

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**



**ANÁLISIS DE LA FERTILIZACIÓN A BASE DE SILICIO EN EL CULTIVO DE
TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) EN CONDICIONES DE
INVERNADERO Y CULTIVO SIN SUELO.**

POR:

NALLELY SARAHI VELAZQUEZ MALACARA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Horticultura

Buenavista, Saltillo; Coahuila, México. Noviembre, 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO".
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA.
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA.

**ANÁLISIS DE LA FERTILIZACIÓN A BASE DE SILICIO EN EL CULTIVO DE
TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) EN CONDICIONES DE INVERNADERO
Y CULTIVO SIN SUELO.**

POR:

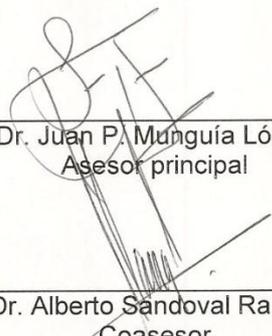
NALLELY SARAHI VELAZQUEZ MALACARA.

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

APROBADA POR:



Dr. Juan P. Munguía López
Asesor principal

Dr. Adalberto Benavides
Mendoza
Asesor

Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coasesor



Ing. Felipe Hernández Catillo
Vocal

Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Coordinador de la División de
Agronomía

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre, 2010

DEDICATORIA

Con una dedicatoria especial para mi padre Dios y a la virgen de Guadalupe por iluminar mi camino siempre, durante esta hermosa etapa de mi vida, así como permitirme terminar satisfactoriamente este proyecto de vida.

A mis padre el señor Víctor Manuel Velázquez Aguirre y a mi madre la señora Gloria Malacara Luna, por su amor, por su eterna paciencia y por sus sabios consejos, pero sobre todo por su apoyo siempre incondicional, esperando que todos los sacrificios por fin comiencen a ser recompensados y que vean este logro como suyo.

A mis hermanos Víctor y Jennifer, gracias por ser parte de mi vida, por apoyarme en este proyecto que hoy finalizo, por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos.

A mis abuelos la señora Dora y Leopoldo Malacara Rojas se el orgullo que esto representa para ustedes, gracias por la confianza que han depositado en mí.

A toda mi familia por contar siempre con su apoyo, en especial para mi tía Felisa Malacara Luna por apoyarme incondicionalmente siempre que lo he necesitado, así como por sus siempre acertados consejos. Sin duda una dedicatoria especial para Emiliano, Ernesto y Felisa Alessandra y para mi sobrino Iván que con sus travesuras y ocurrencias, iluminan y dan alegría a mi vida, ¡Gracias pequeños!

AGRADECIMIENTO

Principalmente a la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, en particular al departamento de Horticultura por el apoyo brindado a lo largo de mis estudios.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en especial al departamento de Agroplásticos por la gran oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación dentro de sus instalaciones.

Al *Dr. Juna P. Munguía López* por darme la oportunidad para desarrollar el presente trabajo, por compartir su tiempo, sus conocimientos y por el apoyo para el mismo.

Al *Dr. Adalberto Benavides Mendoza* por su tiempo, el apoyo y la paciencia para la realización y revisión de este trabajo.

Al *Dr. Alberto Sandoval Rangel* por las aportaciones y el apoyo a la revisión de este trabajo.

A la *M.C. María del Rosario Quezada*, por su apoyo para este trabajo de investigación. A los ingenieros *Felipe Hernández Castillo* y *Eduardo Treviño* por su apoyo técnico en la realización de este trabajo.

A *Ma. Guadalupe Pérez Ovalle* de laboratorio de postcosecha del departamento de horticultura, por el apoyo para la realización de los análisis físico químicos realizados para este trabajo de investigación.

A todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en mi formación profesional y en el desarrollo de este trabajo.

INDICE

CONTENIDO	PAGINA
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
INDICE DE CUADROS	9
RESUMEN	10
I. INTRODUCCIÒN	12
II. REVISIÒN DE LITERATURA	14
2.1. SILICIO.	14
2.1.1. Dinámica del Silicio	15
2.1.2. El silicio con otros Elementos	15
2.1.3. Contenido del Silicio en la Planta	16
2.1.4. Función del Silicio en la Planta	18
2.1.4.1. Funciones estructurales.	19
2.1.4.2. Funciones fisiológicas.	19
2.1.4.3. Funciones de protección.	20
2.1.5. Efecto del Silicio en las Raíces.	20
2.1.6. Efecto del Silicio en las Hojas.	21
2.1.7. Efecto del Silicio en el Fruto.	21
2.1.8. Absorción de Silicio.	21
2.1.9. Deficiencias de Silicio.	22
2.1.10. Toxicidad de Silicio.	23
2.2. EL CULTIVO DEL TOMATE.	23
2.2.1. Tomate en Invernadero.	23
2.2.2. Generalidades del Cultivo.	24
2.2.3. Híbrido Gabriela	24
III. MATERIALES Y METODOS	26
3.1. Localización del Sitio Experimental.	26

3.2.	Tipo y Condiciones del Invernadero.	26
3.3.	Material Vegetativo.	27
3.4.	Sustrato.	27
3.5.	Diseño Experimental.	28
3.6.	Descripción de tratamientos.	28
	3.6.1. Tratamiento sin Fertilizante de Silicio.	28
	3.6.2. Tratamiento con Fertilizante en Concentración Baja en Silicio (FBS).	30
	3.6.3. Tratamiento con Fertilizante en Concentración Alta en Silicio (FAS).	31
3.7.	Riego.	32
3.8.	Establecimiento y Manejo del Cultivo.	32
	3.8.1. Trasplante.	32
	3.8.2. Marco de plantación.	33
	3.8.3. Entutorado.	33
	3.8.4. Poda.	34
	3.8.5. Bajado de planta.	34
	3.8.6. Cosecha.	34
3.9.	Variables Evaluadas.	35
	3.9.1. Variables Fisiológicas.	35
	3.9.1.1. Altura de tallo.	35
	3.9.1.2. Diámetro de tallo.	35
	3.9.1.3. Área foliar.	36
	3.9.1.4. Materia seca área foliar.	36
	3.9.1.5. Materia seca de tallo.	36
	3.9.1.6. Rendimiento por corte.	36
	3.9.1.7. Rendimiento total.	37
	3.9.1.8. Número de frutos por corte.	37
	3.9.1.9. Número de frutos totales.	37
	3.9.2. Variables de Calidad.	37
	3.9.2.1. Color.	37
	3.9.2.2. Firmeza.	38
	3.9.2.3. Sólidos solubles totales.	38

3.9.2.4.	Vitamina C.	38
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1	Variables Fenológicas.	40
4.1.1	Diámetro de tallo.	40
4.1.2	Longitud de tallo.	42
4.1.3	Área foliar	43
4.1.4	Materia seca de área foliar.	44
4.1.5	Materia seca de tallo.	46
4.1.6	Número de frutos por corte.	49
4.1.7	Rendimiento acumulado por corte.	50
4.1.8	Frutos acumulados por corte.	51
4.1.9	Rendimiento total.	52
4.1.10	Producción de frutos totales.	53
4.2	Variables de calidad	54
4.2.11	Contenido de vitamina C.	54
4.2.12	Firmeza.	55
4.2.13	Sólidos solubles.	56
4.2.14	Color	57
V.	CONCLUSIONES	59
VI.	LITERATURA CITADA	60
VII.	ANEXO	64
	1. Descripción de fertilizante de acuerdo a la etiqueta del producto correspondiente al tratamiento FAS	64
		65
	2. Descripción de fertilizante de acuerdo a la etiqueta del producto correspondiente al tratamiento FAS.	

INDICE DE FIGURAS

3.1	Invernadero de tipo túnel dentro de las instalaciones del Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (C I Q A).	27
3.2	Distribución de tratamientos utilizados en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo.	28
3.3	Distribución del cultivo de tomate dentro del invernadero tipo túnel bajo condiciones de cultivo sin suelo.	33
4.1	Diámetro de tallo en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante el periodo de los 64 – 124 DDT.	41
4.2	Longitud de tallo en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 64 – 124 DDT.	43
4.3	Área foliar en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y en cultivo sin suelo durante los 64 – 124 DDT.	44
4.4	Materia seca de área foliar obtenida en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 64 – 124 DDT	45
4.5	Materia seca de tallo obtenido en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 64 – 124 DDT.	47
4.6	Rendimiento por corte obtenido en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 - 170 DDT.	48
4.7	Número de frutos por corte obtenidos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante de 74 -170 DDT.	50
4.8	Rendimiento acumulado por corte obtenido en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT.	51
4.9	Frutos acumulados por corte obtenidos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT.	52
4.10	Rendimiento total obtenido en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo de los 15 cortes realizados.	53
4.11	Producción de frutos totales obtenidos en el cultivo de tomate	54

	bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT	
4.12	Contenido de vitamina C en frutos de tomate obtenidos bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 - 170 DDT.	54
4.13	Firmeza en frutos de tomate obtenidos bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT	56
4.14	Sólidos solubles obtenidos en frutos de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 - 170 DDT.	57
4.15	Diagrama de cromaticidad (CIE 1976). Representa con mayor aproximación a la sensibilidad humana hacia el color.	58

INDICE DE CUADROS

2.1	Contenido de silicio (mmol Si Kg ⁻¹ dm) que se encuentra en las hojas jóvenes de los cultivos hortícolas cultivadas bajo condiciones con suelo y sin suelo y aplicación de silicio via radicular.	17
3.1	Fertilización para tomate en cultivos sin suelo (G.J. Hochmuth, 1990).	29
3.2	Solución Stock de Micronutrientes para Tomate en cultivos sin suelo (Hochmuth, 1990)	30
3.3	Concentración final aplicada de nutrimentos (Mg/ Lt.) (Gerber, 1985).	30
3.4	Cantidad que fue aplicada en el tratamiento FBS.	31
3.5	Cantidad en que fue aplicado el tratamiento FAS.	31
4.1	Coordenadas registradas por el colorímetro en frutos de tomate.	57

RESUMEN

El silicio es un elemento de vital importancia cuando se pretende realizar una explotación agrícola rentable, debido a las funciones que éste cumple tanto en el suelo como en la planta. El presente estudio se llevo a cabo en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA).

Se evaluaron tres tratamientos: el primero sin aplicación de fertilizante de silicio (SFS), el segundo con concentración baja en silicio (FBS) y finalmente el tercero con un fertilizante con alto concentración en silicio (FAS). Las variables evaluadas fueron fenológicas y de calidad en el cultivo del tomate de crecimiento indeterminado, bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo.

Los resultados obtenidos en la mayoría de las variables fenológicas no tuvieron una diferencia estadística significativa, pero los tres tratamientos tuvieron comportamientos muy variables en el desarrollo del cultivo. Sin embargo el efecto de la aplicación de silicio en la variable de frutos por corte los tratamientos a base de silicio obtuvieron los mejores resultados, el tratamiento FBS con 114 frutos/ m², FAS con 107 frutos/ m² y SFS con 104 frutos/ m². En cuanto al rendimiento por corte se observo que en el primer tercio del periodo de cosecha los tratamientos a base de fertilización con sílice presentaron una mayor precocidad.

En la variable de área foliar tuvo respuesta favorable a los tratamientos FAS y FBS, estos fueron los que presentaron el mayor valor con 5883 y 4165 cm² respectivamente en la tercera evaluación (124 DDT).

En todas las variables de calidad, se encontró un efecto favorable en los dos tratamientos con silicio. En la variable de vitamina C el tratamiento FAS fue el que presento el más alto contenido de esta con un 10.32 mg./100 grs., el

tratamiento FBS con 9.60 mg./100 grs y SFS obtuvo un 9.10 mg./100 grs. Otras variables que se tomaron en consideración fueron: Firmeza, Sólidos solubles totales y color, en las cuales también se encontró diferencia a favor de los tratamientos que contenían fertilización a base de sílice.

De acuerdo con lo anteriores resultados, la aplicación de fertilizantes a base de silicio tienen un efecto favorable en el desarrollo del área foliar y en parámetros de calidad del fruto de tomate.

Palabras claves: *silicio, rendimiento, calidad de fruto.*

I. INTRODUCCIÓN

El silicio (del latín *silix*, sílice) es un elemento químico no metálico situado en el grupo 14 de la tabla periódica de los elementos formando parte de la familia de los carbonosideos, cuyo símbolo es "Si". Es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno.

El silicio es un elemento, que a pesar de ser tan abundante en la corteza terrestre (28% de su composición), no se encuentra disponible para las plantas en razón a que la formación del ácido silícico (forma asimilable del silicio), depende de la acción de los ácidos y enzimas, (producto de la actividad de los microorganismos en la materia orgánica), sobre las partículas de rocas y las arcillas del suelo. Esto hace que la formación del ácido silícico sea muy lenta y por lo tanto su disponibilidad se encuentra muy limitada, siendo además altas sus pérdidas por lixiviación.

El uso del silicio contribuye a la reducción en la lixiviación de fósforo, nitrógeno y potasio en las áreas de cultivo agrícola, incrementa la resistencia de la planta a la salinidad, protege a las plantas contra el ataque de las enfermedades, hongos e insectos, entre otros. El silicio es un elemento de vital importancia cuando se pretende realizar una explotación agrícola rentable, debido a las funciones que éste cumple tanto en el suelo como en la planta.

El silicio juega un papel importante en la planta. Este elemento controla el desarrollo del sistema radicular, la asimilación y distribución de nutrientes minerales, incrementa la resistencia de la planta al estrés abiótico (alta y baja temperatura, viento, alta concentración de sales y metales pesados, hidrocarburos, Aluminio, etc.) y biótico (insectos, hongos, enfermedades).

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico pues es uno de los cultivos hortícolas con mayor área cultivada y producción global. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada. Dada la importancia económica de este cultivo, se hace más patente el esfuerzo tecnológico en cuanto al tratamiento de plagas y enfermedades, así como en la producción de semillas resistentes, nutrición y técnicas de cultivo adecuadas para hacer más eficiente la producción agrícola.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos niveles de fertilización a base de silicio en el cultivo de tomate en condiciones de invernadero y cultivo sin suelo en el rendimiento y calidad del fruto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Silicio.

El nombre silicio deriva del latín *silix* (pedernal), es un elemento químico metaloide o semimetálico cuyo símbolo es "Si" su peso atómico es 28.086, pertenece al grupo 14 (IV-A) de la tabla periódica de los elementos y forma parte de la familia de los carbonoideos (Fraume, 2007).

El silicio es el segundo elemento más abundante en la litosfera (27,7%), solo detrás del O₂ (47,4%). Los compuestos de silicio constituyen más del 60 % de los compuestos del suelo y su concentración en forma soluble, como ácido silícico, está entre 35 y 40mg•l⁻¹ (Epstein, 1999; Ma et al., 2004; Fauteux et al., 2005).

