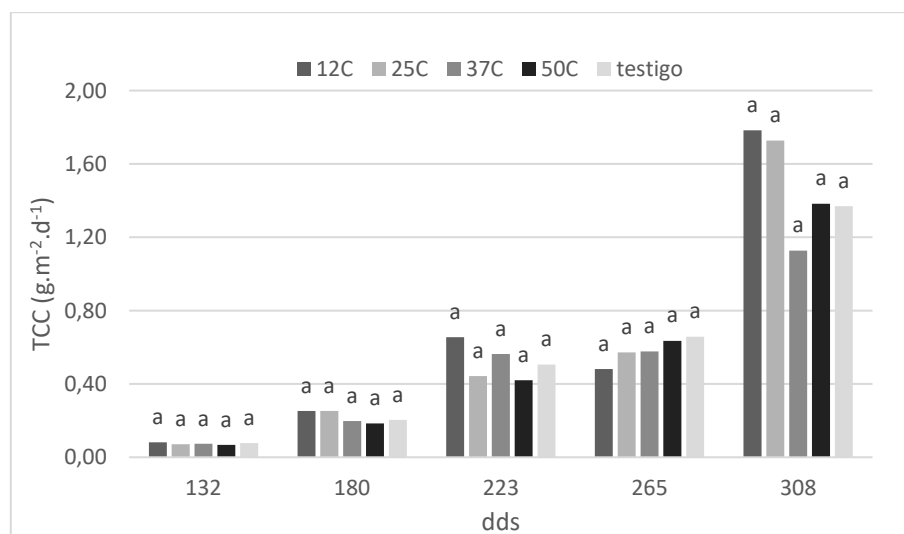
**Anexo 1.** Absorción de nutrimentos en plantas de Palma Aceitera a los 300 dds, tratadas con dosis crecientes de compost de fibra en mezcla con suelo en vivero de palma aceitera.

Tratamientos	N	P	K	Ca	Mg	S	Si
	----- g.planta <sup>-1</sup> -----						
12C	3,46 a <sup>+</sup>	0,34 a	2,52 a	1,50 a	0,42 a	0,40 a	1,48 a
25C	2,68 a	0,31 a	2,38 a	1,35 a	0,42 a	0,35 a	1,35 a
37C	2,65 a	0,29 a	2,12 a	1,12 a	0,35 a	0,31 a	1,29 a
50C	3,19 a	0,30 a	2,30 a	1,27 a	0,37 a	0,34 a	1,20 a
Testigo	2,76 a	0,28 a	2,12 a	1,40 a	0,41 a	0,35 a	1,57 a
Stand. Error	0,43	0,04	0,34	0,19	0,06	0,05	0,21
Adj r <sup>2</sup>	0,68	0,60	0,60	0,67	0,62	0,64	0,66
p - value	0,02	0,07	0,07	0,03	0,05	0,05	0,03
Tratamientos	Al	Fe	Cu	Zn	Mn	B	-
	----- mg.planta <sup>-1</sup> -----						
12C	1382,19 b	134,36 b	4,31 a	5,69 a	12,25 b	4,54 a	-
25C	1341,75 b	129,06 b	4,09 a	4,60 ab	10,33 b	4,25 a	-
37C	1426,18 b	168,00 b	2,90 a	4,03 ab	12,62 ab	4,35 a	-
50C	969,24 ab	111,23 ab	3,47 a	3,56 b	12,71 ab	5,28 a	-
Testigo	796,75 a	84,83 a	3,66 a	3,65 b	17,05 a	5,16 a	-
Stand. Error	236,20	24,15	0,68	0,69	1,97	0,70	-
Adj r <sup>2</sup>	0,80	0,80	0,66	0,76	0,77	0,64	-
p - value	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,01	0,04	-

