

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EFFECTO DE SILICATOS DE MAGNESIO SOBRE RENDIMIENTO Y VIDA DE ANAQUEL DE
TOMATE
TESIS DE GRADO

CARLOS RAUL MENDOZA RODRIGUEZ
CARNET 23183-11

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2018
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EFFECTO DE SILICATOS DE MAGNESIO SOBRE RENDIMIENTO Y VIDA DE ANAQUEL DE
TOMATE
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
CARLOS RAUL MENDOZA RODRIGUEZ

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2018
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
ING. CARLOS HUMBERTO MENDOZA ALCÚ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
MGTR. LUIS AMÉRICO MÁRQUEZ HERNÁNDEZ

Guatemala, 20 de Noviembre de 2018

Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el informe final de tesis del estudiante Carlos Raúl Mendoza Rodríguez, que se identifica con carné 23183-11, titulado: "Efecto de silicatos de magnesio sobre rendimiento y vida de anaquel de tomate".

El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Carlos Humberto Mendoza
Colegiado No. 3068
Cod. URL 25322

CARLOS MENDOZA
INGENIERO EN AGRICULTURA
COLEGIADO No. 3068



Universidad
Rafael Landívar
Tradicón Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 061080-2018

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante CARLOS RAUL MENDOZA RODRIGUEZ, Carnet 23183-11 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06189-2018 de fecha 5 de noviembre de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFFECTO DE SILICATOS DE MAGNESIO SOBRE RENDIMIENTO Y VIDA DE ANAQUEL DE TOMATE

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 14 días del mes de noviembre del año 2018.



MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, que me dio la vida, las oportunidades, la dicha de culminar mi carrera y de haberme rodeado de personas ejemplares como mis padres, para guiarme por el camino de la vida.

A:

Mi padre, por estar conmigo en todo momento, servir de apoyo en cada una de las fases de mi vida y mostrarme la realidad de la vida a través de su experiencia.

A:

Mi madre, por su amor y sus cuidados a lo largo de mi vida, y por velar por mi crecimiento como una mejor persona.

A:

Mis Amigos y Amigas, que fueron un soporte para la culminación de mi carrera y hacer de mi camino como estudiante, un lugar ameno.

A:

Ing. Luis Márquez, por compartir su conocimiento y experiencia en la elaboración de este documento.

DEDICATORIA

A:

Mis Padres, Carlos Humberto Mendoza y Annie Vilma Rodríguez, porque sin ellos no hubiese sido posible este logro.

A:

Mis Hermanas, Anny Mariela Mendoza y Stephanie Daniela Mendoza, para que sigan adelante en su vida y alcancen grandes metas.

A:

Mi abuela, Rosalina Ramírez, quien cuidó de mí y ha sido una persona ejemplar en mi vida.

INDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	7
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 SILICIO Y SILICATOS	3
2.2 MAGNESIO.....	5
2.3 PROCESO DE SILICIFICACIÓN EN LAS PLANTAS	6
2.4 EFECTO DE LAS APLICACIONES DE SILICIO	6
2.5 SILICIO EN LA PARED CELULAR	9
2.6 CULTIVO DE TOMATE.....	9
2.6.1 Aspectos economicos del tomate en Guatemala	13
2.7 HIBRIDO DE TOMATE A UTILIZAR	13
2.8 VIDA DE ANAQUEL DEL FRUTO DE TOMATE.....	14
2.9 PRODUCTOS A EVALUAR	14
2.9.1 Via foliar	14
2.9.2 Via edáfica	14
III. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	16
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	16
IV. OBJETIVOS	17
4.1 OBJETIVO GENERAL	17
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
V. HIPÓTESIS.....	18
5.1 HIPÓTESIS ALTERNAS	18
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	19
6.1 LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO.....	19
6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL.....	19
6.3 FACTOR A ESTUDIAR	19
6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	19
6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	21
6.6 MODELO ESTADÍSTICO	21
6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL.....	21
6.8 CROQUIS DE CAMPO	22

	Página
6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO	22
6.9.1 Actividades antes de la aplicación	22
6.9.2 Formas de aplicación	23
6.9.3 Dosificación.....	23
6.10 VARIABLES DE RESPUESTA.....	24
6.10.1 Peso total de frutos	24
6.10.2 Días de vida de anaquel	25
6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	25
6.11.1 Análisis estadístico.....	25
6.11.2 Análisis económico	25
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
7.1 PESO TOTAL DE FRUTOS	26
7.2 DIAS DE VIDA DE ANAQUEL.....	30
7.3 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	33
VIII. CONCLUSIONES	39
IX. RECOMENDACIONES	41
X. BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS.....	44

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Valor Nutricional del fruto de tomate (<i>Solanum lycopersicum L.</i>).....	12
Tabla 2 Descripción de los tratamientos.....	20
Tabla 3 Concentración de silicatos de magnesio por litro de agua para las aplicaciones foliares.....	24
Tabla 4 Peso total de frutos cosechados por unidad experimental (en kilogramos).....	27
Tabla 5 Análisis de varianza para la variable peso total de frutos.....	28

	Página
Tabla 6	Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC para el peso total de frutos de tomate cosechados..... 28
Tabla 7	Promedio de vida de anaquel (en días) en los frutos tomate por unidad experimental..... 31
Tabla 8	Análisis de varianza para la variable días de vida de anaquel (Corte 1).... 32
Tabla 9	Análisis de varianza para la variable días de vida de anaquel (Corte 2).... 32
Tabla 10	Análisis de varianza para la variable días de vida de anaquel (Corte 3).... 32
Tabla 11	Ingresos económicos por hectárea para los frutos de primera categoría 34
Tabla 12	Ingresos económicos por hectárea para los frutos de segunda categoría 34
Tabla 13	Ingresos económicos por hectárea para los frutos de tercera categoría 35
Tabla 14	Ingresos económicos totales por hectárea..... 35
Tabla 15	Costos por aplicaciones adicionales..... 36
Tabla 16	Cálculo de beneficios netos por tratamiento..... 37
Tabla 17	Análisis de dominancia de los tratamientos..... 37
Tabla 18	Tasa de retorno marginal de los tratamientos..... 38
Tabla 19	Cálculo de rentabilidad..... 38

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1:	Croquis de campo con aleatorización de tratamientos..... 22

EFFECTO DE SILICATOS DE MAGNESIO SOBRE RENDIMIENTO Y VIDA DE ANAQUEL DE TOMATE

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el municipio de Sanarate, departamento de El Progreso. Tuvo como objetivo evaluar el efecto de los silicatos de magnesio sobre el rendimiento y la vida de anaquel de los frutos del cultivo de tomate. Los tratamientos utilizados fueron: 3 dosificaciones de silicatos de magnesio granulado (aplicados vía edáfica) y 3 dosificaciones de silicatos de magnesio líquido (aplicados vía foliar) comparados a un testigo donde se omitió la aplicación de dicho compuesto. Se evaluó la cantidad de fruta cosechada por tratamiento, dividida en las 3 categorías comerciales utilizadas en Guatemala para su venta al por mayor, y la cantidad de días después del corte en que la fruta aun conservaba características aceptables para su comercialización. Las aplicaciones de silicatos de magnesio granulados mostraron diferencias significativas respecto al testigo, llegando a mejorar hasta en un 15.2% la productividad, aplicando 1000 kg/ ha de producto comercial con 40% de SiO_2 y 36% de MgO_2 . Las aplicaciones foliares no presentaron diferencias significativas respecto al testigo. Los días de vida de anaquel tampoco se vieron afectados por ninguna de las aplicaciones edáficas ni foliares de silicatos de magnesio. En el análisis económico se obtuvo una mejora de rentabilidad en dos tratamientos con aplicaciones de silicatos de magnesio granulados, aumentando hasta un 18% la rentabilidad. Este aumento de rentabilidad se debió no solo al aumento de la fruta cosechada, sino también a una mayor proporción de fruta de primera calidad y costos relativamente bajos de aplicación del producto.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del tomate (*S. lycopersicum L.*) en Guatemala ha tenido un aumento de más de 6 veces la cantidad de producto exportado a Centroamérica en la última década, llegando a 53,000 toneladas en 2013 (MAGA, 2014). En 2016, se cosecharon 8,190 hectáreas de tomate a nivel nacional, promediando 38,500 kilogramos de fruta por hectárea (MAGA, 2017). Los rendimientos se ven comprometidos en los últimos años debido a presencia de enfermedades (TMV, TYLCV, TSWV, *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum*) fijación de nutrientes y escasa fertilidad en los suelos. La nutrición del cultivo es clave para maximizar la producción y hoy en día muchos productores únicamente brindan macronutrientes primarios dejando a un lado otros nutrientes indispensables para la productividad y calidad de fruta.

En este estudio se evaluó el compuesto Silicato de Magnesio que provee un macronutriente (Magnesio) y un elemento benéfico (Silicio), que ha demostrado tener ventajas en otros cultivos (arroz y cucurbitáceas) en el reforzamiento de la pared celular, mejorando la resistencia mecánica de los tejidos, y añadiendo resistencia a enfermedades fungosas como la estría marrón ancha de la hoja del arroz (*Oryza sativa L.*) causada por *Dreschlera oryzae* y *Cercospora oryzae*.

En ésta investigación se pretendió conseguir una mejor productividad y ayudar a mejorar la vida de anaquel de los frutos a través de aplicaciones foliares (por medio de asperjados con bomba de mochila manual) y edáficas (por medio de la incorporación de un producto granulado en el surco antes de la siembra) de dos fuentes de silicatos de magnesio. Se evaluaron tres dosis de aplicación para las aplicaciones foliares las cuales fueron: 6.45 L/ha, 9.66 L/ha y 12.9 L/ha de producto comercial, y tres dosis para la aplicación edáfica que fueron de 250 kg/ha, 625 kg/ha y 1,000 kg/ha de producto comercial.

Estas pruebas se realizaron en la Finca Experimental East-West Seed ubicada en el municipio de Sanarate, departamento de El Progreso a una altura de 803 msnm. Dicha área es actualmente complicada para cultivar por presencia alta de mosca blanca (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*) portadora de los virus TMV, TYLCV y

TSW, así como también alta presencia de nemátodos. Los factores a evaluar son: rendimiento y días de vida de anaquel (que es una característica muy importante debido a la logística de transporte que puede tomar de 3 a 8 días antes de llegar al consumidor final). Se empezó a evaluar desde el día número 85 después del trasplante, hasta que la cosecha terminó en el día número 117 después del trasplante. Se realizó un análisis de varianza para ambos factores y una prueba de DCG al cinco por ciento de probabilidad de error, así como también un análisis económico para determinar la rentabilidad de las aplicaciones de Silicatos de Magnesio.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 SILICIO Y SILICATOS

Los silicatos son el grupo de minerales de mayor abundancia, pues constituyen más del 95% de la corteza terrestre, además del grupo de más importancia geológica por ser petrogénicos, es decir, los minerales que forman las rocas. Todos los silicatos están compuestos por silicio y oxígeno. Estos elementos pueden estar acompañados de otros entre los que destacan aluminio, hierro, magnesio o calcio (Brito, 2012).

Químicamente son sales del ácido silícico. Los silicatos, así como los aluminosilicatos, son la base de numerosos minerales que tienen al tetraedro de silicio-oxígeno (un átomo de silicio coordinado tetraédricamente a átomos de oxígeno) como su estructura básica: feldespatos, micas, arcillas (Brito, 2012).

Los silicatos forman materiales basados en la repetición de la unidad tetraédrica SiO_4^{4-} . La unidad SiO_4^{4-} tiene cargas negativas que generalmente son compensadas por la presencia de iones de metales alcalinos o alcalinotérreos, así como de otros metales como el aluminio (Brito, 2012).