Diversos investigadores consideran que puede ser esencial para las plantas que presentan altos contenidos, como la cebada, girasol, remolacha y, sobre todo, según experimentos de Okuda y Takahashi en 1965, para el arroz, sin embargo el silicio se considera un elemento esencial, pero puede alcanzar niveles de silicio en plantas similares a las de los macronutrientes (Epstein, 1994). Su importancia como nutriente a sido demostrada en numerosos estudios que informan los efectos beneficiosos de la aplicación de silicio a los cultivos agronómicos (Datnoff y Snyder, 1991; Ma y Takahashi, 2002). Por otra parte otros autores confirman no existe suficiente información científica que permita aceptar a este elemento como esencial para todas las plantas (Blaya y Garcia, 2003). Además algunos fisiólogos vegetales no consideran al silicio como un elemento esencial para las plantas; sin embargo se han reportado que la presencia de silicio beneficia a los cultivos, por inducción de resistencia y protección contra diversos factores ambientales bióticos y abióticos (Epstein, 1999).

2.1.1. Dinámica del silicio.

En la naturaleza se encuentran formas biogeoquímicas activas de silicio, en la solución del suelo, como las derivadas del ácido silícico; monómeros, ortosilícico (H_4SiO_4) y metasilícico (H_2SiO_3), dímeros, trímeros, polímeros, coloides, agregados coloidales y el silicio amorfo sin estructura cristalina. El silicio es un elemento, que a pesar de ser tan abundante en la corteza terrestre (28% de su composición), no se encuentra disponible para las plantas en razón a que la formación del ácido silícico (forma asimilable del silicio), depende de la acción de los ácidos y enzimas, (producto de la actividad de los microorganismos en la materia orgánica), sobre las partículas de rocas y las arcillas del suelo. Esto hace que la formación del ácido silícico sea muy lenta y por lo tanto su disponibilidad se encuentra muy limitada, siendo además altas sus pérdidas por lixiviación (Quero, 2008).

El silicio en el suelo procede fundamentalmente de la degradación de las rocas ígneas. En él se encuentra como sílice, SiO_2 , y como constituyente de muchos silicatos y minerales arcillosos. Su contenido es variable, ya que hay que tener en cuenta que es, después del oxígeno, el elemento más abundante de la litósfera. Expresado como SiO_2 , puede alcanzar en la capa arable rango entre 60 y 90% (Blaya y García, 2003).

2.1.2. El silicio con otros elementos.

El silicio tiene acción sinérgica con el calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn) y molibdeno (Mo). Los seis elementos presentan una acción sinérgica, optimizando el desarrollo del cultivo y producción de cosecha (Horna, 2007).

Horna, (2007), refiere que el silicio hace que de los tallos baje oxígeno a la raíz llegando al parénquima, oxidando de esta manera la rizófora (zona aledaña a la raíz), logrando que el Fe y el Mn reducido (forma en que lo toma la planta) se oxide, siendo esta forma poco absorbida por las plantas, evitándose una toma excesiva de estos elementos, que aunque son necesarios para las plantas, su abundancia puede volverlos tóxicos. Se tienen registros sobre el efecto antagónico que el silicio tiene sobre la captación de Mn (Epstein y Bloom, 2005).

2.1.3. Contenido de silicio en la planta.

El contenido de silicio en el tejido vegetal varía considerablemente entre los cultivos. Los resultados indican que algunas especies absorben poco de silicio, como es el caso del cultivo del tomate, gerbera y lechuga; mientras que otros se acumulan cantidades relativamente grandes en las hojas como en el caso del cultivo de pepino, y frijol, sin embargo la amplia variación en el contenido de silicio en los diferentes cultivos puede ser causada por la diferencia en la disponibilidad de silicio en el entorno de la raíz, la edad de las hojas en la muestra, o la edad de los cultivos (Sangster, 2001).

El contenido del silicio es variable, y depende fundamentalmente de la especie vegetal, pudiendo oscilar entre 0.25 y 2 % en peso seco, expresado como SiO₂ (óxido de silicio). En el cultivo del arroz, la mayor parte se encuentra inmovilizada en la parte aérea asociado a la celulosa (Blaya y García, 2003). Sin embargo algunos autores han sugerido que la acumulación del silicio en las plantas superiores es sólo una consecuencia de transporte pasivo no selectivo en la corriente de transpiración (Jones y Handreck, 1967). En general, el silicio se puede considerar como esencial para las plantas superiores (Epstein, 1994).

Cuadro 2.1. Contenidos de silicio ($\text{mmol Si kg}^{-1} \text{ d.m}$) que se encuentra en las hojas jóvenes de los cultivos hortícolas cultivadas bajo condiciones con suelo y sin suelo y aplicaciones de silicio vía radicular (W. Voogt and C. Sonneveld, 2001).

CULTIVO	MEDIO DE CULTIVO			
	CON SUELO		SIN SUELO	
	Min.	Max.	Min.	Max.
Tomate	13	17	11	13
Pepino	280	440	39	127
Pimiento	12	22	15	17
Melón	22	378	No terminado	
Pepinillo	128	370	No determinado	
Calabacita	220	220	69	130
Frijol	224	-	No determinado	
Lechuga	12	-	5	5
Fresa	130	-	25	48
Gerbera	10	-	12	22
Clavel	17	-	No determinado	
Rose	30	130	7	36

El silicio constituye entre el 0.1 y el 10% del peso seco de las plantas superiores. El cultivo del arroz acumula hasta el 10 % de silicio, en general, las monocotiledóneas acumulan más Si que las dicotiledóneas, aunque las diferencias pueden darse incluso a nivel de variedad (Epstein, 1999; Ma et al., 2002). No obstante, los análisis realizados indican que la concentración de Si, y por lo tanto la presencia de fitolitos, es más influenciada por la posición filogenética (genero, especie) que por factores ambientales tales como disponibilidad de agua y del mismo silicio, o la temperatura (Hodson, et al., 2005).

Epstein (1999), refiere que el silicio está presente en plantas en cantidades equivalentes a los macronutrientes. Su presencia en los vegetales es ubicua y dada su abundancia es casi imposible eliminarlos de los sustratos donde ellas crecen. Incluso cuando las plantas son cultivadas en hidroponía el silicio está disponible, pues el ácido silícico, una molécula no cargada, pasa a través

de los intercambiadores iónicos usados para purificar el agua con grado laboratorio.

El silicio está presente en las plantas, principalmente como gel de sílice, en las paredes celulares y como ácido monosilícico en la savia del xilema (Husby,1998).

Los depósitos del sílice pueden ser de tres tipos, según Simkiss y Wilbur (1989):

- Cristolito: que son corpúsculos de varias formas y tamaños dentro de las células.
- Impregnación de las paredes de la célula.
- Depósitos extracelulares.

2.1.4. Función del silicio en la planta.

Las funciones más importantes que han sido revisadas se pueden clasificar como estructurales, fisiológicas y de protección según Sangster y Hodson (1986).

2.1.4.1 Funciones estructurales.

Las funciones estructurales incluyen la compresión de resistencia en las paredes celulares, el aumento de la rigidez (Sangster y Hodson, 1986), Taiz y Zeiger (2002) señalan que el silicio cumple una importante función en la integridad estructural de las células vegetales, contribuyendo a las propiedades mecánicas e incluyendo elasticidad.

2.1.4.2 *Funciones fisiológicas.*

Las funciones fisiológicas incluyen la reducción de la evapo-transpiración, el aumento del suministro de oxígeno raíz mediante el fortalecimiento de las paredes del canal de aire, las interacciones con el fósforo y el mejoramiento de la toxicidad de los metales (Mn) (Hodson y Evans, 1995).

Una de las ventajas del silicio más controvertidas es la disminución de la transpiración y el aumento de la fotosíntesis. El efecto se ha asociado principalmente con la deposición de silicio en las paredes celulares y como una doble capa de polimerizada de Si en la cutícula, que supuestamente impide la evapotranspiración pasiva (Ma y Takahashi, 2002).

Menzies (1991), menciona que la aplicación de silicio en hortalizas y flores que crecen en sustratos sin suelo se ha encontrado que este mejora el crecimiento y la calidad al ser aplicado fertilizantes con Si. Lo que sí parece claro es el efecto positivo que el silicio ejerce en el crecimiento y rendimiento de la planta de arroz. Utilizando disoluciones nutritivas, han mostrado que incrementa el número de tallos, su altura y el peso de granos maduros (Blaya y García, 2003). Voogt y Sonneveld (2001) refieren que el Si Contribuye a que las células presenten una mayor resistencia a las enfermedades, y a que se logre un mejor nivel de rendimiento en las cosechas.

2.1.4.3 *Funciones de protección.*

Las funciones de protección incluyen la resistencia a patógenos, insectos, moluscos, el sílice permite crear a los cultivos una resistencia al moho (Blaich y Wind, 1989), el silicio tiene propiedades antibióticas que favorecen la mayor

lignificación de los tejidos, la disminución de la calidad nutricional y la digestibilidad, todo lo que genera un decremento en la preferencia de los insectos por las plantas (*Batista, 2005*).

Kaufman (1985) también propuso que los fitolitos compuesta de gel de sílice, con su agua de hidratación, puede regular la temperatura de refrigeración de la hoja durante la sequía, protegiendo así al cultivo.

2.1.5. Efecto del silicio en las raíces.

La optimización en la nutrición con silicio resulta en una mayor masa y volumen de raíces, lo cual representa una mayor superficie de absorción. Como resultado de la fertilización con silicio, el peso seco de las raíces de cebada aumentaron en 21% y 54% en períodos de 20 y 30 días, con relación a plantas que no recibieron Si. El silicio aumenta la respiración de las raíces (*Horna, 2007*).

2.1.6. Efecto del silicio en las hojas.

Horna (2007), menciona que cuando la planta transpira, pierde el agua absorbida por el silicio, formando una barrera protectora presentando una resistencia mecánica al ataque de enfermedades e insectos, al acumularse el silicio debajo de la cutícula de las hojas, tallos y frutos, ofrece una resistencia mecánica al ataque de insectos chupadores como afidos y mosca blanca, es decir, minimiza el ataque de estos, inclusive comedores de follaje en sus primeros instares.

2.1.7. Efecto del silicio en el fruto.

Trabajos relacionados con silicio se menciona, que este realzo la firmeza de la fruta y el contenido de los solutos y de la vitamina C del sólido total en el

tomate. Por otra parte, la adición de Si restringió perceptiblemente la ocurrencia de la putrefacción del fruto del tomate (Stamatakis, 2004).

El Silicio refuerza a la planta su capacidad de distribución de carbohidratos requeridos para tener un incremento en el crecimiento y producción de cosecha (Horna, 2007). Raleigh (1963) estudió comparativamente el efecto de varias fuentes silicatadas, calcáreas y yeso sobre el crecimiento del tomate concluyendo que el aporte de silicatos conduce a mejores cosechas solo cuando se aplican en suelos deficientes de fósforo.

2.1.8. Absorción de Silicio.

El silicio es absorbido en un rango de pH de 2 hasta 9 en forma energéticamente pasiva (Epstein, 1994), siendo tomado por la raíces en la solución como ácido monosilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$ (Yoshida, 1975; Loué, 1988). Brady (1992) también menciona que el silicio es absorbido por las raíces junto con el agua de la solución del suelo y fácilmente translocado en el xilema y es transportado por la savia, llega a todos los órganos de las plantas; en determinadas células es evaporando en agua, cristalizándose en sílice amorfo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), dando lugar al fitolito (Bello, 2003).y finalmente es acumulado en las células epidemiales.

También el silicio es absorbido por las raíces de las plantas en forma de ácido silícico, este es transportado y después se concentra debido a la pérdida de agua y que se polimeriza el gel de sílice en la superficie de las hojas y tallos (Miyake y Takahashi, 1983), se carece de pruebas sobre el papel fisiológico del silicio en el metabolismo de la planta. Dado que los efectos beneficiosos de este elemento son aptos para ser observados en las plantas que acumulan el silicio, el gel de sílice depositado en la superficie de la planta se cree que contribuyen a los efectos beneficiosos del silicio, que puede ser pequeño en dosis para optimizar el crecimiento, pero se manifiestan en condiciones de estrés.

2.1.9. Deficiencias de Silicio.

El déficit de silicio causa un número de consecuencias negativas para el suelo y la planta. El silicio es un elemento constitutivo del suelo, su carencia conduce a la degradación de la fertilidad de suelo, algunos autores, incluso, han llegado a señalar deficiencias en cereales y pastos, que se manifiestan con marchitamiento de la planta, deformaciones, depósitos necróticos en las hojas y notable disminución de su resistencia a plagas y enfermedades. Estas alteraciones, sin embargo, se consideran por otros investigadores debidas más que a un estado deficitario de silicio, a los efectos tóxicos que se originan por acumulación de hierro, manganeso y otros nutrientes, cuando las concentraciones de silicio son extremadamente bajas (Blaya y García, 2003).

Epstein (1994), refiere que las estructuras de las plantas que crecen en ausencia de silicio frecuentemente son más débiles y su crecimiento de desarrollo, viabilidad y reproducción es anormal, son más susceptibles al estrés abiótico, como toxicidad por metales, fácilmente invadidas por organismos patógenos, insectos fitófagos y mamíferos herbívoros.

Samperio (2004), menciona que la deficiencia del silicio este se notará en las hojas más jóvenes, ya que los elementos consumidos por la planta permanecerán en las hojas más viejas donde fueron depositados.

Las deficiencias de este elemento silicio en tomates repercuten en una floración irregular, mientras que en fresas y pepinos se observa una reducción en la fertilidad del polen (De Santiago, 2007).

2.1.10. Toxicidad de silicio.

Samperio (2004), explica que cuando la planta sea intoxicado con los micronutrientes en particular con el silicio, presenta clorosis y en algunos caso, deficiencia en el crecimiento o en la producción y maduración de la semilla; o puede sobrevenir, incluso, el aborto de flores.

2.2. El Cultivo del Tomate.

2.2.1. Tomate en invernadero

Un invernadero se define como una construcción cubierta artificialmente, con materiales transparentes, con el objeto de proveer un ambiente climático favorable durante todo el año para el desarrollo de cultivos (Rodríguez y Jiménez, 2002). En México, los primeros invernaderos con interés comercial se instalaron en la región oriente del Estado de México, por inmigrantes alemanes y japoneses, destacando la casa *Matsumoto* como una empresa pionera en la construcción y manejo de invernaderos. En la década de 1980 se da un auge en el desarrollo de invernaderos, principalmente para la floricultura, y producción de plántulas de hortalizas y a partir de 1995, cobra gran interés entre los productores de hortalizas de los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California, Jalisco y El Bajío (Pacheco,2006).

2.2.3. Generalidades del cultivo.

El tomate (*Lycopersicon esculentum mil.*) es una planta nativa de América del sur, cuyo origen se localiza en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú), donde se encuentra la mayor variabilidad genética y abundancia de tipos silvestres (Nuez, 2001). El tomate es un cultivo de alto valor comercial y una enorme importancia mundial, por la aceptación general del fruto en la alimentación y su utilización en forma variada, además de sus excelentes cualidades organolépticas, su alto valor nutricional, contenido de vitamina C y licopeno (Cassers,1984).