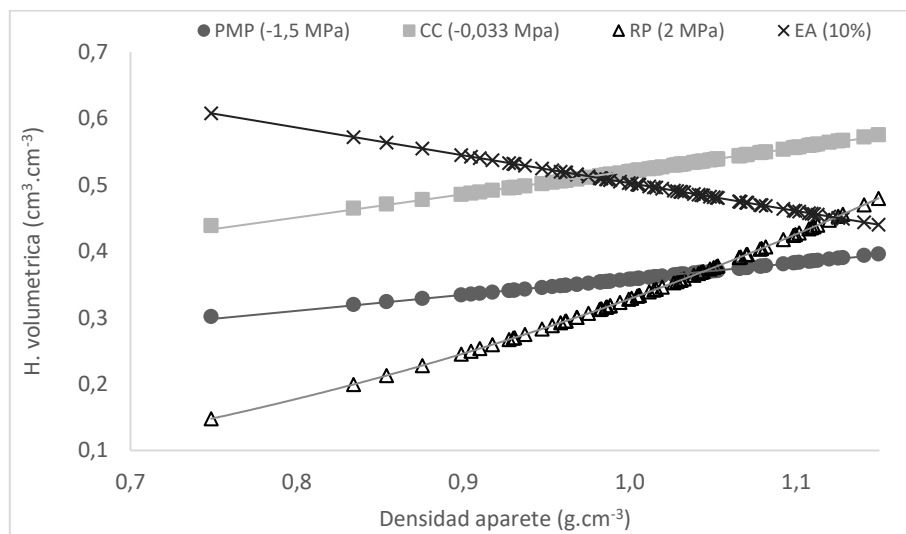
n = 360; <sup>+</sup> Letras distintas denotan diferencia significativa de acuerdo con prueba LSD Test (p.adj= bonferroni p < 0,05) del modelo lineal (LM).



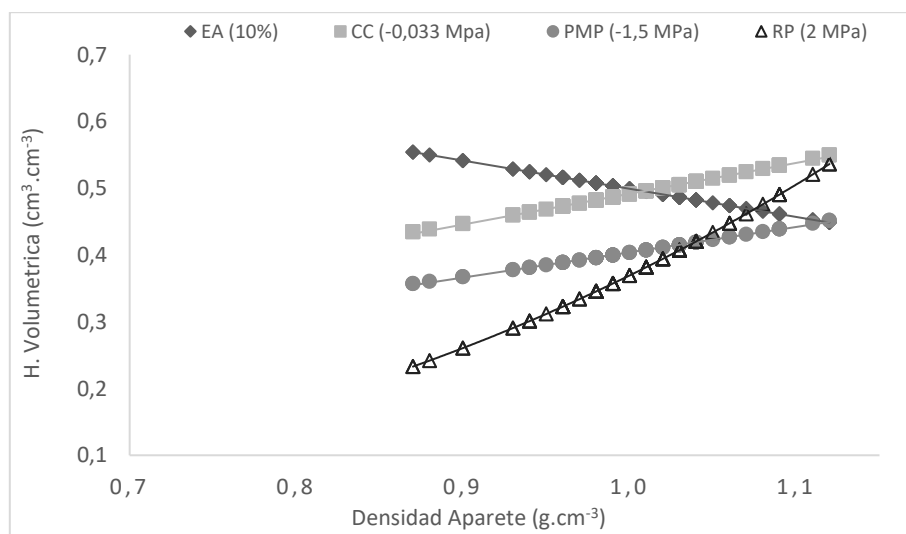
**Anexo 2.** Tasa media de crecimiento relativo en 5 fechas después de siembra en plantas tratadas con distintas dosis de compost de fibra en mezcla al suelo en vivero de palma aceitera.



