

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuestas del Tomate Uva (*Solanum lycopersicum* L.) a la Aplicación de Silicio

Por:

OMAR GALINDO CORONA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuestas del Tomate Uva (*Solanum lycopersicum* L.) a la Aplicación de Silicio

Por:


OMAR GALINDO CORONA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



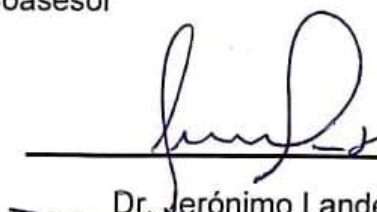
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Febrero, 2023

Declaración de no plagio

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Pasante



Omar Galindo Corona

AGRADECIMIENTO

A MI ALMA TERRA MATER

Porque más que mi Universidad es mi segunda casa, por abrirme las puertas de sus instalaciones ofreciéndome ciertos servicios indispensables. Por forjarme como todo un profesionalista con valores y carácter para enfrentar la vida laboral. Gracias por todas esas experiencias, nociones y conocimiento adquirido, con todo el orgullo del mundo es momento de partir y representar todo lo que mi “Alma Terra Mater” me enseñó.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Principalmente por su apoyo y tiempo incondicional brindado durante la realización del trabajo experimental, por la gran labor que desempeña como profesor en la Universidad impartiendo su conocimiento, con la finalidad de forjar alumnos preparados y capaces para resolver problemáticas en el sector agropecuario, y principalmente por permitirme ser parte de su equipo de trabajo, es un honor haber trabajado con un docente muy preparado y comprometido con su trabajo.

A la Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Por su colaboración, por los conocimientos compartidos, su dedicación para hacer posible el establecimiento del experimento y su disponibilidad para la revisión del trabajo.

A MIS AMIGOS

Susana, Rodolfo, Alejandro, Jazmín, Ángel, Emanuel, Francisco, Blanca, agradezco de todo corazón el apoyo incondicional que todos y cada uno de ustedes me brindaron durante el proyecto y a lo largo de la carrera, más allá de llevarme amigos me llevo una familia sincera, agradezco el conocerlos porque me di cuenta que los verdaderos amigos existen y todos ustedes son un claro ejemplo de ello. Con todo cariño “muchas gracias por todo”.

DEDICATORIA

A DIOS

Por guiar mi camino, darme la fortaleza suficiente de haber concluido mi carrera profesional, salud y una familia maravillosa con la cual tengo la dicha de disfrutar y enfrentar cada uno de mis sueños cumplidos.

A MIS PADRES

Gonzalo Galindo García y Adriana Yareli Corona Astorga, primero que nada, por darme la vida, por el buen ejemplo y apoyo que a lo largo de mi trayectoria de vida me han inculcado, gracias por los sacrificios que día con día hacían para que mis hermanos y yo estuviéramos bien, por los consejos que tanta falta me hacían y que me permitieron formarme como una persona con principios y valores. Todo lo que soy es gracias a ustedes, por estar siempre conmigo y no dejarme caer ante los malos momentos, recordándome que soy ser humano, me equivoco y que está en mi aprender de ello, los quiero mucho.

A MIS HERMANOS

Jaqueline Galindo Corona y Gonzalo Galindo Corona por ser más que hermanos mis amigos, por el apoyo y la confianza que siempre depositan en mí. Es por ello que agradezco infinitamente el siempre estar conmigo alentándome a seguir superando mis metas y ser cada día mejor.

A MIS ABUELOS

Fortino Galindo Ponce y Julia García Vázquez, parte de lo que soy ahora se los debo a estos magníficos seres humanos, se me quebranta el corazón el que no estuvieran en este gran momento sin embargo, sé que donde quiera que estén están muy orgullosos de lo que he logrado hasta este momento, las fortalezas y el siempre ver las cosas desde otra perspectiva tomando lo mejor de los malos momentos es algo que pude aprender de alguien que siempre estuvo conmigo en

las buenas y malas, mi abuelita quien siempre me recibía con una sonrisa y buen carisma. Con mucho cariño doy gracias el que fueran partícipes de este trayecto profesional y que con dificultades se ha logrado.

A MIS TÍOS

Bulmaro Piñas Robles y Maricela Galindo García, con cariño y respeto por el apoyo que me brindaron durante mis trabajos experimentales, por estar presente en los momentos complicados y como olvidar las palabras alentadoras y valiosas que siempre me daban, es algo representativo en mi vida y con la cual los recuerdo siempre, con un gran afecto les digo “muchas gracias por todo”.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Objetivo General.....	3
1.2	Objetivo Específico.....	3
1.3	Hipótesis.....	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	Origen e Historia.....	4
2.2	Clasificación Taxonómica.....	4
2.3	Generalidades.....	5
2.4	Morfología de la Planta.....	5
2.5	Requerimientos Edafoclimáticos y Edáficos.....	7
2.6	Importancia del Tomate en México y en el Mundo.....	9
2.7	Clasificación Agronómica.....	9
2.8	Plagas y Enfermedades del Cultivo.....	10
2.9	Calidad Nutraceutica del Tomate.....	12
2.10	Elementos Esenciales para los Cultivo.....	12
2.11	Elementos Benéficos para las Plantas.....	13
2.12	El Silicio Como Elemento Esencial y Benéfico.....	13
2.13	Generalidades del Silicio.....	13
2.14	El Silicio en la Planta.....	14
2.15	Movimiento del Silicio en la Planta.....	14
2.16	Importancia del Silicio en la Protección de Cultivos.....	15
2.17	El Silicio en la Nutrición de Cultivos.....	15

III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1	Localización del Sitio Experimental	17
3.2	Material Vegetal	17
3.3	Establecimiento del Cultivo	17
3.4	Labores Culturales	17
3.5	Manejo Nutricional	19
3.6	Frecuencia del Riego	19
3.7	Descripción de los Tratamientos	19
3.8	Variables a Evaluar	20
3.9	Diseño Experimental	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1	Rendimiento	23
4.2	Altura de Planta y Numero de Hojas	24
4.3	Diámetro Apical y Basal de Tallo y Peso Fresco de Hojas	25
4.4	Peso Fresco de Tallo	27
4.5	Diámetro y Largo de Fruto	28
4.6	Concentración de Nutrientes en Fruto	29
4.7	Solidos Solubles Totales y Firmeza.....	31
4.8	Extracto Celular de Peciolo	33
V.	CONCLUSIÓN	34
VI.	LITERATURA CITADA	35

