

**Absorción del Silicio en plantas de papaya (*Carica papaya L.*) híbrido
Pococí cultivadas en invernadero y su respuesta a la aplicación de diferentes
productos comerciales durante la etapa vegetativa.**

Mayra Castro Sánchez.

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADA EN INGENIERÍA
AGRONÓMICA CON ÉNFASIS EN FITOTECNIA.**


**ESCUELA DE AGRONOMÍA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

2017.

Absorción del Silicio en plantas de papaya (*Carica papaya L.*) híbrido Pococí cultivadas en invernadero y su respuesta a la aplicación de diferentes productos comerciales durante la etapa vegetativa.

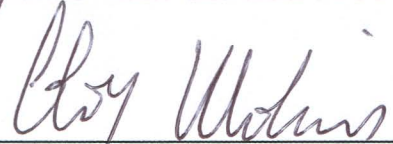
Mayra Castro Sánchez.

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA
AGRONÓMICA CON ÉNFASIS EN FITOTECNÍA



Roger Armando Fallas Corrales. M.Sc

DIRECTOR DE TESIS



Eloy Molina Rojas. M.Sc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



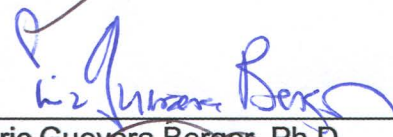
Gilberto Cabalceta Aguilar. M.Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL




Andrés Hernández Pridybailo. Lic

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Eric Guevara Berger. Ph.D

DIRECTOR DE ESCUELA



Mayra Castro Sánchez

SUSTENTANTE

2017.

Agradecimientos

Primeramente, quiero agradecer a los miembros del tribunal Roger Fallas, Eloy Molina, Gilberto Cabalceta y Andrés Hernández, los cuales contribuyeron en gran medida al desarrollo y mejoramiento de la investigación contenida en este estudio, fungiendo como guías y mediadores para alcanzar los objetivos planteados. Se aprecia profundamente las labores realizadas, el tiempo y el esfuerzo invertido para encaminar este emprendimiento.

Seguidamente deseo reconocer el apoyo que me han brindado mis padres, Roberto Castro y Gilda Sánchez, quienes constituyen pilar importante en mi formación personal. Ellos inculcaron en mí valores como la responsabilidad, el compromiso y la dedicación. Asimismo, deseo reconocer que me han instado, de una u otra manera, a superar mis propias capacidades y perseverar ante situaciones difíciles. Del mismo modo, quiero agradecer a mis hermanos Roberto, Jéssika y Javier por propiciar un vínculo de amistad, el cual me ha permitido compartir muchos momentos de alegrías y brindado fuerzas para superar adversidades. También, les agradezco por enseñarme con el ejemplo la consideración, la solidaridad y la lealtad hacia los demás. Igualmente agradecer a mi novio Sergio Fonseca, su apoyo en todo este tiempo rodeado de cambios, por ser esa voz que siempre impulsa a seguir adelante.

Cabe destacar mi profundo agradecimiento al Laboratorio de Suelos y Foliare del CIA por la colaboración brindada, tanto por parte de la entidad como a los funcionarios que en ella laboran. Sin su asistencia las actividades comprendidas en

este estudio no se habrían completado a cabalidad. Por último, pero no menos importante, deseo expresar mi gratitud a las casas comerciales Eurosemillas y Suplidora Verde, quienes generosamente conformaron las bases para el análisis de los resultados presentados en esta investigación.

A todos y cada uno de ellos les digo de corazón muchas gracias

Resumen

Se evaluó la absorción de diferentes productos con Si en papaya (Carica papaya) híbrido Pococí durante el desarrollo vegetativo de las plantas, en invernadero ubicado en el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Se utilizaron tres productos comerciales, Stand SKH, Fertilil y Enhance KCS con tres dosis para cada uno catalogadas como baja, media y alta según los proveedores. Las fuentes se aplicaron al suelo y follaje durante tres meses. En el momento de cosecha de las plantas, se realizaron medidas morfológicas como diámetro basal, peso de la planta y número de hojas. Además, se realizaron análisis químicos de suelos, análisis foliar y de Si para cada tratamiento. Como resultado del ensayo, debido al método de determinación de Si en las plantas, no se mostró diferencias significativas en el desarrollo y absorción de elementos en ninguno de los tratamientos. Concluyendo que la fertilización con Si para el caso de papaya no es fundamental, debido a que no se logró evidenciar mejoras en aspectos como disponibilidad de nutrientes o desarrollo de las plantas.

Índice de contenidos

Índice de cuadros	iii
Índice de anexos	vi
1. Introducción	1
2. Antecedentes	4
2.1 Cultivo de la Papaya	4
2.2 Generalidades del Si	6
2.3 Si en el suelo.....	8
2.4 Silicio en las plantas.....	12
3. Objetivos.....	17
3.1 Objetivo general	17
3.2 Objetivos específicos	17
4. Materiales y métodos.....	18
4.1 Establecimiento del ensayo.....	18
4.2 Encalado del suelo.....	19
4.3 Siembra del cultivo de papaya	21
4.4 Experimento 1: Absorción de Si en papaya mediante aplicación de fuentes vía foliar	22
4.5 Experimento 2: Absorción de Si en papaya mediante aplicación de fuentes al suelo	23
4.6 Evaluaciones.....	24
4.6.1 Análisis de suelo.....	24
4.6.2 Análisis foliar.....	24
4.6.3 Análisis estadístico	25
5. Resultados y discusión	26
5.1 Disponibilidad de nutrimentos en el suelo, pH y acidez intercambiable y su relación con los tratamientos de Si aplicados en plantas de papaya híbrido Pococí.....	26
5.2 Concentración foliar de Si en la evaluación de su absorción en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí y su influencia en otros nutrimentos....	33
6. Conclusiones	44

7. Literatura citada	45
8. Anexos.....	56

Índice de cuadros

Cuadro 1. Características químicas de los productos comerciales a base de Si utilizados en el ensayo sobre absorción de Si por las plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí.	18
Cuadro 2. Resultado del análisis químico de suelos realizado en el Laboratorio de Suelos y Foliar del CIA previo al ensayo de aplicación de Si en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí en invernadero.	19
Cuadro 3. Resultado del análisis químico realizado en el Laboratorio de Suelos y Foliar del CIA dos meses después de la aplicación de dolomita en el suelo, para el ensayo de absorción de Si en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí cultivadas en invernadero.....	21
Cuadro 4. Tratamientos del experimento de absorción de Si mediante su aplicación foliar en papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí durante la fase de crecimiento vegetativo.....	22
Cuadro 5. Tratamientos del experimento de absorción de Si en papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí mediante su aplicación de fuentes al suelo, durante la fase de crecimiento vegetativo del cultivo.....	24
Cuadro 6. Valor de pH y acidez en el suelo, obtenido de la aplicación de los productos comerciales Fertilisil y Stand SKH, en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí resultado de ANOVA.	27
Cuadro 7. Valor de pH y acidez en el suelo como respuesta a la aplicación de productos comerciales con Si en el follaje en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí.	27
Cuadro 8. Contenidos de Ca, Mg y K intercambiables en solución extractora KCl-Olsen modificada posterior a la aplicación de tratamientos de Si al suelo en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí resultado del ANOVA.	28
Cuadro 9. Contenidos de Ca, Mg y K intercambiables en suelo, determinados con solución extractora KCl-Olsen modificada, posterior a la aplicación de tratamientos con Si al follaje de plantas de papaya(<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí resultado del ANOVA.....	29

Cuadro 10. Concentración de P, Zn, Cu y Mn (mg L ⁻¹) determinados con solución extractora KCl-Olsen en tratamientos al suelo con productos comerciales a base de Si en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí establecidas en invernadero durante la etapa vegetativa.	31
Cuadro 11. Concentración de P, Zn, Cu y Mn extraíble en el suelo con solución Olsen modificada, posterior a la aplicación foliar de productos comerciales que contienen Si en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí establecidas en invernadero.	32
Cuadro 12. Datos obtenidos de ANOVA y LSD Fisher para la evaluación morfológica de las plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí, establecidas en invernadero, sometidas a diferentes productos y dosis comerciales de Si.....	35
Cuadro 13. Concentración de Si (mg kg ⁻¹), resultado de la aplicación de productos comerciales en tres dosis (baja, media y alta) a plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí establecidas en invernadero en etapa vegetativa utilizando la metodología establecida por Lobo (2013).	37
Cuadro 14. Concentración promedio de Si (mg kg ⁻¹), resultado de la aplicación de productos comerciales en tres dosis (baja, media y alta) a plantas de papaya híbrido Pococí establecidas en invernadero en etapa vegetativa.	38
Cuadro 15. Concentración de N, P, Ca, Mg, K y S (%) en papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí sometida a tratamientos de Si mediante aplicación al suelo durante la etapa vegetativa, analizados con ANOVA y LSD Fisher según corresponda...	39
Cuadro 16. Concentración de N, P, Ca, Mg, K y S (%) en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí, sometidas a tratamientos de Si mediante aplicación al suelo durante la etapa vegetativa en invernadero analizados con ANOVA y LSD Fisher según corresponda.....	41
Cuadro 17. Absorción de N, P Ca, Mg, K y S (mg/planta) en papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí sometida a tratamientos de Si mediante aplicación foliar durante la etapa vegetativa establecidas en invernadero.	41
Cuadro 18. Concentración de Cu, Zn, Mn y B (mg Kg ⁻¹) en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí, resultado de la aplicación en el suelo de los productos comerciales Fertilil y Stand SKH en tres dosis (baja, media y alta).	42

Cuadro 19. Concentración (mg kg⁻¹) de los elementos Cu, Zn, Mn y B en el tejido vegetal, obtenidos de la aplicación de las fuentes Stand SKH y Enhance KCS al follaje realizados en el Laboratorio de Suelos y Foliare de la Universidad de Costa Rica a plantas de p papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí..... 43

Índice de anexos

Anexo 1. Concentración de los productos comerciales y su respectiva composición química, utilizados en la evaluación de absorción en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí.....	56
Anexo 2. Contenido de SiO ₂ y de Si (g) de los diferentes productos comerciales y las dosis utilizadas en el ensayo de absorción de Silicio en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí.....	56
Anexo 3. Medidas resumen para pH, acidez, Ca, Mg, K (cmol (+) L ⁻¹), P, Zn, Cu, Mn mg L ⁻¹), prueba de Shapiro-Wilks obtenido del ANOVA, mediante el programa InfoStat de los resultados del análisis de suelo de productos aplicados al mismo en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí.....	57
Anexo 4. Medidas resumen para pH, acidez, Ca, Mg, K (cmol (+) L ⁻¹), P, Zn, Cu, Mn mg L ⁻¹), prueba de Shapiro-Wilks obtenido del ANOVA, mediante el programa InfoStat de los resultados del análisis de suelo de productos aplicados al follaje en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí.....	59
Anexo 5. Medidas resumen para Numero de hojas, diámetro basal, peso seco de planta, N, P, Ca, Mg, K, S (%) y Cu, Zn, Mn, B y Si (mg Kg ⁻¹), con su respectiva prueba de Shapiro-Wilks obtenido del ANOVA, mediante el programa InfoStat de los resultados del análisis foliares de productos aplicados al suelo en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí.....	61
Anexo 6. Medidas resumen para Número de hojas, diámetro basal, peso seco de planta, N, P, Ca, Mg, K, S (%) y Cu, Zn, Mn, B y Si (mg Kg ⁻¹), con su respectiva prueba de Shapiro-Wilks obtenido del ANOVA mediante el programa InfoStat, de	

los resultados del análisis foliares de productos aplicados al follaje en plantas de papaya (<i>Carica papaya</i>) híbrido Pococí.....	64
--	----

1. Introducción

La fertilización con silicio (Si) ha tomado un notable interés en la agricultura en los últimos años. Considerando que, no es esencial para el desarrollo de las plantas, se ha catalogado como un elemento benéfico que aumenta la resistencia de los cultivos desarrollados en condiciones de estrés bióticos, abióticos y provee además resistencia a enfermedades, al ataque de organismos patógenos e insectos fitófagos (Ahmed et al 2012, Raya y Aguirre 2012). Cabe destacar, que los mecanismos de defensa pertenecen a un proceso de inmovilización, el cual incluye la acumulación de lignina, compuestos fenólicos, quitinasas y peroxidasas (Anderson 2012), de igual manera procuran la creación de una barrera protectora.

Así mismo, se han encontrado efectos favorables del uso de Si como fertilizante de plantas. Por ejemplo, Hso-Freng y Yann-She (1978) señalan que entre las décadas de los años de 1950, 1960 y la década de 1970, principalmente en Japón, China y Corea, obtuvieron resultados positivos sobre el rendimiento y el desarrollo de siembras de arroz a causa de la aplicación del Si. Dentro de las ventajas descubiertas, se menciona la resistencia en la pared celular lo cual disminuye el ingreso de hongos fitopatógenos en las células, por ende la segregación de enzimas que liberan los hongos tampoco daña la pared celular y dificulta la infección del cultivo (Ma y Yamaji 2008). Dichos factores sumados conllevan a un mejor desarrollo de

las plantas, ya que aquellas que crecen en suelos pobres de Si son más susceptibles a organismos fitopatógenos (Epstein 1994), su tamaño se ve afectado negativamente y disminuye su área fotosintética en consecuencia su rendimiento y calidad de productividad se afectan de igual manera.

Si bien se han descubierto gran cantidad de beneficios mediante investigaciones del uso de Si en diversos cultivos, los estudios de absorción de dicho elemento en papaya son escasos. En una amplia revisión, solamente fue encontrado el estudio de dos Santos (2011), quien trabajando con el cultivar Sunrise Solo no encontró diferencias significativas en los frutos obtenidos de plantas fertilizadas con diversas fuentes de Si, en relación con el testigo sin aplicación. Dicho estudio se enfocó en la evaluación de parámetros de calidad de la fruta, tales como sólidos solubles, azúcares solubles totales, azúcares reductores y acidez titulable (% de ácido cítrico); únicamente se encontró diferencias para la variable concentración de carotenoides en el fruto.