El tomate es una planta de clima cálido; las temperaturas óptimas para su crecimiento se encuentran en los 25 ° C en el día y entre 15 y 18°C en la noche. La maduración del fruto está muy influenciada por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración (Rodríguez Fuentes, 2006). El tomate es una planta de día neutro, es decir, que florea en días cortos o en días largos indistintamente, si se desea obtener una cosecha rentable y el cultivo depende de la luz solar, se debe de contar con un mínimo de 12 a 16 horas de radiación (Samperio,2004). La humedad relativa óptima para este cultivo oscila entre 50 y 60% bajo condiciones de invernadero (Rodríguez Fuentes, 2006) y el pH ideal es el más próximo a la neutralidad (Rodríguez Rodríguez, 2001).

2.2.3. Híbrido Gabriela.

El híbrido Gabriela (Hazera Quality Seed Ltd.) es una planta de crecimiento indeterminado de tipo *bola* para consumo fresco con resistencia a las razas de *Fusarium 1 y 2*, *Verticillium*, virus del mosaico del tabaco y nematos; de madurez tardía, vigor fuerte por lo tanto en sus inicios no requiere de grandes cantidades de nitrógeno y agua.

Los frutos de este híbrido son de forma achatada, hombros verdes, de tamaño de mediano para mercado europeo y de larga vida de anaquel, tiene la opción de ser cosechado en formas racimos ya que la posición de sus frutos dan esta alternativa puede llegar en condiciones bajo invernadero a complementar los 30 a 35 racimos sin ningún problema, madura perfectamente en color rojo, su rango de adaptabilidad es muy amplio aun en medios de cultivos con una CE alta y su adaptabilidad en fechas de siembra es muy alta en otoño temprano hasta primavera tardía, es una planta de cosecha larga de 6 a 8 meses (Marín, 2000). Estrada (2003), clasifica al tomate híbrido Gabriela como de alto contenido de Lycopeno.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Localización del Sitio Experimental

El experimento se ubica en el Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (C I Q A), localizado al noreste de la ciudad de Saltillo., Coahuila; con las coordenadas geográficas de 25° 27' Latitud Norte, 101° 02' Longitud Oeste del meridiano de Greenwich y una altitud de 1610 msnm. El experimento se realizó durante el ciclo Primavera-Verano-Otoño, 2008.

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppen, modificada por García (1987) el clima de Saltillo corresponde a un seco estepario.

En general la temperatura y precipitación media anual son de 18°C y 365 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente los que comprenden entre julio y septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las más altas en los meses de mayo y junio con 236 y 234 mm respectivamente.

3.2 Tipo y Condiciones del Invernadero.

El experimento se realizó en un invernadero de tipo túnel, con una superficie de 105.36 m² de 14.20 m de de largo (este-oeste), y 7.42 m de ancho (norte-sur) como se aprecia en el Figura.3.2.1, de estructura metálica combinado con madera en la parte frontal. El invernadero cuenta con cubierta de polietileno de 200 micras de espesor, además está equipado con dos extractores de aire caliente de 1.5HP, dos ventiladores horizontales de 0.5HP, pared húmeda de 1.20 X 5.67 m, un calefactor de gas, sensores de radiación de barra horizontal, controladores de riego automático Rain Bird E- 6c y malla aluminato.



Figura 3.1 Invernadero de tipo túnel dentro de las instalaciones del Campo Agrícola Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (C I Q A).

3.3 Material Vegetativo.

Se utilizó para este trabajo de investigación, el tomate híbrido Gabriela de crecimiento indeterminado, de la casa comercial Hazera Genetics LTD, Lote 13932, con germinación del 90%.

3.4 Sustrato.

Para la realización de este trabajo de investigación se utilizó perlita expandida para la horticultura, para el envasado de este, se utilizaron bolsas de polietileno coextruido (color blanco externo y negro interno), se cortaron de 120 cm de largo, lo cual se selló aproximadamente 7.5 cm a cada extremo, que finalmente da una longitud de 105 cm después de ser relleno con el sustrato de perlita expandida. Por cada taco tiene una dimensión de 105 cm de largo, 28 cm de ancho y 11 cm de alto, dando un volumen de 32.34 L.

3.5 Diseño Experimental.

Se utilizó un diseño estadístico bloques al azar y se analizó con un paquete de diseños experimentales Versión 2.5. de la Facultad de Agronomía de la UANL. En Marín, N.L. (Olivares, 1994) con tres tratamientos y seis repeticiones.

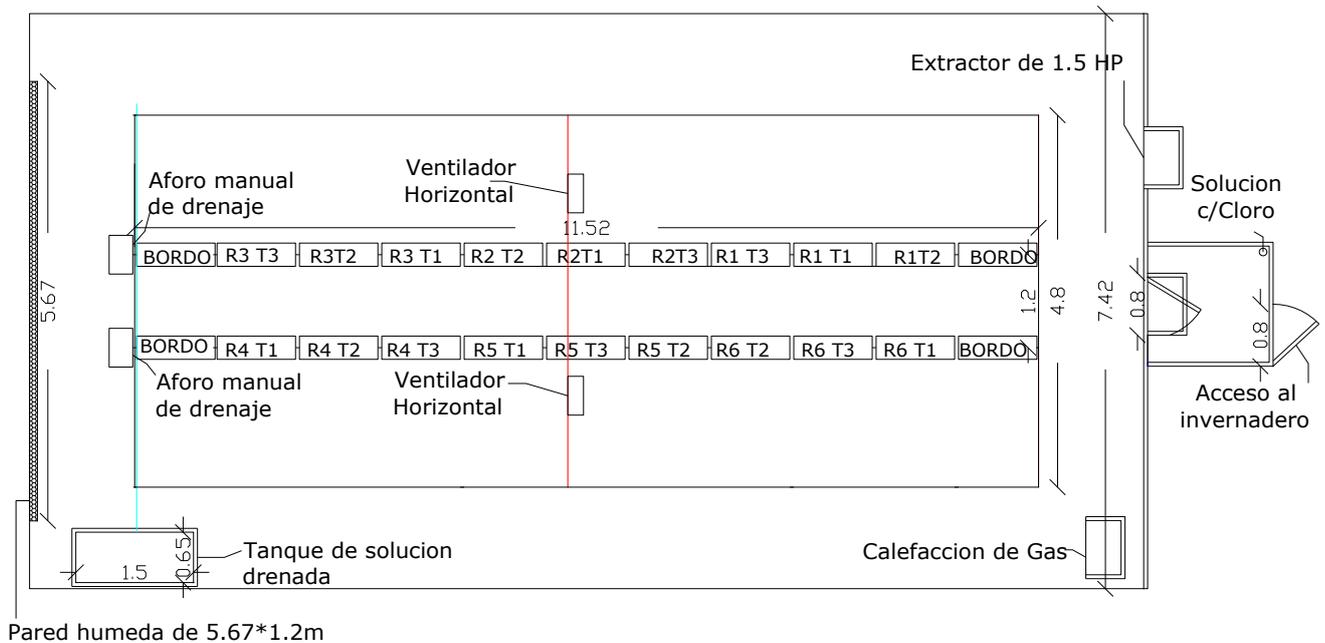


Figura 3.2. Distribución de tratamientos utilizados en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo.

3.6 Descripción de Tratamientos.

3.6.1 Tratamiento sin fertilizante de silicio.

El tratamiento sin fertilizante de silicio (SFS) solo se conformó con la siguiente solución nutritiva base para todos los tratamientos:

3.1. Fertilización para tomate en cultivos sin suelo (G.J. Hochmuth, 1990).

Fertilizante	A Transplante a 1° racimo	B 1° a 2°	C 2° a 3°	D 3° a 5°	E 5° a final
Solución Stock A (Total para 100 lt solución fina).					
Ac. Fosf. 54 % P ₂ O ₅	14 ml.	14 ml.	14 ml.	14 ml.	14 ml.
Cloruro de Potasio	24 gr.	24 gr.	24 gr.	24 gr.	24 gr.
Sulfato de Magnesio	40 gr.	40 gr.	40 gr.	48 gr.	48 gr.
Nitrato de Potasio	0	0	8 gr.	8 gr.	24 gr.
Nitrato de Amonio	0	0	0	0	4 gr.
Micronutrientes	1 lt.	1 lt.	1 lt.	1 lt.	1 lt.
Solución Stock B (Total para 100 lt solución fina).					
Nitrato de Calcio (19% Ca)	42 gr.	48 gr.	55 gr.	67 gr.	67 gr.
Nitrato de Fe (19% Fe)	2.8 gr.	2.8 gr.	2.8 gr.	2.8 gr.	

3.2. Solución Stock de Micronutrientes para Tomate en cultivos sin suelo (Hochmuth, 1990).

Fertilizante	G para 100 l de Solución Stock de Micronutrientes.
Sulfato de manganeso (25% Mn)	32
Solubor (20% B)	35
Sulfato de cobre (25 % Cu)	7
Sulfato de zinc (23% Zn)	8
Molibdato de sodio (39% Mo)	1.3

3.1. Concentración final aplicada de nutrimentos (Mg/ Lt.) (Gerber, 1985).

Est	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Cu	Mn	Zn	Mo	C.E	Mg/ Lt.
A	5.5	65	50	120	80	40	56	2.8	.7	.2	.8	.2	.05	0.8	415
B	5.5	75	50	120	92	40	56	2.8	.7	.2	.8	.2	.05	1	437
C	5.5	95	50	150	104	40	56	2.8	.7	.2	.8	.2	.05	1.4	499
D	5.5	114	50	150	127	48	66	2.8	.7	.2	.8	.2	.05	1.6	559
E	5.5	148	50	208	127	48	66	2.8	.7	.2	.8	.2	.05	2.0	651

La concentración de calcio, magnesio y azufre puede variar dependiendo de la fuente de agua y la cantidad de ácido sulfúrico usado para la acidificación. Niveles tóxicos de B, Mn y Zn son: 150-500-300. Rango suficiente de Molibdeno es de 1-5 ppm.

3.1.1. Tratamiento con fertilizante en concentración baja en silicio (FBS).

El tratamiento dos consistió en la aplicación de un fertilizante a base de Silicio en concentraciones de 31-34%. De acuerdo a la etiqueta del producto, dicho fertilizante contiene silicio amorfo el cual combinado con la materia orgánica, humedad y temperatura forman el compuesto de silicio único asimilable por las plantas, que es el ácido ortosilícico.

El tratamiento FBS consistió de dos aplicaciones la primera el día 9 de julio, durante la etapa de floración. La segunda aplicación se llevo a cabo

durante la etapa de fructificación el día 22 de Agosto de 2008, ambas aplicaciones fueron vía radicular.

La cantidad que fue aplicada en el tratamiento FBS se muestra en la siguiente cuadro 3.4.:

1° etapa (floración)	2°etapa (Fructificación)	Total de aplicación
125 grs. / planta	125 grs. / planta	250 grs./ planta

3.1.2. Tratamiento con fertilizante en concentración alta en silicio (FAS).

El tratamiento tres consistió en la aplicación de un fertilizante a base de Silicio en concentraciones de 42-45%. De acuerdo a la etiqueta del producto, dicho fertilizante contiene silicio amorfo el cual combinado con la materia orgánica, humedad y temperatura forman el compuesto de silicio único asimilable por las plantas, que es el ácido ortosilícico.

El tratamiento FAS consistió de dos aplicaciones la primera el día 9 de julio, durante la etapa de floración. La segunda aplicación se llevo a cabo durante la etapa de fructificación el día 22 de Agosto de 2008, ambas aplicaciones fueron vía radicular.

La cantidad en que fue aplicado el tratamiento FAS se muestra en la siguiente cuadro 3.5.:

1° etapa (floración)	2°etapa(Fructificación)	Total de aplicación
74.4 grs. / planta	74.4 grs. / planta	148.8 grs. / planta

3.2. Riego.

Este se llevo a cabo mediante el sistema de riego por goteo y la programación de cuándo y cuanto regar en forma automática. Para este se le adaptó un nivel básico de automatización, que consistió en la apertura y cierre de las válvulas solenoide en los tiempos y frecuencias definido por el usuario.

El sistema de riego por goteo, estaba constituido de líneas de poliducto de $\frac{3}{4}$ de pulgada, a lo largo de cada cama de cultivo. Se utilizaron 33 goteros auto compensado de 4 LPH, 33 distribuidores de 4 salidas, 132 tubing de 50 cm y 132 goteros estabilizadores de tipo flecha con descarga de 1 LPH. Para el control, del gasto se instalo una válvula solenoides de $\frac{3}{4}$ pulgada, 1 controlador de riego Rain Bird E-6c para la programación automática del riego, un relevador para el encendido de la bomba hidráulica, además de accesorios hidráulicos tales como: tees, coplees, reducciones y codos de 90°.

3.3. Establecimiento y Manejo del Cultivo.

3.3.1. Transplante.

El transplante se llevo a cabo el día 10 de junio del 2008, en bolsas de polietileno coextruido (color blanco externo y negro interno), con una dimensión de 105 cm de largo, 28 cm de ancho y 11 cm de alto, dando un volumen de 32.34 L. rellenos con perlita expandida para la horticultura, estas fuero perforadas para favorecer el drenaje. Se colocaron seis plantas por saco o taco.

3.3.2. Marco de plantación

El experimento consistió de 22 sacos con 6 plantas cada uno dando una población experimental de 132 plantas. Sin embargo los tacos ubicados al final de la cama de siembra, no se consideraron en las evaluaciones, ya que estaban expuestas a la alta temperatura o mayor concentración de humedad

relativa, debido a la cercanía con los extractores y la pared húmeda respectivamente. Por lo tanto se consideraron como bordos.



3.3 Distribución del cultivo de tomate dentro del invernadero tipo túnel bajo condiciones de cultivo sin suelo.

3.3.3. Entutorado.

Las plantas fueron guiadas a un solo tallo sosteniendo cada planta con rafia iniciando esta práctica cuando la planta alcanzo una altura de 30 cm con la finalidad de mantener la planta erguida y con ello evitar que las hojas queden en contacto con el suelo. Esta labor se llevo con un amarre de la rafia en la base del tallo evitando el estrangulamiento de este, atada a la estructura del invernadero, para posteriormente y conforme la planta presentó crecimiento se enreda la rafia a la planta, dicha labor fue realizada cada semana.

3.3.4. Poda.

Poda de axilares. Con la finalidad de mantener la planta a un solo tallo se realizó esta práctica, tratando siempre que se eliminaran en el estado más tierno los brotes para evitar daños en la planta. Su finalidad es evitar competencia con el tallo principal.

Poda de hojas senescentes. Se realizó esta labor para evitar que estas hojas se vuelvan parasitas, ya que en este estado dejan de producir fotosintatos. En esta poda se eliminaron las hojas bajas hasta donde se encontró el primer racimo (de abajo hacia arriba) en producción a lo largo del ciclo.

3.3.5. Bajado de planta.

Con la finalidad de que facilitar la toma de datos, como altura de planta , floración, polinización y cosecha, y por otra parte evitar que la planta se encuentre en la zona de máxima acumulación de calor del invernadero (zona alta) se realizó dicha actividad, bajando todas las plantas en una misma dirección.