Los silicatos forman parte de la mayoría de las rocas, arenas y arcillas. También se puede obtener vidrio a partir de muchos silicatos. Los átomos de oxígeno pueden compartirse entre dos de estas unidades SiO_4^{4-} , es decir, se comparte uno de los vértices del tetraedro. Por ejemplo, el disilicato tiene como fórmula $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{6-}$ y, en general, los silicatos tiene como fórmula $[(\text{SiO}_3)^2]_n$. En el caso de que todos los átomos de oxígeno estén compartidos, y por tanto la carga está neutralizada, se tiene una red tridimensional denominada sílice o dióxido de silicio, SiO_2 , (Brito, 2012).

El silicato aumenta la disponibilidad de fósforo, actúa como neutralizante de la acidez del suelo, e inactiva formas tóxicas de hierro, Aluminio y Manganeso, que pueden ser nocivas para la planta (Pulverizar, S.A., 2015).

En la planta, el silicio promueve una mayor producción de materia seca, proporciona a las plantas resistencia a enfermedades, hojas y tallos, aumenta la verdosidad y contribuye a la economía del agua (Pulverizar, S.A., 2015)

El silicio parece beneficiar a ciertas plantas cuando están bajo estrés hídrico o salino. Se ha comprobado que mejora la tolerancia a las sequías y retrasa la defoliación prematura de algunos cultivos que no se riegan y que puede mejorar la capacidad de resistencia de las plantas a las toxicidades de micronutrientes y de otros metales (por ejemplo, aluminio, cobre, hierro, manganeso, zinc, etc.). Además, se ha comprobado que el silicio ayuda a incrementar la resistencia del tallo. Por ejemplo, investigaciones demostraron que cuando el arroz y el trigo tienen deficiencia de silicio, sus tallos se debilitan y colapsan bajo la lluvia o el viento (un estado llamado encorvamiento) y las flores de Pascua tratadas con silicio han mostrado una reducción en la cantidad de tallos rotos. Se ha demostrado que el silicio incrementa la resistencia de ciertas especies de plantas a ataques patógenos de hongos. En el caso de cenicienta y de phytophthora, el ataque de estas enfermedades fue retrasado en zinnias, rosas, girasoles, pepinos (todos con cenicienta) y gerberas (con phytophthora) tratados con silicio, pero después de entre 1 a 3 semanas, tanto las plantas tratadas con silicio como las no tratadas, tenían la misma enfermedad. El modo de actuar de la mayoría de estos beneficios son inciertos y se necesitan más investigaciones para comprobarlos (DELCORP, S.A., 2010).

Como el silicio no se considera un elemento esencial, la mayoría de las plantas crecerán de manera normal sin él. No obstante, unas pocas plantas han manifestado efectos perjudiciales si no se aplica silicio. Como se mencionó anteriormente, el arroz, el trigo y otros cultivos gramíneos exhiben una incidencia reducida de encorvamiento cuando se les proporciona silicio. Los tomates pueden tener un desarrollo anormal de su flor, y al igual que los pepinos y las fresas, pueden tener un conjunto de frutas deformes. En algunas plantas, la deficiencia de silicio también puede incrementar la posibilidad de que adquieran toxicidad por manganeso, cobre o hierro (Horna, 2007).

Toxicidad: aunque es poco común, los niveles de silicio en exceso pueden competir con la absorción de otros nutrientes. Se comprobó que los altos niveles de silicio en las gerberas y los girasoles, las deformó. Las plantas consideradas como “no acumuladoras” de silicio son más sensibles al exceso de silicio en comparación con las que son “acumuladoras” (Horna, 2007).

2.2 MAGNESIO

El magnesio es necesario en todas las plantas verdes, ya que es el componente central de la molécula de clorofila. Cada molécula de clorofila contiene un átomo de magnesio el cual significa el 2.7% del peso molecular de la clorofila. Del total de magnesio en la planta, menos del 0.1% esta presente en la clorofila; la mayoría de este catión se encuentra unido con ácidos orgánicos y con aniones inorgánicos. (De la Rosa, 2011)

Desempeña también un papel importante en la translocación del fósforo en la planta y posiblemente a consecuencia de esto, se acumula en las semillas de las especies ricas en aceites, pues el aceite va acompañado de una acumulación de lecitina, un lípido que contiene fosfato. (De la Rosa, 2011)

El magnesio es un activador de una gran cantidad de enzimas como son: enolasas, hexoquinasas, pirofosfatasas, carboxilasas, fosfoquinasas, glutamino-sintetasa, succinil-CoA sintetasa, etc,. También es requerido para la descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico para formar acetil-CoA. (De la Rosa, 2011)

El magnesio actúa como un elemento de unión para la agregación de las subunidades de los ribosomas, proceso que es necesario para la síntesis de proteínas. Cuando el nivel de magnesio es deficiente, las subunidades ribosomales se disocian y se detiene la síntesis de proteínas. También es requerido por la RNA-polimerasa e incrementa la formación de RNA en el núcleo. (De la Rosa, 2011)

Síntomas de deficiencia del magnesio: en contraste con el calcio, el magnesio es muy móvil y puede trasladarse de las hojas viejas a las hojas jóvenes en un estado de deficiencia. Por esta razón, cuando existe poco magnesio, las hojas viejas presentan un amarillamiento o clorosis intervenal que puede transformarse en áreas de tejido muerto entre las nervaduras si la deficiencia es muy drástica o suficientemente aguda. En algunas plantas los bordes de las hojas viejas se encorvan con la concavidad hacia arriba. (De la Rosa, 2011)

2.3 PROCESO DE SILICIFICACIÓN EN LAS PLANTAS

El silicio en la solución de suelo está presente en la forma de una molécula no cargada monomérica, ácido silícico a pH menor de 9. A pH superior a 9, el ácido silícico se disocia a ión silicato. La solubilidad del ácido silícico en agua es 2 mM a 25°C y la polimerización de este a sílica gel ocurre cuando la concentración de este excede 2 mM. La forma de silicio absorbida por la raíz es ácido monosilícico, el cual se transporta desde la raíz hacia los nuevos brotes, concentrándose debido a la pérdida de agua y polimerizándose primero a sílice coloidal y posteriormente a sílica gel al continuar incrementándose la concentración de ácido silícico (Horna, 2007).

El silicio es el único elemento que no causa serios problemas en cantidades excesivas. Este elemento se deposita como una capa gruesa de 2.5 micras de espesor en el espacio inmediatamente debajo de la cubierta cuticular, formando una doble capa de cutícula-Silicio. Esta formación se cree interviene en el rol del Silicio en aliviar los stress bióticos y abióticos. Es este uno de los mecanismos que se argumenta promueve la resistencia de las plantas a ser afectadas por enfermedades e insectos. Las acumulaciones de sílice en los tejidos actúan como una barrera física a la penetración de las hifas de los hongos y en el caso de insectos, dañan el aparato bucal. En el caso del banano se ha encontrado un efecto positivo en reducir la velocidad de desarrollo de Sigatoka Negra en las hojas (Horna, 2007).

2.4 EFECTO DE LAS APLICACIONES DE SILICIO

En el suelo, las aplicaciones de Silicio afectan de manera destacada la reducción de Estrés. Este estrés pueden clasificarse en deficiencias de elementos esenciales o el exceso de estos elementos. Muchos reportes han mostrado los beneficios de aplicaciones de Silicio bajo condiciones de excesos de Fósforo, Sodio, Manganeso, Nitrógeno y Aluminio, y bajo condiciones de deficiencias de Fósforo. Algunos ejemplos sobre éstas interacciones se detallan a continuación (Ruiz, 2014).

El Silicio regula la absorción de Fósforo cuando el suministro de éste es muy alto. Esto lo realiza limitando la absorción del fósforo inorgánico sin variar los contenidos del fósforo orgánico. Por tanto, los excesos internos de P inorgánico que causan la

inactivación de otros nutrientes como el Zinc, se ven limitados. Por tanto, se evitan problemas fisiológicos como inhibición de la actividad enzimática y creación de presión osmótica anormal (Ruiz, 2014).

Este es un tema de vital importancia para los suelos dedicados al cultivo del banano, los cuales por componentes alofánicos en su constitución mineralógica o por sus altos contenidos de Hierro y Manganeseo presentan una fijación de Fósforo, por lo cual se necesitan de aplicaciones extras de fertilizantes fosforados (Ruiz, 2014).

La reacción mediante la cual el silicio ayuda a liberar Fósforo fijado por el Hierro se detalla a continuación: $2\text{FePO}_4 + \text{Si}(\text{OH})_4 + 2\text{H}^+ = \text{Fe}_2\text{SiO}_4 + 2\text{H}_3\text{PO}_4$. De esta reacción se desprenden dos importantes efectos de las aplicaciones de Silicio: 1- Las aplicaciones de Silicio deben realizarse al suelo para que la reacción ocurra, por tanto, se necesitan fuentes edáficas, 2- Las aplicaciones de Silicio además de ayudar en la liberación de Fósforo para hacerlo asimilable a las plantas, inactiva el Hierro del suelo para ser asimilado por las plantas formando phyllosilicatos de hierro que son compuestos muy estables y no permiten la re-solubilización del hierro. (Ruiz, 2014)

Las aplicaciones de silicio han mostrado un efecto benéfico en cultivos bajo stress salino. La translocación de Sodio a los nuevos brotes está parcialmente ligada a la transpiración, mientras que se ha establecido que el Silicio decrece la transpiración. Por tanto, esto sugiere que los efectos benéficos del Silicio en condiciones salinas resulta del decrecimiento de la transpiración, reduciendo el flujo de Sodio hacia la planta. (Ruiz, 2014).

En las plantas los efectos benéficos del Silicio han sido reportados en una amplia gama de cultivos bajo stress biótico y abiótico. En presencia de Silicio, las hojas, tallos y panículas de arroz muestran un crecimiento erecto promoviendo una mejor distribución de luz en el canopy. En cucurbitáceas, la senescencia de las hojas se retarda, haciendo que las hojas luzcan más verdes y con mayor área foliar (Ruiz, 2014).

El Silicio en las plantas activa mecanismos de defensa en cucurbitáceas, mostrando un incremento en la actividad de enzimas quitinasas, peroxidasas, poliphenol-oxidasas y

compuestos fenólicos. Es muy importante señalar en este punto que el principal constituyente de la pared celular de *Mycosphaerella fijiensis* es quitina, por tanto, un incremento en la actividad de la enzima quitinasa resultará en una respuesta de defensa del banano hacia la infección por parte del hongo. Existen resultados sin publicar sobre el efecto positivo que tienen aplicaciones de Silicio, principalmente al suelo, sobre el retardo en la velocidad de desarrollo de la Sigatoka Negra (Ruiz, 2014).

No obstante, los efectos benéficos del Silicio en la protección vegetal se pierden al ser interrumpido el suministro de este nutriente, conduciendo a pérdida de resistencia aunque el Silicio haya sido irreversiblemente acumulado (Samuels et al., 1991). Este argumento contrarresta recientes publicaciones en medios de prensa donde se expresa que en cultivos como palma y banano, apenas dos aplicaciones al año han producido importantes incrementos de rendimiento (Ruiz, 2014).

Los estudios del Silicio en banano han demostrado que la absorción de este elemento por parte de la planta es de una forma pasiva, guiada por el consumo de agua que hace la planta. Esto hace que durante la época de crecimiento vegetativo, los valores de Silicio que se absorben pueden ser bastante altos, de ahí que se ha establecido que la translocación de la molécula de Silicio como H_4SiO_4 en la planta es altamente dependiente del flujo transpiratorio que lleva el elemento del sitio de absorción hacia los puntos de terminación de transpiración donde se acumula en forma de ópalo biogénico. De esto se desprende que para obtener las ventajas que ofrece el Silicio en las plantas, y para que este elemento se deposite en las hojas, las aplicaciones deben realizarse específicamente al suelo, para que el elemento pueda desplazarse a través de la planta mediante la transpiración (Ruiz, 2014).