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Efectos de la aplicación de silicio a diferentes concentraciones aplicada de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para rendimiento de frutos. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan23
- Figura 2.** Efectos de la aplicación de silicio a diferentes concentraciones aplicada de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para diámetro basal del tallo. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan26
- Figura 3.** Efectos de la aplicación de silicio a diferentes concentraciones aplicada de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para peso fresco de tallo. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan27
- Figura 4.** Efectos de la aplicación de silicio a diferentes concentraciones aplicada de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para diámetro de fruto. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan28
- Figura 5.** Efectos de la aplicación de silicio a diferentes concentraciones aplicada de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para largo de fruto. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan29
- Figura 6.** Efectos de la aplicación de silicio a diferentes concentraciones aplicada de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para contenido de nitrato en fruto. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan30
- Figura 7.** Efectos de la aplicación de silicio a diferentes concentraciones aplicada de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para contenido de

calcio en fruto. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan31

Figura 8. Efectos de la aplicación de silicio a diferentes concentraciones aplicada de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para sólidos solubles en fruto. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan32

Figura 9. Efectos de la aplicación de silicio a diferentes concentraciones aplicada de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para contenido de potasio en extracto de peciolo. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Las temperaturas óptimas del tomate según la etapa de desarrollo ...8

Cuadro 2. Tratamientos seleccionados de Silicio en dos formas (drench y foliar), para determinar su efecto sobre el cultivo de tomate tipo uva variedad cherubs20

Cuadro 3.- Efecto de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para diferentes parámetros vegetativos, nutrimentales y de calidad de fruto25

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pertenece a la familia de las Solanáceas, es una planta cuyo centro de origen se localiza en América del sur, específicamente en la región andina. Ante las nuevas tecnologías aplicables en los cultivos, la producción de tomate en México ha sufrido una etapa de transición de los sistemas tradicionales a tecnificados; es por ello que la superficie de esta hortaliza bajo condiciones de invernadero ha aumentado en los últimos años.

El Silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la Tierra, pero no se considera un elemento esencial, pero sí benéfico para el desarrollo y crecimiento de las plantas, así como también para sobreponerse a los efectos del estrés biótico y abiótico.

El objetivo de este experimento fue evaluar la respuesta del cultivo de tomate a la aplicación de Si durante el desarrollo planta; se aplicaron 10 tratamientos incluido el testigo con 4 repeticiones, las aplicaciones de Si fueron suministradas mediante vía drench con un periodo de tiempo de cada 8 días más aplicaciones foliares con un intervalo de tiempo de cada 15 días. Las variables evaluadas en el experimento fueron: rendimiento total, diámetro ecuatorial del fruto, longitud, firmeza, sólidos solubles, concentración de NO_3^- , Ca y K en fruto y peciolo, peso fresco total de hojas, tallo, longitud y diámetro apical y basal de tallo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el rendimiento aumentó con las aplicaciones de Si a una concentración de 0.15F/0.20D o 0.20F/0.20D; estos tratamientos también ocasionaron un aumento en la calidad porque se aumentó el contenido de sólidos solubles. Sin embargo, este mayor rendimiento estuvo asociado con una disminución en el contenido de K^+ en el extracto celular de peciolo y de Ca^{++} en el fruto. El mayor rendimiento no estuvo asociado con un mayor crecimiento vegetativo de las plantas, por lo que las aplicaciones de Si promueven el crecimiento generativo en tomate.

Palabras clave: Micronutriente, Silicio, Hidroponía, Elementos esenciales, Macronutrientes.

I. INTRODUCCIÓN

Ante las nuevas tecnologías aplicables en los cultivos, la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en México ha sufrido una etapa de transición de los sistemas tradicionales a tecnificados; es por ello que la superficie de esta hortaliza bajo condiciones de invernadero ha aumentado en los últimos años. El tomate es una fuente de vitaminas, minerales, carbohidratos y compuestos bioactivos, benéficos para la salud humana, tiene amplia gama de uso en fresco y es una importante materia prima para la industria de transformación (Lazcano-Bello et al., 2021).

El tomate representa la segunda hortaliza más cultivada a nivel mundial, con una producción aproximada de 150 millones de toneladas en 2009, lo cual es el resultado de su alta demanda para la preparación de distintos tipos de alimentos en casi todos los países del mundo (FAO, 2011).

La producción y el consumo mundial de tomate, así como el consumo promedio per cápita, registran una tendencia al alza durante la década reciente. China es el más importante productor y consumidor mundial, Estados Unidos el principal importador y México el principal exportador. En México, la producción de tomate rojo creció, ubicándose en un máximo histórico de 3.3 millones de toneladas entre 2006 y 2016. Es importante destacar que los rendimientos varían en función de las tecnologías empleadas, desde el cultivo a campo abierto, hasta la producción en invernaderos altamente tecnificados con sistemas automatizados de riego, nutrición y control fitosanitario. Su producción se realiza en casi todos los estados de México, sin embargo, el 56.3 % de su producción total se encuentra en solo cinco: Sinaloa con 27.6 %, San Luis Potosí 9.2 %, Michoacán 7.0 %, Baja California 6.7 %, y Zacatecas 5.7 % (FIRA, 2017).

El cultivo de tomate requiere la disponibilidad de elementos minerales en el suelo, los cuales influyen en el desarrollo de la planta, otorgándole sanidad, vigor y condiciones para la producción. La planta extrae para su metabolismo los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S), así como micronutrientes (Fe, Mn, B, Mo,

Cu, y Zn), todos esenciales en el desarrollo de los mismos. Sin embargo, Acosta y Cabrales (2020), afirman que el tomate extrae el silicio (Si) como elemento benéfico y que cumple múltiples funciones en la planta, entre las que destaca la dureza de la pared celular.