Cabe señalar que en Costa Rica algunos productores de papaya han mostrado gran interés en los posibles beneficios de la aplicación de Si, incluso algunos productores comentan haber obtenido efectos positivos de la aplicación de dicho elemento en plantaciones comerciales de papaya. Sin embargo, para el cultivar “Pococi” no han sido establecidos los estudios que demuestren su absorción. De modo que, es importante conocer el efecto de las aplicaciones de Si sobre otros factores

que podrían repercutir en el desarrollo de las plantas de papaya. Ejemplo de lo anterior es la disminución de la severidad de enfermedades, la disponibilidad de otros nutrimentos para la absorción, el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, la resistencia a plagas, que en conjunto ocasiona un mejor rendimiento del cultivo.

De manera que antes de desarrollar investigaciones las cuales den respuesta a las preguntas relacionadas a la productividad del cultivo, desarrollo en condiciones de estrés, mejora de las propiedades física y químicas del suelo, entre otros aspectos asociados a la aplicación de Si, es indispensable determinar si la planta de papaya lo asimila. A su vez, es importante discernir cuál o cuáles productos de los que se comercializan en el mercado costarricense podrían ser efectivos para su absorción en dicho cultivo. El objetivo de este trabajo fue determinar si la planta de papaya cv. "Pococi" es capaz de absorber el Si y comparar el efecto de la aplicación de diferentes fuentes comerciales de Si disponibles en el mercado nacional.

2. Antecedentes

2.1 Cultivo de la Papaya

La papaya (*Carica papaya* L.) es una planta herbácea gigante originaria de América Central, perteneciente a la familia Caricaceae. Actualmente, se siembra en la mayoría de los países tropicales y subtropicales del mundo (Storey 1976). Mientras que a nivel nacional abarca extensiones pequeñas, en comparación a cultivos extensivos como el banano, piña, café, caña de azúcar y palma. No obstante, en los últimos años con el desarrollo de nuevos híbridos como “Pococí” ha incrementado su área y se ha convertido en un producto de exportación. Según la Secretaria Ejecutiva de planificación Sectorial Agropecuaria para el 2015 se establecieron más de 1000 hectáreas, las cuales se componen en su mayoría de pequeños y medianos productores de los cantones de Guácimo, Pococí, Parrita y San Carlos (Bogantes et al 2011).

Cabe destacar que la papaya es de gran demanda nutrimental, por ejemplo Bertsch (2003) indica cantidades de fertilizante (N, P, K) que deberían ser agregadas a las plantaciones para obtener un determinado rendimiento. Dicha información junto con lo reportado por otros autores (Cunha y Haag 1980, Kumar et al 2010, Brito Neto et al 2011) señalan que los elementos de mayor importancia por el cultivo son el N y el K, sin embargo el P, Ca y B son elementos de gran consumo e importancia para el desarrollo de la plantación de esta fruta. De igual manera, Ruggiero

(1988), Awada y Long (1971) destacan la importancia de la interacción entre algunos de estos nutrientes, donde por ejemplo la relación N/K, afecta en gran medida la producción en cuanto a rendimiento y calidad de fruto que se desee alcanzar. Por otra parte indican que una relación elevada de estos elementos resulta en un crecimiento excesivo del área foliar, disminuye la calidad de los frutos, los cuales se desarrollan más distanciados y disminuye su calidad sensorial. Por consiguiente, la mencionada necesidad de N, probablemente esté relacionada a su función dentro de la planta, ya que según algunos autores al combinarse este elemento con C, H, O y en ocasiones con S forma aminoácidos, aminoenzimas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides, bases nitrogenadas y proteínas (Marschner 1989, Jones 1994).

Actualmente en Costa Rica se han realizado algunos ensayos sobre la respuesta a diferentes nutrientes en el cultivo, con el propósito de reformar los programas de fertilización de las plantaciones (Fallas et al 2014). Sin embargo, estos estudios se han enfocado en macronutrientes, dejando de lado el efecto de micronutrientes, los cuales en otros países han mostrado respuesta a su aplicación, por ejemplo Zn y B (Singh et al 2010). Cabe destacar que según Bertsch (2003), el Zn y el B son elementos limitantes en una gran cantidad de suelos del país. Así como no ha sido abordada la temática de fertilización, específica para el híbrido de Pococí con macro y micronutrientes a nivel nacional, tampoco han sido evaluados los efectos de algunos nutrimentos que se consideran benéficos, tales como el Si.

2.2 Generalidades del Si.

Existen elementos que no es posible incluirlos dentro de la clasificación de nutrimentos esenciales pues bien, no cumplen con algunos de los supuestos que conlleva este concepto y que pueden ser consultados en Marschner (1989). Este es el caso del Si, que es catalogado como elemento benéfico y no esencial en el desarrollo de las plantas (Ahmed et al 2012, Raya y Aguirre 2012). No obstante, el Si es el segundo elemento más abundante en la litosfera con un 27,7%, precedido por el oxígeno con un 47,4%. El Si se encuentra en su mayoría como SiO₂ (Sommer et al 2006). Si bien, el Si puede ser asimilado por las plantas, también debe estar disponible en la solución del suelo como H₄SiO₄, reacción que se lleva a cabo a partir de la precipitación, descomposición del material vegetal y presencia de microorganismos (Cornelis et al 2011, Conley 2002).

Por otra parte, el Si se transporta a través de las raíces laterales mediante mecanismos activos o pasivos de absorción (Cornelis et al 2011), que facilitan su movimiento a través de las membranas celulares de las raíces. Las plantas a su vez se han clasificado como acumuladores altos, intermedios o no acumuladores que dependen de la absorción activa, pasiva o nula respectivamente. En ese sentido, se menciona que cultivos como la col china (*Brassica rapa*), el trébol carmesí (*Trifolium incarnatum*), el café (*Coffea*), las cebollas verdes (*Allium cepa*), los pimientos (*Capsicum*), los rabanitos (*Raphanus sativus*) y los tomates (*Solanum lycopersicum*) pueden concentrar más Si en sus raíces

que en sus brotes (Lewin y Reimann 1969, Carré-Missio et al 2009, French-Monar et al 2010 y Huang et al 2011).

Existe una amplia variedad de artículos enfocados en el estudio de plantas que destacan en la clasificación de acumuladoras, con contenidos que van desde 10 hasta 100 g kg⁻¹ de Si en peso seco, y la mayoría son monocotiledóneas, como el trigo, la caña de azúcar, el arroz y la cebada (*Hordeum vulgare*) (Liang et al 2007, Ma et al 2001, Ma y Takahashi 2002). Al contrario, para la papaya no existe un estudio específico que señale la cantidad de Si extraído por la planta, a pesar de que se encuentran disponibles ensayos sobre el efecto del Si en cultivos donde citan entre otros aspectos funciones como activación de mecanismos de defensa, ejemplo de ellos es el desarrollo de la avena en condiciones de estrés tanto biótico como abiótico (Loaiza 2003).

En cuanto al cultivo del arroz, existe una gran problemática debido a plagas, desordenes nutricionales, enfermedades y malezas que no permiten un desarrollo eficiente del mismo. Por ello, en diferentes zonas de Colombia como Huila, Tolima y Llanos Orientales se ha observado que mediante la aplicación de productos con Si, ha disminuido el volcamiento de las plantas e incrementado en el peso de los granos, además de aumentar la absorción de P en el tejido foliar (Calderón 1980). No obstante, otras investigaciones como la realizada en Costa Rica por Furcal y Herrera (2013) en la cual se evaluaron dos productos comerciales, uno aplicado al suelo y otro foliar en arroz (*Oryza sativa*), no mostraron

efectos sobre la fertilidad del suelo, ni sobre la incidencia de enfermedades y plagas.

La literatura documentada acerca de los beneficios del Si en las plantas es amplia. Su principal enfoque se basa en la fertilización con el objetivo de procurar una mayor productividad aunque le afecten condiciones de estrés (Epstein 1999, Li et al 2007). Los mecanismos inducidos por el Si para mejorar la resistencia de las plantas a las tensiones bióticas y abióticas tienen lugar en el suelo, en el sistema radicular y en el interior de la planta. Específicamente en el cultivo de papaya, la información referente al papel del Si es incierta y los estudios además son muy escasos (Dos Santos 2011).

2.3 Si en el suelo

El Si es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, su contenido en el suelo varían en función de la mineralogía propia de cada uno de ellos. De esta manera son los basálticos los que generalmente presentan menores concentraciones de Si respecto a aquellos en los que dominan los minerales de cuarzo (Tubaña y Heckman 2015). Su concentración en el suelo puede variar desde un 5 hasta un 40% (Matichenkov y Bocharnikova 2001). Del mismo modo, este elemento ha sido identificado en más de 370 minerales (Haynes 2014), sin embargo en la mayoría de estos minerales el Si se encuentra en formas no disponibles para la planta y esto se acentúa en suelos del orden Ultisol y Oxisol, donde el proceso de

meteorización se encuentra en un estado avanzado, por lo cual ha existido una pérdida de bases y silicatos (Foy 1992). Epstein (1994) menciona que dentro de todas las formas de Si que existen en el suelo, el ácido monosilícico es la forma asimilable por las plantas, la cual es obtenida desde la solución del suelo y posteriormente trasladado vía xilema.

Por otro lado, Tubaña y Heckman (2015) mencionan que los diferentes compuestos de silicio en el suelo pueden ser agrupados en tres fracciones, una sólida, en la que destacan desde formas amorfas por ejemplo alófana, hasta formas cristalinas. Dicha fracción se sitúa entre las más grandes y su solubilidad afecta las concentraciones que se presentan en la solución del suelo, lugar donde la planta adquiere el elemento. Otra fracción es la adsorbida a la fracción sólida, la cual puede contener en su mayoría silicatos adheridos a minerales de Al y Fe (Tubaña y Heckman 2015). Esta segunda, presenta mayor poder de adsorción cuando dominan los minerales de Al sobre los de Fe, los cuales controlan la concentración de H_4SiO_4 presente en la solución del suelo. La última fracción corresponde al Si presente en la solución del suelo, donde el H_4SiO_4 es la forma biodisponible del elemento, forma que predomina en suelos con valores de pH menores a 8 (Tubaña y Heckman 2015).

Además, para los valores de pH que normalmente son encontrados en suelos de Costa Rica, inferiores a 10, tomando como referencia un estudio realizado en Rusia, las concentraciones de Si en solución normalmente podrían variar entre 0,09

y $23,4 \text{ mg L}^{-1}$ (Volkova 1980, citado por Tubaña y Heckman), lo cual es bastante bajo en comparación con las cantidades de Si total que pueden tener los suelos. De ahí la importancia que podrían tener aplicaciones de este elemento en diferentes cultivos en Costa Rica, ya que como menciona Volkova (1980), la disponibilidad de este elemento es mayor con incrementos en los valores de pH. Probablemente relacionado a una baja disponibilidad del Si en solución, en algunos cultivos han sido observados efectos benéficos de aplicaciones del elemento. Sin embargo, no se tienen claras las cantidades que deben ser suministradas para obtener dichos beneficios, ya que existe gran variabilidad entre plantaciones y condiciones de suelos. A grandes rasgos se menciona que entre mayor sea la cantidad de silicio soluble, mejores podrían ser los beneficios para la planta y el suelo (Mitani et al 2005).

Entre los beneficios que han sido descritos a nivel de suelo producto de las aplicaciones de Si destacan el incremento en la capacidad de intercambio catiónico, precipitación de Al mediante la formación de aluminosilicatos y precipitación de metales pesados, además de la formación de nuevos minerales con capacidad de adsorber nutrientes (Matichenkov y Bocharnikova 2001). Los efectos sobre la corrección de los problemas de acidez y la consecuente toxicidad por Al están relacionados a varios mecanismos. Por ejemplo el ácido monosilícico puede incrementar el pH del suelo, adsorberse en los hidróxidos de Al o pueden adsorber Al en las superficies de sílica que se forman, además de los efectos propiamente sobre la planta

en la tolerancia al Al (Matichenkov y Bocharnikova 2001). También los mismos autores mencionan que las aplicaciones de silicatos podrían mejorar la eficiencia en el uso de otros nutrientes como el P, ya que sus aniones pueden desplazar parte de los fosfatos que se encuentran adsorbidos a los hidróxidos de Al y Fe.

Además, Aguirre et al (2007) mencionan que el Si mineral promueve la colonización por microorganismos simbióticos como hongos y bacterias, de las raíces por algas, líquenes y micorrizas, las cuales mejoran la fijación y asimilación de N y P, entre otros minerales. A causa de lo anterior, podría reducir la lixiviación de N, P y K, en las áreas de cultivo agrícola, actúa como mejorador de la estructura del suelo, puede disminuir los problemas de lixiviación de nutrimentos en los suelos arenosos y los almacena en una forma disponible para la planta, tales como coloides (Borda et al 2007). Respecto a las propiedades físicas, en un estudio realizado por Kornörfner et al (2002) combinando los factores de humedad del suelo y dosis crecientes de Silicato de calcio en dos suelos meteorizados de Brasil, se observó que conforme aumentaba la cantidad de Silicato, mayor era el contenido de Si en el suelo y además era proporcional al extraído del mismo, aumentando el rendimiento y la tolerancia de las plantas al déficit hídrico durante su desarrollo. Así mismo, el arroz responde de forma positiva a las aplicaciones de silicatos, debido a esto en Japón alrededor de un 25% del área cultivada recibe al año aplicaciones de Silicatos con dosis desde 0,5 hasta 1,0 t ha⁻¹ (Filho et al 2000). Actualmente, en la agricultura la aplicación de productos con Si va enfocado como una estrategia de control de

enfermedades y corrección de parámetros críticos del suelo que ocasionan acidez a corto plazo, en procura de mejorar el desarrollo del cultivo, incrementar la cantidad de raíces vivas lo que podría aumentar la absorción de otros nutrientes en los sistemas de producción agrícola (Cornelis et al 2011).