Un fertilizante de silicio debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Alta concentración de Silicio Soluble
- Alta disponibilidad
- Propiedades físicas que permitan una fácil aplicación en el campo e inclusive la aplicación mecanizada
- Bajo costo

De acuerdo a estos requerimientos, la única fuente que cumple todos los requisitos para ser considerado un buen fertilizante silíceo es el silicato de calcio. (Ruiz, 2014)

Respecto a fuentes de sílice, se han realizado estudios por parte de la Universidad de la Florida y se ha concluido que la única fuente confiable de Silicio en forma disponible para las plantas lo constituye el silicato de calcio ya que en el proceso de producción, se ha utilizado alta temperatura que permite pasar la sílice de las formas insolubles a las solubles (Ruiz, 2014).

2.5 SILICIO EN LA PARED CELULAR

Los depósitos de silicio en la capa epidérmica de las hojas son particularmente efectivos para incrementar la resistencia mecánica del tejido a la infección de enfermedades fungosas e incluso al ataque de algunos insectos. (Horna, 2007)

2.6 CULTIVO DE TOMATE

Es una planta herbácea anual, a veces bienal, erecta o decumbente, de tamaño muy variable según las variedades (las precoces suelen alcanzar una longitud de 1,2 m; las tardías son casi siempre más grandes y pueden llegar al doble de longitud). Tiene tallos ramificados, a veces volubles, densamente glanduloso-pubescentes, con pelos cortos con o sin glándulas y pelos largos, blancos y pluricelulares. Las hojas llegan hasta 24 por 17 cm, ovadas u ovado-lanceoladas, imparipinnadas o biimparipinnadas con pecíolo de 1,5-6 cm y con folíolos que miden 4-60 por 3-40 mm, ovados, obtusos, peciolulados, enteros o lobados, muy desiguales, alternos, subopuestos u opuestos, en general verdes, glanduloso-pubescentes por el haz, cenicientos y tomentosos por el envés (Barron, 2014).

La inflorescencia se compone de cimas racemiformes, aisladas o geminadas, con 3-7 flores, extraaxilar, con frecuencia opuesta a las hojas y con pedúnculo 4-15 mm, a veces bifurcado. Las flores son actinomorfas, hermafroditas, sin brácteas, con pedicelos de 5,5- 20 mm en flor, y de hasta de 30 mm, deflexos y ensanchados en la fructificación, con una articulación hacia la mitad o un poco por encima de la misma. El cáliz tiene 6-10 mm en la floración y hasta de 30 mm en la fructificación. Es

campanulado, con 5-7 sépalos soldados en la base, glanduloso-pubescente, y tubo de 0,5-1,5 mm, más corto que los lóbulos que miden 5-10 mm y son linear-lanceolados o linear-elípticos, subobtusos, ligeramente desiguales. La corolamida 8-12 mm, igual o ligeramente más larga que el cáliz, amarilla, glanduloso-pubescente, con 5-8 pétalos de 6-8,5 mm, soldados en la base, oblanceolados, ciliados, con tres nervios (Barron, 2014).

Los estambres son glabros, iguales entre sí, con filamentos de 0,2-1 mm, unidos en la parte inferior y con la parte distal libre, más corta que las anteras que tienen 6-8 mm. El ovario es glanduloso-pubescente con estilo cilíndrico, a veces ensanchado en el ápice, pubescente en la mitad inferior al menos cuando joven, y con estigma capitado, deprimido en el centro (Barron, 2014).

El fruto (el tomate propiamente dicho), es una baya generalmente de forma sub-esférica, globosa o alargada y, habitualmente, de unos 8 centímetros de diámetro, cortamente glanduloso-pubescente y verde cuando inmadura y que toma generalmente un color rojo intenso con la maduración. Las semillas tienen 2,5-3 por 2 mm, son ovoides, comprimidas, lisas o muy velludas, parduscas y están embebidas en una abundante masa mucilaginosa (Barron, 2014).

El tomate, actualmente es una de las hortalizas de mayor consumo en Guatemala. Sus rendimientos promedios son de 38,500 kg/ha de terreno cultivado según “El Agro en Cifras” publicado por MAGA en 2016, aunque, dependiendo de las variedades, condiciones climáticas y manejo tecnificado las cifras pueden escalar hasta superar los 70,000 kg/ha según agricultores e ingenieros de empresas semilleristas dedicados al desarrollo de híbridos comerciales de este cultivo. En Guatemala, el tomate se produce de varios tipos, la planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos excepto a lo que se refiere al drenaje, el cual tiene que ser excelente, ya que no soporta el exceso de agua. No obstante hacen uso de suelos sueltos de textura arcillosa y ricos en materia orgánica. La industria del tomate no solo abastece al mercado local si no también se exporta a muchos países de mundo, siendo los principales El Salvador y Estados Unidos. Sin embargo y basándonos en las estadísticas de precio de este año,

todo indica que el mercado ya se está saturando fuertemente, dejando poco lugar para nuevo crecimiento (Ministerio de Agricultura Ganaderia y Alimentacion, 2013).

Es un cultivo que se maneja como anual (aunque la planta es semi perenne); tarda en vivero 26 a 28 días, de trasplante a cosecha 75 días y en cosechas de 50 a 100 días, este cultivo necesita una excelente preparación de suelos y camas altas para evitar encharcamiento y muerte de las plantas. Para lograr los rendimientos rentables se necesita producirlo bajo un sistema de riego por goteo para mejorar el suministro de agua y nutrientes (Ministerio de Agricultura Ganaderia y Alimentacion, 2013)

Son plantas bien susceptibles a problemas fitosanitarios, especialmente enfermedades fungosas, bacterianas y virales, aunque existen híbridos con ciertas resistencias a algunas de esas enfermedades. Se puede producir bien en campo abierto con estructuras temporales de protección como macrotuneles y microtuneles, pero también es uno de los principales cultivos de invernaderos y casas malla (Ministerio de Agricultura Ganaderia y Alimentacion, 2013).

El cultivo implica el uso del sustrato o suelo nativo para cultivar las plantas, dentro de sus ventajas, se incluye la compleja naturaleza orgánica e inorgánica del suelo, menos control del riego y la competencia de los elementos esenciales en la solución del suelo con los microorganismos (las bacterias, los hongos, estreptomicetes, etc.) (Produccion de Tomate Chihuahua, s.f.).

Otros factores importantes, son la acumulación de las sales, las enfermedades del suelo, los insectos-plaga y los nematodos (*Meloidogyne incognita* y *Pratylenchus* spp) los cuales pueden limitar severamente a la producción. Las raíces del Tomate, se desarrollan a una profundidad de 60 centímetros, con un 70% de ellas en los primeros 20 centímetros. Es necesario que se tenga buen drenaje, las raíces de las plantas de Tomate no toleran excesos de agua (Produccion de Tomate Chihuahua, s.f.).

Otros factores importantes, son la acumulación de las sales, las enfermedades del suelo, los insectos-plaga y los nematodos, los cuales pueden limitar severamente a la producción. Las raíces del Tomate, se desarrollan a una profundidad de 60

centímetros, con un 70% de ellas en los primeros 20 centímetros. Es necesario que se tenga buen drenaje, las raíces de las plantas de Tomate no toleran excesos de agua (Produccion de Tomate Chihuahua, s.f.).

El cultivo de tomate en Guatemala ha alcanzado avanzados niveles de tecnología, cultivándose a lo largo del año tanto en temporada de lluvia como en temporada seca, bajo riego por goteo. Es una de las hortalizas más importantes y de mayor producción y consumo, debido a que forma parte de la dieta alimenticia de los guatemaltecos por su sabor y alto valor nutritivo que posee, conteniendo cantidades considerables de vitaminas y minerales (Ministerio de Agricultura Ganaderia y Alimentacion, 2013).

Tabla 1. Valor Nutricional del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Tomate rojo, crudo	
Valor nutricional por cada 100 g	
Energía 18 kcal 74 kJ	
Carbohidratos	3.9 g
• Azúcares	2.6 g
• Fibra alimentaria	1.2 g
Grasas	0.2 g
Proteínas	0.9 g
Agua	94.5 g
Retinol (vit. A)	42 µg (5%)
• β-caroteno	449 µg (4%)
Tiamina (vit. B1)	0.037 mg (3%)
Niacina (vit. B3)	0.594 mg (4%)
Vitamina B6	0.08 mg (6%)
Vitamina C	14 mg (23%)
Vitamina E	0.54 mg (4%)

Vitamina K	7.9 µg (8%)
Magnesio	11 mg (3%)
Manganeso	0.114 mg (6%)
Fósforo	24 mg (3%)
Potasio	237 mg (5%)

% de la cantidad diaria recomendada para adultos.

(USDA, 2016)

2.6.1 Aspectos económicos del tomate en Guatemala

Durante el año 2013, la cosecha de tomate alcanzó las 318,181 toneladas, según los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA, 2015).

Empleo directo en campo (jornales/año 2011): 2,693,628

Equivalente en empleos permanentes: 9,624

El tomate (partida arancelaria: 0702.00.00 del SAC), tiene el 15% de derechos arancelarios a la importancia sobre el valor CIF (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, 2013).

2.7 HIBRIDO DE TOMATE A UTILIZAR

P-52 F1 es un híbrido de crecimiento determinado, vigoroso, fruta muy firme y de buen color, ideal para mercado guatemalteco. Con excelente cuaje de frutos, buena resistencia a virosis transmitida por mosca blanca. Distanciamiento de 1.10-1.20 metros entre surcos y de 0.50-0.60 metros entre plantas, recomendado para siembras todo el año (Ver Anexo 2).

2.8 VIDA DE ANAQUEL DEL FRUTO DE TOMATE

La vida de anaquel de los frutos de tomate está fuertemente ligada a la genética de la planta y a la absorción del elemento Calcio por parte la planta cuando el fruto está en proceso de formación y crecimiento. La vida promedio de un fruto de tomate después de cosechado sin presentar disminución de calidad se encuentra en un rango de 12 a 15 días. Tomando en cuenta que el elemento Silicio fortalece las paredes celulares se espera observar alguna mejora en el tiempo de vida de anaquel de los frutos de tomate.

2.9 PRODUCTOS A EVALUAR

2.9.1 Via foliar

Tecnosilix® Mg SL se usa en agricultura como fuente de Silicio y Magnesio en una amplia línea de cultivos, tales como: piña, melón, caña de azúcar, café, banano, hortalizas, plátano, sandía, tomate, cebolla, zanahoria, ornamentales, tabaco, repollo, maní, cítricos, ajo, papa, palma africana, frijol, arroz, pastos, maíz, sorgo, trigo, helechos, rosas y otras flores, berenjena, lechuga, brócoli, aguacate, durazno, manzana, uva, mora, fresa, guanábana, maracuyá, pimienta, yuca, chile, macadamia, pepino, jengibre, gramíneas en general y todos los cultivos que requieran estos elementos en cantidades importantes.

Tecnosilix® Mg SL es altamente efectivo para proteger y curar los cultivos del ataque de plagas, enfermedades y estrés. Esto se debe a que por un lado, el Silicio ha demostrado ser un elemento sobresaliente para inducir una mayor resistencia al ataque de plagas, enfermedades y estrés medio ambiental, debido al fortalecimiento que le brinda al tejido vegetal, específicamente en la parte de la cutícula. Contiene 15% de MgO y 30% de SiO₂.

2.9.2 Via edáfica

Tecnosilix Granulado es un fertilizante benéfico que posee un 40% de SiO₂ y 36% de MgO₂ en forma de silicatos activados y magnesio. Así mismo contribuye a una alta capacidad de intercambio catiónico en el suelo mejorando los niveles de fertilidad a través de una mineralización de los elementos esenciales al mezclarse con los

fertilizantes como Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Boro, Zinc, Hierro, Cobre, Manganeso y Molibdeno.

Es un mineral activado con múltiples beneficios, su importancia radica en contribuir a inducir resistencia a enfermedades y plagas en los cultivos, neutralización eficiente de aluminio y manganeso en suelos con alto contenido de acidez cuando lo aplicamos mezclado con fuentes de calcio además hace más disponible los minerales que tienen poca movilidad en el suelo como el Fosforo Potasio y Calcio.