El Si es el segundo elemento más abundante después del oxígeno. Las plantas lo absorben en forma de ácido silícico y es el único elemento nutritivo que no es perjudicial cuando se acumula en exceso en las plantas (Zhang et al., 2016). Aunque no es un elemento esencial para la mayoría de las plantas, ha demostrado ser un elemento benéfico para aliviar el estrés en las mismas. La aplicación de fertilizantes a base de Si es una práctica cada vez más común, ya que mejora la productividad de los cultivos y desencadena una variedad de vías metabólicas en una variedad de plantas que alivia los efectos nocivos del estrés abiótico y biótico, incluida la salinidad, el estrés hídrico, toxicidad de metales pesados, viento, temperaturas extremas, desequilibrio de nutrientes, tolerancia a plagas y enfermedades y pastoreo (Hernández-Salinas et al., 2021).

Existen pocos estudios realizados sobre el efecto de las aplicaciones de Si en la nutrición de tomates tipo uva, por lo que el presente estudio se planteó con los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo General

Determinar los efectos de la aplicación de silicio orgánico en tomate tipo uva.

1.2 Objetivo Especifico

Evaluar la influencia del silicio orgánico en el rendimiento de tomate tipo uva.

Determinar el efecto del silicio orgánico sobre el crecimiento de la planta de tomate tipo uva

Evaluar el efecto de silicio orgánico sobre la calidad del fruto de tomate tipo uva

1.3 Hipótesis

La aplicación del silicio orgánico-mineral aumenta el crecimiento vegetativo y rendimiento de fruto sin afectar la calidad del mismo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e Historia

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pertenece a la familia de las Solanáceas, es una planta cuyo centro de origen se localiza en América del sur, específicamente en la región andina, integrada por Chile, Colombia, Perú, Ecuador y Bolivia, donde existe la mayor variabilidad genética y abundancia de tipo silvestre.

En el nuevo mundo ya era un cultivo bien desarrollado, durante el tiempo de la conquista española. Tiempo después fue llevado a Europa en el siglo XVI, conociéndose el fruto con el nombre de tomate en España y Portugal, posiblemente influenciado por el nombre que le daban los indígenas en México, en lengua náhuatl se le conocía como “tomatl”. El cultivo actual de tomate, se derivó de una de las especies pertenecientes al género *Lycopersicon* y la opinión científica se inclina hacia el tomate-cereza (*L. esculentum* var. *Ceraciforme*) con el más probable ancestro inmediato, que es la forma silvestre común, abundante en América (Pérez, 2017).

2.2 Clasificación Taxonómica

De acuerdo con Cevallos (2018) la taxonomía del tomate se describe como:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicum*

2.3 Generalidades

La planta de tomate es perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Se desarrolla de forma rastrera, semierecta o erecta, en variedades determinadas su crecimiento es limitado o ilimitado en variedades indeterminadas (Hernández, 2013).

De acuerdo con Aguilar (2020), la ramificación es generalmente simpodial, con lo que los ejes sucesivos se desarrollan a partir de la yema axilar del eje precedente y la yema terminal da lugar a la inflorescencia o a ramas abortivas.

2.4 Morfología de la Planta

Raíz

La planta de tomate está constituida por una raíz principal, las raíces secundarias y raíces adventicias; estas le permiten anclarse al suelo o al sustrato, absorber y transportar nutrientes y agua a la parte superior de la planta. El interior de la raíz presenta tres zonas: epidermis (contiene pelos que absorben el agua y los nutrientes), córtex y cilindro vascular (que cumplen la función de transportar los nutrientes) (Cevallos, 2018).

Hernández (2013) menciona que en su mayoría este sistema se encuentra entre los 5 a 35 cm de profundidad, pero algunas raíces pueden alcanzar más de un metro.

Tallo

En la planta joven el tallo es erguido y cilíndrico, a medida que ésta crece, el tallo cae y se vuelve anguloso. Presenta tricomas (vellosidades) en la mayor parte de sus órganos y glándulas que segregan una sustancia color verde aromática. Puede

llegar a medir de 40-250 cm. Muestra ramificación abundante y yemas axilares, si al final del crecimiento todas las ramificaciones exhiben yemas reproductivas, estas se clasifican como de crecimiento determinado, y si terminan con yemas vegetativas, son de crecimiento indeterminado (SAGARPA, 2010).

Hojas

Presenta hojas pinnadas y compuestas, dispuestas en forma semierecta, horizontal o inclinada. De 7 a 9 foliolos peciolados que miden 4-60 mm x 3-40 mm, lobulados y con borde dentado, alternos, opuestos y, por lo general, de color verde, glanduloso-pubescente por el haz. Está recubierta a su vez de pelos glandulares y dispuestos en posición alternada sobre el tallo (López Marín, 2017).

Flor

Presenta una flor perfecta que consta de 5 o más sépalos, con un número igual de pétalos de color amarillo dispuestos de forma helicoidal y de igual número de estambres que se alternan con los pétalos, se agrupan en inflorescencias que se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas denominadas comúnmente como “racimos”. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Los estambres están soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y evitan la polinización cruzada (Aguilar, 2020).

Fruto

Baya de forma muy variada compuesta por varios lóculos, de color rojo, pero existen amarillos, naranjas y verdes. El tomate está maduro, fisiológicamente, cuando por el ápice comienza a tomar brillo y color alimonado. Fruto que se corta en estado de

madurez fisiológica tarda en ponerse rojo, o en situación de madurez comercial, de cuatro a siete días, según las temperaturas ambientales (Cuesta, 2007).

Semilla

Es de tamaño pequeño. Tiene una coloración amarillenta con matiz grisáceo; su forma puede ser aplanada, alargada, en forma de riñón o redondeada (Rodríguez y Morales, 2007).

2.5 Requerimientos Edafoclimáticos y Edáficos

Clima

El tomate es una planta de clima cálido, tolerante al calor, a la sequía y sensible a las heladas. Se produce en una amplia gama de condiciones de clima y suelo, sin embargo, prospera mejor en climas secos con temperaturas moderadas (Escalona et al., 2009).

Altitud

El tomate puede cultivarse desde los 20 a los 2000 msnm, tomando en cuenta la capacidad de adaptación de cada variedad o híbrido (Aurelio et al., 2018).