2.4 Silicio en las plantas

Como mencionan Ma y Yamaji (2008), debido a que el Si es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre y por tanto las plantas están expuestas a altas cantidades de este elemento en su principal medio de crecimiento (el suelo), es común observar acumulación de importantes cantidades de Si en algunas plantas. Por consiguiente, absorben el Si desde la solución del suelo en la forma de H_4SiO_4 (Tubaña y Heckman 2015) y es transportado de manera activa y pasiva desde las raíces hacia distintos órganos de la planta por medio de la transpiración, potencial hídrico que lo conduce hasta el sistema vascular y por el intercambio entre las células (Ma et al 2006, Carneiro et al 2010). Igualmente, Tubaña y Heckman señalan que existe un papel muy importante de transportadores del elemento, ya que influyen en la capacidad de incrementar la absorción que podría tener la planta únicamente por transporte activo.

Se sabe que la concentración de Si es variable en todos los cultivos debido a las diferencias de asimilación y transporte entre las especies, por ejemplo Mitani y Ma

(2005) evaluando los cultivos de arroz, pepino y tomate encontraron concentraciones de Si en la savia de 20 veces más concentrada para el arroz respecto al pepino y de 100 veces más concentrada en el arroz respecto al tomate, lo cual evidencia al arroz como una planta acumuladora del elemento. De manera general se ha encontrado que las monocotiledóneas asimilan mucho más el Si que otras plantas, por ejemplo en trigo (*Triticum*), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y cebada (*Hordeum vulgare*), cultivos en los que han sido observadas concentraciones que rondan entre 5 y 10 gramos por kilogramo de materia seca (Liang et al 2007, Ma et al 2001, Ma y Takahashi 2002). Por otra parte, en dicotiledóneas como la soya (*Glycine max*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*), han sido observadas concentraciones de Si inferiores a 5 gramos por kg de materia seca (Ma et al 2001, Knight y Kinrade 2001, Tahir 2012, da Silva Lobato et al 2013).

La eficacia de absorción de Si en arroz y otras monocotiledóneas está relacionado a transportadores del elemento. Ma et al (2001) y Ma y Yamaji (2008) mencionan que se han identificado dos genes en arroz que codifican transportadores de Si (*Lsi1* y *Lsi2*), los cuales se encargan respectivamente del transporte de dicho elemento desde la solución externa hasta las raíces de las células (*Lsi1*) y del transporte desde las células de la raíz hasta el apoplasto (*Lsi2*). Ma y Yamaji (2015) enfatizan que es necesario el acople de estos dos genes para una absorción eficiente del elemento. Otros ejemplos de cultivos en que han sido encontrados transportadores mediando en la absorción de Si son el maíz (*Zea mays*) y la cebada

(*Hordeum vulgare*). En los cuales el H_4SiO_4 es tomado de la solución externa por un transportador de entrada (*ZmLsi1/HvLsi1*, respectivamente) localizados en la capa de epidermis y corteza y transferido a la endodermis por transporte simpláscico. Mientras que como se mencionó en el caso del arroz (*Oryza sativa*), el H_4SiO_4 es asimilado de la solución externa por *OsLsi1* en las células de la epidermis y liberada al apoplasto del aerénquima por *OsLsi2* (Mitani y Ma 2005, Ma et al 2006, 2007).

Epstein (1994) indica que el Si se deposita en las células del lumen, espacios intercelulares o capas externas, lo cual concuerda con Tubaña y Heckman (2015), quienes señalan que una vez absorbido el H_4SiO_4 , es transportado por el xilema y depositado preferentemente en las células abaxiales de la epidermis como sílica gel inmóvil. Es allí donde puede ejercer algunos de los efectos que se han mencionado como benéficos para las plantas como la resistencia hacia enfermedades e insectos fitófagos. Existen dos mecanismos que han sido propuestos para explicar la reducción en la incidencia de enfermedades y ataque de insectos en las plantas como efecto de una mayor absorción de Si. El primero es que actúa como barrera física, ya que el Si se deposita en la cutícula formando una doble capa Si-cutícula e inclusive en la pared celular, lo cual afecta los procesos de infección y penetración de los estiletes de los insectos (Tubaña y Heckman 2015, Han et al 2016). El Segundo mecanismo propuesto es que el Si soluble, induce en la planta un aumento en la producción de metabolitos secundarios como fenoles y fitoalexinas, lo cual activa

mecanismos de defensa en la planta (Tubaña y Heckman 2015), regulación diferencial de genes (Fateux et al 2006) y aumento de la producción de compuestos volátiles que atraen enemigos naturales de los insectos herbívoros (Han et al 2016).

Respecto al aumento de la tolerancia al estrés biótico y abiótico son numerosos los ejemplos encontrados en la literatura, una recopilación de varios trabajos en los cuales se observan los efectos del Si sobre el estrés biótico y abiótico puede ser consultado en Ma (2004). La presencia del elemento también ha sido relacionada a la tolerancia al estrés abiótico, para lo cual ayuda a soportar cambios bruscos de temperatura, actúa como un regulador en la absorción del NO_3 ayudando a aumentar el contenido en la planta (Epstein 1994). En condiciones de campo, este elemento promueve el desarrollo y crecimiento del cultivo y, por ende, mantiene la productividad al incrementar la disponibilidad de elementos esenciales como el P, Ca, Mg, K y B (Hodson y Evans 1995).

Algunos autores también señalan efectos positivos de la aplicación de Si sobre los efectos de la acidez del suelo en diferentes cultivos. Por ejemplo Kidd et al (2001), trabajando con plántulas de maíz (*Zea mays*), lograron determinar que hubo una mayor exudación de compuestos fenólicos y flavonoides, que colaboraron en la tolerancia al Al de la variedad Sikuni. También Wang et al (2004), encontró que el silicio actúa en la formación de aluminosilicatos en el apoplasto del ápice radicular, por lo que se reduce la movilización del Al en la planta. Respecto al estrés hídrico, el Si ha sido relacionado con un aumento de la resistencia de la planta ante esta

condición. Por ejemplo, Hattori et al (2005) encontraron beneficios como un aumento de la resistencia a la sequía en el cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L.). A pesar de esto, los autores relatan que en dicho estudio no fueron encontradas diferencias en la producción de materia seca relacionadas a dicho efecto.

Por otra parte, existen estudios desarrollados en cultivos catalogados como “acumuladores de Si”, en donde no han sido constatados los efectos benéficos que se mencionan en otras investigaciones empleando este tipo de cultivos. Por ejemplo, Furcal y Herrera (2013), trabajando en un suelo aluvial de la zona norte de Costa Rica, no encontraron efectos sobre variables de fertilidad del suelo, resistencia a plagas y enfermedades ni en la calidad y rendimiento en el arroz (var. CR4477).

Debido a la respuesta diferencial entre cultivos y la demanda de información sobre la respuesta de la papaya a la aplicación de Si, se realizó un ensayo en invernadero con el fin de determinar si el híbrido de papaya Pococí (el cual es el más utilizado en el país) absorbe dicho elemento mediante la aplicación de diferentes fuentes, dosis y métodos de aplicación. Esta información es necesaria para determinar si el cultivo transporta el Si y determinar si es factible el desarrollo de otros estudios relacionados al posible papel del Si sobre otros factores que afectan la producción en el cultivo, tales como calidad de frutos, rendimiento, resistencia a enfermedades y resistencia a estrés abiótico, beneficios que han sido relatados en otros cultivos.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar si la planta de papaya (*Carica papaya* L.) tiene capacidad de absorber el Si, y si las aplicaciones de este elemento resultan en algún efecto benéfico para el cultivo.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar si las plantas de papaya en etapa vegetativa pueden absorber el Si aplicado.
- Determinar la efectividad en la absorción de tres productos comerciales que contienen Si en el cultivo de papaya, aplicados en sus respectivas dosis comerciales.
- Determinar el efecto de diferentes fuentes de Si sobre el desarrollo de la planta de papaya mediante diferentes modos de aplicación.

4. Materiales y métodos

4.1 Establecimiento del ensayo.

El ensayo se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, Montes de Oca, San José, Costa Rica. Se evaluaron distintas fuentes de Si mediante la aplicación de los siguientes productos comerciales: Fertilil (24% SiO₂) de la casa comercial Eurosemillas, Enhance KCS (11% SiO₂) y Stand SKH (20% SiO₂) de Suplidora Verde). Así mismo, se utilizaron dos métodos distintos de aplicación (al suelo y al follaje) y tres dosis para cada producto y método utilizado. Con la intención de esclarecer si el cultivo de papaya absorbe y transporta el Si aplicado tanto en el suelo como en el follaje. Las dosis utilizadas fueron las recomendadas para el cultivo por las casas comerciales, según se detalla (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características químicas de los productos comerciales a base de Si utilizados en el ensayo sobre absorción de Si por las plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí.

Producto	Casa comercial	%p/v					
		SiO ₂	CaO	K ₂ O	MgO	S	Otros
Stand SKH	Suplidora Verde	20	-	18	-	-	Ácido húmico
Enhance KCS	Verde	11	7	5	-	-	
Fertilil	Eurosemillas	%p/p					
		24	-	-	24	12	-

4.2 Encalado del suelo

Para el ensayo se utilizó un suelo de la región de Tayutic de Turrialba, Cartago, Costa Rica. Debido que a nivel nacional no se cuenta con el servicio de análisis de Si en suelos, se optó por utilizar un suelo con bajo contenido de bases. Como mencionan Stallard (1985, 1992) y Raymo Ruddiman (1992) en el proceso de meteorización de suelos se da una pérdida tanto de bases como de silicatos, por lo cual se eligió el suelo de dicho distrito ya que presentaba un contenido de bases por debajo de los niveles críticos aptos para el establecimiento de la mayoría de cultivos. Suponiendo analógicamente que este también podría tener un bajo contenido de silicatos y por tanto una posible respuesta a la absorción del Si por las plantas como efecto de la aplicación de los productos comerciales.

El cuadro 2 se muestra el resultado del análisis de suelos, incluyendo la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo previo al estudio, estos datos fueron obtenidos según análisis en el Laboratorio de Suelos y Foliarés del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA).

Cuadro 2. Resultado del análisis químico de suelos realizado en el Laboratorio de Suelos y Foliarés del CIA previo al ensayo de aplicación de Si en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí en invernadero.

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS													
Solución Extractora:	pH	cmol(+) L ⁻¹					%	mg L ⁻¹					cmol(+) kg ⁻¹
KCl-Olsen Modificado	H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	CIC
ID USUARIO	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5	CIC
Suelo de Tayutic	5,1	0,38	0,77	0,13	0,09	1,37	28	3	0,7	9	254	4	20,94

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada. CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez+Ca+Mg+K. SA=Porcentaje de Saturación de Acidez = (Acidez/CICE)*100. CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

Los valores de pH, Ca, Mg y K fueron inferiores a los niveles críticos, por lo que se procedió a realizar un encalado del suelo con cal dolomita en una proporción equivalente a 2 t ha⁻¹. Esta aplicación se realizó de forma manual, utilizando carretillo para la mezcla del suelo y la enmienda, además de una pala para distribuir el suelo en los potes de 7 litros, con el fin de corregir de manera homogénea los problemas de acidez presentes en el suelo y aportar Ca y Mg para evitar alguna deficiencia de estos elementos que podría limitar el desarrollo de las plantas y enmascarar el efecto de los tratamientos de Si aplicados. Posteriormente, se instaló un sistema de riego por goteo de cuatro mangueras, cada uno con capacidad de dispensar 1 lph (litros por hora) adaptado a las necesidades del cultivo, con lo que se proporcionaban cinco riegos al día, dos en la mañana (7 am, 9 am) uno a las 12 md y dos en la tarde (3 pm y 7 pm) cada uno durante un minuto lo que le proporcionaba a la planta 85 ml de agua al día. Con la finalidad de mantener el suelo a capacidad de campo. Dos meses después de haber realizado el proceso de encalado del suelo se efectuó otro análisis químico (Cuadro 3), con el que se verificó si la corrección de los problemas de acidez y de deficiencias de bases se había efectuado con la dosis utilizada.

Cuadro 3. Resultado del análisis químico realizado en el Laboratorio de Suelos y Foliare del CIA dos meses después de la aplicación de dolomita en el suelo, para el ensayo de absorción de Si en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí cultivadas en invernadero.

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS												
Solución Extractora:	pH	cmol ₍₊₎ L ⁻¹					%	mg L ⁻¹				
KCl-Olsen Modificado	H ₂ O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	5.5	0.5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
Suelo encalado	5,7	0,75	2,61	0,99	1,90	6,25	12	3	1,1	21	231	3

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada. CICE=Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez+Ca+Mg+K. SA=Porcentaje de Saturación de Acidez = (Acidez/CICE)*100. CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.

4.3 Siembra del cultivo de papaya

En el proceso de siembra del ensayo se utilizaron plantas del híbrido Pococí, colocando una planta por pote. Las plantas se adquirieron en Almacigos tropicales (Almatropics) ubicados en San Rafael de Alajuela, las mismas tenían 45 días desde la siembra que fue realizada en sustrato de peat moss, perlita y 20% de fibra de coco. Seguidamente, fueron colocadas en el invernadero en el que se realizó el ensayo y se dejaron dos días bajo riegos por aspersión, para disminuir el estrés ocasionado por las condiciones de transporte y cambios de temperatura. Se efectuó el trasplante y se programaron riegos de manera que las plantas se desarrollaran a capacidad de campo, con cinco riegos diarios de un minuto cada uno (7 am, 9 am, 12 md, 3 pm y 7 pm) mediante un sistema de riego por goteo.