Se aplica directamente al suelo en una diversidad de cultivos tales como: Gramíneas, hortalizas, banano, café, caña, cítricos, mango, plátano, ornamentales, fruta, piña, vegetales y en todos los demás cultivos donde se necesite incrementar la fertilidad del suelo.

Es un fertilizante con silicio como principal ingrediente activo y es esencial para balancear las bases en la solución del suelo como Calcio, Potasio y Magnesio al aplicarlo incrementa los rendimientos de cosecha.

DOSIS Y FRECUENCIAS

Esto va a depender de las condiciones del de suelo como pH, concentración elevada de Hierro, Manganeso, Aluminio y Fósforo, y de las necesidades del cultivo de Silicio y Magnesio. Se recomienda utilizar de 0.25 a 1 TM por hectárea, recomendándose iniciar las aplicaciones con dosis elevadas para después disminuirlas cuando el suelo vaya estabilizándose, para evitar su alcalinización.

MÉTODO DE APLICACIÓN

Se aplica manual o mecánicamente incorporado, sobre el suelo o surco, o alrededor de la base del tallo de la planta. La presentación en granulado, no genera la necesidad de utilizar equipo de protección como gafas, mascarilla de polvos y guantes. Tecnosilix Granulado no es un producto tóxico, es decir no tiene ningún tipo de advertencia en su uso se puede manipular sin peligro o riesgo de contaminación, pero siempre es recomendable la utilización de equipo de protección como guantes, lentes de protección y mascarilla por parte del trabajador.

III. JUSTIFICACION DEL TRABAJO

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

En Guatemala, el elemento silicio y sus funciones, tanto en la planta como en el suelo, aún son poco conocidas entre los productores y técnicos de hortalizas. Muchas de estas funciones podrían mejorar significativamente los rendimientos en suelos con problemas de productividad, como lo es en el caso de Sanarate, en donde muchos productores de solanáceas como Tomate y Chile Pimiento se han trasladado a otras regiones geográficas e incluso muchos de ellos han dejado de cultivar a causa de problemas de alta presión de virus (TMV, TYLCV, TSWV) y fertilidad de suelos (salinidad, fijación de nutrientes, desbalance nutricional). Por ésta razón el área sembrada en Sanarate y lugares cercanos (Estancia La Virgen, Sansare, San Agustin Acasaguastan, Guastatoya, Las Moritas) ha disminuido drásticamente en los últimos 10 años, dejando gran parte de terrenos cultivables completamente abandonados.

Existe poca información sobre aplicaciones de fertilizantes silicatados en el cultivo, y la mayoría está enfocada a evaluaciones sobre el contenido de silicio en los tejidos de la planta. Estas investigaciones han tomado en cuenta los beneficios del silicio como "Inductor de Resistencia" y por lo tanto se enfocan en la resistencia del cultivo a ciertos agentes fitopatógenos como *Botrytis cinérea* o incluso a fortalecer la cutícula de las hojas disminuyendo así la presencia de algunos insectos como la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum*.

Debido a la poca o nula disponibilidad de información sobre los resultados de aplicaciones de silicatos en cultivo de tomate para mejorar directamente la producción de frutos, esta investigación evaluó las dos formas posibles de suministrar el elemento silicio, que son: Via Foliar y Via Edáfica. Utilizando una de las fuentes más comunes de fertilizante silicatado disponible en nuestro país, como lo son los Silicatos de Magnesio. Adicionalmente a la evaluación de rendimiento, también se evaluó si la aplicación de Silicatos tiene influencia sobre la vida de anaquel de los frutos.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de los silicatos de magnesio sobre el rendimiento y la vida de anaquel de los frutos del cultivo de tomate.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el efecto de los silicatos de magnesio sobre el rendimiento del tomate.

Determinar el efecto de los silicatos de magnesio sobre la vida de anaquel del fruto.

Determinar la rentabilidad de las aplicaciones de silicatos de magnesio.

Realizar observaciones sobre las plantas y sus frutos para encontrar posibles ventajas de los Silicatos de Magnesio de magnesio en el cultivo de tomate.

V. HIPÓTESIS

5.1 HIPÓTESIS ALTERNAS

Al menos uno de los tratamientos aplicados al cultivo influye positivamente en el rendimiento del cultivo de tomate con respecto al testigo.

Al menos uno de los tratamientos aplicados al cultivo contribuye a alargar la vida de anaquel del fruto de tomate con respecto al testigo.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

Finca Experimental East-West Seed Guatemala, S.A. en el municipio de Sanarate, departamento de El Progreso, Guatemala C.A. El terreno posee una altura promedio de 803 msnm y está ubicado en latitud norte 14°48'17" y longitud oeste 90°13'21". La finca posee un área total de 1.75 hectáreas con un suelo de textura franca-arcillosa (Ver Anexo 3).

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

Se utilizaron Silicatos de Magnesio en forma líquida (aplicaciones foliares) y Silicatos de magnesio granulados (aplicaciones edáficas) sobre el material genético híbrido de tomate determinado P-52 F1.

6.3 FACTOR A ESTUDIAR

Se estudiaron las formas de poder proveer de manera efectiva el elemento Silicio mediante aplicaciones foliares y edáficas, utilizando 3 dosificaciones basadas en las recomendaciones de fabricante del producto comercial utilizado. En este caso el elemento silicio será aplicado en forma de Silicato de Magnesio.

6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

La aplicación foliar de silicatos de magnesio se realizó utilizando el producto comercial llamado Tecnosilix Mg SL y su contenido nutricional es de 30% de SiO₂ y 15% de MgO.

Por su lado, las aplicaciones edáficas se hicieron utilizando el producto comercial Tecnosilix 60% que posee un 40% de SiO₂ y 36% de MgO.

Se establecieron 6 tratamientos aplicando silicatos de magnesio para su evaluación, más un séptimo tratamiento (Testigo) que no incluye aplicación de silicatos de magnesio. Los tratamientos se describen a continuación.

Tabla 2: Descripción de los tratamientos.

Trata- miento	Producto	Dosis/ aplicación (Producto Comercial)	Cantidad de nutrientes aplicados / ha	Frecuencia de aplicación	Fertilización aplicada
T1	Silicato de magnesio granulado	250 kg/ha	100 kg SiO ₂ 90 kg MgO	Una aplicación antes del trasplante	Macronutrientes, micronutrientes y Silicatos de Magnesio
T2	Silicato de magnesio granulado	625 kg/ha	250 kg SiO ₂ 225 kg MgO	Una aplicación antes del trasplante	Macronutrientes, micronutrientes y Silicatos de Magnesio
T3	Silicato de magnesio granulado	1000 kg/ha	400 kg SiO ₂ 360 kg MgO	Una aplicación antes del trasplante	Macronutrientes, micronutrientes y Silicatos de Magnesio
T4	Silicato de Magnesio Liquido	6.45 L/ha	1.9 kg SiO ₂ 0.97 kg MgO	1/3 de la dosis cada 8 dias.	Macronutrientes, micronutrientes y Silicatos de Magnesio
T5	Silicato de Magnesio Liquido	9.66 L/ha	2.9 kg SiO ₂ 1.45 kg MgO	1/3 de la dosis cada 8 dias.	Macronutrientes, micronutrientes y Silicatos de Magnesio

T6	Silicato de Magnesio Líquido	12.9 L/ha	3.87 kg SiO ₂ 1.94 kg MgO	1/3 de la dosis cada 8 días.	Macronutrientes, micronutrientes y Silicatos de Magnesio
T7	Ninguno (Testigo)	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Macronutrientes y micronutrientes

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar más testigo absoluto con siete tratamientos y cuatro repeticiones.

6.6 MODELO ESTADÍSTICO

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde μ es la media global de los tratamientos, τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento, ε_{ij} es el término del error experimental j del tratamiento i .

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental o parcela bruta constó de parcelas de 2.5x6 m, en el cual estuvieron en evaluación 25 plantas sembradas a una distancia de 0.6 m entre plantas y 1.2 m entre surcos (5 plantas por surco en cinco surcos) debidamente identificadas.

La parcela neta fue de 1.5x3.6 m y se recolectaron datos de 9 plantas que estuvieron ubicadas en el centro de la parcela omitiendo las 16 plantas ubicadas en la parte externa de la parcela bruta. Se utilizaron 4 repeticiones de cada tratamiento y el total de unidades experimentales fue de 28.

6.8 CROQUIS DE CAMPO

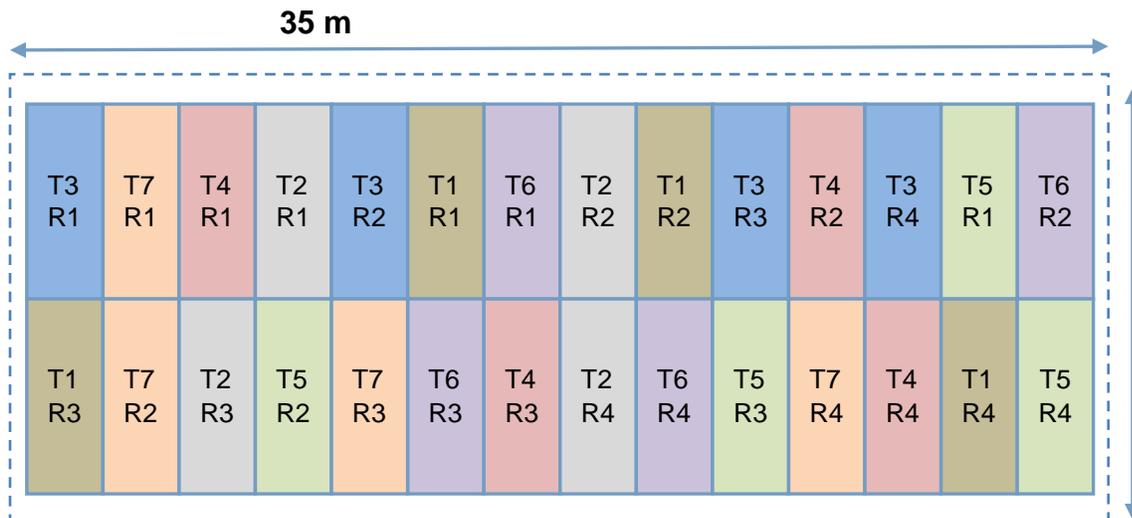


Figura 1. Croquis de campo con aleatorización de tratamientos.

6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO

6.9.1 Actividades antes de la aplicación

Como en todos los ciclos de cultivo de una finca experimental, se realizan planes de fertilización de acuerdo a las condiciones de suelo (Ver Anexo 17), climáticas y material genético que se cultiva, teniendo este plan de fertilización algunos cambios a criterio del encargado de la finca dependiendo del estado de la plantación. Siempre tomando en cuenta el aporte de todos los elementos esenciales. Todas las plantas de las diferentes unidades experimentales recibieron la misma fertilización (Incluyendo el tratamiento Testigo), en cuanto a Macronutrientes y Micronutrientes. Se realizaron aplicaciones de fertilizantes granulados completos de fórmulas químicas, fertilizantes solubles como Nitrato de Calcio, Nitrato de Potasio, Nitrato de Magnesio, Sulfato de potasio, Sulfato de Magnesio, Muriato de Potasio y Fosfato Monoamónico, así como también algunos fertilizantes líquidos vía foliar con microelementos quelatados.

El elemento Silicio fue el único elemento “benéfico” o “no esencial” suministrado con diferentes formas de aplicación y dosificaciones, y fue el que marcó la principal diferencia de productividad entre tratamientos. Aunque también se modificó la concentración de Magnesio por la fuente de silicatos utilizada, este elemento no debió

marcar diferencia significativa en productividad ya que el plan de fertilización utilizado ya incorpora aplicaciones frecuentes de Magnesio mediante Sulfatos de Magnesio y Nitratos de Magnesio, por lo cual fue un elemento presente en cantidades suficientes en el suelo.