Temperatura

La temperatura en tomate influye en la transpiración, fotosíntesis, germinación, etc., funciones vitales de la planta. Teniendo en cada momento de su ciclo biológico una temperatura óptima, las temperaturas de desarrollo, van desde 18 a 26°C. Las temperaturas óptimas durante el día y la noche son de 22 a 16°C respectivamente (Cuesta, 2007). En el Cuadro 1 se muestran las temperaturas óptimas para tomate según la fase de desarrollo.

Cuadro 1. Las temperaturas optimas del tomate según la etapa de desarrollo (Cuesta, 2007).

Temperatura nocturna	15 a 18°C
Temperatura diurna	24 a 25°C
Temperatura ideal a floración	21 °C
Temperatura ideal para su desarrollo vegetativo	22 a 30°C
Daños fisiológicos a temperaturas por debajo de	7°C

Humedad Relativa

De acuerdo con Escalona et al. (2009), para un desarrollo apropiado del cultivo, la humedad relativa (HR) óptima oscila entre un 60% a 80%. Una HR elevada favorece el desarrollo de enfermedades fungosas, bacterianas, agrietamiento del fruto y obstaculizan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. Por otro lado, la HR baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor.

Suelo

El tomate puede producirse en una amplia gama de condiciones de suelos, sin embargo, los mejores resultados se obtienen en suelos profundos (1 m o más), de texturas medias, permeables y sin impedimentos físicos en el perfil. Un suelo con temperaturas entre los 15 y 25°C favorecen un óptimo establecimiento del cultivo después del trasplante, manteniendo un pH que se encuentre entre 5.5 y 6.8 (Pérez, 2012).

Radiación

Para que exista una mínima restricción fotosintética y el cultivo pueda producir sin alguna complicación, debe de existir una radiación del orden de 14 a 16 MJ/m² por día (Aguilar, 2020).

2.6 Importancia del Tomate en México y en el Mundo

El tomate es una de las hortalizas principales que se cultivan en todo el mundo para su consumo en fresco o procesado. La Organización para la Agricultura y la Alimentación estimó 4.7 millones de hectáreas cultivadas de tomate en todo el mundo en 2012 con un rendimiento de 161 millones de toneladas métricas, de la cual China produce el 29.8 % de este total (Li et al., 2016).

De acuerdo con el SIAP, la producción de tomate rojo en México creció a una tasa promedio anual de 3.3 % entre 2005 y 2015, pasando a un máximo histórico de 3.1 millones de toneladas. Por otra parte, la superficie establecida bajo agricultura protegida pasó de 395 a 13,747 ha, creciendo a una tasa promedio anual de 42.6 %, de la cual su producción principal se concentra en Sinaloa, Baja California y Jalisco, aunque también ha tenido importancia en otros estados como Colima, Estado de México, Hidalgo, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas (Hernández, 2018).

2.7 Clasificación Agronómica

Crecimiento Determinado

Son aquellas plantas que detienen su crecimiento después de un determinado número de inflorescencias en el tallo principal y lateral. Son de porte bajo y compacto y producen frutos durante un periodo relativamente corto. Su crecimiento se detiene después de la aparición de varios racimos florales con la formación de

un último racimo apical. La cosecha puede realizarse de una a tres veces durante el ciclo de cultivo (López Marín, 2017).

Crecimiento Indeterminado

Son plantas cuyo crecimiento vegetativo es continuo, siendo la yema terminal del tallo la que desarrolla el siguiente tallo. Forma hojas y flores de manera ilimitada por lo que su cosecha se extienden por periodos muy largos. La aparición de flores en los racimos y su grado de desarrollo son escalonados: las primeras flores del racimo pueden estar totalmente abiertas, mientras que las últimas aún no se abren (López Marín, 2017).

2.8 Plagas y Enfermedades del Cultivo

Plagas

Mosquita Blanca (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood y *Bemisia tabaci*)

De acuerdo con Jiménez (2005), existen dos especies de mosquita blanca que se presentan con mayor frecuencia, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood y *Bemisia tabaci*, ambas pertenecientes a la orden homóptera y a la familia Aleryrodidae. Esta plaga está ampliamente distribuida en los cultivos, su importancia radica en que es trasmisora del virus del enchinamiento del tomate, que puede ocasionar un daño de hasta un 80%.

Los adultos y las larvas de mosca blanca extraen su alimento de la planta. Esto influye en los procesos fisiológicos y puede causar una reducción de su crecimiento. Son transmisoras de virus (INIA, 2017).

Mosca Minadora (*Liriomyza laidobrensis* Blanchard)

Está considerada como plaga primaria en el tomate, pero cuando se recurre a una calendarización de control de algunos lepidópteros con insecticidas de amplio espectro esta plaga se elimina (Jiménez, 2005).

El rango óptimo de temperatura para su desarrollo es entre los 20°C y 27°C. Los adultos son de color negro con manchas de color amarillo en cabeza y tórax, miden en promedio 2.2 mm, siendo las hembras de un tamaño mayor a los machos. Durante su vida, una hembra puede poner hasta 80 huevos, dispuestos preferentemente en el haz de la hoja (INIA, 2017).

Gusano del Fruto (*Helicoverpa zea*)

Es una especie de gran importancia, ya que daña a los frutos desde la formación hasta la maduración; una vez afectados se pudren a consecuencia de la penetración de hongos, bacterias e insectos quedando inutilizados para el mercado (Pérez N. J. 2017).

Enfermedades

Tizón Temprano (*Alternaria solani*)

El tizón temprano causado por *Alternaria solani*, ataca la parte aérea de la planta de tomate y en todos sus estados de crecimiento, siendo las hojas maduras las de mayor incidencia (INIA, 2017).

Los síntomas se presentan en las hojas viejas como pequeñas lesiones irregulares de color café oscuro, con anillos concéntricos que se extienden hasta 1.25 cm de diámetro. El tejido foliar se torna amarillento en los márgenes y si hay condiciones favorables para la enfermedad, se desarrolla hasta defoliar la planta, lo cual afecta la calidad del fruto debido a quemaduras (Jiménez, 2005).