Por último, la aplicación de las fuentes seleccionadas para los tratamientos se iniciaron 15 días después de la siembra y dichas aplicaciones se repetían cada 15

días. En el caso de los productos de aplicación foliar las dosis utilizadas se detallan en el Cuadro 5 y el producto líquido de aplicación al suelo se detallan en el cuadro 4. Por otro lado, el producto granular de aplicación al suelo (Fertilizante) se realizó en una sola aplicación, ocho días después del trasplante. El ensayo se llevó a cabo durante los meses de mayo a noviembre del 2015.

4.4 Experimento 1: Absorción de Si en papaya mediante aplicación de fuentes vía foliar

El ensayo consistió en un factorial con 2 niveles del factor fuente de Si y 3 niveles del factor dosis de Si, más un testigo absoluto (sin aplicación de Si), con 3 repeticiones, para un total de 21 unidades experimentales mediante un diseño irrestricto al azar.

Cuadro 4. Tratamientos del experimento de absorción de Si mediante su aplicación foliar en papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí durante la fase de crecimiento vegetativo.

Tratamiento	Dosis			Testigo
	Dosis 1 (D ₁)	Dosis 2 (D ₂)	Dosis 3 (D ₃)	
Enhance KCS (Si ₁)	2,5 ml	3,0 ml	3,5 ml	T1
Stand SKH (Si ₂)	2,5 ml	3,0 ml	3,5 ml	

En donde Si₁ y Si₂ corresponden a las fuentes comerciales Stand SKH y Enhance KCS, respectivamente y D₁, D₂ y D₃ representan las dosis, 2,5 (baja); 3,0 (media) y 3,5 (alta) ml por planta, equivalentes a 5, 6 y 7 L ha⁻¹ respectivamente,

estas aplicaciones se realizaron 15 días después del trasplante y fueron repetidas cada dos semanas, durante un periodo de tres meses.

4.5 Experimento 2: Absorción de Si en papaya mediante aplicación de fuentes al suelo

Para este experimento fueron utilizadas dos fuentes de Si y dos métodos de aplicación. En el primer caso se empleó una fuente granular al suelo, la cual se realizó una semana después del trasplante en las dosis de 10 , 20 y 30 g de producto comercial por planta, dosis que equivalen aproximadamente a 20, 40 y 60 Kg ha⁻¹ del fertilizante y fueron catalogadas como baja, media y alta, respectivamente. Por otra parte, la aplicación de la fuente de Si líquido al suelo se realizó cada dos semanas, utilizando las dosis 2,5 (baja); 3,0 (media) y 3,5 (alta) ml por planta equivalentes a 5, 6 y 7 L ha⁻¹ del producto, las cuales también fueron catalogadas por la casa comercial como dosis baja, media y alta respectivamente, tomando como parámetro de cálculo una densidad de 2000 plantas por hectárea. Las evaluaciones se realizaron durante tres meses mediante la aplicación directa al suelo de los productos comerciales y fueron suspendidas dos semanas antes de realizar la cosecha de las plantas para los análisis correspondientes. El detalle de tratamientos puede ser observado en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Tratamientos del experimento de absorción de Si en papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí mediante su aplicación de fuentes al suelo, durante la fase de crecimiento vegetativo del cultivo.

Tratamientos	Dosis			Testigo
	Dosis 1 (D ₁)	Dosis 2 (D ₂)	Dosis 3 (D ₃)	
Fertilisil (Si ₁)	10 g	20 g	30 g	T1
Stand SKH (Si ₂)	2,5 ml	3,0 ml	3,5 ml	

4.6 Evaluaciones

4.6.1 Análisis de suelo

Una vez finalizado el ensayo se tomó una muestra de cada una de ellas se analizó por triplicado en el Laboratorio de Suelos y Foliar del CIA. A su vez, individualmente se les realizó el análisis químico de suelos, para esto se utilizó la extracción en la solución KCl-Olsen modificado, con el objetivo de observar si las aplicaciones de Si modificaron la disponibilidad de algún nutriente para las plantas o si tuvo algún efecto sobre variables como acidez y el pH.

4.6.2 Análisis foliar

Al final del ensayo, se colectó la planta completa, se secó en estufa a 80° C, se tomó una muestra de 0,5 g la cual se digirió con solución de HNO₃ (65%) y HF (48%) posteriormente se realizó la lectura de las concentraciones de N, P, Ca, Mg, K, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B en ICP-OES. Otra muestra de 0,5 g se digirió utilizando la

metodología de Lobo (2013), que consiste en colocar el material en vasos de teflón con una mezcla de 10 ml de ácido nítrico (HNO₃) 65% y 1 ml de ácido fluorhídrico (HF) 48-51%. Los vasos se cierran de manera hermética para aumentar la presión. Al final de la digestión, la muestra se trasvasó a un balón aforado de 100 ml de plástico (evita contaminación del vidrio) de donde se trasvasó a un vial de plástico y posteriormente se realizó la lectura en el ICP-OES Para cada tratamiento además se cuantificó el peso seco de las hojas, peso seco de raíz, peso seco y el diámetro basal del tallo, con el fin de establecer relaciones entre los tratamientos y su respuesta en la producción de biomasa y variables morfológicas.

4.6.3 Análisis estadístico

Los resultados de peso seco de las hojas, diámetro basal del tallo, concentración de elementos en suelo y follaje, concentración y absorción de Si en el follaje fueron sometidos a análisis de variancia posterior a la comprobación de los supuestos de dicho análisis y la comparación entre tratamientos fue realizada por medio de la prueba de LSD Fisher ($p > 0,05$), utilizando el programa estadístico InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

5. Resultados y discusión

5.1 Disponibilidad de nutrimentos en el suelo, pH y acidez intercambiable y su relación con los tratamientos de Si aplicados en plantas de papaya híbrido Pococí.

Como se mencionó con anterioridad, debido a que en el país actualmente no se ofrece un análisis que permita considerar la disponibilidad de Si para las plantas, no fue posible medir el efecto directo de los tratamientos sobre esta variable. A pesar de esto, mediante análisis del suelo con la solución extractora KCl-Olsen modificado se cuantificó la disponibilidad de otros nutrimentos en cada uno de los tratamientos de Si aplicados. En efecto, un análisis de suelos brinda información cualitativa del estado actual del mismo, en contenido de macro y micronutrimentos, cantidad de materia orgánica disponible para la planta y la fertilidad está asociada al pH y acidez (Molina y Cabalceta 1996).

En lo que respecta a pH y la acidez intercambiable los tratamientos aplicados al suelo (Cuadro 6) y al follaje (Cuadro 7) no mostraron diferencias significativas al realizar los ANOVA, por lo que no se puede discernir si, para estos aspectos, alguno de los productos comerciales crea ventaja en su aplicación. Se debe tener presente que la acidez en el suelo trae problemas en el manejo del cultivo ya que disminuye la disponibilidad de nutrimentos como Ca, Mg, K y P, además solubiliza elementos tóxicos para la planta como Al y Mn (Espinoza y Molina 1999). Cabe destacar que,

el efecto sobre esta variable pudo haber sido enmascarado por la corrección inicial de acidez del suelo mediante la aplicación de dolomita, según descrito en sección de materiales y métodos.

Cuadro 6. Valor de pH y acidez en el suelo, obtenido de la aplicación de los productos comerciales Fertisil y Stand SKH, en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí resultado de ANOVA.

Tratamiento	Dosis	pH	cmol(+) L ⁻¹
			Acidez
Testigo		6,23	0,12
Fertisil	10,0 g	6,03	0,12
	20,0 g	6,03	0,12
	30,0 g	6,07	0,12
Stand SKH	2,5 ml	6,43	0,13
	3,0 ml	6,27	0,12
	3,5 ml	6,57	0,11
p-valor		0,1544	0,5549

Cuadro 7. Valor de pH y acidez en el suelo como respuesta a la aplicación de productos comerciales con Si en el follaje en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí.

Tratamiento	Dosis (ml)	pH	cmol(+) L ⁻¹
			Acidez
Testigo		6,23	0,12
Enhance KCS	2,5	6,00	0,11
	3,0	6,50	0,10
	3,5	6,00	0,12
Stand SKH	2,5	5,87	0,12
	3,0	6,27	0,11
	3,5	6,00	0,12
p-valor		0,0846	0,2857

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

Por otra parte, en el contenido de Ca intercambiable en el suelo, resultado de la aplicación de los tratamientos al mismo (Cuadro 8), ninguno de los productos

comerciales presentó diferencias significativas entre sí. Los datos que se observaron al realizar los ANOVA (Cuadro 8, Anexo 3) no revelaron diferencias entre los tratamientos ni tampoco en el caso de la aplicación al follaje, aun cuando uno de los productos comerciales en su composición lo posee, como es el caso Enhance KCS (Anexo1). Al contrario el Mg y K, extraídos de la solución del suelo sí presentan diferencias significativas para el caso de Fertilil y Stand SKH. Sin embargo, estas no pertenecen al efecto directo del Si en la fertilización sino que corresponden al contenido presente en las fuentes ya que poseen un 24% de Mg en el primero y 18% de K en el segundo (Anexo 1).

Cuadro 8. Contenidos de Ca, Mg y K intercambiables en solución extractora KCl-Olsen modificada posterior a la aplicación de tratamientos de Si al suelo en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí resultado del ANOVA.

Tratamiento	Dosis	cmol(+) L ⁻¹		
		Ca	Mg	K
Testigo		5,01	2,32 d	1,43 c
	10,0 g	5,59	2,99 c	1,74 c
Fertilil	20,0 g	4,91	3,89 b	1,94 bc
	30,0 g	5,14	4,67 a	1,81 bc
	2,5 ml	4,74	2,42 cd	1,89 bc
Stand SKH	3,0 ml	4,67	2,27 d	2,35 ab
	3,5 ml	5,44	2,59 cd	2,71 a
p-valor		0,7276	0,0001	0,0061

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

Por otra parte, los resultados de Mg y K en los tratamientos aplicados al follaje (Cuadro 9) no mostraron diferencias, a pesar de haber utilizado productos que

en su concentración poseen estos elementos. A pesar de que el método de aplicación es un indicador de mayor disponibilidad de los mismos y denotando que al suministrar un producto con Mg o K, según sea el caso, este si fue evidente en el análisis con diferencias pequeñas pero existentes. Con la aplicación de Si al suelo, el contenido de elementos tóxicos para la planta como Al, Fe, Mn y Zn, causantes de la acidez disminuyen y a su vez aumenta la disponibilidad de elementos primordiales en el desarrollo, rendimiento y calidad del producto de las plantas (Horna y Muñoz 2007). Para el caso de estas evaluaciones indirectas del elemento en el suelo, resultado de la aplicación de tratamientos con Si no fue posible determinar si favoreció alguno de los tratamientos o dosis y la respuesta corresponde, como antes se mencionó, a la presencia en el material utilizado.

Cuadro 9. Contenidos de Ca, Mg y K intercambiables en suelo, determinados con solución extractora KCl-Olsen modificada, posterior a la aplicación de tratamientos con Si al follaje de plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí resultado del ANOVA.

Tratamiento	Dosis ml	cmol(+) L ⁻¹		
		Ca	Mg	K
Testigo		5,01	2,32	1,43
Enhance KCS	2,5	4,62	2,41	1,51
	3,0	5,64	2,74	2,14
	3,5	5,36	2,80	2,17
Stand SKH	2,5	5,14	2,78	2,03
	3,0	4,12	2,02	1,95
	3,5	4,46	2,37	2,08
p-valor		0,2740	0,2789	0,1230

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

En relación al P, algunos autores si mencionan un aumento en su disponibilidad producto de las aplicaciones de silicatos al suelo (Epstein y Bloom, 2005, Hodson y Evans 1995, Sawarkar y Pathak 1985). En el presente estudio esto no ocurrió, ya que como se muestra en el Cuadro 10 las diferencias entre tratamientos no fueron significativas. Regil (2014), estudiando el efecto del Si sobre la absorción de P en algunos suelos, encontró que las aplicaciones de silicio inclusive presentaron resultados negativos sobre la absorción de P, por lo que no siempre se podría relacionar una aplicación de Si a una mayor disponibilidad de P. Como lo mencionan Ma et al (2001) a través de ensayos de campo de larga duración, desarrollados en la Estación Experimental Rothamsted en Inglaterra y contrario a lo mencionado por Regil (2014) sobre ensayos de larga duración, si observó un efecto benéfico del Si sobre la disponibilidad del P para las plantas, específicamente en condiciones en las que no se realizó aplicación de P y cuando el mismo se encuentra en una condición limitante. En el caso de esta investigación, al ser un ensayo de corta duración y con aplicación de fertilizante fosfatado, es posible que esto no permitiera observar un efecto del Si aplicado sobre una mayor disponibilidad del P en un lapso reducido.

Cuadro 10. Concentración de P, Zn, Cu y Mn (mg L^{-1}) determinados con solución extractora KCl-Olsen en tratamientos al suelo con productos comerciales a base de Si en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí establecidas en invernadero durante la etapa vegetativa.

Tratamiento	Dosis	mg L^{-1}			
		P	Zn	Cu	Mn
Testigo		24,00	1,17	15,33	2,00 b
	10,0 g	20,33	1,17	15,33	2,67 b
Fertilizil	20,0 g	24,67	1,30	16,33	4,00 a
	30,0 g	26,33	1,17	16,33	4,00 a
	2,5 ml	17,00	1,10	16,00	3,00 ab
Stand SKH	3,0 ml	29,00	1,37	16,33	2,33 b
	3,5 ml	19,33	1,33	16,00	2,67 b
p-valor		0,4809	0,7937	0,7020	0,0120

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

Respecto a los productos de aplicación foliar, al igual que ocurrió con los productos de aplicación al suelo, ninguno de los tratamientos incrementó la disponibilidad de P. Inclusive el Enhance KCS en su dosis baja mostró resultados inferiores al testigo (Cuadro 11). Ma y Takahashi (1990, 1991), reportan que el Si no disminuye la capacidad de absorción de P en los suelos y que en casos en que se ha observado una mayor asimilación de P en el follaje es a causa de una mayor capacidad de translocación del P por las plantas. Cabe destacar que esta mayor translocación de P se ha observado en condiciones de P limitantes y donde no se ha realizado la aplicación de mismo para solventar su deficiencia. En el presente expe-

rimento, la aplicación foliar de Si en uno de los tratamientos inclusive presentó valores de P en Olsen-modificado menores respecto al testigo sin aplicación (Cuadro 11).