6.9.2 Formas de aplicación

Las aplicaciones se realizaron siguiendo con las recomendaciones del fabricante del producto. Las dosis evaluadas fueron tomadas de la ficha técnica del producto, así como también la frecuencia de aplicación.

En los tratamientos número uno, dos y tres (en los cuales se aplicaron silicatos de magnesio en forma granulada) la aplicación se hizo en el momento del trasplante, incorporándolo en el surco de siembra, al lado de cada planta, a una profundidad de 10 cm utilizando la dosis específica para cada uno de los tratamientos.

En los tratamientos número cuatro, cinco y seis (En los que se aplicaron silicatos de magnesio en forma líquida) la aplicación fue dirigida al follaje con equipo manual de pulverización y haciendo uso respectivo de humectantes, acidificantes, penetrantes y adherentes para hacer que la aplicación foliar sea más efectiva. Se realizaron tres aplicaciones de 1/3 de la dosis establecida para cada tratamiento distanciadas 8 días entre cada aplicación a partir de los 15 días después del trasplante.

6.9.3 Dosificación

Para la aplicación edáfica se utilizaron tres dosis diferentes, dos de las cuales fueron tomadas de la ficha técnica del producto siendo 250 kg/ha la dosis mínima recomendada y 1000 kg/ha la dosis máxima recomendada. La tercera dosis es una media entre la mínima y la máxima recomendada siendo ésta 625 kg/ha. Estos tratamientos se componen de una única aplicación.

En las aplicaciones foliares se utilizaron, al igual que en el caso anterior, la dosis mínima y máxima recomendada más un tercer tratamiento que consiste en la media de ambas, siendo la cantidad de producto 6.45 L/ha, 9.66 L/ha y 12.9 L/ha respectivamente. Estas cantidades se dividieron en tres aplicaciones.

Para las aplicaciones foliares se usaron aproximadamente 58 cc de la solución por planta. El volumen de solución se obtuvo tomando un caudal promedio de 870 ml de solución por minuto en la boquilla de la bomba y tomando 4 segundos de asperjado por planta sin importar la edad para mantener los volúmenes de solución.

La concentración final en mililitros de producto comercial por litro de agua quedaría de la siguiente forma:

Tabla 3: Concentración de silicatos de magnesio por litro de agua para las aplicaciones foliares.

Dosis	Mililitros de producto / litro de agua	Mililitros de producto / Bomba de 16 litros
2.15 L/ha.	2.66	42.56
3.22 L/ha.	3.99	63.84
4.3 L/ha.	5.32	85.12

6.10 VARIABLES DE RESPUESTA

6.10.1 Peso total de frutos

Se pesó la totalidad de los frutos cosechados por parcela neta, divididos en categorías comerciales (Frutos de primera >110 g, Frutos de segunda 90-110 g y Frutos de tercera 70-90 g) para su análisis y determinación del mejor tratamiento. Se realizaron un total de 3 cosechas distanciadas 15 días entre cada. Se cosecharon únicamente 9 plantas que conforman la parcela neta, posteriormente los frutos cosechados fueron separados en las tres categorías comerciales usadas en Guatemala para la venta (primera, segunda y tercera calidad), para ser pesada la cantidad total de frutos (en kilogramos) por categoría por cada una de las unidades experimentales y llevar registro de los datos para su análisis.

6.10.2 Días de vida de anaquel

Se tomaron 4 frutos de cada unidad experimental en cada cosecha para dejarlos en observación en una habitación ventilada y bajo sombra, para después contar el número de días que éstos mantuvieron su calidad. Se observaron hasta que el último tratamiento perdió en todos sus frutos las características de calidad de un fruto “fresco”.

6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.11.1 Análisis estadístico

Los datos de rendimiento fueron tabulados y posteriormente sometidos al análisis de varianza utilizando el programa Infostat para detectar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Después de encontrar diferencias significativas se realizó la prueba de DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves), al cinco por ciento de probabilidad de error, utilizando el mismo programa estadístico.

6.11.2 Análisis económico

Se estimó el costo de la aplicación de silicatos de magnesio en los tratamientos y se comparó con el ingreso adicional obtenido (si existiese) para determinar la rentabilidad de la aplicación de silicatos de magnesio para los tratamientos con diferencia significativa respecto al tratamiento testigo y verificar si la ganancia adicional supera los costos de aplicación.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 PESO TOTAL DE FRUTOS

Pasaron 87 días después del trasplante para que el cultivo estuviese listo para su primer corte de frutos. La cosecha comenzó el día 6 de junio del año 2016, cuando ya existía en las plantas un buen número de frutos rojos. En el caso de este experimento, se realizaron tres cortes en total (con 15 días de separación entre cortes), cosechando frutas en fase de maduración.

La parcela bruta tuvo de 25 plantas formando un cuadrado de 5x5 plantas de las cuales solamente se cosecharon 9, las cuales forman parte de la parcela neta.

Los frutos de cada una de las unidades experimentales fueron colocados en cajas de madera individuales, donde después de su colecta fueron divididos en las 3 categorías comerciales usadas en Guatemala. Las categorías son: Frutos de primera calidad (>110 g), Frutos de segunda (90-110 g) y Frutos de tercera (70-90 g). La división de la cosecha en estas tres categorías fue realizada por trabajadores experimentados encargados de todas las cosechas en esta finca experimental, por lo cual se asegura que la selección de estos trabajadores concuerde con los requerimientos de los compradores del mercado nacional.

Una vez terminada la clasificación de la fruta, se procedió a pesar cada una de las categorías por unidad experimental, para su registro y posterior análisis. Durante este proceso se tomaron 4 frutos al azar de primera calidad de cada una de las unidades experimentales para su observación y determinación de la vida de anaquel de la fruta.

En el cuadro 4 se muestra el resumen de lo cosechado por unidad experimental en los tres cortes.

Tabla 4. Peso total de frutos cosechados por unidad experimental (en kilogramos).

No. Tratamiento	Repetición	Categoría Comercial						Sumas
		Primera	%	Segunda	%	Tercera	%	
1	1	36,03	70.2%	13,10	25.5%	2,23	4.3%	51,36
1	2	34,30	71.1%	11,55	23.9%	2,41	5.0%	48,26
1	3	41,36	69.7%	13,62	22.9%	4,37	7.4%	59,34
1	4	37,86	72.4%	12,12	23.2%	2,30	4.4%	52,27
2	1	43,98	69.2%	13,91	21.9%	5,65	8.9%	63,55
2	2	40,59	72.4%	13,29	23.7%	2,20	3.9%	56,09
2	3	41,49	72.6%	13,10	22.9%	2,52	4.4%	57,11
2	4	35,11	66.6%	14,33	27.2%	3,26	6.2%	52,71
3	1	34,47	67.7%	12,02	23.6%	4,40	8.6%	50,89
3	2	46,06	71.9%	15,57	24.3%	2,43	3.8%	64,06
3	3	44,57	75.9%	11,92	20.3%	2,26	3.9%	58,76
3	4	44,03	74.5%	12,67	21.5%	2,36	4.0%	59,06
4	1	39,08	75.7%	11,61	22.5%	0,90	1.7%	51,59
4	2	32,32	72.8%	10,10	22.7%	2,00	4.5%	44,42
4	3	40,37	74.5%	11,01	20.3%	2,77	5.1%	54,15
4	4	34,86	68.6%	12,77	25.1%	3,21	6.3%	50,84
5	1	34,11	65.3%	15,44	29.6%	2,67	5.1%	52,22
5	2	32,67	66.4%	13,06	26.5%	3,50	7.1%	49,24
5	3	31,47	65.3%	13,23	27.4%	3,52	7.3%	48,22
5	4	26,15	60.8%	14,14	32.9%	2,74	6.4%	43,03
6	1	28,51	62.6%	13,68	30.0%	3,36	7.4%	45,55
6	2	32,29	68.6%	11,66	24.8%	3,13	6.6%	47,08
6	3	31,57	65.4%	13,88	28.7%	2,83	5.9%	48,28
6	4	36,16	66.5%	14,82	27.3%	3,36	6.2%	54,34
7	1	38,85	73.3%	13,18	24.9%	0,98	1.8%	53,01
7	2	34,50	70.2%	11,40	23.2%	3,23	6.6%	49,13
7	3	36,55	67.6%	14,76	27.3%	2,74	5.1%	54,05
7	4	30,62	66.8%	12,35	26.9%	2,87	6.3%	45,84

Las sumatorias de cada unidad experimental fueron sometidas a un análisis de varianza, cuyo resultado se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 5. Análisis de varianza para la variable peso total de frutos.

F.V.	SC	GI	CM	f	p-valor	
Tratamiento	388.83	6	64.80	3.42	0.0164	*
Error	398.47	21	18.97			
Total	787.30	27				

*=Diferencia estadística significativa ($p < 0.05$)

Según los resultados del cuadro 4, se demuestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos, y podemos decir con una seguridad del 98.36% que al menos uno de los tratamientos es superior. Por esta razón se procedió a realizar una prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) al 5% de probabilidad de error. Los resultados se muestran en el cuadro 6.

Tabla 6. Prueba de separación de medias por medio de la metodología DGC para el peso total de frutos de tomate cosechados.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Silicato de Magnesio (Al Suelo, 625kg/ha)	58.19	4	2.18	A
Silicato de Magnesio (Al Suelo, 250kg/ha)	57.37	4	2.18	A
Silicato de Magnesio (Al Suelo, 250kg/ha)	52.81	4	2.18	B
Testigo	50.51	4	2.18	B
Silicato de Magnesio (Foliar, 6.45L/ha)	50.25	4	2.18	B
Silicato de Magnesio (Foliar, 12.9L/ha)	48.81	4	2.18	B
Silicato de Magnesio (Foliar, 9.66L/ha)	48.18	4	2.18	B

De acuerdo a la prueba de separación de medias por la metodología DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) sobre la cantidad total de fruta producida de todas las categorías comerciales, el tratamiento donde se aplicaron silicatos de magnesio vía edáfica y con la dosis más elevada fue el que presentó la mayor cantidad de fruta cosechada durante el ciclo con un aumento del 15.2% en la productividad, comparándolo con el tratamiento testigo. Seguido de cerca por el tratamiento con

aplicaciones de silicatos vía edáfica con dosis intermedia con un aumento del 13.58% sobre el tratamiento testigo, siendo éstos dos los tratamientos con el primer lugar en la prueba de separación de medias. El tratamiento testigo, los tratamientos con silicatos de magnesio vía foliar y la dosis mínima de silicatos de magnesio vía edáfica, no presentaron diferencia estadística. El tratamiento con los rendimientos más bajos, según la media, fue la aplicación de silicatos de magnesio vía foliar a dosis intermedia.

La diferencia estadística que se obtuvo en el rendimiento aplicando los silicatos de magnesio a nivel edáfico, pudo haber sido causada en su mayoría por una interacción silicatos-suelo más que por una interacción silicato-planta, debido a que el suministro de silicatos regula la absorción del fósforo inorgánico y mejora la disponibilidad del fósforo en suelos con altas fijaciones del elemento a través de la siguiente reacción: $2\text{FePO}_4 + \text{Si}(\text{OH})_4 + 2\text{H}^+ = \text{Fe}_2\text{SiO}_4 + 2\text{H}_3\text{PO}_4$. Donde el ion fosfato captura dos átomos de hidrógeno de la solución del suelo para estabilizarse, de esta manera reduce la concentración de hidrógeno libre y logra aumentar el pH del suelo. Lo que lo haría útil para utilizarse como enmienda frecuente en suelos ácidos.

De la misma manera en que el elemento silicio participa en la reacción con Fosfatos de Hierro para liberar el Fósforo, también lo puede hacer con Fosfatos de Aluminio, Manganeso y Calcio. Así como también formar enlaces fuertes con iones tóxicos de Hierro, Aluminio, Manganeso, Cobre y Zinc para reducir toxicidades causadas por excesos de estos elementos en la solución del suelo.