3.3.6. Cosecha.

Esta actividad se realizó dos o tres veces por semana, los frutos se cortaban y se pesaban por número de repetición y por número de tratamiento con una balanza con capacidad para cinco kilos. Siendo el indicador de cosecha el color rojo.

3.4. Variables Evaluadas.

Para el experimento se tomaron encuentra variables fenológicas tales como: diámetro y altura de tallo, área foliar; peso seco de tallo y de hoja, así como rendimiento por corte y rendimiento total, número de frutos por corte y numero de frutos total y variables de calidad como: color, sólidos solubles totales, firmeza y vitamina C.

3.4.1. Variables fisiológicas.

Cabe mencionar que todas las variables fenológicas fueron evaluadas solo en platas correspondientes a la repetición seis, esto debido a que estas tuvieron que ser sometidas a análisis destructivos el cual consistía en cortar las plantas desde el “cuello” o parte basal que divide al tallo y la raíz.

3.4.1.1. *Altura de tallo.*

Para esta variable se eligió una planta representativa correspondiente a la repetición seis de los tres tratamientos, para la realización de esta variable se corto la planta desde el cuello que divide a esta en el tallo y la raíz, después se extendía y se procedía a tomar la media correspondiente. La primera evaluación se realizo el 14 de septiembre que corresponde a los 64 DDT, a partir de esta fecha, la variable fue evaluada una vez por mes durante el ciclo del cultivo con ayuda de cinta métrica con capacidad para medir seis metros.

3.4.1.2. *Diámetro de tallo.*

La misma planta que había sido elegida para la variable antes mencionada fue utilizada para evaluar el diámetro de tallo, con ayuda de un vernier marca FOY142070 de 15 cm, se tomo el tallo a partir del segundo racimo de abajo hacia arriba y se procedía a ajustar el vernier al tallo y finalmente se tomaba la lectura en mm.

3.4.1.3. Área foliar.

De la planta representativa de cada uno de los tratamientos, se desprendían uno a uno los folíolos con una tijeras de podar o bien manualmente, después se pasaron un medidor de área foliar marca LI-COR, modelo LI-3100 y finalmente se tomó la lectura en cm^2 .

3.4.1.4. *Materia seca de área foliar.*

Después de la estimación del área foliar, los folíolos de cada uno de los tratamientos, se introdujeron en una bolsa de papel que se colocó en una estufa de secado a una temperatura de 60°C por un tiempo aproximado de 48 horas, después de este tiempo se sacó la muestra contenida en la bolsa y se pesó la materia seca de las hojas en una balanza de precisión marca Denver Instrument Company, modelo AL-3K y finalmente se tomó la lectura en grs.

3.4.1.5. *Materia seca de tallo.*

En esta variable el tallo fue cortado en segmentos y después al igual que la variable anterior, se introdujeron en una bolsa de papel, que se colocó en una estufa de secado a una temperatura de 60°C por un tiempo aproximado de 48 horas, después de este tiempo se sacó la muestra contenida en la bolsa y se pesó la materia seca de tallo en una balanza de precisión marca Denver Instrument Company, modelo AL-3K y finalmente se tomó la lectura en grs.

3.4.1.6. *Rendimiento por corte.*

Para esta variable los frutos obtenidos en cada corte eran recolectados por separado en bolsas de papel identificadas y después los frutos obtenidos eran pesados en una balanza tipo reloj con capacidad de cinco kilogramos, finalmente la lectura era tomada en kg.

3.4.1.7. *Rendimiento total.*

Para esta variable se realizo la suma del peso de cada uno de los cortes para los tres tratamientos y se reporto la lectura en kg. / m²

3.4.1.8. *Número de frutos.*

Los frutos obtenidos en cada corte eran recolectados por separado en bolsas de papel identificadas y después los frutos fueron contabilizados, finalmente la lectura solo era tomada como número de frutos.

3.4.1.9. *Número de frutos totales.*

Para esta variable se realizo la suma total de frutos obtenidos de cada uno de los cortes para los tres tratamientos y se reporto por número de frutos / m².

3.4.2. *Variabes de calidad.*

En los parámetros de calidad es necesario señalar que se los frutos fueron elegidos con un grado de madurez medio, la primera y única evaluación fue tomada el día 26 de Noviembre de 2008, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro dentro del departamento de Horticultura a través del laboratorio de postcosecha y esta se realizo al finalizar el ciclo del cultivo.

3.6.2.1 *Color.*

Para esta evaluación se tomaron cuatro frutos representativos de los tres tratamientos, se utilizo un colorímetro, el cual se conecto a una fuente de corriente adecuada, se encendió y se oprimió el botón CALIBRE, se selecciono

el espacio de color Yxy presionando el botón COLOR SPACE SELECT, se colocó la cabeza de medición sobre el plato de calibración y oprimió el botón MEASURE, se realizaron 2 lecturas por fruto en puntos opuestos sobre el ecuador en el espacio de color requerido ($L^*a^*b^*$) y finalmente se reportaron los valores promedio para cada fruto (para el cuadrante correspondiente al diagrama de cromaticidad).

3.6.2.2 *Firmeza.*

Para evaluar la firmeza del fruto, se eligieron cuatro frutos representativos de los para cada uno de los tres tratamientos, se utilizó un penetrómetro FT01 con capacidad de 500 grs, una puntilla de 2.5 mm.

Se retiró la cutícula de cada fruto en dos puntos opuestos del ecuador, se tomó firmemente el fruto y se indujo el penetrómetro de un solo impulso hasta la marca en cada uno de los puntos y finalmente se tomó la lectura y se reportó en grs./ cm².

3.6.2.3 *Sólidos Solubles Totales.*

Para la obtención de sólidos solubles totales se utilizó un refractómetro marca ATAGO modelo ACT-E1, calibrado a 20 °C con una escala de 0-32°B.

El proceso se inició retirando la cutícula de cada fruto de los tres tratamientos, se puso una pequeña gota de muestra sobre el refractómetro, se tomó la lectura de cada una de las muestras de los frutos y finalmente se registró la lectura en grados brix.

3.6.2.4 *Contenido de vitamina C.*

Se pesaron 20 grs. de muestras de cuatro frutos representativos de cada uno de los tres tratamientos y se colocó en un mortero, después se agregaron 10 ml. de HCl (ácido clorhídrico) al 2%, se agregó 100 ml de agua destilada y se homogenizó, después se filtró con una gasa y este se recibió en un matraz

Herlenmeyer y se midió el volumen exacto, se tomaron 10 mililitros de este y se midió un volumen conocido de reactivo de Thielmann en una bureta, se tituló la alícuota, hasta la aparición de otra coloración y se anotó el volumen gastado.

Para obtener el contenido de vitamina C en cada una de las muestras se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{VITAMINA C} = \frac{\text{VG} * 0.088 * \text{VF} * \text{VT} * \text{PESO}}{\text{VA} * \text{PESO}} = \text{mg/ 100 g.}$$

Donde:

VG = Volumen Gastado

VF = Volumen Final

VT = Volumen Total

VA = Volumen Agregado

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación se presentan los resultados y la discusión de acuerdo al orden en que se realizaron cada una durante el ciclo del cultivo, primero se presentan las variables fenológicas tales como: diámetro y altura de tallo, área foliar; posteriormente peso seco de tallo y de hoja, así como rendimiento, número de frutos y finalmente las variables de calidad: color, grados brix, firmeza y vitamina C.

Los tratamientos evaluados fueron tratamiento uno sin aplicación de fertilizante a base de sílice (SFS), tratamiento dos tratado con un fertilizante a base de silicio al 31-34 % (FBS) y tratamiento tres tratado con un fertilizante a base de Silicio al 42-45% (FAS).

4.1 Variables Fenológicas.

4.1.1. *Diámetro de tallo.*

El tratamiento FAS obtuvo un incremento del 21% durante los 64-94 DDT, en este mismo periodo el tratamiento FBS obtuvo un 20% de incremento. En este sentido se observó un efecto favorable a este tipo de variable en un trabajo realizado aplicando ácido mono silícico en dosis de $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en avena forrajera (*Avena sativa* L.) se obtuvieron diámetros con un incremento de hasta el 20% (Borda, 2007). Resultados similares se ha observado en gramíneas como arroz, caña de azúcar con el fortalecimiento de los tejidos de la planta (Sánchez, 1981), y un aumento creciente en el grosor del tallo, de acuerdo a lo reportado para el cultivo de arroz (Martínez, 1995), sin embargo y finalmente el tratamiento SFS obtuvo un 73%.

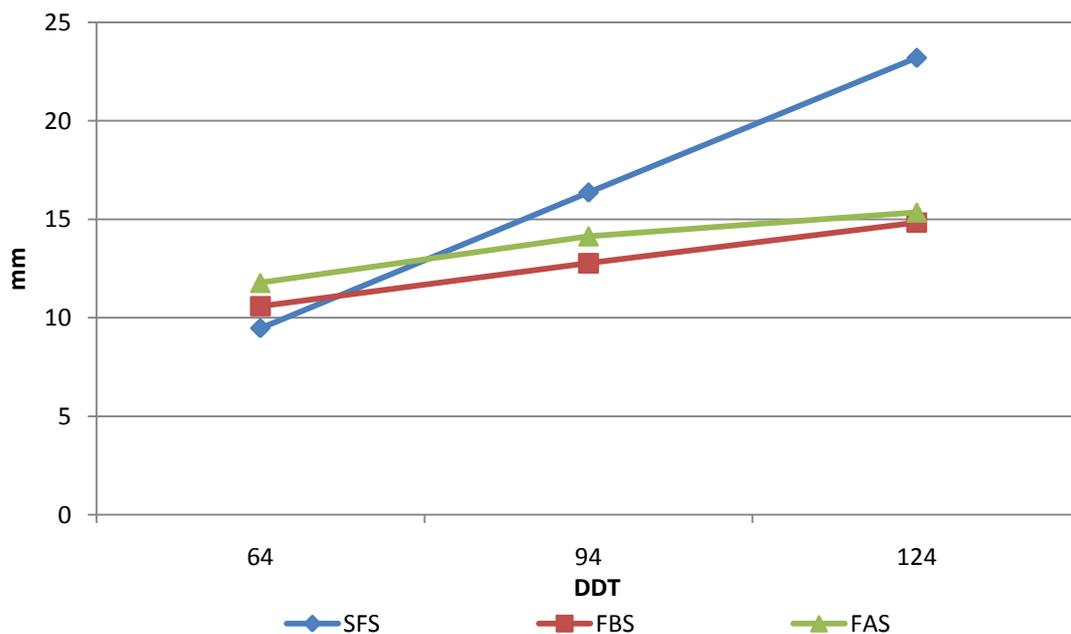


Figura 4.1 Diámetro de tallo en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante el periodo de los 64 – 124 DDT.

Durante el siguiente periodo correspondiente a los 94-124 DDT hubo un decremento notable en todos los tratamientos (Fig.4.1). En el tratamiento FAS se presento una disminución del 9%, el tratamiento FBS presento una disminución del 16% y finalmente el tratamiento SFS presento una disminución en su tasa de crecimiento comparado con el periodo anterior ya que solo alcanzo un 42%, esto puede ser atribuido a que este periodo comprende los meses Octubre- Noviembre el descenso en la iluminación tiene efecto sobre el desarrollo del tallo Nuez (1995), menciona que los niveles de radiación cuando es igual o superior al óptimo no afecta el desarrollo del tallo pero, para valores subóptimos, un descenso en los niveles de radiación induce un aumento en la elongación del tallo a expensas de otras partes de la planta, dando lugar a tallo más delgados y débiles con una mayor proporción de tejido parenquimático, según Gutiérrez (2009), la mayor cantidad de radiación se presento en los meses de Julio y Agosto corresponden a los primeros 30 DDT. Estadísticamente no se puede realizar comparación de medias debido que entre los tratamientos no existe diferencia significativa.

4.1.2 Longitud de tallo.

La longitud del tallo del tratamiento FBS tuvo un incremento del 37 % durante los 64 - 94 DDT en comparación con el tratamiento SFS que durante este mismo periodo tuvo un incremento del 50%, siendo así el tratamiento FAS el que tuvo el mayor incremento con un 59%. Borda (2007), afirma que la avena forrajera (*Avena sativa* L.) a las cuales se les aportó silicio expresaron alturas mayores al momento de la cosecha ya que este elemento tuvo un efecto benéfico sobre el balance nutricional principalmente de elementos necesarios en las primeras etapas. Resultados similares fueron obtenidos en otros cultivos como la caña, en la cual se encontró respuesta positiva en el aumento de tamaño de tallos y mayor número de hojas activas con el aporte de silicio (Sánchez, 1981).

Sin embargo en el segundo muestreo realizado a los 94 a 124 DDT los tres tratamientos tuvieron un decremento en la longitud del tallo (fig.4.2), el tratamiento FBS tuvo un decremento contrastable con un 3%, seguido a este, el tratamiento FAS con un 4% y finalmente el tratamiento SFS con un 6 % en comparación al periodo anterior de evaluación, este decremento se dio probablemente al manejo cultural del cultivo (bajado de planta y poda), esto puede afectar a la intercepción de la radiación solar por parte del cultivo, siendo así afectada la fotosíntesis (Gaastra, 1965) y tomando en cuenta que esta variable al igual que la anterior se llevo a cabo durante el mismo periodo Octubre- Noviembre, pudo ser afectada también directamente por los niveles bajos de radiación, pues cuando es baja se reduce la altura de la planta (Kinet, 1977). La velocidad de elongación del tallo disminuye a medida que la noche se hace más larga (Kristoffersen, 1963), pues en dichos meses el fotoperiodo se reduce. Estadísticamente no se puede realizar comparación de medias debido que entre los tratamientos no existe diferencia significativa.

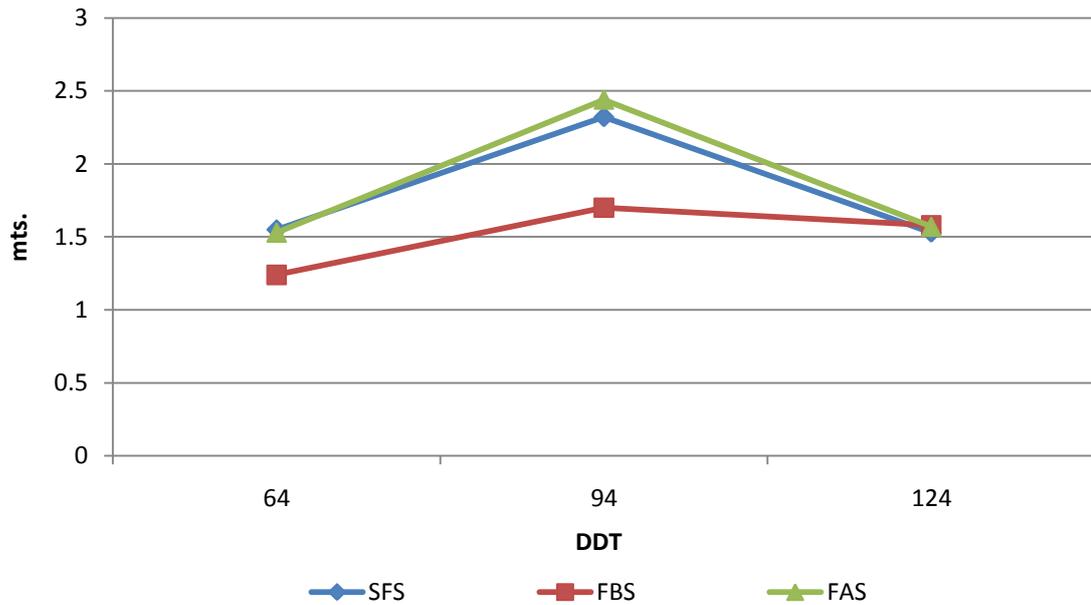


Figura 4.2 Longitud de tallo en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 64 – 124 DDT.