Cuadro 11. Concentración de P, Zn, Cu y Mn extraíble en el suelo con solución Olsen modificada, posterior a la aplicación foliar de productos comerciales que contienen Si en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí establecidas en invernadero.

Tratamiento	Dosis (ml)	mg L ⁻¹			
		P	Zn	Cu	Mn
Testigo		24,0	1,17	15,33	2,00b
Enhance KCS	2,5	17,33	1,13	16,67	3,67 a
	3,0	19,67	1,27	15,67	3,00 ab
	3,5	23,67	1,30	15,67	4,00 a
Stand SKH	2,5	20,67	1,40	15,67	3,00 ab
	3,0	18,00	1,03	16,00	2,33 b
	3,5	22,00	1,17	16,33	2,33 b
p-valor		0,1879	0,5272	0,5285	0,0493

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

Los micronutrientes (Zn, Cu y Mn), a pesar de estar en el suelo en pequeñas cantidades, son indispensables para el desarrollo del cultivo (Abreu et al 1996). Respecto a estos elementos y su relación con la aplicación de Si, el Zn y el Cu no presentaron diferencias significativas en los valores detectados de elementos extraídos del suelo (Cuadros 10 y 11), independientemente de sus dosis o modos de aplicación. Si bien, el Si no mostró efecto alguno en los resultados obtenidos del Zn, se debe recalcar la importancia de este en la nutrición de los cultivos, debido a la participación en actividades metabólicas de la planta (Cakmak 2000). La deficiencia

de Zn ocasiona clorosis en las hojas, disminuye el tamaño de la lámina foliar lo que conlleva a menor área fotosintética disponible (Bityutskii et al 2014 y Gu et al 2012).

Para el caso del Mn (Cuadros 10 y 11) el efecto de la aplicación de productos que contienen Si, mediante aplicación al suelo y al follaje, su comportamiento no mostró una tendencia concluyente, aunque se presentaron diferencias estadísticamente significativas para Mn, no siguió un patrón claro respecto a un producto en específico o al incremento en la dosis de los productos evaluados. Al no haber sido posible realizar un análisis de Si al suelo, se realizó una valoración con el fin de determinar si la aplicación de estos productos comerciales afectó la disponibilidad de otros elementos para los distintos tratamientos. Como se observó es difícil generalizar y determinar qué producto o dosis presentó una mejor respuesta, ya que las pruebas estadísticas no mostraron diferencias en su mayoría y en algunos de los tratamientos podrían ser atribuibles a la adición de ese elemento con la aplicación del producto, ya que los productos utilizados no solamente contienen Si.

5.2 Concentración foliar de Si en la evaluación de su absorción en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí y su influencia en otros nutrientes.

Al follaje se le realizaron análisis del contenido de Si a cada planta y los datos observados no dejan discernir si en alguno de los tratamientos las plantas lograron o no absorber el Si. Tampoco permitió determinar si alguno de estos tratamientos

fue superior o no a otro, esto debido a la gran variabilidad encontrada para las distintas repeticiones de cada tratamiento (Cuadro 13). La aplicación de productos con Si, más allá de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, busca promover un mejor desarrollo de las plantas, aún en condiciones de estrés y a su vez que la resistencia a condiciones adversas no sean un factor limitante para disminuir el rendimiento del cultivo. Por ello, la aplicación de estos productos además se enfoca en estimular el crecimiento y la acumulación de materia seca (Epstein y Bloom 2005, Emrich et al 2011). Aun cuando se realiza medidas morfológicas a la planta (Cuadro 12), que permitan observar algún tipo de comportamiento diferente del que se refleja en los resultados no fue posible, una vez más, determinar una mejor respuesta. Es decir la fertilización con Si no influyó en un incremento de materia seca comparado contra el testigo.

Contrario a la hipótesis alternativa, el testigo fue quien mostró mayor número de hojas y diámetro basal. No obstante, en la cantidad de materia seca fue inferior a otros tratamientos tales como Enhance SKH y Fertisil en las dosis medias. Por ende, todas las características favorecedoras por parte del Si quedan por fuera de lugar en estos tratamientos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Datos obtenidos de ANOVA y LSD Fisher para la evaluación morfológica de las plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí, establecidas en invernadero, sometidas a diferentes productos y dosis comerciales de Si.

Tratamiento	Dosis	# Hojas	Diámetro basal	Peso seco (g/planta)
Stand SKH-Suelo	2,5 ml	13,00	1,33 c	9,33
	3,0 ml	12,33	1,57 bc	7,67
	3,5 ml	12,00	1,50 bc	7,33
Fertilizante	10,0 g	13,00	1,80 ab	9,67
	20,0 g	13,33	1,67 ab	10,00
	30,0 g	12,00	1,57 bc	9,00
p-valor		0,1149	0,0065	0,2896
Enhance KCS	2,5 ml	14,67 a	1,83	7,67 b
	3,0 ml	10,67 b	1,40	12,67 a
	3,5 ml	12,33 a	1,67	4,33 c
Stand SKH-Foliar	2,5 ml	14,33 a	1,83	7,00 b
	3,0 ml	15,00 a	1,90	5,33 bc
	3,5 ml	14,33 a	1,80	3,00 c
p-valor		0,0268	0,1054	0,0039
Testigo		15,00 a	1,95	9,25 b

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

Como fue explicado en la sección de materiales y métodos, la metodología de análisis de Si foliar consta de tres repeticiones de una misma muestra a nivel de laboratorio (Cuadro 13). Lo anterior se debe a que existe una gran variabilidad en el contenido de nutriente en las diferentes partes de la planta (Carneiro et al 2010, Ma y Yamaji 2006). Los resultados de la concentración de Si concuerdan con esta gran variabilidad documentada por los autores mencionados anteriormente, ya que para los diferentes tratamientos no fue posible observar diferencias ni patrones en la concentración del elemento. En consecuencia, lleva a pensar en dos posibles explicaciones al fenómeno de gran variabilidad; la primera es que los métodos de análisis

utilizados no son lo suficientemente precisos y exactos para determinar diferencias en las concentraciones normalmente encontradas para el cultivo de papaya, ya que una misma muestra inclusive fue repetida varias veces y por triplicado, sin lograr disminuir la variabilidad en el análisis. Lobo (2013) menciona en su estudio que este método no es apropiado para superiores a los 2000 mg kg⁻¹. La segunda hipótesis se basa en suponer que es necesario un equipo de análisis de mayor precisión y exactitud, como podría ser un ICP-MS, además de posibles modificaciones en el método de preparación de la muestra.

Con respecto al método de análisis de Si utilizado en la planta (Lobo 2013), cabe destacar que es la primera vez que se emplea para el cultivo de papaya a nivel de investigación. Por lo tanto, se desconocían sus concentraciones normales y se obviaba si el método propuesto por Lobo (2013) era conveniente para el análisis de Si en papaya. Estos resultados sugieren que la metodología no es apta para el análisis de Si en tejido foliar de papaya debido a la alta variabilidad que se presentó en los datos (Cuadro 13). En relación al contenido de Si en las plantas, existe evidencia de un estudio filogenético realizado a 735 especies, con el fin de determinar la concentración del Si en brotes de plantas, entre ellos los pertenecientes al orden Brassicales. En ese sentido, las cantidades reportadas son variables, ejemplo de ello son el caso de *Nasturtium officinale* (830 mg Kg⁻¹), *Hirschfeldia incana* (740 mg Kg⁻¹) y *Brassica alba* (226 mg Kg⁻¹), valores inferiores a los obtenidos en el ensayo

realizado, donde a pesar de la variabilidad el contenido absorbido por la planta es mayor (Cuadro 14) (Hodson et al 2005).

Cuadro 13. Concentración de Si (mg kg^{-1}), resultado de la aplicación de productos comerciales en tres dosis (baja, media y alta) a plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí establecidas en invernadero en etapa vegetativa utilizando la metodología establecida por Lobo (2013).

Producto comercial	Dosis	Repetición	Si (mg kg^{-1})
Stand SKH-Suelo	2,5 ml	1	1773,00
		2	1180,00
		3	1140,00
	3,0 ml	1	2606,67
		2	2020,00
		3	1280,00
	3,5 ml	1	1926,67
		2	2486,67
		3	1440,00
Fertiliz	10 g	1	3013,33
		2	1180,00
		3	1446,67
	20 g	1	1940,00
		2	1373,33
		3	1573,33
	30 g	1	1626,67
		2	1913,33
		3	2086,67
Stand SKH-Foliar	2,5 ml	1	946,67
		2	1906,67
		3	1513,33
	3,0 ml	1	1626,67
		2	2546,67
		3	1113,33
	3,5 ml	1	1500,00
		2	3786,67
		3	1840,00

Enhance KCS	2,5 ml	1	1686,67
		2	2700,00
		3	1753,33
	3,0 ml	1	2666,67
		2	2060,00
		3	1806,67
	3,5 ml	1	2426,67
		2	2293,33
		3	2793,33
Testigo	1	1073,33	
	2	1360,00	
	3	1653,33	

Cuadro 14. Concentración promedio de Si (mg kg^{-1}), resultado de la aplicación de productos comerciales en tres dosis (baja, media y alta) a plantas de papaya híbrido Pococí establecidas en invernadero en etapa vegetativa.

Tratamiento	Dosis	Si (mg Kg^{-1})	p-valor
Stand SKH Foliar	2,5 ml	1456	0,4676
	3,0 ml	1762	
	3,5 ml	2376	
Enhance KCS	2,5 ml	2047	0,4705
	3,0 ml	2178	
	3,5 ml	2504	
Fertilil	10,0 g	1880	0,8506
	20,0 g	1629	
	30,0 g	1876	
Stand SKH Suelo	2,5 ml	1634	0,3480
	3,0 ml	1969	
	3,5 ml	1951	
Testigo		1362	0,8958

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

Al no encontrar un tratamiento que presentara una absorción de Si superior a otros o al testigo sin aplicación (en ninguna de las dosis evaluadas ni en ninguno

de los métodos de aplicación utilizados), y con poca variabilidad, se procedió a buscar tendencias de absorción de otros elementos en los cuales el Si podría haber influido. Para el caso del N y el P todos los tratamientos que recibieron aplicación presentaron una mayor concentración de N, P y K, tanto en aplicación al suelo (Cuadro 15) como foliar (Cuadro 16), sin embargo esas diferencias no son estadísticamente significativas.

Cuadro 15. Concentración de N, P, Ca, Mg, K y S (%) en papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí sometida a tratamientos de Si mediante aplicación al suelo durante la etapa vegetativa, analizados con ANOVA y LSD Fisher según corresponda.

Tratamiento	Dosis	%					
		N	P	Ca	Mg	K	S
Testigo		4,11	0,30 b	1,54	0,95 b	3,88	0,32 b
	10,0 g	4,23	0,34 ab	1,67	1,06 ab	4,20	0,36 a
Fertisil	20,0 g	4,35	0,39 ab	1,60	1,09 ab	4,25	0,37 a
	30,0 g	4,45	0,39 ab	1,61	1,14 a	4,26	0,39 a
	2,5 ml	4,41	0,38 ab	1,39	0,96 b	3,97	0,36 a
Stand SKH	3,0 ml	4,56	0,43 a	1,66	1,01 ab	3,98	0,36 a
	3,5 ml	4,42	0,42 a	1,67	1,04 ab	4,48	0,38 a
p-valor		0,3032	0,0201	0,6024	0,0423	0,2033	0,0017

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

El Ca, Mg y K, tanto en los productos aplicados al suelo (Cuadro 15) como los aplicados al follaje (Cuadro 16), demuestra que no existen diferencias estadísticamente significativas en comparación al testigo. Es decir, la mayor disponibilidad de estos elementos que se observó para algunos de los tratamientos a nivel de

suelo producto de los tratamientos con Si, no fue percibida como una mayor absorción por la planta de papaya. Por otra parte, la concentración de S foliar si parece haber sido influenciada por los tratamientos aplicados, ya que se observaron diferencias con respecto al testigo (Cuadro 15) y entre los tratamientos (productos y dosis) (Cuadro 16).

Cabe mencionar, que los tratamientos que recibieron aplicación de los productos Fertilil al suelo y Enhance KCS al follaje, estos poseen S en su composición, lo cual podría explicar la mayor concentración de S en el tejido foliar de la papaya. Sin embargo, los tratamientos que recibieron Stand SKH también difirieron en la concentración de S con respecto al testigo, con una mayor concentración de S a nivel foliar y este producto no posee este elemento en su composición, por lo que indica que podría haber una respuesta en la absorción de S por las plantas de papaya con la aplicación de estos productos. Además, la absorción de N, P Ca, Mg, K y S en las plantas tampoco mostro diferencias estadísticamente superiores con respecto al testigo. Por ende, la planta no mejoró su estructura, ni la absorción de nutrientes durante la etapa en la que fue evaluada y expuesta a dosis de Si (Cuadro 17).

Cuadro 16. Concentración de N, P, Ca, Mg, K y S (%) en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí, sometidas a tratamientos de Si mediante aplicación al suelo durante la etapa vegetativa en invernadero analizados con ANOVA y LSD Fisher según corresponda.