En el análisis de suelo (Ver Anexo 18) podemos observar altas concentraciones de Manganeso y Calcio que nos indica una tendencia a la formación de Fosfatos de Manganeso y Fosfatos de Calcio, lo que llevaría a toxicidades por estos metales pesados y a excesivas fijaciones del elemento Fósforo, en dichas condiciones se espera un beneficio de parte de los silicatos, atrapando los metales pesados de la solución del suelo y ayudando a revertir parte de la fijación de fósforo.

También se observa un porcentaje bajo de Materia Orgánica (2.17%) lo que limita la actividad microbiana para transformar los silicatos a Ácido Silícico, que es la única forma en la que la planta puede absorber el elemento Silicio. Por lo que puede haber

suprimido los beneficios del silicio en la planta, como el retrasar entre 4 a 5 días el proceso de inoculación de *Botrytis cinerea en tomate* debido a la acumulación de sílice en las paredes de células epidérmicas, lo que genera una capa debajo de la cutícula que le confiere a los tejidos mayor resistencia a las enzimas liberadas por los haustorios. Este mismo mecanismo ayuda a disminuir la población de *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci* al dañar su aparato bucal al atravesar la capa de sílice.

7.2 DIAS DE VIDA DE ANAQUEL

En cada una de las 3 cosechas se tomaron 4 frutos de primera calidad (que representa la mayoría de frutos cosechados en las 3 categorías comerciales y la calidad de frutos más importantes en la comercialización) y se dejaron en una mesa con identificaciones por unidades experimentales, en un ambiente fresco y bajo sombra. Cada una de las muestras fue observada diariamente hasta que perdiera sus características de calidad, que en el caso del tomate son: epicarpio liso, brillante y sin podredumbres o depresiones y que el fruto mantenga sus características de firmeza.

Los frutos que fueron perdiendo su calidad eran retirados para que no contaminaran al resto con posibles microorganismos o fluidos que alterarían directamente la vida restante de los demás frutos.

Debido a que cada unidad contaba con 4 datos diferentes, por la duración de cada fruto observado, se tomó el promedio de vida de los 4 frutos y éste promedio representa la duración de la fruta por unidad experimental. Los datos de duración se presentan en el cuadro 7.

Tabla 7. Promedio de vida de anaquel (en días) en los frutos tomate por unidad experimental.

No. Tratamiento	Repetición	Vida de anaquel por corte (días)		
		1	2	3
1	1	18	17	17
1	2	18	18	16
1	3	20	18	18
1	4	19	18	16
2	1	18	17	15
2	2	17	18	16
2	3	19	19	17
2	4	19	18	16
3	1	19	18	15
3	2	18	19	17
3	3	20	19	16
3	4	19	19	15
4	1	19	18	16
4	2	19	18	16
4	3	18	17	16
4	4	20	17	16
5	1	19	18	17
5	2	18	18	17
5	3	17	18	15
5	4	19	17	16
6	1	18	19	15
6	2	18	16	17
6	3	18	17	15
6	4	19	18	14
7	1	17	17	14
7	2	17	18	15
7	3	18	18	16
7	4	17	18	15

Los resultados por corte de cada una de las unidades experimentales fueron sometidos a un análisis de varianza, cuyo resultado se presenta en los siguientes cuadros.

Tabla 8. Análisis de varianza para la variable días de vida de anaquel (Corte 1).

F.V.	SC	GI	CM	f	p-valor
Tratamiento	9.27	6	1.55	2.10	0.0971
Error	15.48	21	0.74		
Total	24.76	27			

No existe diferencia significativa entre tratamientos ($p>0.05$)

Tabla 9. Análisis de varianza para la variable días de vida de anaquel (Corte 2).

F.V.	SC	GI	CM	f	p-valor
Tratamiento	4.96	6	0.83	1.54	0.2127
Error	11.25	21	0.54		
Total	16.21	27			

No existe diferencia significativa entre tratamientos ($p>0.05$)

Tabla 10. Análisis de varianza para la variable días de vida de anaquel (Corte 3).

F.V.	SC	GI	CM	f	p-valor
Tratamiento	7.00	6	1.84	1.84	0.1393
Error	13.30	21	0.63		
Total	20.29	27			

No existe diferencia significativa entre tratamientos ($p>0.05$)

Como se muestra en los cuadros anteriores, no existe diferencia significativa entre tratamientos. Lo que indica la posibilidad de que los silicatos de magnesio no se traslocan satisfactoriamente a la cutícula de los frutos de tomate (al igual que lo suele hacer en las hojas). Aunque existen investigaciones donde se ha demostrado que ciertas moléculas con silicio (como los ácidos monosilícicos) sí tienden a mejorar la vida de anaquel en algunas frutas como fresas, manzanas y tomates cuando existe presencia de enfermedades fúngicas que afecten los frutos (Bent, 2014).

7.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

En las pruebas de separación de medias se tuvo el liderazgo en rendimiento por parte de los tratamientos que llevaron las dosis más altas de Silicatos de Magnesio granulados en aplicaciones edáficas, siendo el tratamiento número 3 el que dispone de la media más alta en producción, utilizando 1000 kg/ha de silicatos de magnesio, seguido por el tratamiento 2 con una aplicación de 625 kg/ha. Estos tratamientos produjeron una cantidad de fruta significativamente mayor que el tratamiento testigo y por lo tanto se realizó un análisis económico para determinar si la producción extra generada por dichos tratamientos, compensa el costo de aplicación del producto utilizado para proporcionar los silicatos de magnesio al suelo.

En las siguientes tablas se pueden observar los ingresos percibidos por los tratamientos tomando en cuenta la cantidad de fruta por categoría comercial y el precio de venta por categoría. Los precios de venta de primera y segunda categoría tomados para este análisis fueron obtenidos del promedio de precios para mayo y junio 2016 en el mercado “La Terminal” según MAGA. Debido a la inexistencia de datos para los frutos de tercera categoría comercial, se realizó el cálculo del precio en base a la diferencia de precio existente entre los frutos de primera y segunda categoría, donde la caja de frutos de segunda categoría tiene un precio que representa el 72.51% del precio de la caja de fruto de primera categoría. De esta manera, el precio de la caja con frutos de tercera categoría comercial representa el 72.51% del precio de la caja con frutos de segunda categoría comercial.

*Los rendimientos por hectárea fueron obtenidos mediante conversión, utilizando el rendimiento obtenido de las 36 plantas por tratamiento (4 repeticiones de 9 plantas de parcela neta) y una referencia de 13,888.88 plantas sembradas por hectárea a un distanciamiento entre plantas de 0.6m y 1.2m entre surcos a una única hilera por surco.

Tabla 11. Ingresos económicos por hectárea para los frutos de primera categoría.

Tratamiento	Rendimiento total (kg/ha)	Rendimiento (Cajas de 21.5 kg)	Precio por caja (Q)	Ingreso total (Q)
1	57,685.15	2,683.03	78.58	210,832.51
2	62,191.32	2,892.62	78.58	227,302.04
3	65,246.87	3,034.74	78.58	238,469.73
4	56,558.61	2,630.63	78.58	206,715.13
5	47,993.80	2,232.27	78.58	175,411.75
5	49,583.30	2,306.20	78.58	181,221.20
7 (Testigo)	54,212.93	2,521.53	78.58	198,141.95

Tabla 12. Ingresos económicos por hectárea para los frutos de segunda categoría.

Tratamiento	Rendimiento total (kg/ha)	Rendimiento (Cajas de 21.5 kg)	Precio por caja (Q)	Ingreso total (Q)
1	19,429.00	903.67	56.98	51,491.37
2	21,080.23	980.48	56.98	55,867.52
3	20,138.88	936.69	56.98	53,372.70
4	17,546.29	816.11	56.98	46,501.74
5	21,543.20	1,002.01	56.98	57,094.48
6	20,848.75	969.71	56.98	55,254.04
7 (Testigo)	19,938.26	927.36	56.98	52,841.02

Tabla 13. Ingresos económicos por hectárea para los frutos de tercera categoría.

Tratamiento	Rendimiento total (kg/ha)	Rendimiento (Cajas de 21.5 kg)	Precio por caja (Q)	Ingreso total (Q)
1	4,351.85	202.41	41.32	8,363.65
2	5,262.34	244.76	41.32	10,113.49
3	4,413.58	205.28	41.32	8,482.28
4	3,425.92	159.35	41.32	6,584.15
5	4,783.95	222.51	41.32	9,194.08
6	4,876.54	226.82	41.32	9,372.03
7 (Testigo)	3,780.86	175.85	41.32	7,266.29

Tabla 14. Ingresos económicos totales por hectárea.

Tratamiento	Fruto de Primera (Q)	Fruto de Segunda (Q)	Fruto de Tercera (Q)	Ingreso total (Q)
1	210,832.51	51,491.37	8,363.65	270,687.52
2	227,302.04	55,867.52	10,113.49	293,283.05
3	238,469.73	53,372.70	8,482.28	300,324.71
4	206,715.13	46,501.74	6,584.15	259,801.01
5	175,411.75	57,094.48	9,194.08	241,700.30
6	181,221.20	55,254.04	9,372.03	245,847.27
7 (Testigo)	198,141.95	52,841.02	7,266.29	258,249.26

Debido a que no se encontró registro en Fasagua, MAGA, INE u otras instituciones dedicadas al registro de datos que tengan que ver con los costos de producción de tomate en condiciones a campo abierto, se tomaron los costos de producción aproximados de agricultores experimentados en el cultivo y las condiciones que se presentan en la zona donde se realizó el experimento (Sanarate).

Según la entrevista a los productores, los costos de producción en el ciclo completo del cultivo de tomate determinado a campo abierto rondan los Q.143,000.00 por hectárea,

siendo la mano de obra uno de los costos de producción más elevados (llegando a superar un tercio de los costos totales) con una cifra aproximada de Q50,000.00 por Hectárea. Seguido de los costos de plaguicidas (Fungicidas, insecticidas y bactericidas) que rondan los Q.43,000.00, los costos de fertilización (fertilizantes orgánicos, granulados, solubles y foliares) con Q.28,500.00 y otros insumos (manta flotante, estacas, pita, herramientas y mulch) con un costo de Q.21,500.00.

En el siguiente cuadro se muestran los gastos adicionales que conlleva la aplicación de los productos utilizados en los tratamientos 1 al 6.

Tabla 15. Costos por aplicaciones adicionales.

Tratamiento	Costos Fijos (Q)	Mano de obra adicional (Q)	Insumos adicionales (Q)	Costos Totales que varían (Q)	Costo total (Q)
1	143,000.00	818.70	1,500.00	2,318.70	145,318.70
2	143,000.00	818.70	3,750.00	4,568.70	147,568.70
3	143,000.00	818.70	6,000.00	6,818.70	149,818.70
4	143,000.00	818.70	612.00	1430.70	144,430.70
5	143,000.00	818.70	917.70	1,736.40	144,736.40
6	143,000.00	818.70	1,225.50	2,044.20	145,044.20

El costo de los insumos se basó en que cada saco de 25 kg del producto comercial tiene un precio final en el mercado de Q.150.00. Para los tratamientos 1, 2 y 3 se utilizaron 250, 625 y 1000 kg de producto por hectárea, respectivamente. En el caso de los tratamientos 4, 5 y 6 se utilizaron 6.45, 9.66 y 12.9 litros por hectárea, respectivamente, a un precio de Q.95.00 por litro de producto comercial. La mano de obra adicional fue calculada para 10 jornales pagando el salario mínimo 2016 que equivale a Q.81.87 (Ministerio de trabajo y previsión social 2018).

Con estos datos se pudo obtener el beneficio neto, para realizar un análisis de tasa marginal de retorno comparando los tratamientos con aplicación de silicatos con el tratamiento 7 (testigo), los resultados se presentan la siguiente tabla.