Pudrición Gris (*Botrytis cinerea*) y (Teleomorfo=*Botryotinia fuckeliana*)

Capaz de infectar a las plantas de tomate en cualquier estado de desarrollo, es decir, desde almaciguera a cosecha. El patógeno es favorecido por condiciones de alta humedad y temperaturas cercanas a los 20°C (INIA, 2017).

Cancro Bacteriano (*Clavibacter michiganensis*)

El cancro bacteriano causado por *Clavibacter michiganensis*, es de naturaleza tan destructiva que debe practicarse vigilancia para producción en campo abierto. Enfermedad vascular (sistémica) y superficial con una amplia gama de síntomas que resultan en pérdida del área fotosintética, marchitez y muerte prematura, así como producción de frutos no comerciables. Es transmitido por la semilla y puede sobrevivir durante periodos cortos en suelo, estructura del invernadero y equipos, y por periodos más largos en residuos vegetales (Pérez, 2017).

2.9 Calidad Nutraceútica del Tomate

Según Benítez (2019), el valor nutricional del tomate es que es un alimento poco energético que aporta apenas 20 a 22 cal/ 100 g. Su componente mayoritario es el agua, seguido de los hidratos de carbono. Es una fuente de fibra, minerales como el K y P, y de vitaminas, entre las que destacan la C, E, provitamina A y vitaminas del grupo B, en especial B1 y niacina o B3. Además, presenta un alto contenido en carotenos como el licopeno, pigmento natural que aporta al tomate su color rojo característico.

2.10 Elementos Esenciales para los Cultivos

De acuerdo con lo publicado por Favela et al. (2006), reportaron que en las plantas se encuentran muchos elementos químicos, pero solamente algunos de ellos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de los vegetales. Para que un elemento se considere esencial, deben tomarse en cuenta los siguientes criterios:

- Que, en ausencia del elemento mineral, la planta sea incapaz de completar su ciclo de vida.
- Que la función del elemento no sea remplazada por otro elemento mineral.

- Que el elemento esté envuelto directamente en el metabolismo de la planta, por ejemplo, como componente de un constituyente esencial (enzima), o que la planta pueda requerirlo para un proceso metabólico distinto (reacción enzimática).

2.11 Elementos Benéficos para las Plantas

Favela et al. (2006) mencionaron que son aquellos elementos que en forma directa o indirecta benefician la nutrición de las plantas, sin ser indispensables en la nutrición mineral. Los elementos que se compensen por los efectos tóxicos de otros elementos, o que simplemente reemplacen los nutrimentos minerales en algunas funciones específicas como la manutención de la presión osmótica, estos no son esenciales, pero pueden denominarse elementos benéficos, por ejemplo: Na, Si, Co, Ni, Al, V.

2.12 El Silicio Como Elemento Esencial y Benéfico

De acuerdo con Giménez (2019), el papel del Si en el metabolismo de la planta no está del todo claro y no está demostrada su esencialidad como nutriente, sin embargo, los múltiples beneficios que supone la fertilización con Si, especialmente en el cultivo sin suelo, donde este elemento es menos accesible para las plantas, hacen que algunos autores lo consideren un elemento básico en la solución en algunos cultivos. Esto debido a que mejora el balance de nutrientes, beneficiando la disponibilidad de P cuando es deficitario y lo limita cuando está en exceso, además mejora la absorción del K, N y Ca. El Si confiere una capacidad a la planta de usar mejor los recursos disponibles, esto nos permitirá un menor uso de fertilizantes y una agricultura más sostenible.

2.13 Generalidades del Silicio

El Si es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre y se le utiliza desde hace miles de años en la fabricación del vidrio empleando para ello los

silicatos. Desde aproximadamente a mediados del siglo XX, se le ha utilizado en la industria electrónica y computacional (Raya y Aguirre, 2012).

Sus compuestos en las fases sólidas del suelo clasificadas por estructura mineralógica se consideraban como inertes, mientras que los compuestos de Si de la fase líquida se consideraban biogeoquímicamente activos. Se presenta principalmente por ácidos mono y polisilícico, compuestos orgánicos de Si y por varios complejos que tienen una alta actividad química, biológica y física (Tamara et al., 2012).

2.14 El Silicio en la Planta

El Si tiene varios efectos sobre las plantas, retrasa la aparición de enfermedades y/o reduce su incidencia, modulando y sincronizando mejor la respuesta al patógeno. Sin embargo, debido a la dificultad de eliminar totalmente el Si de los medios de cultivo hidropónicos para plantas, este no se había reconocido como un elemento necesario en la nutrición vegetal. Se ha propuesto que el efecto benéfico que se observa cuando se agrega un puñado de suelo a los cultivos hidropónicos podría deberse al Si añadido (Raya y Aguirre, 2012).

Aunque la mayor parte se encuentra de forma no soluble, no asimilable, está presente en todas las plantas y constituye entre el 0,1% y el 10% de su materia seca (Giménez, 2019).

2.15 Movimiento del Silicio en la Planta

Giménez (2019) señala que las plantas absorben Si por sus raíces en forma de ácido monosilícico y que se transporta a través de las plantas vía xilema y es distribuido hacia los órganos con mayores tasas de transpiración, principalmente los brotes, se condensa en sílice sólido y se deposita como sílice amorfo. Una

concentración de ácido silícico muy alta polimeriza en forma de sílice gel y puede depositarse en las paredes celulares y en los vasos del xilema.

Bajo condiciones templadas de invernadero, las plantas activamente acumulan Si mientras que, bajo una mayor demanda de evaporación en el campo, el Si se acumula pasivamente en la corriente de transpiración (Tamara et al., 2012).

El ácido silícico es tomado por transportadores específicos y polimerizado intracelularmente en una vesícula especializada dentro de una matriz orgánica que consiste de largas cadenas de poliaminas y fosfoproteínas, llamadas silafinas (Raya y Aguirre, 2012).

2.16 Importancia del Silicio en la Protección de Cultivos

Aquellas plantas que crecen en ausencia de Si tienden a ser más débiles estructuralmente y son más susceptibles a estrés abiótico, así como a la toxicidad por metales y son más fácilmente atacadas por organismos patógenos, insectos fitófagos y mamíferos herbívoros (Raya y Aguirre, 2012).