4.1.3 Área foliar.

El tratamiento FAS fue el que presentó la mayor área foliar con un valor de 6000 cm^2 , seguido a este el tratamiento SFS y finalmente el tratamiento FBS con 4000 cm^2 respectivamente, en el primer muestreo realizado a los 64 DDT, para el segundo muestreo todos los tratamientos presentaron un decremento en su área foliar esto debido a las prácticas culturales de manejo de cultivo (bajada de planta y poda), en el segundo periodo los tratamientos FAS y FBS tuvieron una respuesta favorable ya que lograron un incremento de 34% y 17% respectivamente, mientras el tratamiento SFS presentó un decremento de un 26%. Resultados similares fueron obtenidos en otros cultivos como la caña, en la cual se encontró respuesta positiva en el aumento del número de hojas activas con el aporte de silicio (Sánchez, 1981).

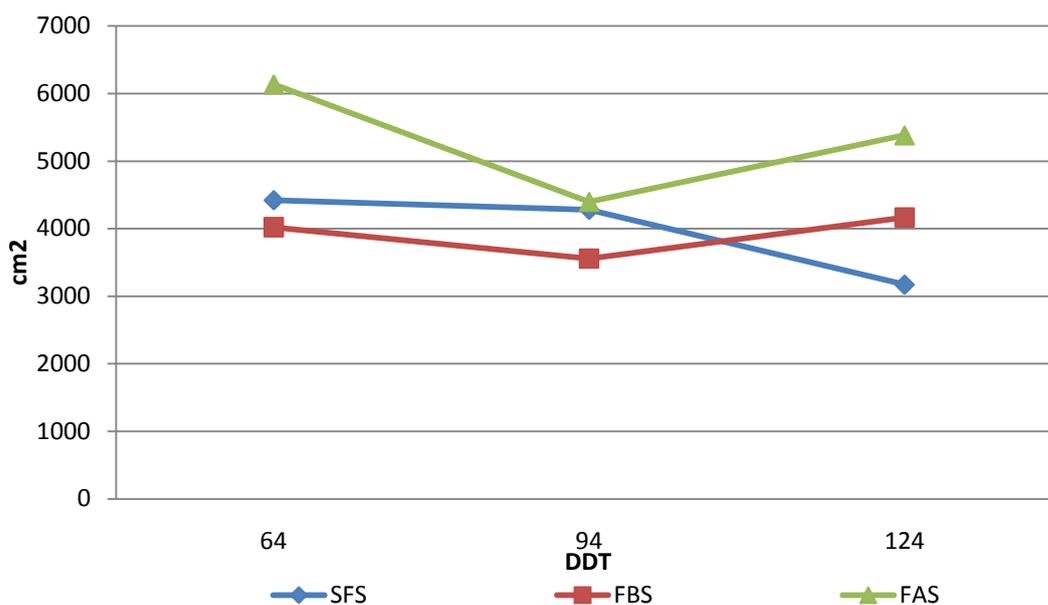


Figura. 4.3 Área foliar en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y en cultivo sin suelo durante los 64 – 124 DDT.

En el tercer muestreo el tratamiento FAS fue el que presentó el mayor valor de área foliar seguido por el tratamiento FBS y finalmente el tratamiento SFS, el comportamiento de esta variable siguió la misma tendencia que las variables anteriores influenciadas por los factores climáticos y principalmente por disminución de radiación solar. Estadísticamente no se puede realizar comparación de medias debido que entre los tratamientos no existe diferencia significativa.

4.1.4 Materia seca de área foliar.

En el muestreo del día 64 DDT el tratamiento FAS fue el que presentó la mayor acumulación de materia seca seguido por el tratamiento SFS y finalmente el tratamiento FBS con 25.65 gr., 19.39 gr. y 16.19 gr. respectivamente.

La materia seca del área foliar del tratamiento FBS obtuvo un decremento de un 5% con respecto a las plantas del mismo tratamiento pero a

los 94 DDT mientras que el tratamiento SFS tuvo un decremento de un 8% (Fig. 4.4), el tratamiento FAS fue el que mayor decremento mostro con un 16%, esto debido a las prácticas culturales del cultivo (bajada de planta y poda), El decremento de la materia seca del área foliar puede ser debido a una lenta asimilación de los fertilizantes en virtud del desarrollo fenológico del cultivo de acuerdo con la edad (Caicedo,2007).

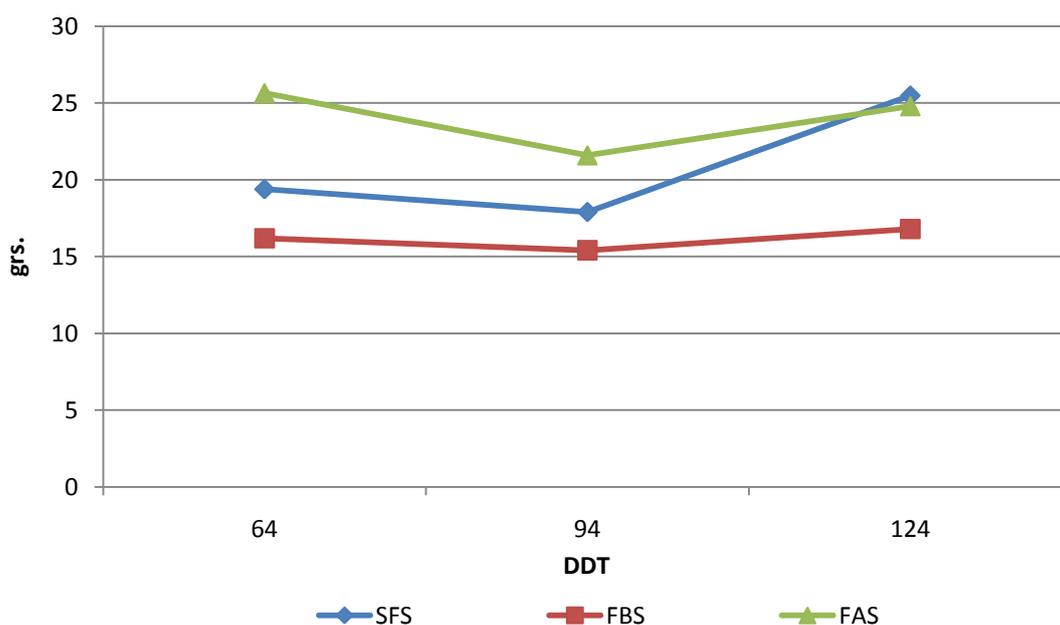


Figura 4.4 Materia seca de área foliar obtenida en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 64 – 124 DDT.

En el tercer muestreo de los 94 a los 124 DDT, el tratamiento SFS tuvo un incremento la materia seca mostrando un 42% durante este periodo, mientras que el tratamiento FAS tuvo un incremento del 15%; el tratamiento FBS fue la que menor incremento el peso seco de hojas pues obtuvo un 9%, pero en general todos los tratamiento presentaron un incremento. En trabajos realizados en el cultivo de café los resultados mostraron que con aplicaciones de silicio se presentó la mayor área foliar y mayor peso en el área foliar. Como el mayor desarrollo foliar, sugieren una participación importante desde el punto vista nutricional de los tratamientos a base de silicio. (Caicedo, 2007), Loaiza

(2003), menciona que el silicio puede estimular el crecimiento entendido como la acumulación irreversible de materia seca.

4.1.5. Materia seca de tallo.

El mayor peso de materia seca en el tallo obtenido fue el del tratamiento FAS con 20.89 grs., siguiéndole a este el tratamiento SFS con 16.81 grs. y finalmente el tratamiento FBS con 13.80 grs. esto durante el primer muestreo realizado a los 64 DDT. La nutrición con silicio promueve el desarrollo de raíces y esto da como resultado una mayor masa y volumen de estas (Horna, 2007) optimizando así un mejor desarrollo y por lo tanto una mejor absorción de nutrientes por el cultivo que se ve reflejado en una mayor acumulación de materia seca, así pues la aplicación de silicio en el cultivo del café maximizó la acumulación de biomasa representada en peso seco total (Caicedo,2007).

Para el periodo correspondiente de los 64 a 94 DDT hubo un incremento en el tratamiento FAS con un 79%, el tratamiento FBS tuvo un incremento del 68%, sin embargo el tratamiento SFS es el que mayor tasa de crecimiento presento con un 104%.

Para el tercer muestreo el FBS tuvo un comportamiento de acumulación de materia seca de un 213%, siendo este el que obtuvo el mayor incremento de peso seco de tallo en comparación los tratamientos SFS y FAS que tuvieron un 198% y 112% respectivamente.

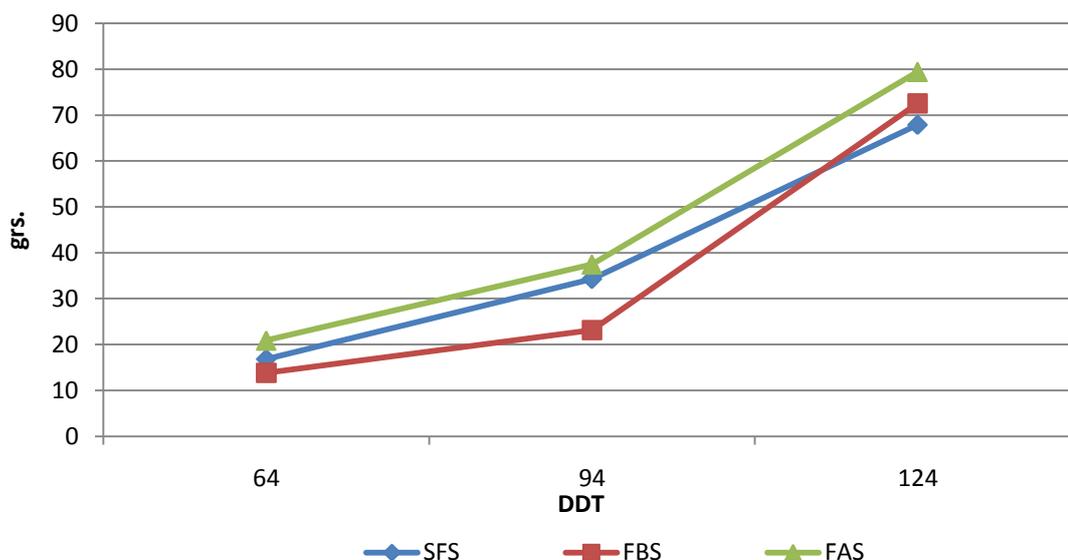


Figura 4.5 Materia seca de tallo obtenido en plantas de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 64 – 124 DDT.

4.1.6. Rendimiento por corte.

Para el análisis de los resultados de rendimiento por corte se agrupo la producción en tres periodos el primero del día 74 al 102 DDT, el segundo del día 113 al 130 DDT y el tercer periodo del día 134 al 170 DDT, lo que se va a analizar son los cortes acumulados para cada uno de los tres tratamientos y además se muestra el comportamiento de cada uno de los cortes en la figura 4.6.

Para el rendimiento acumulado de cada uno de los tratamientos durante el primer periodo de producción que comprende desde los 74 a 102 DDT, el tratamiento que obtuvo el mayor rendimiento fue el tratamiento FBS con un 42%, seguido por el tratamiento FAS con un rendimiento promedio del 37% y finalmente el tratamiento SFS con un 36%, del rendimiento total de cada uno de los tratamientos, el efecto del silicio se aprecia claramente durante este periodo, lo que se reflejo en una mayor precocidad para los tratamientos con fertilización a base de silicio, Horna (2007) menciona que el silicio refuerza a la

planta su capacidad de distribución de carbohidratos requeridos para tener un incremento en el desarrollo y producción de cosecha.

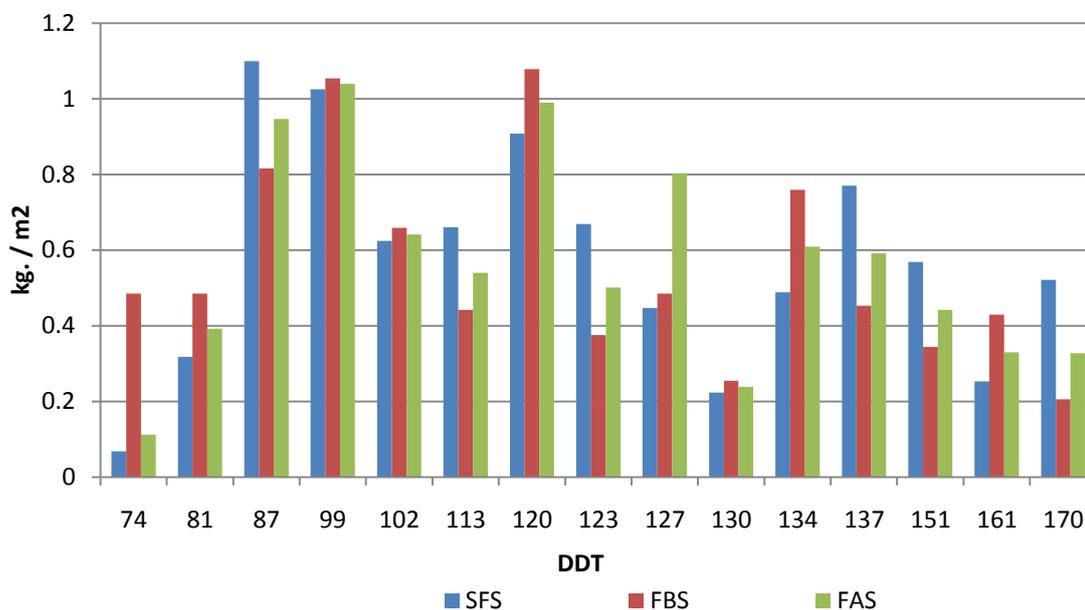


Figura 4.6 Rendimiento por corte obtenido en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT.

Para los días 113 - 130 después del trasplante, correspondientes a las dos terceras parte del periodo productivo, el tratamiento FAS el que mayor rendimiento obtuvo con un 36%, seguido a este el tratamiento SFS con un 34% y finalmente el tratamiento FBS es el de menor rendimiento con un 32%. En un trabajo realizado en tomate de cascara aplicando fertilizantes de Silicio, se obtuvieron los más altos rendimientos (entre 13 y 14 ton/ ha) en los tratamientos que tenían en común la aplicación de silicio al 2 % (Gomes, 2006), en este periodo se manifiesta el efecto de la fertilización a base de silicio únicamente para el tratamiento FAS.