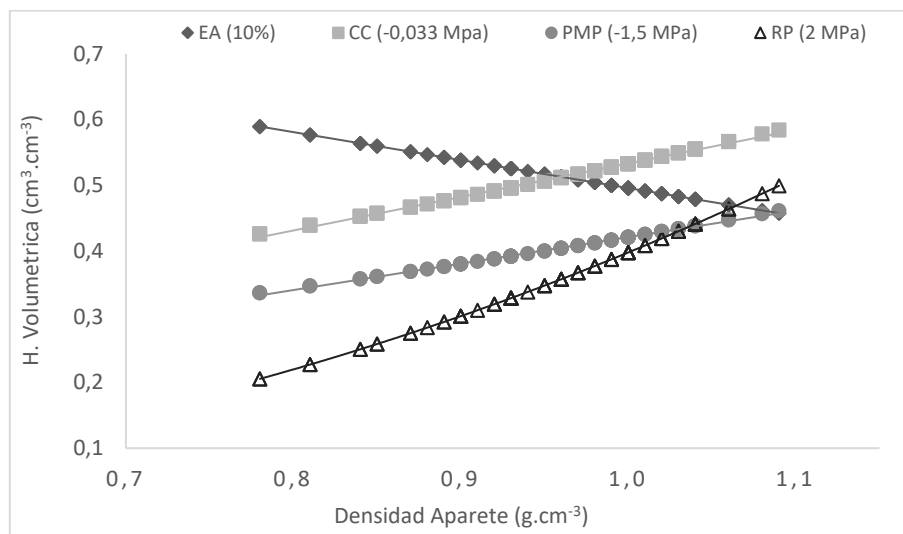
**Anexo 3.** Tasa de crecimiento de cultivo en 5 fechas después de siembra en plantas tratadas con distintas dosis de compost de fibra en mezcla al suelo en vivero de palma aceitera.



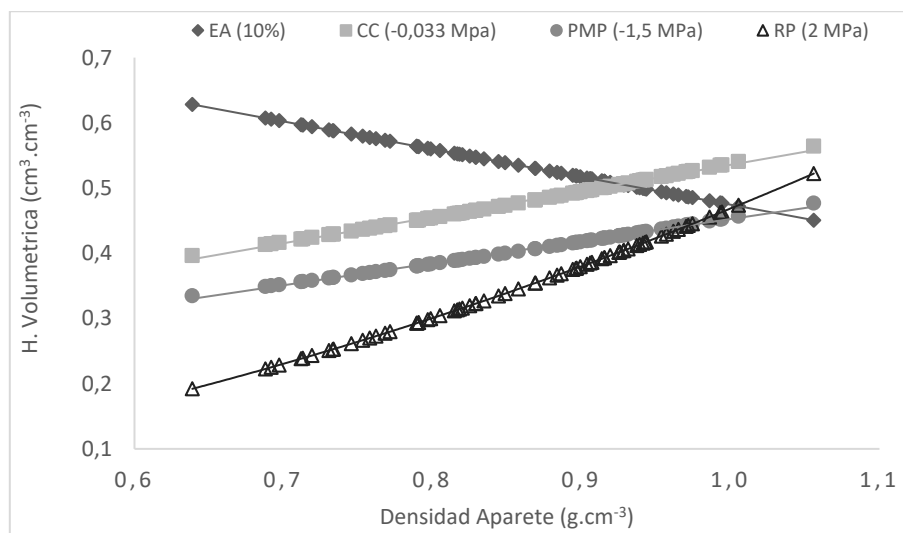
**Anexo 4.** Intervalo hídrico óptimo evaluado en suelos de vivero de palma aceitera durante los 90 y 310 días después de siembra.



**Anexo 5.** Intervalo hídrico óptimo evaluado en mezcla de 12 % de fibra de estopa en suelos de vivero de palma aceitera durante los 90 y 310 días después de siembra.