2.17 El Silicio en la Nutrición de Cultivos

Los fisiólogos vegetales no consideran al Si como un elemento esencial para las plantas; sin embargo, el Si que las raíces absorben en forma de ácido monosilícico (H_4SiO_4) de la solución del suelo es depositado como sílice amorfa hidratada ($SiO_2 \cdot nH_2O$) en espacios inter o intracelulares. El ácido monosilícico es la forma en que el Si es absorbido por las plantas, este ácido reacciona con los Fosfatos insolubles de Al, Fe, Mn y Ca, formándose silicatos de cada uno de ellos y liberando el ión Ortofosfato para ser absorbido por las plantas, el Si neutraliza mejor la toxicidad del Al en suelos ácidos, aumenta la nutrición de P en las plantas de un 40 a 60% sin la aplicación de fuentes fosfatadas e incrementa la eficiencia de la

aplicación de roca fosfórica de un 100 a 200%, previniendo la transformación del P en compuestos inmóviles (Aguilar, 2012).

El Si alivia los efectos dañinos de la salinidad; su presencia en el medio de crecimiento limita la acumulación de Na en las hojas y mantiene un adecuado contenido de agua, que se refleja en una más alta acumulación de biomasa. Asimismo, incrementa la tolerancia a la presencia de metales como el Zn. La concentración de Na, B y Cl en la parte aérea de las plantas de tomate y espinaca (*Espinacea oleracea*), disminuye cuando se aplica Si a los suelos sódicos y, por sus efectos sobre algunas enzimas, se propone que tendría un papel fisiológico y/o bioquímico como incrementar la capacidad defensiva antioxidante de las plantas (Raya y Aguirre, 2012).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del Sitio Experimental

La presente investigación se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Saltillo, Coahuila, México en el área de invernaderos del Departamento de Horticultura, cuyas coordenadas son: 25°21'23.55" latitud N, 101°25'16" longitud O y 1763 msnm (INEGI, 2022).

3.2 Material Vegetal

Se utilizaron plántulas de tomate "Cherubs" tipo uva para el establecimiento del experimento, de crecimiento indeterminado.

3.3 Establecimiento del Cultivo

El cultivo se estableció el 8 de marzo del 2022. Se preparó una mezcla de sustrato a una relación 70:30 (70% peat moss y 30% perlita), a su vez se ajustó el pH del sustrato ya que se encontraba ácido, agregando 1 g de bicarbonato por litro de sustrato. Una vez estando la mezcla se realizó una prueba 2:1 (2 de agua y 1 de sustrato), tomando una muestra de 20 mL de sustrato y agregando 40 mL de agua destilada con la finalidad de ajustar el pH entre 5.5 a 6.0. Posterior a ello se procedió a llenar las bolsas de sustrato dejando 2 cm de arriba hacia abajo y se trasplantó el material vegetal.

3.4 Labores Culturales

Podas

Se realizó poda de hojas y chupones conforme la planta crecía, dejando un promedio de 12 a 13 hojas fotosintéticamente activas, esto con la finalidad de equilibrar a la planta en cuestiones vegetativas y reproductivas, los chupones

(brotes axilares) fueron podados de los nudos cuando estos no alcanzaban un tamaño mayor a los 5 cm.

Tutoreo

El tutoreo utilizado en las plantas fue el tipo Holandés por su crecimiento indeterminado, lo que permitió un mejor manejo guiando a las plantas, así mismo facilitó el bajado de las mismas cuando estas alcanzaban una altura considerable. Durante la primera etapa de desarrollo se utilizaron estacas de madera y rafia sostenida de anillos para tutorar enganchadas sobre el tallo.

Cosecha

Los primeros frutos se obtuvieron a los 50 días después del trasplante (DDT). Se registró el peso de cada uno de los frutos para determinar el rendimiento de cada planta, diámetro y largo de los mismos. Una vez realizada la cosecha se depositaron los frutos en cajas para su posterior evaluación. Regularmente se realizaban los cortes cada semana con la finalidad de llevar un mejor control.

Control de Plagas y Enfermedades

Se realizó un calendario de aplicaciones para llevar un manejo más controlado, clasificando los fungicidas, insecticidas, bactericidas y acaricidas, con la finalidad de rotarlos y tener una mayor eficiencia. Cada uno de los productos químicos utilizados se fueron cambiando cada 4 días. En el caso de plagas se presentó mosquita blanca y araña roja, de enfermedades se tuvo incidencia de tizón temprano, sin embargo, no fueron problemas severos por lo que las aplicaciones que se realizaron fueron preventivas, algunos de los productos químicos usados fueron: confidor, overon, abamectina, sanadel, hidrowflow, agrigen, mitoff etc.

3.5 Manejo Nutricional

La fertilización se hizo utilizando una solución modificada, en dicha solución se administraron todos los nutrientes tanto macro como micronutrientes. Es importante mencionar que para contabilizar los nutrientes solubles en el agua se ocupó un análisis del mismo. Durante la primera etapa fenológica se realizó la fertilización modificada a una concentración del 25% dando un riego por semana, para la segunda y tercera semana se cambió al 50% y se cambiaron los riegos a cada 4 días. Cuando el cultivo ya estaba en pleno desarrollo y debido a las altas temperaturas se cambió a una concentración del 100% y riegos todos los días. La solución final ajustada al análisis del agua fue: NO_3^- 10 meqL⁻¹, H_2PO_4^- 2 meqL⁻¹, $\text{SO}_4^{=}$ 4 meqL⁻¹, K^+ 8 meqL⁻¹, Ca^{++} 6 meqL⁻¹, Mg^{++} 3 meqL⁻¹.

3.6 Frecuencia del Riego

Los riegos se hicieron manualmente, aplicando para la primera etapa de desarrollo cuando se estableció el cultivo de 1 a 7 DDT un riego por semana y a los 15 días se realizaron riegos de 500 mL por planta, conforme fue creciendo la planta se aumentó el volumen de agua, pasando de 1 L⁻¹ hasta 4 L⁻¹ por maceta, esto teniendo en cuenta la temperatura del invernadero.