En el tercer tercio el cual corresponde al último periodo de producción de los días 134 – 170 DDT, el mayor rendimiento fue obtenido por el tratamiento SFS con un 30%, seguido el tratamiento FAS obtuvo un rendimiento durante este periodo del 27% y finalmente el tratamiento FBS que alcanzaron un 26 %

en el rendimiento promedio correspondiente a este periodo, durante esta etapa hay un notable descenso en el rendimiento debido a que ya se encontraba el cultivo en la etapa final, este comportamiento puede incidir la capacidad fotosintética diferencial de las hojas. En tomate, la actividad fotosintética depende de la edad y posición de la hoja, descendiendo de forma muy importante al iniciarse la senescencia (Peat, 1970), este descenso es efecto de lo ya antes mencionado, la planta se ve afectada por la disminución de la radiación como lo menciona varios autores mostraron una reducción en la producción de tomate bajo invernadero al disminuir la radiación interceptada por el cultivo (Benoit y Ceustermans, 1981; Buitelaar, 1984) (Fig. 4.6). Estadísticamente no se puede realizar comparación de medias debido que entre los tratamientos no existe diferencia significativa.

4.1.7. *Número de Frutos por corte.*

Durante el primer periodo de la producción que corresponde a los 74 a 102 DDT, el tratamiento FAS fue el que obtuvo el mayor número de frutos por corte con un 40% (Fig. 4.7), seguido por el tratamiento SFS y el tratamiento FBS que de igual forma obtuvieron un promedio del 37% de números de frutos obtenidos por corte. Para los días 113 a 130 DDT, correspondientes a las dos terceras parte del periodo productivo, fueron las plantas del tratamiento FBS y FAS las que mayor número de frutos obtuvieron ambas con un 38%, comparada con el tratamiento SFS las cuales obtuvieron el menor número de frutos con un 31%, en trabajos realizados con el cultivo de pepino se encontró que el número de frutos se incremento con la aplicación de silicio (Voogt y Sonneveld, 2001).

En el tercer tercio del periodo productivo correspondiente a los días 134 a 170 DDT, las plantas del tratamiento SFS obtuvieron un 29% de frutos por corte, seguido a este las plantas correspondientes a el tratamiento FBS que obtuvieron el 27% de frutos promedios mayor a los frutos obtenidos por las plantas de tratamiento FAS con un 22 % en promedio correspondiente a este

periodo, estos datos nuevamente nos muestran el efecto de la fertilización a base de sílice en un mayor precocidad del cultivo. Estadísticamente no se puede realizar comparación de medias debido que entre los tratamientos no existe diferencia significativa.

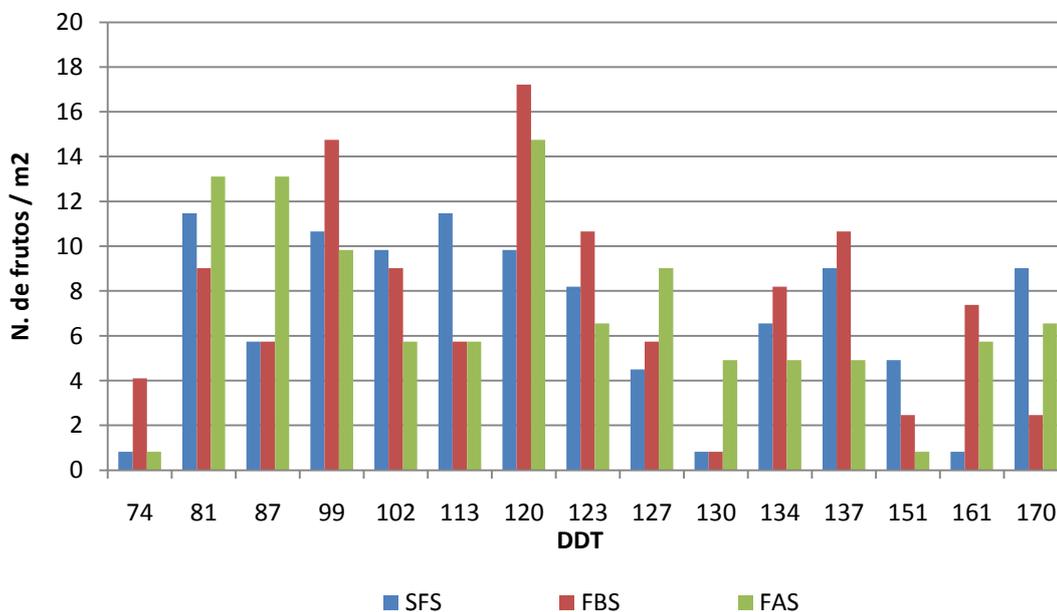


Fig. 4.7 Número de frutos por corte obtenidos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante de 74 -170 DDT.

4.1.8. Rendimiento acumulado por corte.

El rendimiento acumulado por corte fue aumentando conforme se desarrollaba el cultivo, iniciando la cosecha a los 75 DDT y finalizando a los 170 DDT. En las fases iniciales, el rendimiento acumulado fue muy similar en los tres tratamientos, sin embargo, se presenta un ligero incremento para el tratamiento FBS hasta los 123 DDT, a partir de esta fecha los tres tratamientos presentan la misma tendencia de rendimiento acumulado (Fig. 4.8). Estadísticamente no se puede realizar comparación de medias debido que entre los tratamientos no existe diferencia significativa.

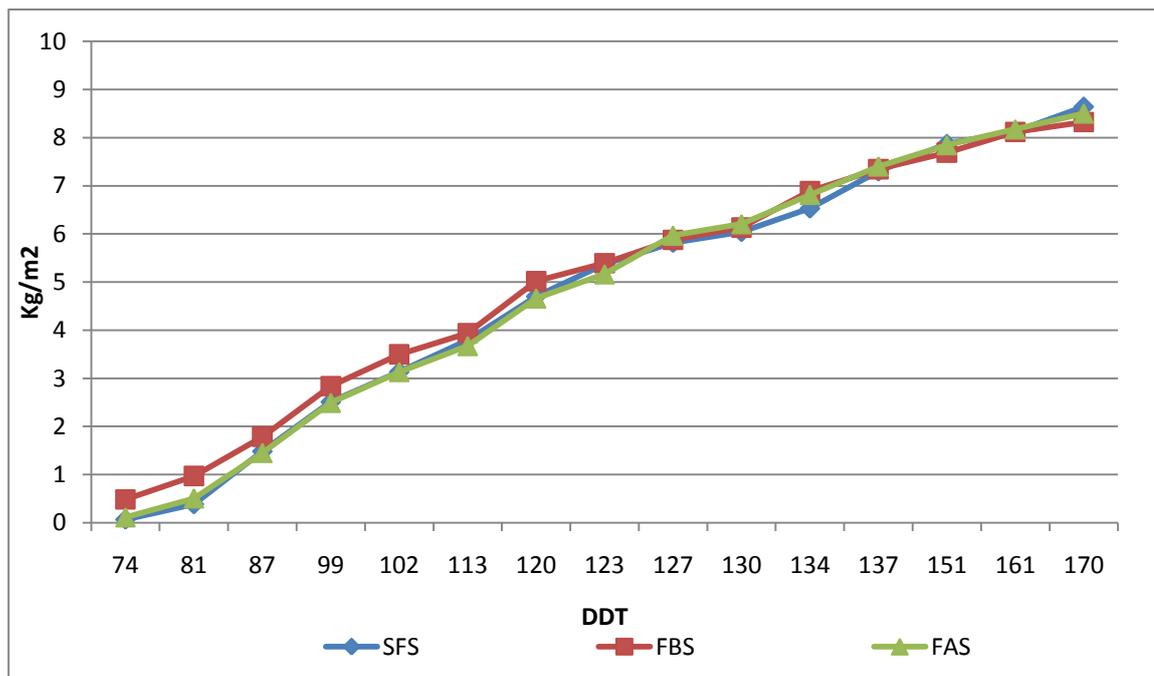


Figura 4.8 Rendimiento acumulado por corte obtenido en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT.

4.1.9. Número de Frutos acumulados.

La producción de los frutos acumulados fue aumentando conforme se desarrollo el cultivo, iniciando la cosecha aproximadamente a los 75 DDT y finalizando a los 170 DDT, en el cultivo del pepino y el calabacin se ha demostrado que tienen un beneficio significativo al adicionar el silicio en el incremento del rendimiento, en el caso del cultivo del pepino el peso promedio del fruto aumento (Voogt y Sonneveld, 2001).

En las fases iniciales, la producción de frutos fue similar en los tres tratamientos, sin embargo, a partir de los 135 DDT, el tratamiento FAS mostraron un incremento en la tasa de producción en comparación con el tratamientos SFS y tratamiento FBS, Al finalizar el experimento el tratamiento FBS fue el que presento el mayor número de frutos mientras que los tratamientos SFS y FAS fueron los que presentaron el menor número de frutos acumulados (Fig. 4.9). Estadísticamente no se puede realizar comparación de medias debido que entre los tratamientos no existe diferencia significativa.

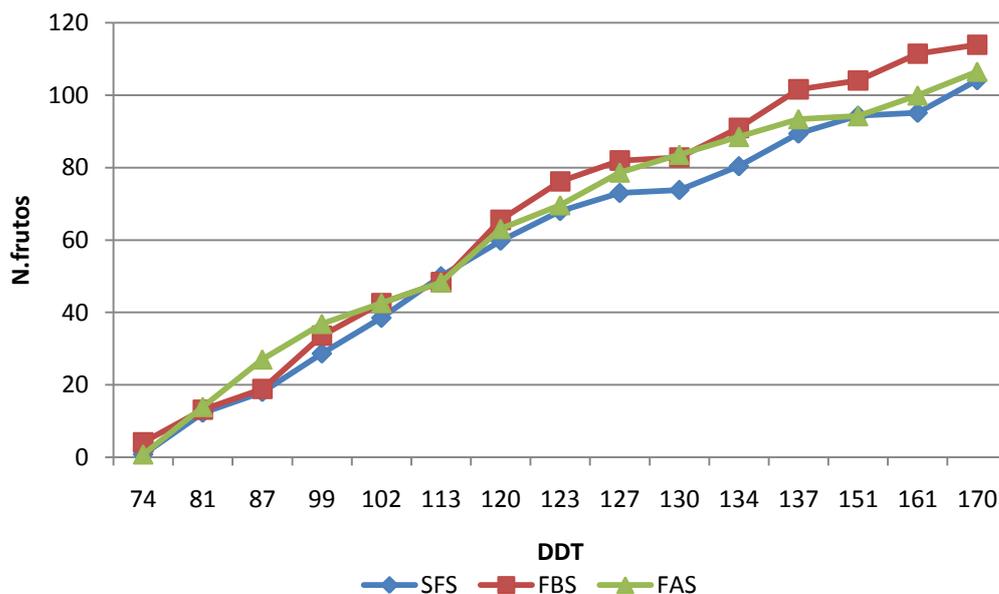
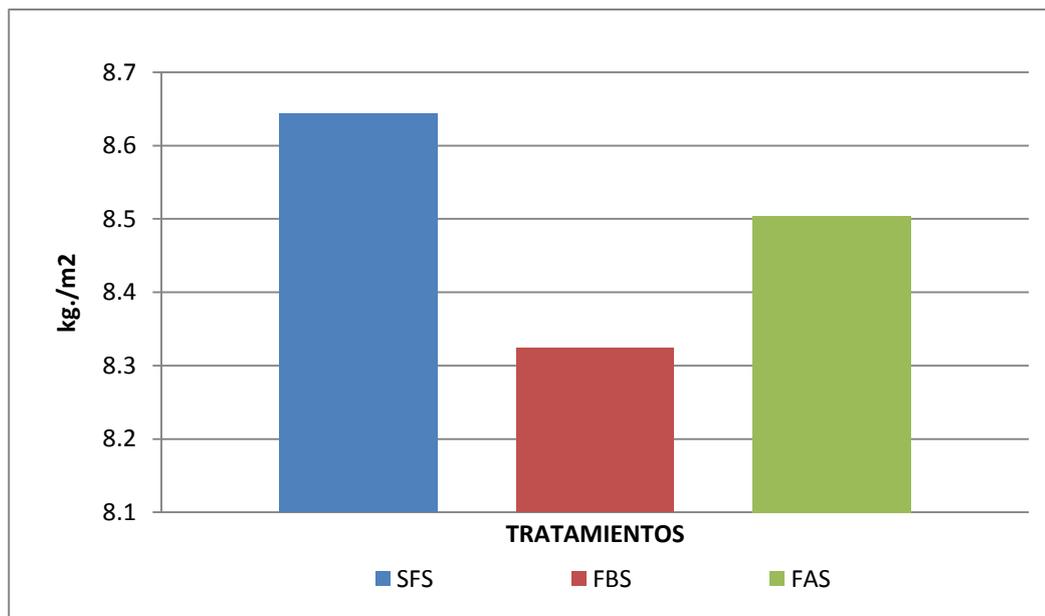


Figura 4.9. Frutos acumulados por corte obtenidos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT.

4.2.10. Rendimiento total.

Cuando se realizó el ANVA para el rendimiento total no se encontró diferencia significativa, pero como se puede observar en la figura 4.6 el tratamiento SFS es el que muestra el más alto rendimiento con 8.644 kg /m², seguido a este el tratamiento FAS con 8.504 kg /m² y finalmente el tratamiento FBS con 8.325 kg /m², en trabajos realizados utilizando el híbrido Gabriela, Méndez (2004) señala que el rendimiento total obtenido fue de 27.32 kg /m², sin embargo fueron menores a los del híbrido 'Gabriela', sin embargo en trabajos realizados por Trejo (2004) con el mismo híbrido obtuvo un rendimiento total del 14,32 kg /m². Estadísticamente no se puede realizar comparación de medias debido que entre los tratamientos no existe diferencia significativa.



4.10. Rendimiento total obtenido en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo de los 15 cortes realizados.

4.2.11. Frutos totales.

Al realizar el ANVA no se encontró diferencia significativa pero se puede observar en la grafica 4.9 la comparación entre los tratamientos utilizados en el experimento para la producción de los frutos obtenidos que el tratamiento FBS obtuvo un 10% más en comparación con el tratamiento SFS, mientras que el tratamiento FAS obtuvo un 3 % más en comparación al tratamiento FSF, en trabajos relacionados con el híbrido Gabriela se obtuvieron híbrido 277 frutos/m². Estadísticamente no se puede realizar comparación de medias debido que entre los tratamientos no existe diferencia significativa.