Tratamiento	Dosis (ml)	%					
		N	P	Ca	Mg	K	S
Testigo		4,11	0,30 c	1,54	0,95	3,88 c	0,32 c
	2,5	4,37	0,38 abc	1,64	0,95	4,18 c	0,41 b
Enhance KCS	3,0	4,51	0,38 abc	1,73	0,99	3,90 c	0,42 b
	3,5	4,74	0,44 ab	1,84	0,99	4,32 abc	0,56 a
	2,5	4,32	0,34 bc	1,45	0,83	4,26 bc	0,35 bc
Stand SKH	3,0	4,51	0,44 ab	1,75	1,09	4,93 ab	0,41 b
	3,5	4,95	0,48 a	1,58	0,93	5,01a	0,42 b
p-valor		0,0774	0,0168	0,1969	0,8543	0,0076	0,0010

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

Cuadro 17. Absorción de N, P Ca, Mg, K y S (mg/planta) en papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí sometida a tratamientos de Si mediante aplicación foliar durante la etapa vegetativa establecidas en invernadero.

Producto comercial	Dosis	mg / planta					
		N	P	Ca	Mg	K	S
Stand SKH-Suelo	2,5 ml	411,2	35,15	129,39	0,89	370,45	33,28
	3,0 ml	349,4	32,98	127,56	0,80	304,97	27,86
	3,5 ml	324,0	30,79	122,18	0,74	328,19	27,61
Fertisil	10,0 g	408,7	33,20	161,47	1,02	406,09	34,49
	20,0 g	434,7	38,67	160,00	1,09	424,67	37,33
	30,0 g	400,2	34,80	144,60	1,03	383,40	35,10
Stand SKH-Foliar	2,5 ml	302,2	24,03	101,50	0,58	298,43	24,73
	3,0 ml	240,4	23,63	93,47	0,58	262,64	21,68
	3,5 ml	148,6	14,30	47,50	0,28	150,40	12,50
Enhance KCS	2,5 ml	334,9	29,14	126,02	0,73	320,56	31,19
	3,0 ml	531,7	48,56	219,17	1,25	493,67	52,79
	3,5 ml	205,3	19,06	79,55	0,43	195,76	24,11
Testigo		379,9	27,98	142,22	0,89	358,44	29,37

En relación con la concentración foliar de micronutrientos, el Cu, en el caso de Fertilil en la dosis más alta (Cuadro 18) presentó mayor concentración en el tejido respecto al testigo sin aplicación. En el caso de Stand SKH su efecto es similar, es decir en las dosis más altas se logra observar concentraciones de Cu estadísticamente más altas respecto al testigo. A su vez, el Zn en los productos aplicados al suelo y follaje no denotaron diferencias en el ANOVA. Lo anterior, refuerza la teoría que se ha venido expresando en los cuadros anteriores y es el hecho del bajo impacto del Si en el Cultivo de papaya, además de la alta variabilidad. A nivel de aplicaciones al suelo no se encontraron diferencias en las concentraciones foliares de boro para las plantas de papaya.

Cuadro 18. Concentración de Cu, Zn, Mn y B (mg Kg⁻¹) en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí, resultado de la aplicación en el suelo de los productos comerciales Fertilil y Stand SKH en tres dosis (baja, media y alta).

Tratamiento	Dosis	mg Kg ⁻¹			
		Cu	Zn	Mn	B
Testigo		7,25 b	17,50	31,25 c	22,50
Fertilil	10,0 g	8,33 abc	19,00	36,67 abc	23,67
	20,0 g	8,67 abc	18,67	48,00 a	23,33
	30,0 g	10,00 a	26,00	45,00 ab	25,67
Stand SKH-Suelo	2,5 ml	8,00 bc	17,33	28,67 c	20,67
	3,0 ml	9,67 ab	18,67	32,33 bc	26,00
	3,5 ml	9,67 ab	19,00	25,00 c	24,00
p-valor		0,0274	0,1441	0,0041	0,7042

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

Cuadro 19. Concentración (mg kg⁻¹) de los elementos Cu, Zn, Mn y B en el tejido vegetal, obtenidos de la aplicación de las fuentes Stand SKH y Enhance KCS al follaje realizados en el Laboratorio de Suelos y Foliare de la Universidad de Costa Rica a plantas de p papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí.

Tratamiento	Dosis (ml)	mg kg ⁻¹			
		Cu	Zn	Mn	B
Testigo		7,25 c	17,5	31,25	22,5
Enhance KCS	2,5	10,67 ab	52,33	62,67	34,33
	3,0	9,33 bc	40,67	46,00	24,00
	3,5	13,33 a	37,00	62,67	30,00
Stand SKH	2,5	7,67 bc	20,33	35,67	25,00
	3,0	10,67 ab	24,33	52,00	31,33
	3,5	11,00 ab	29,00	43,00	30,33
p-valor		0,0196	0,2071	0,0860	0,2054

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. (LSD Fisher $\alpha > 0,05$).

Si bien, la agricultura no ha incluido en sus prácticas agrícolas el Si, es indispensable determinar ciertos factores al momento de considerarlo, ya sea como una estrategia de prevención ante las plagas o enfermedades como reparador de la física y química del suelo. Los datos presentados, no permitieron distinguir cual fue la mejor dosis o producto utilizado. Entre otros aspectos el método de detección no fue el mejor pero para poder llevarse a cabo se debía evaluar en busca de respuestas. Bajo las condiciones de este ensayo no es viable la aplicación pues no se observaron ventajas sobre el testigo.

6. Conclusiones

- Los productos con Si aplicados en el suelo no mostraron un efecto directo de mejorar las propiedades químicas, independiente de la dosis o producto comercial utilizado.
- En los nutrientes absorbidos por la planta no hubo diferencia estadísticamente significativa en la concentración de macro y micronutrientes en el follaje.
- En la concentración de Si obtenida de los análisis realizados la alta variabilidad no permitió discernir entre un mejor producto o dosis utilizada.
- Los parámetros morfológicos evaluados para observar el efecto del Si en el desarrollo de cultivo, no demostraron ser superiores al testigo.
- El método utilizado para determinar la cantidad de Si en el follaje no fue el adecuado, por lo que se debería recurrir a cambios en la metodología, tanto en la muestra como de los equipos que se utilizan.

7. Literatura citada

- ABREU C., VAN RAIJ B., ABREU M., ANDRADE J. 1996. Efficiency of nutrients extractants for determinate of availability copper. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 27 (3-4): 763.
- 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 Enhance KCSd drought tolerance in wheat. *Crop Plant*. University Rawalpindi – University of Alberta, Edmonton, Ab. Pakistan – Canada. 240 p.
- ANDERSON J. 2012. Efecto a través del tiempo del uso de fertilizantes silicatados para la reducción del mal de panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense) en el cultivar Gros Michel (musa AAA). Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 104 p.
- AWADA M., LONG C. 1971. Relation of petiole nitrogen levels to nitrogen fertilization and yield of papaya. En: *Journal of American Society of Horticultural Science*. 96: 745- 749.
- BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307 p.

- BITYUTSKII N., PAVLOVIC J., YAKKONEN K., MAKSIMOVI V., NIKOLIC M. 2014. Contrasting effect of silicon on iron, zinc and manganese status and accumulation of metal mobilizing compounds in micronutrient-deficient cucumber. *Plant Physiol. Biochem.* 74: 205–211.
- BOGANTES A., MORA E., UMAÑA G., LORIA C. 2011. Guía para la producción de papaya en Costa Rica. MAG/UCR/INTA. 59p.
- BORDA O., BARÓN F., GÓMEZ M., 2007. El Si como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa L.*):respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. *Agronomía Colombiana* 25(2), 273-279.
- BRADY N., WEIL. 2016. The nature and properties of soils. 15 ed. New York: Macmillan Publishing. 750 p.
- BRITO NETO J., PEREIRA W., CAVALCANTI L., ARAÚJO R., LACERDA J. 2011. Produtividade e qualidade de frutos de mamoeiro “Sunrise Solo” em função de doses de nitrogênio e boro. *Semina: Ciências Agrárias Londrina* 32(1): 69-80.
- CALDERÓN F. 1980. El factor “silicio” en el cultivo de arroz en Colombia. *Arroz* 29. 11p.
- CARRÉ-MISSIO V., RODRIGUES F., SCHURT D., PEREIRA S., OLIVEIRA M., ZAMBOLIM L. 2009. Ineficiência do silício no controle da ferrugem do cafeeiro em solução nutritive. *Trop. Plant. Pathol.* 34:416-421.

- CARNEIRO J., OLIVEIRA A., ROSSETE A., ABREU C., BENDASSOLLI J. 2010. Accumulation and Translation of Silicon in Rice and Bean Plants Using the ^{30}Si Stable Isotope. *Journal of plant nutrition*. 33: 1383p.
- CONLEY D. 2002. Terrestrial ecosystems and the global biogeochemical silica cycle. *Global Biogeochemist. Cy.* 16:1121.
- CORNELIS J., DELVAUZ R., GEORG Y., LUCAS J., RANGER S. 2011. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: A review. *Biogeosciences*. 8:89-112.
- CUNHA R., HAAG H. 1980. Nutrição mineral do mamoeiro (*Carica papaya* L.). V. Marcha de absorção de Nutrimentos em condições de campo. *Anais da E.S.A "Luiz de Queiroz"* 37: 631-668.
- DA SILVA LOBATO A., GUEDES E., MARQUES D., OLIVEIRA NETO C. 2013. Silicon: A benefic element to improve tolerance in plants exposed to water deficiency. In: *Responses of organisms to water stress*. INTECH Open. 95-113 pp.
- DOS SANTOS A. 2011. Fontes de silício na adubação de mamoeiro "Sunrise Solo": Efeito sobre as características químicas do solo, o desenvolvimento das plantas e a qualidade dos frutos. Tesis de maestría. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas.
- EMRICH B., SOUZA J., LIMA A., FIGUEIREDO C., SILVA, D. 2011. Cultivo do Tomateiro em substratos orgânicos sob aplicação Foliar de silicato de

potasio en ambiente protegido. *Ciência e Agrotecnología*, Lavras, v. 35(1). 5661.

EPSTEIN E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 91(1):11- 17.

EPSTEIN E. 1999. Silicon. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 50: 641-64.

EPSTEIN E., BLOOM A. 2005. Mineral nutrition of plants, principles and perspectives. Second edition. Sinauer Associates, Sunderland. 400p.

FALLAS R., BERTSCH F., BARRIENTOS M. 2014. Curvas de absorción de nutrientes en papaya (*Carica papaya*) cv. Pococí en las fases de crecimiento vegetativo, floración e inicio de cosecha. *Agronomía Costarricense*. San José, Costa Rica. 38(2):43-54.

FATEUX F., CHAIN F., BELZILE F., MENZIES J., BELANGER R. 2006. The protective role of silicon in the *Arabidopsis*-powdery mildew pathosystem. *PNAS* 103: 17554-17559.

FILHO B., ZINDER, G., PRABHU A., DATNOFF L., KORNÖRFER G., 2000. Importancia do silício para a cultura do arroz. Uma revisão de literatura. Potafos. Encarte Técnico. *Informações Agronômicas* Nº 89.

FRENCH-MONAR R., RODRIGUES F., KORNDÖFER G. DATNOFF L. 2010. Silicon suppresses *Phytophthora* blight development on bell pepper. *J. Phytopathol.* 158:554-560.

- FURCAL P., HERRERA A. 2013. EFECTO DEL SILICIO EN LA FERTILIDAD DEL SUELO Y RENDIMIENTO DEL ARROZ. *Agronomía Mesoamericana*. 24(2): 365-378.
- GU H., ZHAN S., WANG Z., TANG T., CHANEY L., FANG H., et al 2012. Silicon-mediated amelioration of zinc toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Plant Soil* 350 193–204.
- HAN Y., LI P., GONG S., YANG L., WEN L., HOU M. 2016. Defense responses in rice induced by silicon amendment against infestation by the leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis*. *PLOS One* 11(4):e0153918. doi:10.1371/journal.pone.0153918
- HATTORI T., INANAGA S., ARAKI H., AN P. MORITA S., LUXOVA M., LUX A. 2005. Application of silicon Enhance KCSd drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiologic Plantarum* 123: 459-466.
- HAYNES R. 2014. A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177: 831-844.
- HODSON M., EVANS D. 1995. Aluminum/silicon interactions in higher plants. *Expl. Bot.* 46(2).
- HODSON M., WHITE P., MEAD A., BROADLEY M. 2005. Phylogenetic Variation in the Silicon Composition of Plants. *Ann Bot.* 96(6).
- HORNA Z., MUÑOZ M. 2007. Resultado de la producción de Silicio orgánico en base a la cascarilla de *Oryza sativa* L. (arroz). Quevedo – Ecuador.

- HSO-FRENG Y., YANN-SHE C. 1978. Effect of available silicon in paddy soil on the growth of rice plants. *Botanical Bulletin- Academia Sinica* 19: 125-138.
- HUANG C., ROBERTS P., DATNOFF L. 2011. Silicon suppresses *Fusarium* crown and root rot of tomato. *J. Phytopathol.* 159:546-554.
- JONES B. 1994. *Plant Nutrition Manual*. Georgia, U.S.A: Micro-Macro Publishing. 2p.
- KIDD P., LLUGANY M., POSCHENRIEDER C., GUNSÉ B., BARCELÓ J. 2001. The role of root exudates in aluminum resistance and silicon-induced amelioration of aluminum toxicity in three varieties of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany* 52(359): 1339- 1352
- .
- KNIGHT C., KINRADE S. 2001. A primer on the aqueous chemistry of silicon. In: *Silicon in Agriculture, Vol. 8, Studies in Plant Science*. Datnoff L E., G. H. Snyder, and G. H. Korndörfer (eds.). Amsterdam, the Netherlands: Elsevier, 57-84.
- KORNÖRFER G., FARIA R., DATNOFF L., PEREIRA L. 2002. Influência do silicato do cálcium atolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. In: *Reunião Brasileira de Fertilizante do solo e nutrição de plantas*. Rio de Janeiro. *Informações Agronômicas*.143p.
- KUMAR N., SOORIANATHASUNDARAM K., MEENAKSHI N., MANIVANNAN M., SURESH J., NOSOV V. 2010. Balanced fertilization in papaya (*Carica papaya* L.) for higher yield and quality. *Acta Horticulturae* 851: 357-362.