3.7 Descripción de los Tratamientos

Los tratamientos establecidos en el experimento consistieron en diversas dosis de Si, los cuales se aplicaron en dos formas: drench y foliar. Se aplicaron 10 tratamientos a diferentes concentraciones, de las que se consideraron 4 repeticiones por tratamiento, quedando así 40 unidades experimentales. Cada repetición consistió de una planta. Los intervalos de aplicación para drench fueron de 6 días, mientras que las aplicaciones foliares fueron cada 15 días. Las aplicaciones para drench no interrumpieron la frecuencia de riego con SN a las plantas, ya que la preparación de los tratamientos de Si se hicieron por litro de agua y se aplicaron manualmente.

Cuadro 2. Tratamientos seleccionados de Silicio en dos formas (drench y foliar), para determinar su efecto sobre el cultivo de tomate tipo uva variedad cherubs.

TRATAMIENTOS	DRENCH (g L ⁻¹)	FOLIAR (g L ⁻¹)
TESTIGO	0	0
0.10F/0.20D	0.2	0.1
0.15F/0.20D	0.2	0.15
0.20F/0.20D	0.2	0.2
0.10F/0.30D	0.3	0.1
0.15F/0.30D	0.3	0.15
0.20F/0.30D	0.3	0.2
0.10F/0.40D	0.4	0.1
0.15F/0.40D	0.4	0.15
0.20F/0.40D	0.4	0.2

3.8 Variables a Evaluar

Las variables que se consideraron durante el experimento fueron las siguientes:

Rendimiento: Se determinó pesando cada uno de los frutos en gramos (g), esto con la ayuda de una báscula digital.

Ancho de fruto: Para esta variable se utilizó un vernier digital el cual nos permitió medir el ancho de cada fruto en milímetros (mm).

Largo de fruto: Se determinó midiendo el largo de cada fruto en milímetros (mm) con la ayuda de un vernier digital.

Contenido nutricional del fruto: Se determinó utilizando medidores de nutrientes marca HORIBA, los cuales miden los nutrientes (NO₃⁻, K⁺, Ca⁺⁺), los resultados se

obtuvieron en ppm y para la evaluación de esta variable se sacaron dos muestras representativas por cada tratamiento. Estas mismas se pasaron a un laboratorio donde con la ayuda de un mortero se trituraron muy bien los frutos, para extraer el jugo y depositarlos en los sensores para que nos arrojara el resultado. Esto se repitió con todas las muestras obtenidas, al final de cada medición se tomaron medidas de limpieza con la finalidad de no contaminar las mismas.

Sólidos solubles totales: Se determinó utilizando un refractómetro de mano de la marca ATAGO; para la evaluación de esta variable, se sacaron dos muestras representativas por cada tratamiento. Estas mismas se pasaron a un laboratorio donde con la ayuda de un mortero se trituraron muy bien los frutos, para extraer el jugo y depositarlos en los sensores para que nos arrojara el resultado. Para finalizar, al término de cada medición se enjuagaban muy bien los materiales con la finalidad de no contaminar muestras.

Firmeza del fruto: Para la evaluación de esta variable, se utilizó un penetrómetro. Se tomaron dos muestras representativas por cada tratamiento, a cada tomate se le hizo una perforación en el epicarpio o piel para no tener complicación al medir con el penetrómetro.

Extracto de peciolo: Se determinó utilizando medidores de nutrientes marca HORIBA, los cuales miden los nutrientes (NO_3^- , K^+ , Ca^{++}), los resultados se obtuvieron en ppm, para la evaluación de esta variable se seleccionaron peciolo de las hojas no tan viejas, pero tampoco tan jóvenes de la planta, se recolectó un peciolo por cada tratamiento. Estas mismas se pasaron a un laboratorio donde con la ayuda de un mortero se machacaron muy bien los peciolo, para extraer el jugo y depositarlos en los sensores para que nos arrojara el resultado.

Numero de hojas: Se determinó contando todas las hojas de cada una de las plantas de cada tratamiento.

Diámetro basal de tallo: Para la medición de esta variable se utilizó un vernier digital el cual nos permitió medir el diámetro basal del tallo de los tratamientos en milímetros (mm).

Diámetro apical de tallo: Para la medición de esta variable se utilizó un vernier digital (mm), se midió a los 15 cm debajo del ápice de cada tratamiento.

Altura de la planta: Se determinó midiendo la planta de la parte basal hasta el ápice de la misma, esto se realizó en cada uno de los tratamientos con la ayuda de un metro que nos mostraba la medida exacta en (cm).

Peso fresco de hojas: Se determinó retirando las hojas de la planta, para después ser pasadas a una bolsa de cartón donde se identificaban y se pesaban con ayuda de una báscula, el resultado estaba expresado en gramos (g).

Peso fresco de tallo: Se determinó cortando el tallo de la planta, para después ser pasado a una bolsa de cartón donde se identificaban y se pesaban con ayuda de una báscula, el resultado estaba expresado en gramos (g).

3.9 Diseño Experimental

El experimento se realizó bajo un diseño de bloques al azar con 10 tratamientos incluyendo el testigo; se trabajó con cuatro repeticiones, una planta por repetición. El experimento consistió en cuatro bloques, cada bloque con nueve tratamientos a diferentes concentraciones y un testigo (Cuadro 1), dando un total de 40 plantas. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de acuerdo a la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$) utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión. 9.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento

Los resultados mostrados en la Figura 1 indican que hubo una diferencia significativa en el rendimiento de frutos entre tratamientos, obteniendo mejor resultado con dos de las aplicaciones; plantas tratadas con Si a una dosis de 0.20F/0.20D, fue suficiente para aumentar la producción en un 38% en comparación con las plantas testigo y a una dosis de 0.15F/0.20D el aumento fue de un 33%. Con las dosis restantes de Si se puede observar una tendencia a aumentar el rendimiento, sin embargo, no presentan significancia estadística. Lo anterior pudiera deberse al efecto que tiene el Si sobre mejorar la absorción de nutrientes en las plantas y favorecer una mayor fotosíntesis, lo que coincide con lo reportado por Kalam et al. (2020), quienes mencionan que el Si aumenta la producción y el rendimiento de los cultivos, mejorando el metabolismo primario, en particular la fotosíntesis y la absorción de nutrientes, así como el metabolismo secundario a través de la acumulación de compuestos bioactivos.