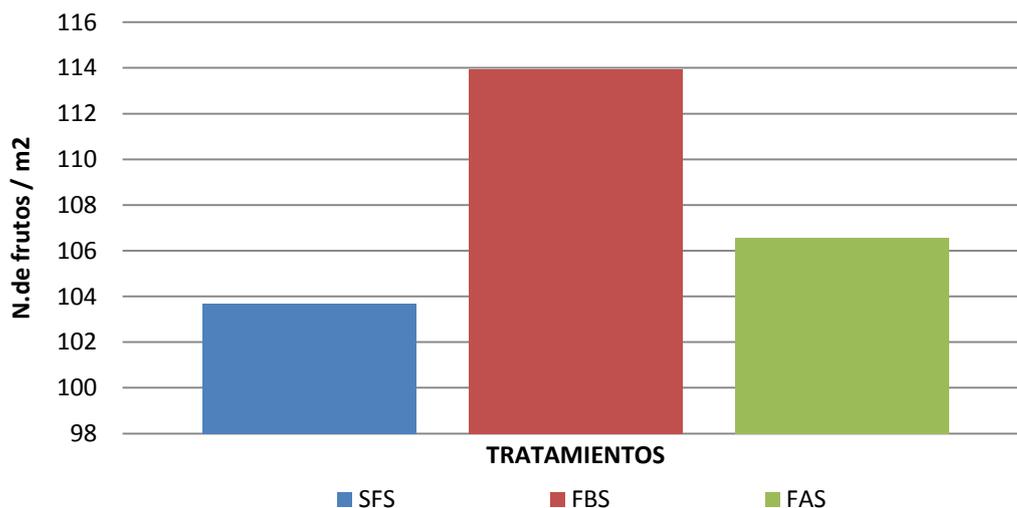


Fig. 4.11 Producción de frutos totales obtenidos en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT

4.3. Parámetros de Calidad.

4.2.1. Vitamina C.

Los frutos del tratamiento FAS obtuvieron la mayor concentración de vitamina C con un 13 % más que los frutos dados por las plantas del tratamiento FBS que obtuvo un incremento de 5 % en comparación con los frutos dados por las plantas del tratamiento SFS (Fig. 4.10) el efecto del silicio es notorio así lo refiere Stamatakis (2004) afirma que este elemento realza la firmeza de la fruta, el contenido de los solutos y de la vitamina C del sólido total en el tomate. En un trabajo realizado por Murillo (2003), concluye que el mejor promedio de Vitamina C en tomate fue el que obtuvo un valor de 9.26 mg/100 grs. al haber más biomasa en el fruto, se presenta mayor Vitamina C.

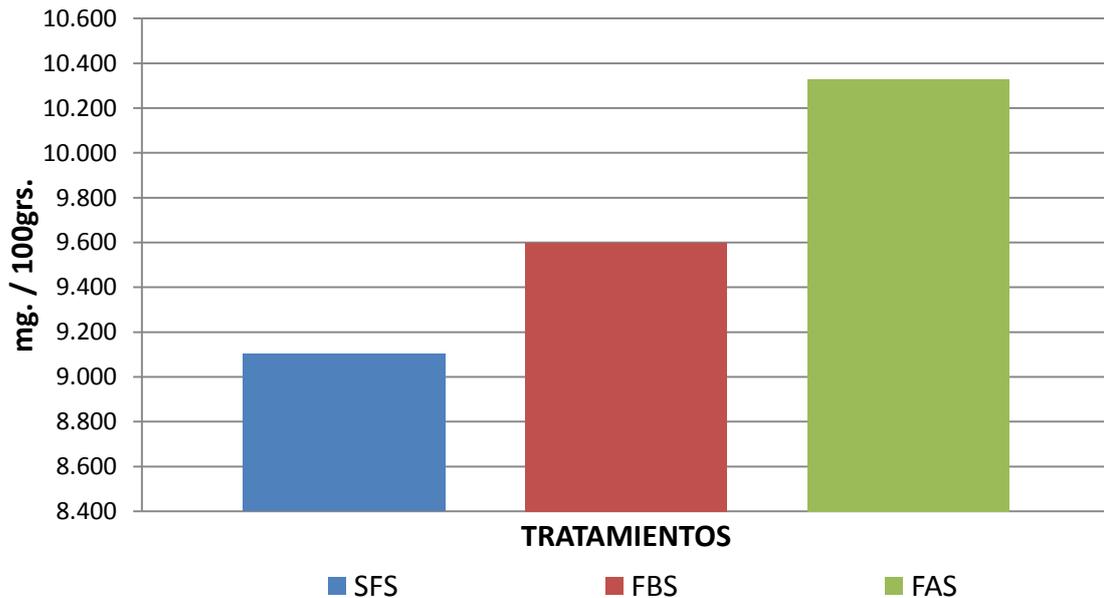


Fig. 4.12 Contenido de vitamina C en frutos de tomate obtenidos bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT.

4.2.2. Firmeza.

Los frutos que mayor firmeza adquirieron fueron los referentes al tratamiento FAS con un 16%, más en comparación con la firmeza obtenida por los frutos del tratamiento FBS con un 3% más que el testigo (Fig.4.13). Dentro de los atributos de calidad más importantes en el tomate esta la firmeza la cual fue clasificada por Cantwel (2004) que clasificaba los tomates en seis categorías, de muy firme a muy blando, en función de la fuerza de compresión requerida para producir una deformación de 5 mm en la superficie del fruto (cuadro 4.1). Por otra parte la adición de silicio en el cultivo del tomate realza la firmeza del fruto (A. Stamatakis,2004).

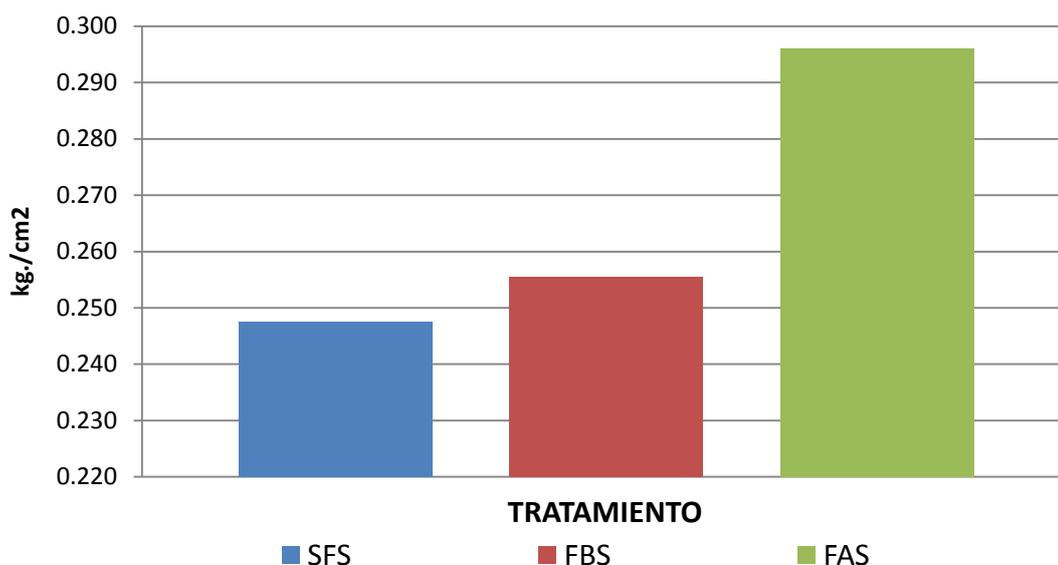


Fig. 4.13 Firmeza en frutos de tomate obtenidos bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT.

4.2.3. Sólidos Solubles Totales

El mayor contenido de los sólidos solubles fueron obtenidos por los frutos del tratamiento 2 y tratamiento 3 con 3.4 ° Brix y finalmente el tratamiento testigo obtuvo 3.4 ° Brix. Tanto el tamaño como el contenido en sólidos solubles del fruto dependen de los fotoasimilados recibidos de las hojas (Nuez, 2005), por otra parte Aguayo y Artés (2004) consideran que para tener un aroma y un sabor óptimos, los tomates deben tener un contenido en sólidos solubles de entre 4 y 6 °brix. Baldwin et al. (1998) consideran que la relación entre el SST y la acidez es un buen indicador para el sabor y el aroma de los tomates y Mencarelli y Salveit (1988) señalaron que un valor bajo de SST/acidez está asociado a tomates insípidos.

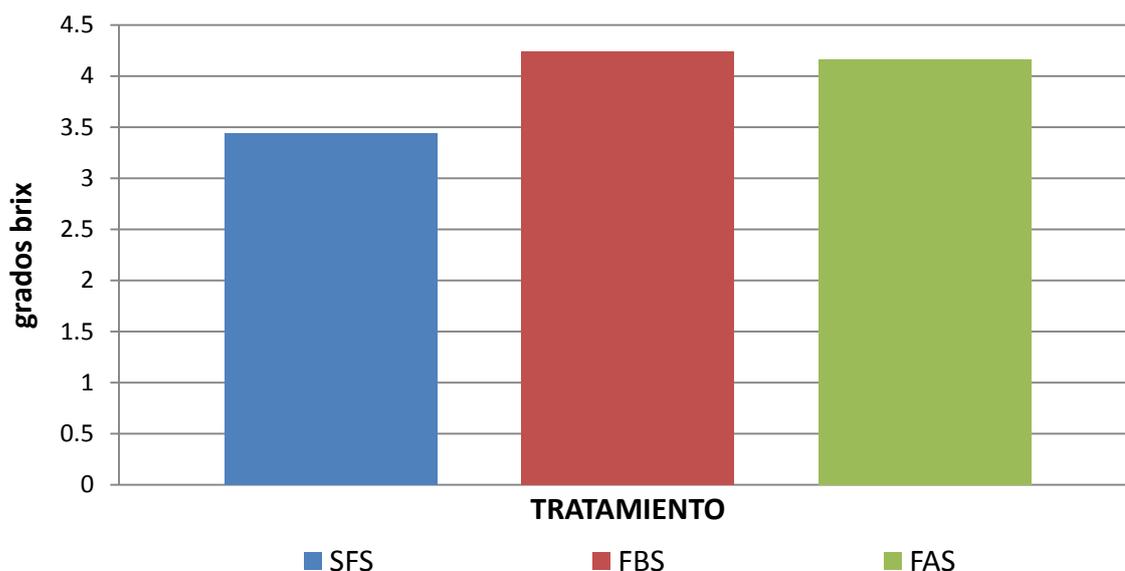


Fig. 4.14 Sólidos solubles obtenidos en frutos de tomate bajo condiciones de invernadero y cultivo sin suelo durante los 74 -170 DDT.

4.2.4. Color.

Las coordenadas (CIE1976) $L^*a^*b^*$ registrados por el colorímetro se muestran en la tabla 1. La luminosidad de los frutos no se ve afectada en mayor medida por el estado de maduración. La saturación y los tonos ($+a^*$) se hicieron más intensos al igual que los tonos amarillos ($+b^*$), evidenciándose el cambio de color de los azules y morados a los rojos y naranjas, propios de los frutos madurados, concordando con lo mostrado en las tablas de color. Según lo reportado por Reina, 1998, los cambios en color se deben a procesos de degradación o de síntesis. Hay descomposición de clorofila y formación de pigmentos carotenoides.

Cuadro. 4.2 Coordenadas registradas por el colorímetro en frutos de tomate.

Tratamiento	L^*	a^*	b^*
TESTIGO	38.50	+ 23.92	+ 23.07
FBS	39.60	+ 17.87	+ 19.34
FAS	40.11	+ 20.94	+ 20.26

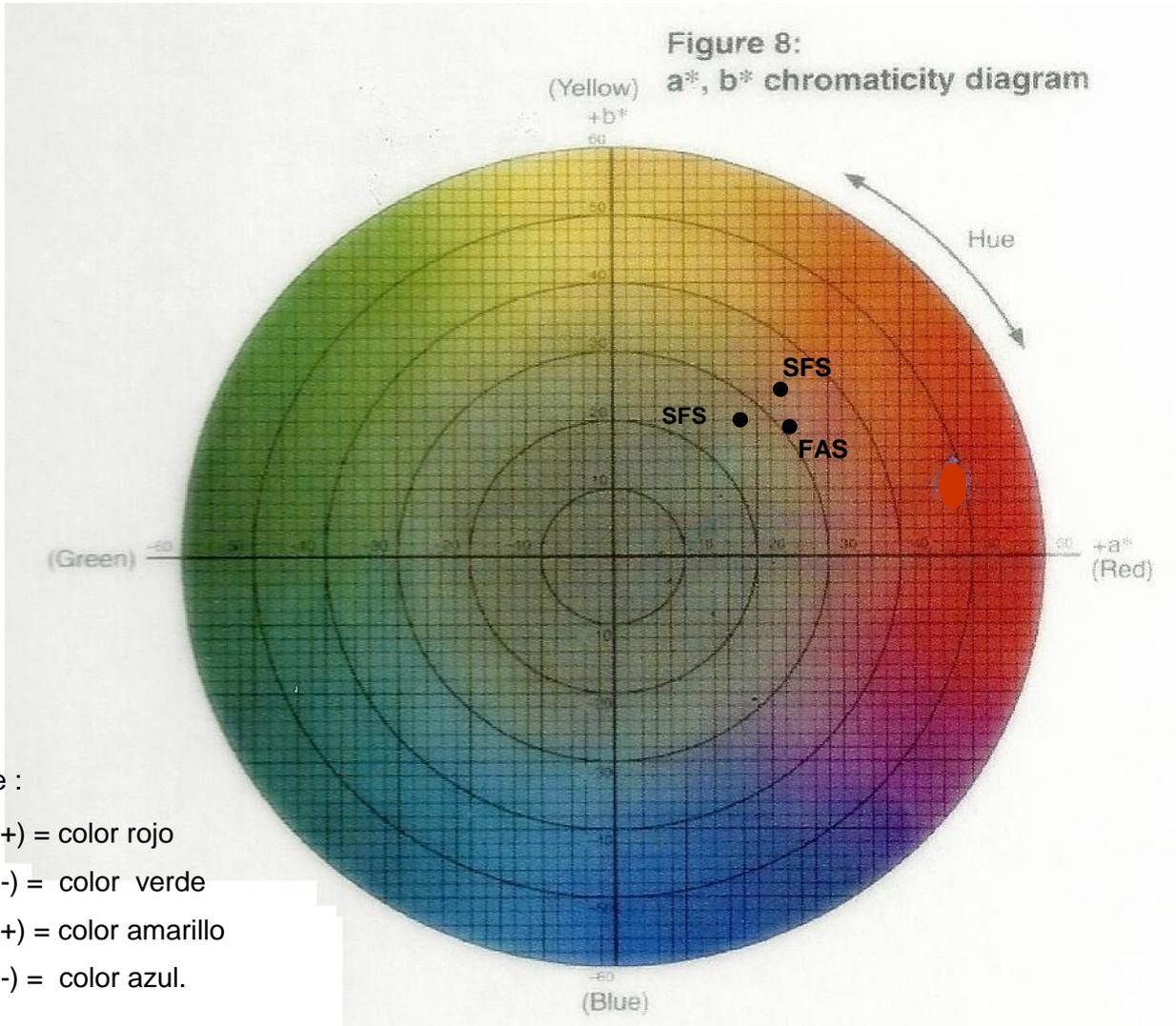


Fig. 4.15 Diagrama de cromaticidad (CIE 1976). Representa con mayor aproximación a la sensibilidad humana hacia el color.