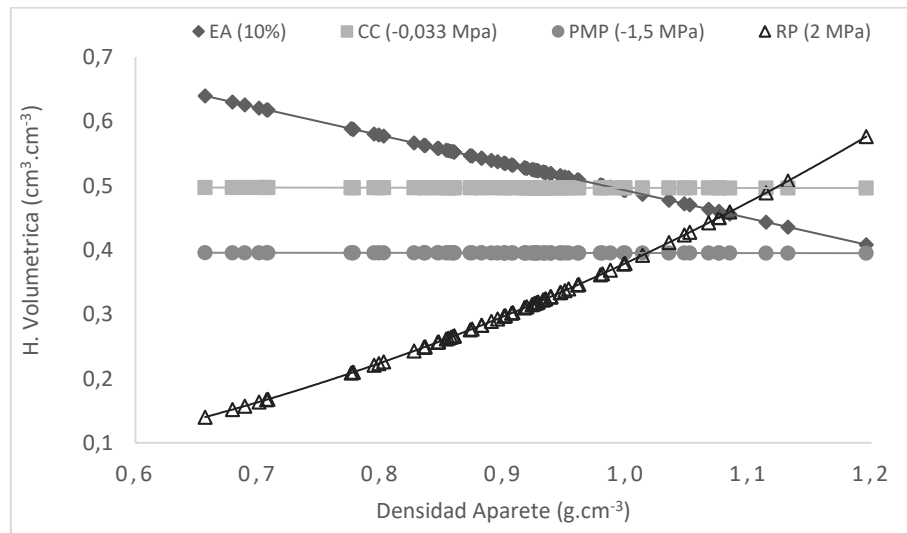


**Anexo 6.** Intervalo hídrico óptimo evaluado en mezcla de 25 % de fibra de estopa en suelos de vivero de palma aceitera durante los 90 y 310 días después de siembra.



**Anexo 7.** Intervalo hídrico óptimo evaluado en mezcla de 37 % de fibra de estopa en suelos de vivero de palma aceitera durante los 90 y 310 días después de siembra.





**Anexo 8.** Intervalo hídrico óptimo evaluado en mezcla de 50 % de fibra de estopa en suelos de vivero de palma aceitera durante los 90 y 310 días después de siembra.

**Anexo 9.** Humedad volumétrica y resistencia a la penetración evaluado en mezcla de fibra de estopa en suelos de vivero de palma aceitera durante los 90, 205 y 310 días después de siembra.

Tratamientos	Hv			Rp		
	90 dds	205 dds	310 dds	90 dds	205 dds	310 dds
<b>Mpas</b>	0,05			0,05		
<b>Testigo</b>	0,57 a	0,42 ab	0,59 a	8,40 a	25,34 a	8,64 a
12C	0,58 a	0,47 b	0,57 a	7,72 a	34,08 a	9,88 ab
25C	0,62 a	0,43 ab	0,59 a	11,00 a	31,85 a	14,34 ab
37C	0,62 a	0,38 a	0,58 a	10,90 a	24,02 a	16,05 ab
50C	0,60 a	0,48 b	0,58 a	11,84 a	33,64 a	17,33 b
<b>Mpas</b>	0,33			0,33		
<b>Testigo</b>	0,42 a	0,37 ab	0,37 ab	25,23 a	40,25 a	27,43 a
12C	0,45 a	0,38 ab	0,41 ab	22,26 a	46,55 a	39,35 a
25C	0,47 a	0,38 ab	0,41 a	19,62 ab	45,91 a	34,98 a
37C	0,46 a	0,41 a	0,38 ab	14,29 b	57,48 a	32,47 a
50C	0,45 a	0,35 b	0,36 b	16,26 b	38,32 a	30,03 a
<b>Mpas</b>	5			5		
<b>Testigo</b>	0,33 b	0,31 a	0,27 b	42,87 a	76,70 a	52,87 a
12C	0,47 a	0,34 a	0,34 a	19,00 b	58,71 ab	43,07 a
25C	0,45 a	0,32 a	0,31 ab	21,39 b	45,05 b	38,72 a
37C	0,48 a	0,33 a	0,36 a	19,50 b	40,35 b	35,62 a
50C	0,46 a	0,34 a	0,34 a	14,68 b	59,96 ab	50,47 a
<b>Mpas</b>	15			15		
<b>Testigo</b>	0,40 a	0,29 b	0,27 c	31,01 a	55,17 ab	41,05 ab
12C	0,44 a	0,38 a	0,33 b	19,56 a	64,52 a	55,21 a
25C	0,47 a	0,34 ab	0,34 b	17,60 a	44,21 ab	46,18 ab
37C	0,45 a	0,33 ab	0,40 a	17,60 a	38,39 b	56,95 a
50C	0,46 a	0,35 a	0,31 bc	16,80 a	40,65 ab	25,42 b