Tabla 16. Cálculo de beneficios netos por tratamiento (por hectárea).

	Tratamiento						
	1	2	3	4	5	6	7 (Testigo)
Ingresos Ajustados (90%)	243,618.77	263,954.74	270,292.24	233,820.91	217,530.27	221,262.54	232,424.33
Costos Fijos	143,000.00	143,000.00	143,000.00	143,000.00	143,000.00	143,000.00	143,000.00
Beneficio Bruto	100,618.77	120,954.74	127,292.24	90,820.91	74,530.27	78,262.54	89,424.33
Costo de Insumo	1,500.00	3,750.00	6,000.00	612.00	917.70	1,225.50	0
Costo Mano de Obra	818.70	818.70	818.70	818.70	818.70	818.70	0
Costos totales que varían	2,318.70	4,568.70	6,818.70	1430.70	1,736.40	2,044.20	0
Beneficio Neto	98.300.07	116,220.24	120,307.74	89,390.21	72,793.87	76,218.34	89,424.33

Tabla 17. Análisis de dominancia de los tratamientos.

Tratamiento	Costos Totales que Varían (Q)	Beneficios Netos Ajustados (Q)	Dominancia
7 (Testigo)	0	89,424.33	ND
4	1430.70	89,390.21	D
5	1,736.40	72,793.87	D
6	2,044.20	76,218.34	D
1	2,318.70	98.300.07	ND
2	4,568.70	116,220.24	ND
3	6,818.70	120,307.74	ND

Tabla 18. Tasa de retorno marginal de los tratamientos.

Tratamiento	Cambio de Costos Variables (Q)	Cambio en Beneficios netos (Q)	Tasa de Retorno Marginal (%)
7 (Testigo)	0	0	---
1	2,318.70	8,875.74	382.79
2	2,250.00	17,920.17	796.45
3	2,250.00	4,087.5	181.66

Según el análisis de la tasa de retorno marginal en los cuadros anteriores, podemos observar un beneficio de Q.3.82 por cada Q.1.00 que invertamos adicional en el paso del tratamiento testigo al tratamiento 1 y Q.7.96 por cada Q.1.00 adicional al pasar al tratamiento 2 desde el tratamiento 1. Sin embargo, solo se observa un beneficio de Q.1.81 por cada quetzal invertido, cuando cambiamos del tratamiento 2 al tratamiento 3.

Tabla 19. Cálculo de rentabilidad.

Tratamiento	Ingresos Totales Ajustados (Q)	Costos Totales (Q)	Utilidad (Q)	Rentabilidad (%)
1	243,618.77	145,318.70	98,300.07	67
2	263,954.74	147,568.70	116,220.24	78
3	270,292.24	149,818.70	120,307.74	80
7 (Testigo)	232,424.33	143,000.00	89,424.33	62

De acuerdo al cuadro anterior, el tratamiento número 3 es el que presenta mayor rentabilidad, siendo un 18% mas rentable que el tratamiento testigo, Seguido de cerca por el tratamiento 2, que fue solo un 2% menos rentable que el tratamiento 3, y por ultimo el tratamiento 1 que fue un 5% más rentable que el tratamiento testigo. Las aplicaciones edáficas de silicatos de magnesio sí han demostrado incrementar la rentabilidad en el cultivo de tomate, en la primer aplicación.

VIII. CONCLUSIONES

Los silicatos de magnesio aplicados al cultivo de tomate demostraron ser efectivos en aplicaciones edáficas en todas las dosis evaluadas, llegando a incrementar hasta un 15.2% la producción total de fruta respecto al testigo en caso del tratamiento con dosis de 1,000 kg/ha de silicatos de magnesio granulados y un aumento del 13.6% para el caso del tratamiento con 625 kg/ha.

Para el caso de los tratamientos con aplicaciones foliares, no se observó diferencia estadística en la productividad respecto al tratamiento testigo, siguiendo las recomendaciones del fabricante del producto. Ésto posiblemente por una mala absorción de los silicatos vía foliar o por una cantidad de kilogramos por hectárea de silicatos muy baja respecto a los tratamientos con aplicaciones edáficas.

En base a las observaciones de la fruta cosechada (almacenada en ambiente fresco y bajo sombra) no se observaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a una mayor vida de anaquel de los frutos de las plantas que recibieron aplicaciones foliares o edáficas de silicatos de magnesio, mostrando que la fertilización con silicatos de magnesio a las dosis e intervalos de aplicación recomendados por el fabricante del producto, no repercute directamente en la durabilidad de los frutos de tomate en manejo postcosecha.

Las aplicaciones de silicatos de magnesio edáficas demostraron aumentar la rentabilidad del cultivo hasta un 18% con el tratamiento con dosis máximas recomendadas y un 16% de aumento en la rentabilidad utilizando dosis intermedias. Estos datos representan el resultado más importante para el productor de tomate de crecimiento determinado, añadiendo beneficio económico al poner en práctica estas aplicaciones en condiciones de suelo y clima similares a los encontrados en el área geográfica donde se llevó a cabo esta investigación.

Se pudo observar un aumento no solo en la cantidad de fruta producida al aplicar silicatos de magnesio vía edáfica, sino también una mejora en el porcentaje de fruta de primera calidad, que ascendió desde un 69.5% en el tratamiento testigo, hasta un 71.3% y 71.4% para los tratamientos con silicatos de magnesio con dosis medias y altas respectivamente. Las plantas tratadas con silicatos de magnesio al suelo, con dosis medias y altas, alcanzaron una altura máxima 12-15 días antes que las otras.

IX. RECOMENDACIONES

Realizar otras investigaciones donde se ponga prueba la efectividad de los silicatos de magnesio via foliar con un suministro constante a lo largo del ciclo del cultivo de tomate, ya que en esta investigación solo se realizaron tres aplicaciones durante los primeros 45 días después del trasplante por recomendación del fabricante del producto, y no se obtuvo diferencia estadística respecto al tratamiento testigo.

Al evaluar aplicaciones edáficas de silicatos de magnesio, se recomendarían análisis de suelo antes y después de las aplicaciones para tener conocimiento de lo que sucede con la concentración o disponibilidad de los elementos con los que los silicatos tienden a interactuar (P, Fe, Mn) y un posible cambio en el pH del suelo, y así establecer momentos y condiciones idóneas para la aplicación de los silicatos de magnesio.

Evaluar los silicatos de magnesio en híbridos de tomate con menos vigor y/o resistencia a enfermedades, para disminuir problemas de productividad en condiciones adversas, tomando en cuenta que el híbrido utilizado en esta prueba posee una mayor resistencia a agentes bióticos y abióticos que la mayoría de híbridos comerciales en Guatemala.

Evaluar la aplicación de silicatos de magnesio en condiciones diferentes a las evaluadas en este documento en cuanto al origen y características de suelo, ya que actualmente este cultivo es sembrado en toda la República Guatemala.

Evaluar los silicatos de magnesio como fuente alternativa del elemento magnesio para reducir costos de aplicación de este elemento y así contribuir a aumentar la rentabilidad del cultivo.

Evaluar los silicatos de magnesio en comparación con otras fuentes de silicio como silicatos de potasio y silicatos de calcio, para determinar cuál de las fuentes es más efectiva en el cultivo de tomate y qué etapa podemos aplicar cada una de las formulaciones para optimizar el suministro del macronutriente que acompaña al silicato.

X. BIBLIOGRAFIA

- Ministerio de Agricultura, Ganaderia y Alimentacion. (2014). Perfil comercial Tomate (En Linea). Guatemala. Consultado 18 mar. 2016, de MAGA:
<http://web.maga.gob.gt/download/Perfil%20tomate.pdf>.
- Ministerio de Agricultura, Ganaderia y Alimentacion. (2017). El Agro en Cifras 2016 (En Linea). Guatemala. Consultado 18 mar. 2018, de MAGA:
http://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/Integracion%20y%20comercio%20exterior/el_agro_en_cifras_2015.pdf.
- Brito, J. C. (11 de febrero de 2012). Slide Share, Silicatos (En linea). Consultado el 23sep. 2015. Disponible en <http://es.slideshare.net/juankucc/los-silicatos>.
- Pulverizar, S.A. (2015). Agromundo: Silicato de Magnesio (En Linea). Consultado 23 sep. 2015. Disponible en <http://www.agromundo.co/classified/fertilizante-natural-silicato-de-magnesio-344.html>.
- DELCORP, S.A. (Agosto de 2010). Silicato de Magnesio Magnesil. Guayaquil, Ecuador. Consultado el 20 sep. 2015.
- HORNA, Z. (2007). Efectos del silicio en la nutrición vegetal producción de silicio orgánico. Agryptus. Quevedo, Ecuador.
- Daniel De la Rosa. (2011), Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro (En linea). Consultado el 20 sep. 2015. Disponible en <http://fisiologiavegetal.mdelarosa.com.mx/nutricion.html>
- Ruiz, J. (4 de Abril de 2014). Importancia del Silicio (En Linea). Consultado 23 sep. 2015. Disponible en <http://elproductor.com/2014/04/24/importancia-del-silicio-en-la-fertilizacion-de-cultivos-agricolas-y-en-particular-en-la-produccion-bananera>.
- Barron, J. (2014). Los Tomates, Xperterra (En linea). Consultado el 23 sep. 2015. Disponible en <http://jaimebarron.wix.com/xperterra-tomate#!history/c1ayc>
- Ministerio de Agricultura Ganaderia y Alimentacion. (1 de Noviembre de 2013). El Agro en Cifras 2013 (En Linea). Guatemala. Consultado 20 sep. 2015, de MAGA:
<http://web.maga.gob.gt/download/El-agro-en-cifras-small.pdf>
- USDA. (2016). National Nutrient Database for Standard Reference Release 28. (En Linea). Consultado el 18 mar. 2018. Disponible en <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3223>
- Bent, E. (2014). Los efectos del sílice en las características poscosecha de frutas, hortalizas y ornamentales. (En línea). Consultado el 18 mar. 2018. Disponible en

http://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/141028_bent_vs_esp_silicon_in_psth?e=8490508/9918961

Ministerio de Trabajo y Prevision Social. (2018). Salario Mínimo 2017. (En Línea). Consultado el 18 mar. 2018. Disponible en <http://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/salariominimo.html>.

Elorza, E. S. (20 de diciembre de 2010). *Solanum* en Flora Iberica. Madrid, España. Consultado el 20 sep. 2015

Ministerio de Agricultura Ganaderia y Alimentacion. (1 de Noviembre de 2013). El Agro en Cifras 2013 (En Línea). Guatemala. Consultado 20 sep. 2015, de MAGA: <http://web.maga.gob.gt/download/El-agro-en-cifras-small.pdf>

Produccion de Tomate Chihuahua. (s.f.).(En línea). Consultado el 23 sep. 2015. Disponible en http://www.chihuahua.gob.mx/attach2/sdr/Noticias/Adjuntos/CN_867CC_3389/producci%C3%B3n%20de%20tomate.pdf

Ministerio de Agricultura, Ganaderia y Alimentacion. (2016). El Agro en Cifras 2015 (En Línea). Guatemala. Consultado 8 jul. 2017, de MAGA: http://www.mineco.gob.gt/sites/default/files/Integracion%20y%20comercio%20exterior/el_agro_en_cifras_2015.pdf

Leatherwood, R. and N. Mattson. (s.f.). Adding silicon to the fertilizer program in poinsettias production: benefits and facts. (En Línea). Consultado el 19 nov. 2017 de Cornell University: http://www.greenhouse.cornell.edu/crops/factsheets/silicon_poinsettia.pdf

Bloodnick, E. (2012). Rol del silicio en el cultivo de plantas. (En Línea). Consultado el 19 nov. 2017. Disponible en <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-silicio-en-el-cultivo-de-plantas>.

Smart! Fertilizer Management. (s.f.). Magnesio (En Línea). Consultado 25 sep. 2015. Disponible en <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/magnesium>.