V. CONCLUSIONES

La evaluación realizada en el cultivo de tomate aplicando concentraciones diferentes de silicio mostro efectos favorables en el incremento de la longitud de tallo y área foliar estos resultados coinciden con un trabajo realizado por Sánchez (1981) en el cultivo de la caña, en el cual la aplicación de silicio mostro una respuesta positiva en el aumento de tamaño de tallos y mayor número de hojas activas con el aporte de este elemento.

La aplicación de silicio también tuvo un efecto positivo en la materia seca de tallo y de área foliar los cuales se observan en la mejor asimilación y transformación eficiente de nutrientes, aumentado la materia seca de estos, resultados similares fueron obtenido en el cultivo la Avena realizados por Borda (2007).

El silicio también tuvo un efecto positivo sobre las variables de calidad tales como: firmeza, sólidos solubles totales y vitamina C, obteniendo los valores más altos correspondientes a cada una de las variables tal y como lo refiere Stamatakis (2004) al afirmar que este elemento promueve la firmeza de la fruta, el contenido de la vitamina C y de sólidos solubles totales en el fruto de tomate.

VI. LITERATURA CITADA

- Aguayo, E. y Artés, F., 2004. Elaboración del tomate mínimamente procesado en fresco. Compendios de Horticultura. Ediciones de Horticultura S.L. Reus (España).
- Baldwin, E.A., Scott, J.W., Malundo, T.M.M., Shewfelt, R.L. y Tandom, K.S., 1998. Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 123 (5): 900-915.
- Batista GF, Campos MJ, Donizete SC, 2005. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. Sci. Agric 62.
- Bello, J.A. López-Pérez, A. García Álvarez 2003, Biofumigación en Agricultura Extensiva de Regadío. Mundi-Prensa. España.
- Blaya Navarra Simòn y Garcia Navarro Ginés, 2003. Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Editor Mundi-Prensa Libros 2ª edición.
- Borda Andres Oswaldo, Baron Humberto Fredy y Gòmez Ivàn. 2007. El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): respuestas fisiológicas de *Agronomía Colombiana* 25(2), 273-279, 2007
- Brady, N. C. (1992). The nature and properties of soil. 10 ed. New York: Macmillan Publishing. 750 p.
- Caicedo Luis Maurici., Chavarriaga M., 2007. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigos de la plántula de café variedad colombiana.
- Casseres, E. 1984. Producción de hortalizas. 3ª edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. Pp. 71-105.
- Datnoff, L.E., Snyder, G.H., 1991. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. *Plant Dis.* 75 (7), 729–732.
- De Santaigo Jose, 2007. Fresas en invernadero. *Revistas de Hortalizas*.
- Eptein E, 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. SCI. USA* 91:11-17
- Eptein E, 1999. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol* 50: 641-664.
- Epstein, E., Bloom, A.J., 2005. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*, 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Fauteux F, Rémus-Borel W, Menzies JG, Bélanger RR (2005) Silicon and planta discase resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiol. Lett* 249: 1-6.
- Fraume Restrepo Nestor Julio 2007, *Diccionario Ambiental*. ECO EDICIONES.

- Gutiérrez Vásquez Felipe, 2009. Evaluación del consumo de agua del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) con el método de balance hídrico y su relación con el rendimiento, en un sistema semi-hidroponico. Tesis licenciatura. Departamento de Riego y Drenaje. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah.
- Hodson, M. y D. Evans. 1995. Aluminum/silicon interactions in higher plants. *Expl. Bot.* 46(2), 161-171.
- Horna, Z. Rafael, 2007. Efectos del silicio en la Nutrición Vegetal. Producción de Silicio Organico. Quevedo – Ecuador.
- Husby, C. 1998. The role of Silicon in Plant Susceptibility to Disease. Pp 1 -6.
- Kamanidou Sophia, J. Cavins Todd, Marker Stephen, 2009. Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. *Hort. Sci.*.
- Kamenidou, S., Cavins, T.J., Marek, S., 2008. Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-produced ornamental sunflowers. *Hort. Sci.*
- Kaufman, P. B., Dayanandan, P., Franklin, C. I., and Takeoka, Y. 1985. Structure and function of silica bodies in the epidermal system of grass shoots. *Ann. Bot.* 55:487-507.
- Kinet, J. M., 1977. Effect of defoliation and growth substances on the development of the inflorescence in tomato. *Sci. Hort.*, 6.: 27-35.
- Kinet, J. M., 1977. Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Sci. Hort.*, 6.: 15-26
- Kristoffersen, T., 1963. Interaction of photoperiod and temperature in growth and development of young tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Physiol. Plant. (Suppl.)*. 16: 1-94.
- Loaiza, C. 2003. Fisiología vegetal. Ed. Universidad de Caldas, Manizales. pp. 8-15.
- Loué, A. 1988. Los microelementos en la agricultura. Silicio. Ed. Mundi-Prensa, Brasil. pp. 208-211.
- Ma, J.F., Takahashi, E., 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier, Amsterdam.
- Ma JF, Mitani N, Nagao S, Konishi S, Tamai K, Iwashita T, Yano M , 2004.Characterization of the silicon uptake system and molecular mapping of the silicon transporter gene in rice. *Plant Physiol.* 136: 3284-3289.
- Ma, J.F., 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier, Amsterdam.
- Marín R., J. 2000. Vademécum de Variedades. Hortícolas. Portagrano 2000. Gráficas ALPE. Berja (Almería), España. 360 p
- Martínez, F. 1995. Elementos de fisiología vegetal, relaciones hídricas, nutrición mineral y transporte. Ed. Mundi-Prensa, Barcelona. 1125 p

- Méndez-Galicia T.*; Sánchez-Del Castillo F.**; J. Sahagún-Castellanos***, 2004. Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este - oeste. Posgrado en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Menzies, J.G., Ehret, D.L., Glass, A.D.M., Helmer, T., Koch, C., Seywerd, F., 1991. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. *Phytopathology* 81, 84–88.
- Miyaki Y., Takahashi E. (1983), Silicon, aluminium, and zinc accumulators discriminated from 147 species of Angiospermae. *Mem Coll. Agric. Kyoto Univ.* 133: 23-43.
- Nishimura K, Miyaki Y, Takahashi E (1989), Silicon, aluminium, and zinc accumulators discriminated from 147 species of Angiospermae. *Mem Coll. Agric. Kyoto Univ.* 133: 23.
- Nuez Fernando, 2000. *El Cultivo del tomate*. Editorial Mundi-Prensa 1ª edición 1995. España. Pág. 17- 19.
- Okuda, A. y E. Takahashi. 1965. The mineral nutrition of the rice plant. *Symp. Intern. Rice Research Inst.* pp. 123-146.
- Okuda, A. 1963. The role of the silicon. *Annual report IRRI*. Los Baños, Filipinas. pp. 123-145.
- PEAT W.E., 1970. Relationships between photosynthesis and light intensity in the tomato. *Ann. Bot.*, 34, 319-328.
- Quero, G. E. 2008. *Funciones biológicas y respuestas fisiológicas en la nutrición vegetal con silicio*. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. Michoacán. México.
- Quero, G. E. y Cárdenas A. V. A. 2007. *Nueva tecnología para incrementar la producción agrícola tecnificada y tradicional y mejorar la calidad agrícola de los suelos*. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, Michoacán.
- Raleigh, G. 1963. Some effects of various silicates, lime and gypsum on growth of tomato plants in phosphorus nutrition. *Cornell Agricultura Station. Memorias* 326, 24-35.
- Rodríguez Rodríguez Rafael, Tabares Rodríguez José María, Medina San Juan José A., 2001. *Cultivo moderno del Tomate*. Edición Mundi-Prensa. 2º edición. México.
- Rodríguez Fuentes Humberto, Muñoz López, Alcorta García Efraín., 2006. *El tomate rojo: sistema Hidropónico* Editorial Trillas. 1ª edición, junio 2006. México, pág. 43
- Rodríguez M.R. y Jiménez D.F., 2002. Manejo de invernaderos. In: *Memorias de la XIV semana internacional de agronomía Faz-UJED*. Venecia, Durango. Pp. 58-65.

- Samperio Ruiz Gloria, 2004. Un paso más en la hidroponía. 1ª edición 2004. Editorial Diana, S.A. de C.V. México D.F.
- Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico. IICA, San José de Costa Rica. 235p.
- Sangster, A. G. and Hodson, M. J. 1986. Silica and higher plants. pp. 90-111. In: Evered, D. and O'Connor, M. (eds.), Silicon biochemistry, Ciba Found Symp. 121, Wiley, Chichester, U. K.
- Salisbury, Frank B., 2000. Fisiología de las plantas, tomo 1. Paraninfo Thomson Learning, 2000 España.
- Simkiss K., K.M. Wilbur, 1989. Biomineralization. Academic Press, London.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2002). Plant physiology, third edition. Sinauer Associates, Sunderland. 690p.
- Voogt W. and Sonneveld C., 2001. Silicon in horticultural crops grown in soilless cultura. Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables, Naaldwijk, The Netherlands.
- Wang Hailong ^a, Li Chunhua ^b and Liang Yongchao ^c, 2001. Agricultural utilization of silicon in China. Elsevier Science B.V. All rights reserved. Silicon in Agriculture L.E. Datnoff G.H. Snyder and G.H. KorndOrfer (Editors)
- Yoshida, S. (1975). The physiology of silicon on rice. Food fertilization technology center. Technical bull, Taipei, Taiwan. No. 25.

Referencia en internet.

- http://reportes.siap.gob.mx/Agricola_siap/ResumenProducto.do?producto=30800&invitado=true&ciclo=1
- <http://www.productoresdehortalizas.com.mx>
- <http://www.teorema.com.mx/index.php?s=silicio>
- <http://www.actahort.org>.
- <http://www.textoscientificos.com/quimica/silicio>
- http://loquequero.com/portal/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=2

Anexos. A

1. Descripción de fertilizante de acuerdo a la etiqueta del producto correspondiente al tratamiento FAS.

- **Nombre del fertilizante:** FERTISIL-EXTRA.
- **Casa comercial:** FERTI-MICRO S.A DE C.V.

- **Descripción:**

Fertilizante a base de silicio, calcio, magnesio, hierro, zinc y potasio.

- **Composición:**

Calcio	10 -12 %.
Magnesio	5-7 %.
Silicio	42 -45 %.
Hierro	2 - 3 %.
Zinc	3 - 5%.
Potasio	1 – 2.5 %.

- **Características:**

- Nuestros productos contienen silicio amorfo el cual combinado con la materia orgánica, humedad y temperatura forman el compuesto de silicio único asimilable por las plantas, que es el ácido ortosilícico, el cual transloca los nutrientes disponibles en el suelo, aumenta las estructuras de las plantas haciéndolas más resistentes a las plagas y enfermedades, retienen humedad y mejoran la estructura del suelo. - Después de aplicar nuestros productos usted observará efectos tales como: tallos más gruesos, hojas más grandes y verdes, aumento en la cantidad y el tamaño de las raíces, firmeza en los tejidos, aceleración en los procesos evolutivos como la germinación, floración y fruto, aumento de conductos invernales en las hojas, mejora la tolerancia a estrés biótico (plagas y enfermedades) y abiótico (temperatura, radiación solar, salinidad). - Son minerales primarios con granulometría de 60 mallas (eficiencia de asimilación del 100%), envasados en sacos de polietileno de 25Kg, se pueden aplicar junto con fertilizantes orgánicos (se pegan a estos por su adherencia), no tienen reacciones adversas, aún con productos de calcio o fósforo, debido a su estructura molecular, se pueden aplicar prácticamente a cualquier agroquímico.

- **Dosis:**

Frutales: Al voleo, al suelo, sobre el área que cubre la copa de los árboles preferentemente antes de la floración. **Hortalizas:** Con una esparcidora o volteadora, se aplica en líneas de siembra o bien en el momento de la escarda. En cultivos que provienen de almácigos es muy importante, hacer una aplicación de unos 10g/charola o de 100g/m², y posteriormente después del transplante aplicar en la línea de siembra.

Gramíneas: Se puede aplicar desde la preparación de la tierra o inmediatamente después de la siembra, también en la línea de siembra o en la primera escarda.

- Invernaderos: Mezclados con cualquier sustrato 50g/ kg o 25kg/m³.

- Para dosis específicas favor de ponerse en contacto con nosotros y un técnico lo atenderá.

- **Cultivo:**

-Frutales. - Hortalizas. -Invernaderos.

[*http://www.fertimicro.com/empresa/default.htm](http://www.fertimicro.com/empresa/default.htm)

2. Descripción de fertilizante de acuerdo a la etiqueta del producto correspondiente al tratamiento FBS.

- **Nombre del fertilizante:** FOSFOSILIDOL

- **Casa comercial:** Dolomía Agrícola de México, S.A. de C.V. en México.

- **Descripción:**

Fertilizante a base de fósforo, silicio, calcio, magnesio, hierro, zinc y potasio.

- **Composición:**

Fósforo	9.3- 9.6%.
Silicio	31-34%.
Calcio	10-13%.
Magnesio	1.5-2%.
Hierro	2-3%.
Zinc	3-5%.
Potasio	2-2.5%.

- **Características:**

- Nuestros productos contienen silicio amorfo el cual combinado con la materia orgánica, humedad y temperatura forman el compuesto de silicio único asimilable por las plantas, que es el ácido ortosilícico, el cual transloca los nutrientes disponibles en el suelo, aumenta las estructuras de las plantas haciéndolas más resistentes a las plagas y enfermedades, retienen humedad y mejoran la estructura del suelo. - Después de aplicar nuestros productos usted observará efectos tales como: tallos más gruesos, hojas más grandes y verdes, aumento en la cantidad y el tamaño de las raíces, firmeza en los tejidos, aceleración en los procesos evolutivos como la germinación, floración y fruto, aumento de conductos invernales en las hojas, mejora la tolerancia a estrés biótico (plagas y enfermedades) y abiótico (temperatura, radiación solar, salinidad). - Son minerales primarios con granulometría de 60 mallas (eficiencia de asimilación del 100%), envasados en sacos de polietileno de 25 Kg, se pueden aplicar junto con fertilizantes orgánicos (se pegan a éstos por su adherencia), no tienen reacciones adversas, aún con productos de calcio o fósforo, debido a su estructura molecular, se pueden aplicar prácticamente a cualquier agroquímico.

- **Dosis:**

Frutales: Al voleo, al suelo, sobre el área que cubre la copa de los árboles preferentemente antes de la floración.

Hortalizas: Con una esparcidora o volteadora, se aplica en líneas de siembra o bien en el momento de la escarda. En cultivos que provienen de almácigos es muy importante hacer una aplicación de unos 10g/charola o de 100g/m², y posteriormente después del trasplante aplicar en la línea de siembra.

Gramíneas: Se puede aplicar desde la preparación de la tierra o inmediatamente después de la siembra, también en la línea de siembra o en la primera escarda.

Invernaderos: Mezclados con cualquier sustrato 50g/ kg o 25kg/m³. Para dosis específicas favor de ponerse en [contacto](#) con nosotros y un técnico lo atenderá.

- **Cultivo:**

-Frutales. - Hortalizas. -Invernaderos.

[*http://www.fertimicro.com/empresa/default.htm](http://www.fertimicro.com/empresa/default.htm)