- LOAIZA C. 2003. Fisiología vegetal. Ed. Universidad de Caldas, Manizales. 8-15 pp.
- LEWIN J., REIMANN B. 1969. Silicon and plant growth. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 20:289-304.
- LI Q., MA C., SHANG L. 2007. Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao.* 18:531-536.
- LIANG Y., SUN W., ZHU Y., Christie P. 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. *Environ. Pollut.* 147:422-428.
- LOBO A. 2013. Validación de un protocolo para la determinación de Si en muestras de suelos y tejidos vegetales. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. 26-27 pp.
- MA J., TAKAHASHI E. 1990. Effect of Silicon on the growth and phosphorus uptake of rice. *Plants Soil.* 126: 115-119.
- MA J., TAKAHASHI E. 1991. Effect of silicate on phosphate availability for rice in a P-deficient soil. *Plant Soil.* 133:151-155
- MA J., MIYAKE E., TAKAHASHI E. 2001. El Si como elemento beneficioso para las plantas de cultivo. Pp. 1739, In LE Datnoff, GH Snyder y GH Korndörfer. Si

en la agricultura: estudios en la ciencia de las plantas, 8. Elsevier Science BVD, Amsterdam, Países Bajos.

MA J., GOTO S., TAMAI K., ICHII M. 2001. Role of root hairs and lateral roots in silicon uptake by rice. *Plant Physiol.* 127:1773-1780.

MA J., TAKAHASHI E. 2002. *Soil, Fertilizer and Plant Silicon Research in Japan.* Elsevier Science, Dordrecht, the Netherlands.

MA J. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stress. *Soil Science and Plant Nutrition* 50(1): 11-18.

MA J., YAMAJI N. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in plant science.* 11(8), 392-397.

MA J., YAMAJI N. 2008. Functions and transport of silicon in plants. *Cell. Mol. Life Sci.* 65: 3049-3057.

MA J. F., N. YAMAJI, N. MITANI N., TAMAI K., KONISHI S., FUJIWARA T., KATSUHARA M., YANO M. 2007. An efflux transporter of silicon in rice. *Nature.* 448:209-212.MA

MARSCHNER H. 1989. *Mineral nutrition of higher plants.* San Diego, California: Academic Press. 210 p.

MATICHENKOV V., BOCHARNIKOVA E. 2001. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. *Studies in Plant Science* 8: 209-219.

- MITANI N., MA J. 2005. Uptake system of silicon in different plant species. *Journal of Experimental Botany* 56 (414): 1255-1261.
- MOLINA E., CABALCETA G. 1996. Avances en Análisis de Suelos en Costa Rica. Memoria II. Congreso de Suelos. Resumen 236:146.
- RAYA J., AGUERRE C. 2012. El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *Conciencia tecnológica*. 43(1): 42-46.
- RAYMO M., RUDDIMAN W. 1992, Tectonic forcing of late Cenozoic climate: *Nature* (359):117–122.
- 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.
- RUGGIERO C. 1988. Aspectos gerais da cultura do mamoeiro. En: I Curso De Fruticultura Tropical E Suas Potencialidades Para Mato Grosso Do Sul (Dourados: 9-13 maio. 1988). *Anais do I curso de Fruticultura Tropical e suas potencialidades para mato Grosso do Sul*. Dourados: C. Grande-MS, UFMS, Imprensa Universitaria. 73-83 p.
- SAWARKAR M., PATHAK D. 1985. Effect of silicate and phosphate application on nutrition of maize. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 33. 115 p.

- SINGH D. GHOSH P. PAUL P. SURESH C. 2010. Effect of different micronutrients on growth, yield and quality of papaya cv. Ranchi. *Acta Horticulturae*. 851: 351-356.
- STALLARD R. 1985. River chemistry, geology, geomorphology, and soils in the Amazon and Orinoco basins, in Drever, J.I., ed., *The chemistry of weathering*: Dordrecht, Netherlands, D. Reidel Publishing Company. 316 p.
- STALLARD R. 1992, Tectonic processes, continental freeboard, and the rate-controlling step for continental denudation, in Butcher, S.S., Charlson, R.J., Orians, G.H., and Wolfe, G.V., eds., *Global biogeochemical cycles*: London, UK, Academic Press. 121 p.
- STOREY W. 1976. Papaya, *Carica papaya*. Simmonds (ed). *Evolution of Crop Plants*. Longman, Londres, Inglaterra. 24 p.
- TAHIR MA., AZIZ T., FAROOQ M., SARWAR G. 2012. Silicon-induced changes in growth, ionic composition, water relations, chlorophyll contents and membrane permeability in two salt-stressed wheat genotypes. *Arch Agron Soil Sci* 58: 247–256.
- TUBAÑA B., HECKMAN J. 2015. Silicon in soils and plants. In: Rodríguez F., Datnoff L. (editores). *Silicon and plant diseases*. DOI 10.1007/978-3-319-22930-0_2
- VOLKOVA V. 1980. Silicate content in soil solutions and natural waters of the Russian plain. In: Kovda VA (ed) *Pedological and biogeocenotic research of the Russian lowland centre*. Nauka Publication, Moscow.

WANG Y., STASS A., HORST W. 2004. Apoplastic binding of aluminum is involved in silicon-induced amelioration of aluminum toxicity in maize. *Plant Physiology* 136: 3762-3770.

8. Anexos

Anexo 1. Concentración de los productos comerciales y su respectiva composición química, utilizados en la evaluación de absorción en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí.

Producto	Casa comercial	%p/v					
		SiO ₂	CaO	K ₂ O	MgO	S	Otros
Stand SKH	Suplidora verde	20		18	-	-	Ácidos húmicos
Enhance KCS		11	7	5	-	-	
		%p/p					
Fertilizante	Eurosemillas	24	-	-	24	12	-

Anexo 2. Contenido de SiO₂ y de Si (g) de los diferentes productos comerciales y las dosis utilizadas en el ensayo de absorción de Silicio en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí.

Producto	Casa comercial	SiO ₂	Dosis	Dosis total	SiO ₂	Si
		(g L ⁻¹)	ml		g	
Stand SKH	Suplidora Verde	200	2,5	15	3	1
			3	18	3,6	2
			3,5	21	4,2	2
Enhance KCS	Suplidora Verde	110	2,5	15	1,7	1
			3	18	2	1
			3,5	21	2,3	1
		(g kg ⁻¹)	g			
Fertilizante	Eurosemillas	240	10	10	2,4	1
			20	20	4,8	2
			30	30	7,2	3

Anexo 3. Medidas resumen para pH, acidez, Ca, Mg, K (cmol₍₊₎ L⁻¹), P, Zn, Cu, Mn mg L⁻¹), prueba de Shapiro-Wilks obtenido del ANOVA, mediante el programa InfoStat de los resultados del análisis de suelo de productos aplicados al mismo en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí.

Producto comercial	Dosis	Variable	Media	DE	W
FERTISIL	10,0 g	pH	6,03	0,40	0,75
		Acidez (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	0,12	0,01	0,75
		Ca (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	5,59	1,16	0,78
		Mg (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	2,99	0,49	0,94
		K (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	1,74	0,34	0,82
		P (mg L ⁻¹)	20,33	3,51	0,99
		Zn (mg L ⁻¹)	1,17	0,21	0,92
		Cu (mg L ⁻¹)	15,33	1,53	0,96
		Mn (mg L ⁻¹)	2,67	1,15	0,75
	20,0 g	pH	6,03	0,23	0,75
		Acidez (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	0,12	0,01	0,75
		Ca (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	4,91	0,17	0,80
		Mg (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	3,89	0,30	0,93
		K (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	1,94	0,39	0,94
		P (mg L ⁻¹)	24,67	3,06	0,96
		Zn (mg L ⁻¹)	1,30	0,17	0,75
		Cu (mg L ⁻¹)	16,33	1,15	0,75
		Mn (mg L ⁻¹)	4,00	0,00	1,00
	30,0 g	pH	6,07	0,21	0,92
		Acidez (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	0,12	0,01	0,75
		Ca (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	5,14	0,56	0,84
		Mg (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	4,67	0,29	0,93
		K (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	1,81	0,07	0,81
		P (mg L ⁻¹)	26,33	10,12	0,79
Zn (mg L ⁻¹)		1,17	0,06	0,75	
Cu (mg L ⁻¹)		16,33	1,15	0,75	
Mn (mg L ⁻¹)		4,00	1,00	1,00	

STAND SKH	2,5 ml	pH	6,43	0,32	0,87
		Acidez (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	0,13	0,02	0,96
		Ca (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	4,74	0,44	0,97
		Mg (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	2,42	0,37	0,96
		K (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	1,89	0,47	0,80
		P (mg L ⁻¹)	17,00	6,08	0,82
		Zn (mg L ⁻¹)	1,10	0,10	1,00
		Cu (mg L ⁻¹)	16,00	1,00	1,00
		Mn (mg L ⁻¹)	3,00	0,00	1,00
	3,0 ml	pH	6,27	0,25	0,99
		Acidez (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	0,12	0,01	0,75
		Ca (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	4,67	1,01	0,85
		Mg (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	2,27	0,40	0,94
		K (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	2,35	0,42	0,97
		P (mg L ⁻¹)	29,00	14,42	0,94
		Zn (mg L ⁻¹)	1,37	0,57	0,94
		Cu (mg L ⁻¹)	16,33	0,58	0,75
		Mn (mg L ⁻¹)	2,33	0,58	0,75
	3,5 ml	pH	6,57	0,21	0,92
		Acidez (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	0,11	0,01	1,00
		Ca (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	5,44	0,79	1,00
		Mg (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	2,59	0,33	1,00
		K (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	2,71	0,19	0,81
		P (mg L ⁻¹)	19,33	2,52	0,99
Zn (mg L ⁻¹)		1,33	0,06	0,75	
Cu (mg L ⁻¹)		16,00	0,00	1,00	
Mn (mg L ⁻¹)		2,67	0,58	0,75	
TESTIGO	pH	6,23	0,12	0,75	
	Acidez (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	0,12	0,01	0,75	
	Ca (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	5,01	0,83	0,86	
	Mg (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	2,32	0,43	0,86	
	K (cmol ₍₊₎ L ⁻¹)	1,43	0,20	0,91	
	P (mg L ⁻¹)	24,00	3,61	0,94	
	Zn (mg L ⁻¹)	1,17	0,15	0,96	
	Cu (mg L ⁻¹)	15,33	0,58	0,75	
	Mn (mg L ⁻¹)	2,00	0,00	1,00	

Desviación Estándar (DE), Shapiro-Wilks (W).

Anexo 4. Medidas resumen para pH, acidez, Ca, Mg, K (cmol(+) L⁻¹), P, Zn, Cu, Mn mg L⁻¹), prueba de Shapiro-Wilks obtenido del ANOVA, mediante el programa InfoStat de los resultados del análisis de suelo de productos aplicados al follaje en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí.

Producto comercial	Dosis (ml)	Variable	Media	DE	W
ENHANCE KCS	2,50	pH	6,00	0,40	1,00
		Acidez (cmol(+) L-1)	0,11	0,01	0,75
		Ca (cmol(+) L-1)	4,62	0,85	0,99
		Mg (cmol(+) L-1)	2,41	0,50	0,90
		K (cmol(+) L-1)	1,51	0,13	0,94
		P (mg L-1)	17,33	3,06	0,96
		Zn (mg L-1)	1,13	0,31	0,96
		Cu (mg L-1)	16,67	0,58	0,75
		Mn (mg L-1)	3,67	0,58	0,75
	3,00	pH	6,50	0,17	0,75
		Acidez (cmol(+) L-1)	0,10	0,01	0,75
		Ca (cmol(+) L-1)	5,64	0,48	0,79
		Mg (cmol(+) L-1)	2,74	0,22	0,99
		K (cmol(+) L-1)	2,14	0,63	0,80
		P (mg L-1)	19,67	1,53	0,96
		Zn (mg L-1)	1,27	0,12	0,75
		Cu (mg L-1)	15,67	0,58	0,75
		Mn (mg L-1)	3,00	1,00	1,00
	3,50	pH	5,97	0,12	0,75
		Acidez (cmol(+) L-1)	0,12	0,02	0,96
		Ca (cmol(+) L-1)	5,36	1,37	0,88
		Mg (cmol(+) L-1)	2,80	0,74	0,87
		K (cmol(+) L-1)	2,17	0,46	0,79
		P (mg L-1)	23,67	3,79	0,85
Zn (mg L-1)		1,30	0,20	1,00	
Cu (mg L-1)		15,67	1,53	0,96	
Mn (mg L-1)		4,00	1,00	1,00	

STAND SKH	2,50	pH	5,87	0,32	0,87
		Acidez (cmol(+) L-1)	0,12	0,01	0,75
		Ca (cmol(+) L-1)	5,14	0,09	0,75
		Mg (cmol(+) L-1)	2,78	0,18	1,00
		K (cmol(+) L-1)	2,03	0,18	1,00
		P (mg L-1)	20,67	5,86	0,88
		Zn (mg L-1)	1,40	0,30	1,00
		Cu (mg L-1)	15,67	0,58	0,75
		Mn (mg L-1)	3,00	1,00	1,00
		STAND SKH	3,00	pH	6,27
Acidez (cmol(+) L-1)	0,11			0,01	1,00
Ca (cmol(+) L-1)	4,12			0,66	0,79
Mg (cmol(+) L-1)	2,02			0,31	0,75
K (cmol(+) L-1)	1,95			0,22	1,00
P (mg L-1)	18,00			1,73	0,75
Zn (mg L-1)	1,03			0,25	0,99
Cu (mg L-1)	16,00			1,00	1,00
Mn (mg L-1)	2,33			0,58	0,75
STAND SKH	3,50			pH	6,00
		Acidez (cmol(+) L-1)	0,12	0,01	0,75
		Ca (cmol(+) L-1)	4,46	0,49	0,78
		Mg (cmol(+) L-1)	2,37	0,36	1,00
		K (cmol(+) L-1)	2,08	0,43	1,00
		P (mg L-1)	22,00	2,65	0,89
		Zn (mg L-1)	1,17	0,15	0,96
		Cu (mg L-1)	16,33	0,58	0,75
		Mn (mg L-1)	2,33	0,58	0,75
		Testigo		pH	6,23
Acidez (cmol(+) L-1)	0,12			0,01	0,75
Ca (cmol(+) L-1)	5,01			0,83	0,86
Mg (cmol(+) L-1)	2,32			0,43	0,86
K (cmol(+) L-1)	1,43			0,20	0,91
P (mg L-1)	24,00			3,61	0,94
Zn (mg L-1)	1,17			0,15	0,96
Cu (mg L-1)	15,33			0,58	0,75
Mn (mg L-1)	2,00			0,00	1,00

Desviación Estándar (DE), Shapiro-Wilks (W).