ANEXOS

Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 12- 16
Siembra						
Aplicaciones T1						
Aplicaciones T2						
Aplicaciones T3						
Aplicaciones T4						
Aplicaciones T5						
Aplicaciones T6						
Toma de datos						

Anexo 1: Cronograma de actividades

Variety Description

Maturity days after transplanting:	80-85
------------------------------------	-------

Vigor	Semi-determinate
-------	------------------

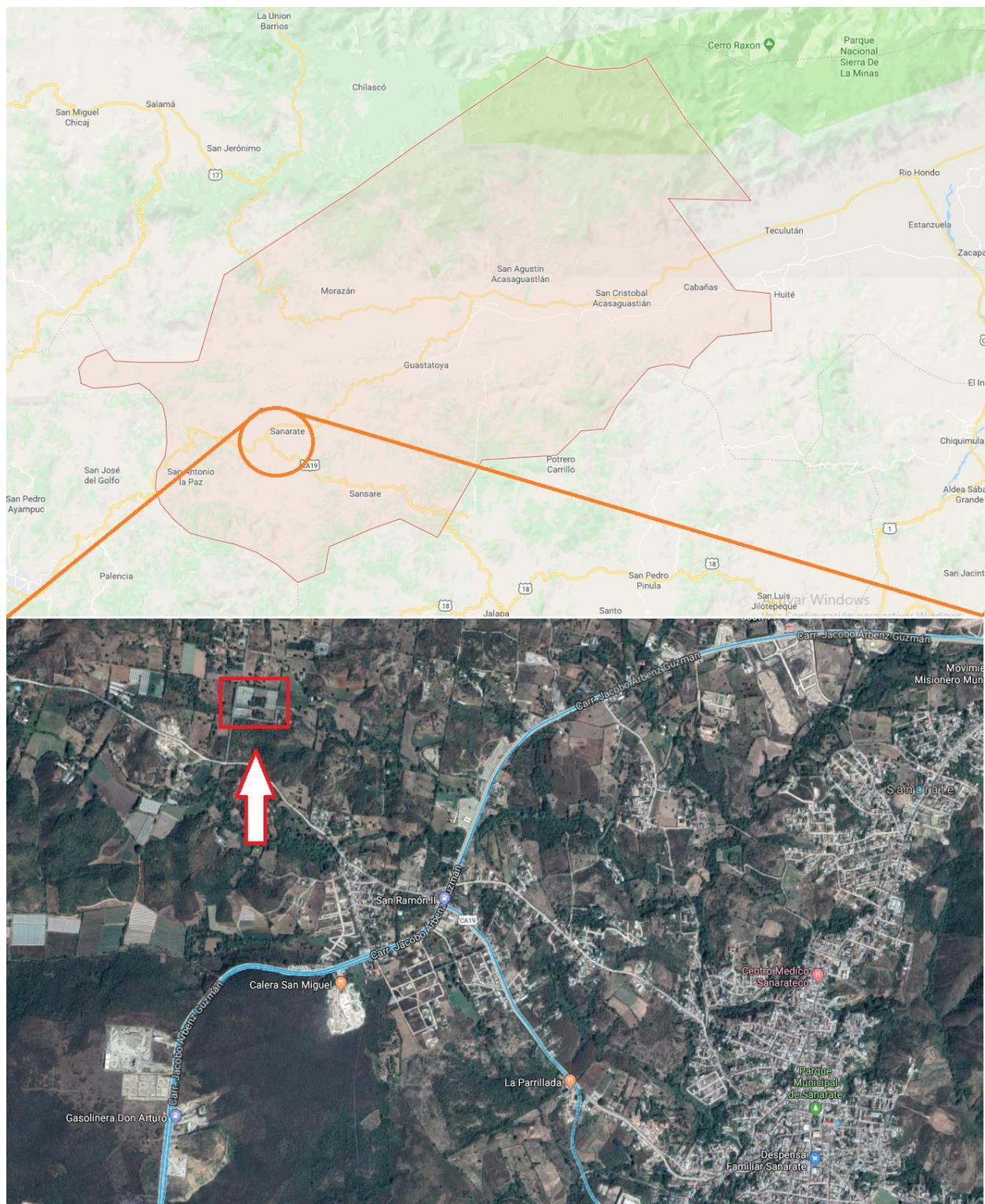
Shape:	Saladette alargado / elongated
--------	--------------------------------

Firmness:	Muy buena / Very good
-----------	-----------------------

Fruit weight	100-110 g
--------------	-----------

Resistances:	Vd, Fol 0-1, Mi, ToLCV, ToMV
--------------	------------------------------

Anexo 2: Descripción del híbrido P-52



Anexo 3: Localización de la Finca Experimental East West Seed



Anexo 4: Siembra de las plantas de tomate



Anexo 5: Identificación de las unidades experimentales y cobertura de las plantas



Anexo 6: Aplicaciones foliares



Anexo 7: Plantas después de retirada la cobertura



Anexo 8: Plantas en etapa de llenado de fruto



Anexo 9: Plantas listas para la primer cosecha de frutos



Anexo 10: Inicio de la cosecha de frutos



Anexo 11: Clasificación de frutos por categoría comercial



Anexo 12: Pesa digital utilizada para el pesado de frutos por categoría



Anexo 13: Proceso de pesado de fruta clasificada



Anexo 14: Fruta cosechada por unidad experimental



Anexo 15: Observación de los frutos después de la cosecha

Primer Corte			Segundo Corte			Tercer Corte					
Unidad	Primera	Segunda	Tercera	Unidad	Primera	Segunda	Tercera	Unidad	Primera	Segunda	Tercera
U1	56	34	14	U1	53	27.2	13	U1	15.6	12.6	
	59				28						
U2	56	14	4	U2	51	27.5	2	U2	22.5	17.4	
	59	22			43						
	33										
	45										
U3	53	28	3	U3	41.7	30.1	2.5	U3	12	13.2	
	57				51.2						
	25										
U4	52	26	16	U4	44.9	26.6	3.1	U4	13.8	14	
	58	18.8	15.6		40.3						
	42										
	19										
U5	54	46.2	12.2	U5	49.8	31.4	2.7	U5	16.6	18	
	54				51.3						
	55				24.9						
	55				50.4	35.6	1.3		13.4	11.8	
U6	52	33	12.4	U6	51.1			U6			
	21				33.3						
U7	52	44.4	17.8	U7	40.4	27.2	2.8	U7	14	12.4	
	29.4				39.2						
U8	53.2	37.6	11.6	U8	46.9	32.8	1.9	U8	11.2	11.2	
	46.6				38.1						
	53.2										
U9	52.6	31.6	13.3	U9	38.6	27.1	1.5	U9	13.2	12.2	
	46.2				43.3						
U10	54.2	27.2	12.6	U10	41	34.6	1.3	U10	9.2	11.4	
	33.4				35.8						
U11	50.8	21.8	11.4	U11	51.2	28.6	0.9	U11	9.8	11.6	
	36.6				47						
	3										
U12	51.2	29.2	12.4	U12	37.4	37.6	2.1	U12	10.8	11	
	53.2				39.6						
U13	52.4	42.6	13	U13	36.6	38.6	3.4	U13	11.2	13.6	
	50.4				33.4						
	25.4										
U14	51	29	15.8	U14	33.2	28.6	3.4	U14	9.2	14	
	57.6				15.4						
	31.8										

U15	60	25	11	U15	38	46	2.6	U15	15.8	12.6	
	58		13.2		30.6						
	27										
	41.2										
U16	54.2	26.8	16	U16	41.8	28.8	3.8	U16	9.6	14.4	
	53.8				32.6						
	58.6				32.2						
U17	60	26	14	U17	39.6	41	1.5	U17	13.4	13.4	
	56				40						
	36				40.4						
U18	56	32	16	U18	37.6	36.8	5.5	U18	8.2	11.4	
	46				38						
	32										
U19	42	18.8	12.6	U19	36.8	38.6	4.2	U19	8.8	11	
	46	22.2			28						
	48				34.8						
U20	52	40	15.8	U20	35.8	39.2	4.8	U20	8.8	11.8	
	22				30.6						
	44				28.8						
U21	56	26.4	12	U21	38.8	31	5	U21	10.4	10.2	
	52				34						
	18				38.6						
U22	52	40	15	U22	37	37.8	5	U22	9.2	10.2	
	56				31						
U23	60	38	13.4	U23	32.4	36.8	4	U23	9.6	10.4	
	56				35.8						
U24	62	34	16	U24	38.8	35.4	5.6	U24	10	11.8	
	58				24.4						
U25	60	34	15.2	U25	36.4	28.8	2.4	U25	10.4	13	
	56				25.2						
U26	56	42	17.2	U26	33.4	24	2.5	U26	10.8	12.4	
	58				35.8						
	20										
U27	54	36	11.8	U27	38.8	26.4	2.3	U27	11.4	12	
	48				40.2						
	40										
U28	49	48	14.6	U28	33.8	25.4	2.2	U28	10	13.4	
	51										

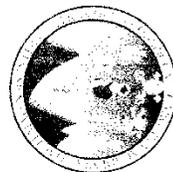
Anexo 16: Tabla de toma de datos de pesos (Libreta de Campo)

Corte 1				Corte 2				Corte 3			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
17	18	18	19	15	16	18	19	15	17	18	18
15	19	18	21	17	17	19	20	14	15	17	19
18	22	21	19	18	19	19	19	16	18	19	20
17	19	20	20	16	18	19	21	15	15	16	19
17	17	18	20	16	17	17	19	14	15	17	17
11	18	19	20	17	19	19	20	15	16	18	18
18	18	20	21	18	19	20	20	16	16	17	19
16	19	20	21	17	18	18	21	14	16	17	18
18	19	19	22	16	19	19	20	15	15	16	17
16	19	20	20	18	19	20	22	15	18	19	19
19	20	21	21	17	19	20	21	16	16	17	18
18	19	19	20	18	19	19	20	14	15	17	17
17	20	20	20	17	18	18	19	15	16	16	17
18	19	19	21	17	17	19	20	13	17	17	19
17	17	19	20	15	18	18	19	15	16	17	18
19	20	21	22	16	17	18	19	16	16	17	18
18	20	20	21	17	17	19	20	16	17	17	18
17	18	19	21	16	18	20	20	16	16	18	19
15	18	19	19	17	18	19	20	14	15	17	17
17	19	20	21	16	18	18	18	14	16	17	18
18	18	19	20	17	19	21	21	13	15	16	18
16	18	19	19	15	16	16	19	15	16	18	19
17	17	19	20	15	17	18	19	13	15	15	18
18	19	20	22	16	18	19	20	14	14	15	16
16	16	18	18	14	18	19	19	13	15	15	16
15	17	19	19	17	17	19	20	14	15	16	16
17	18	19	21	16	18	18	20	16	16	17	18
15	16	17	20	15	19	19	19	14	14	16	16

Anexo 17: Tabla de toma de datos de duración de frutos en observación (días)



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: EAST-WEST SEED (Guatemala)
RESPONSABLE: MAOLY CASTANEDA
PROCEDENCIA: SANARATE, EL PROGRESO
FECHA DE INGRESO: 19/01/2016

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS

IDENTIFICACION	pH	Ppm								Medq/100 gr					%		
		P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O	N			
RANGO ADECUADO	6-6.5	12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	20-25	4-8	1.5-2	-----	0.27-0.38	75-90	4-5	0.3-0.4			
M-2	7.7	143	1.5	5.00	7.00	24.50	23.6	16.72	5.26	0.40	0.76	98.05	2.17	0.15			

ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

IDENTIFICACION	%			CLASE TEXTURAL
	Arcilla	Limo	Areña	
M-2	30.32	42.00	27.68	FRANCO ARCILLOSO

CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 EDIFICIO LIVIGER, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12, GUATEMALA
 CODIGO POSTAL 01012, APARTADO POSTAL 1545. TEL.: (502)24189308, (502)24188000 EXT 1562 Ó 1769