Anexo 5. Medidas resumen para Numero de hojas, diámetro basal, peso seco de planta, N, P, Ca, Mg, K, S (%) y Cu, Zn, Mn, B y Si (mg Kg⁻¹), con su respectiva prueba de Shapiro-Wilks obtenido del ANOVA, mediante el programa InfoStat de los resultados del análisis foliares de productos aplicados al suelo en plantas de papaya (*Carica papaya*) hibrido Pococi

Producto comercial	Dosis	Variable	Media	D.E	W
FERTISIL	10, 0 g	Número de hojas	13,00	1,00	1,00
		Diámetro basal	1,80	0,17	0,75
		Peso seco (g)	9,67	0,00	1,00
		N (%)	4,23	0,55	0,86
		P (%)	0,34	0,07	1,00
		Ca (%)	1,67	0,20	0,97
		Mg (%)	1,06	0,05	0,89
		K (%)	4,20	0,39	0,87
		S (%)	0,36	0,01	0,75
		Cu (mg Kg ⁻¹)	8,33	1,53	0,96
		Zn (mg Kg ⁻¹)	19,00	2,00	1,00
		Mn (mg Kg ⁻¹)	36,67	12,01	1,00
		B (mg Kg ⁻¹)	23,67	4,04	0,98
		Si (mg Kg ⁻¹)	1880,00	990,25	0,86
		20, 0 g	Número de hojas	13,33	1,53
	Diámetro basal		1,67	0,15	0,96
	Peso seco (g)		10,00	0,00	1,00
	N (%)		4,35	0,08	0,99
	P (%)		0,39	0,04	0,85
	Ca (%)		1,60	0,24	0,84
	Mg (%)		1,09	0,16	0,78
	K (%)		4,25	0,32	0,97
	S (%)		0,37	0,02	0,92
	Cu (mg Kg ⁻¹)		8,67	1,15	0,75
	Zn (mg Kg ⁻¹)		18,67	1,15	0,75
	Mn (mg Kg ⁻¹)		48,00	7,81	0,80
	B (mg Kg ⁻¹)		23,33	3,51	0,99
	Si (mg Kg ⁻¹)		1628,67	287,57	0,97
	30,0 g		Número de hojas	12,00	3,61
		Diámetro basal	1,57	0,35	0,99
		Peso seco (g)	9,00	0,00	1,00
		N (%)	4,45	0,53	0,99
		P (%)	0,39	0,04	0,98
		Ca (%)	1,61	0,14	0,88
		Mg (%)	1,14	0,08	0,99
		K (%)	4,26	0,50	0,80
S (%)		0,39	0,02	0,75	
Cu (mg Kg ⁻¹)		10,00	0,00	1,00	

		Zn (mg Kg ⁻¹)	26,00	8,66	0,75
		Mn (mg Kg ⁻¹)	45,33	3,06	0,96
		B (mg Kg ⁻¹)	25,67	3,51	0,99
		Si (mg Kg ⁻¹)	1875,67	232,26	0,98
		Número de hojas	13,00	1,00	1,00
		Diámetro basal	1,33	0,32	0,87
		Peso seco (g)	9,33	0,00	1,00
		N (%)	4,41	0,35	0,98
		P (%)	0,38	0,06	0,88
		Ca (%)	1,39	0,08	0,93
	2,5 ml	Mg (%)	0,96	0,11	0,99
		K (%)	3,97	0,05	0,96
		S (%)	0,36	0,03	0,87
		Cu (mg Kg ⁻¹)	8,00	0,00	1,00
		Zn (mg Kg ⁻¹)	17,33	0,58	0,75
		Mn (mg Kg ⁻¹)	28,67	10,69	0,79
		B (mg Kg ⁻¹)	20,67	4,51	1,00
		Si (mg Kg ⁻¹)	1364,33	354,48	0,80
		Número de hojas	12,33	1,15	0,75
		Diámetro basal	1,57	0,06	0,75
		Peso seco (g)	7,67	0,00	1,00
		N (%)	4,56	0,14	0,84
		P (%)	0,43	0,10	0,99
		Ca (%)	1,66	0,20	0,98
	3,0 ml	Mg (%)	1,04	0,11	0,98
		K (%)	3,98	0,35	0,83
		S (%)	0,36	0,03	0,87
		Cu (mg Kg ⁻¹)	9,67	0,58	0,75
		Zn (mg Kg ⁻¹)	18,67	1,15	0,75
		Mn (mg Kg ⁻¹)	32,33	8,50	1,00
		B (mg Kg ⁻¹)	26,00	2,00	1,00
		Si (mg Kg ⁻¹)	1969,00	664,97	1,00
		Número de hojas	Número de hojas	2,65	0,89
		Diámetro basal	Diámetro basal	0,20	1,00
		Peso seco (g)	Peso seco (g)	0,00	1,00
		N (%)	N (%)	0,48	1,00
		P (%)	P (%)	0,04	0,94
		Ca (%)	Ca (%)	0,08	0,92
	3,5 ml	Mg (%)	Mg (%)	0,06	0,75
		K (%)	K (%)	0,29	0,95
		S (%)	S (%)	0,01	0,75
		Cu (mg Kg ⁻¹)	Cu (mg Kg ⁻¹)	2,08	0,92
		Zn (mg Kg ⁻¹)	Zn (mg Kg ⁻¹)	3,00	1,00
		Mn (mg Kg ⁻¹)	Mn (mg Kg ⁻¹)	6,24	0,92

STAND SKH

	B (mg Kg ⁻¹)	B (mg Kg ⁻¹)	1,00	1,00
	Si (mg Kg ⁻¹)	Si (mg Kg ⁻¹)	523,92	1,00
	Número de hojas	14,67	1,53	0,96
	Diámetro basal	1,93	0,15	0,96
	Peso seco (g)	10,11	0,84	0,99
	N (%)	4,03	0,11	0,85
	P (%)	0,32	0,03	0,99
	Ca (%)	1,48	0,17	0,98
TESTIGO	Mg (%)	0,92	0,07	0,99
	K (%)	3,96	0,11	0,86
	S (%)	0,31	0,01	1,00
	Cu (mg Kg ⁻¹)	7,33	0,58	0,75
	Zn (mg Kg ⁻¹)	17,67	1,15	0,75
	Mn (mg Kg ⁻¹)	29,00	3,46	0,75
	B (mg Kg ⁻¹)	20,67	0,58	0,75
	Si (mg Kg ⁻¹)	1195,33	148,11	0,94

Desviación Estándar (DE), Shapiro-Wilks (W).

Anexo 6. Medidas resumen para Número de hojas, diámetro basal, peso seco de planta, N, P, Ca, Mg, K, S (%) y Cu, Zn, Mn, B y Si (mg Kg⁻¹), con su respectiva prueba de Shapiro-Wilks obtenido del ANOVA mediante el programa InfoStat, de los resultados del análisis foliares de productos aplicados al follaje en plantas de papaya (*Carica papaya*) híbrido Pococí.

Producto comercial	Dosis	Variable	Media	D.E	W
ENHANCE KCS	2,5 ml	Número de hojas	14,67	0,58	0,75
		Diámetro basal	1,83	0,32	0,87
		Peso seco (g)	7,67	0,00	1,00
		N (%)	4,37	0,55	0,92
		P (%)	0,38	0,11	0,94
		Ca (%)	1,64	0,24	0,90
		Mg (%)	0,95	0,17	0,77
		K (%)	4,18	0,32	0,95
		S (%)	0,41	0,05	0,95
		Cu (mg Kg ⁻¹)	10,67	3,06	0,96
		Zn (mg Kg ⁻¹)	52,33	56,92	0,79
		Mn (mg Kg ⁻¹)	62,67	34,30	0,84
		B (mg Kg ⁻¹)	34,33	11,06	0,99
		Si (mg Kg ⁻¹)	2046,67	566,76	0,80
		3,0 ml	Número de hojas	10,67	2,31
	Diámetro basal		1,40	0,36	0,94
	Peso seco (g)		12,67	0,00	1,00
	N (%)		4,20	0,24	1,00
	P (%)		0,38	0,04	0,92
	Ca (%)		1,73	0,07	1,00
	Mg (%)		0,99	0,05	0,91
	K (%)		3,90	0,22	0,79
	S (%)		0,42	0,02	0,96
	Cu (mg Kg ⁻¹)		9,33	1,53	0,96
	Zn (mg Kg ⁻¹)		37,00	33,78	0,76
	Mn (mg Kg ⁻¹)		46,00	25,53	0,96
	B (mg Kg ⁻¹)		24,00	4,00	1,00
	Si (mg Kg ⁻¹)		2178,00	441,98	0,95
	3,5 ml		Número de hojas	12,33	1,15
		Diámetro basal	1,67	0,58	0,75
		Peso seco (g)	4,33	0,00	1,00
		N (%)	4,74	0,23	0,98
		P (%)	0,44	0,03	0,75
Ca (%)		1,84	0,06	0,96	
Mg (%)		0,99	0,05	0,75	
K (%)		4,52	0,28	0,84	

STAND SKH		S (%)	0,56	0,12	0,82
		Cu (mg Kg ⁻¹)	13,33	2,52	0,99
		Zn (mg Kg ⁻¹)	40,67	28,87	0,75
		Mn (mg Kg ⁻¹)	62,67	24,95	0,89
		B (mg Kg ⁻¹)	30,00	5,57	0,98
		Si (mg Kg ⁻¹)	2504,33	258,82	0,93
		Número de hojas	14,33	2,08	0,92
		Diámetro basal	1,83	0,15	0,96
		Peso seco (g)	7,00	0,00	1,00
	2,5 ml	N (%)	4,32	0,50	0,79
		P (%)	0,34	0,05	0,99
		Ca (%)	1,45	0,30	1,00
		Mg (%)	0,83	0,13	0,99
		K (%)	4,26	0,29	1,00
		S (%)	0,35	0,03	0,96
		Cu (mg Kg ⁻¹)	7,67	0,58	0,75
		Zn (mg Kg ⁻¹)	20,33	2,89	0,75
		Mn (mg Kg ⁻¹)	35,67	4,51	1,00
		B (mg Kg ⁻¹)	25,00	4,58	0,96
		Si (mg Kg ⁻¹)	1455,67	482,56	0,99
		Número de hojas	15,00	1,00	1,00
		Diámetro basal	1,90	0,10	1,00
		Peso seco (g)	5,33	0,00	1,00
		N (%)	4,51	0,26	1,00
		P (%)	0,44	0,09	0,88
		Ca (%)	1,75	0,29	0,85
		Mg (%)	1,09	0,15	0,88
	3,0 ml	K (%)	4,93	0,85	0,97
		S (%)	0,41	0,04	0,85
		Cu (mg Kg ⁻¹)	10,67	2,08	0,92
		Zn (mg Kg ⁻¹)	29,00	7,55	0,99
		Mn (mg Kg ⁻¹)	52,00	8,72	0,84
		B (mg Kg ⁻¹)	31,33	6,11	0,96
	Si (mg Kg ⁻¹)	1762,33	726,52	0,97	
	Número de hojas	14,33	1,15	0,75	
	Diámetro basal	1,80	0,00	1,00	
	Peso seco (g)	3,00	0,00	1,00	
3,5 ml	N (%)	4,95	0,17	0,94	
	P (%)	0,48	0,04	0,75	
	Ca (%)	1,58	0,07	0,99	
	Mg (%)	0,93	0,09	0,84	
	K (%)	5,01	0,50	0,93	

	S (%)	0,42	0,02	0,92
	Cu (mg Kg ⁻¹)	11,00	2,65	0,89
	Zn (mg Kg ⁻¹)	24,33	3,06	0,96
	Mn (mg Kg ⁻¹)	43,00	4,36	0,84
	B (mg Kg ⁻¹)	30,33	8,02	0,99
	Si (mg Kg ⁻¹)	2375,67	1234,02	0,86
TESTIGO	Número de hojas	14,67	1,53	0,96
	Diámetro basal	1,93	0,15	0,96
	Peso seco (g)	10,11	0,84	0,99
	N (%)	4,03	0,11	0,85
	P (%)	0,32	0,03	0,99
	Ca (%)	1,48	0,17	0,98
	Mg (%)	0,92	0,07	0,99
	K (%)	3,96	0,11	0,86
	S (%)	0,31	0,01	1,00
	Cu (mg Kg ⁻¹)	7,33	0,58	0,75
	Zn (mg Kg ⁻¹)	17,67	1,15	0,75
	Mn (mg Kg ⁻¹)	29,00	3,46	0,75
	B (mg Kg ⁻¹)	20,67	0,58	0,75
	Si (mg Kg ⁻¹)	1195,33	148,11	0,94