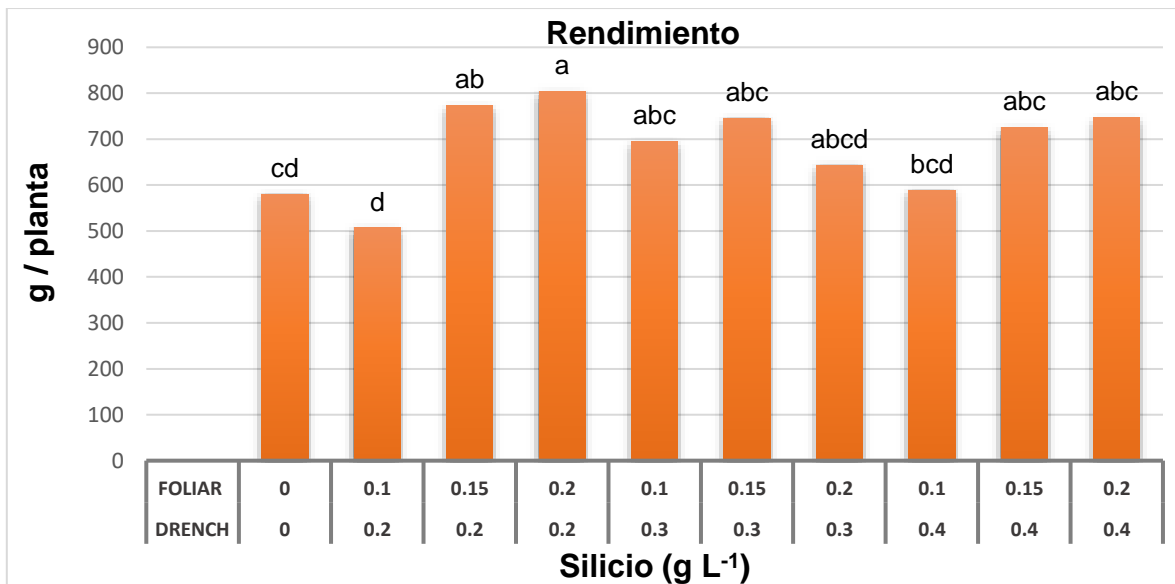


Figura 1. Efecto de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para rendimiento de frutos. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan.

4.2 Altura de Planta y Numero de Hojas

La altura de planta y numero de hojas, de acuerdo a la comparación de medias de las dos variables (Cuadro 3), muestran que los tratamientos de Si vía drench y foliar no causaron un efecto significativo. Si bien, aunque la altura de la planta y el número de hojas estadísticamente no tuvieron diferencia significativa, las aplicaciones de Si presentaron un efecto positivo debido a que las plantas tuvieron una inclinación hacia un crecimiento generativo, lo que nos permitió un mayor rendimiento ya mostrado en la Figura 1, lo cual resulta conveniente aun teniendo plantas pequeñas con escasa área foliar. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Gonzales (2017), quien demuestra que el Si no tuvo una diferencia significativa entre tratamientos para la altura ni el área foliar de sus tratamientos; los autores lo relacionan a que las plantas de tomate son considerados acumuladores pobres de Si con valores menores de 0.1% de Si.

Cuadro 3.- Efecto de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para diferentes parámetros vegetativos, nutrimentales y de calidad de fruto.

Tratamientos		Altura de la planta cm	Nº de hojas	Diámetro apical de tallo mm	Peso fresco de hojas g	Contenido de K en fruto ppm	Firmeza de fruto N	Contenido de nitrato en extracto de peciolo ppm	Contenido de calcio en extracto de peciolo ppm
Drench (g L ⁻¹)	Foliar (g L ⁻¹)								
0	0	356.5	54.00	6.33	110.10	3793.80	424.38	4600.00	535.00
0.2	0.1	353.8	51.00	7.23	111.13	3962.50	316.88	3650.00	427.50
0.2	0.15	341.0	52.75	7.03	125.71	3768.80	386.56	3975.00	442.50
0.2	0.2	354.3	54.00	7.03	116.15	3993.80	295.94	3975.00	562.50
0.3	0.1	357.3	53.75	6.40	120.13	3843.80	314.06	4175.00	392.50
0.3	0.15	357.5	54.75	7.73	117.38	3875.00	451.56	4225.00	447.50
0.3	0.2	333.5	50.50	7.50	122.33	3931.30	295.13	4950.00	475.00
0.4	0.1	337.8	53.75	6.75	123.55	3587.50	433.38	3800.00	535.00
0.4	0.15	358.5	53.75	7.35	121.19	3781.30	294.38	4725.00	595.00
0.4	0.2	356.8	52.75	7.08	118.11	3875.00	415.31	4750.00	422.50
ANOVA		p=0.186	p=0.563	p=0.144	p=0.938	p=0.533	p=0.207	p=0.501	p=0.444

4.3 Diámetro Apical y Basal de Tallo y Peso Fresco de Hojas

De acuerdo a la comparación de medias del diámetro apical de tallo y peso fresco de hojas, las aplicaciones de Si a diferentes concentraciones no influenció a las plantas de tomate, ya que estadísticamente no tuvieron diferencia significativa (Cuadro 3). Estos resultados sugieren que como no hubo repercusión en el diámetro apical del tallo y aunque el área foliar fue escasa, además de la altura y número de hojas, el desarrollo de las plantas se inclinó hacia un estado generativo, lo que nos favoreció el aumento en la producción de fruto, por lo que el balance con el crecimiento vegetativo fue el adecuado.

Aunque en el diámetro basal del tallo si hubo significancia estadística, en realidad el diámetro en las plantas tratadas con Si no hubo una diferencia significativa en el grosor del tallo obtenido por las plantas testigo (Figura 2). El mejor resultado se obtuvo con la aplicación a una dosis de 0.10F/0.40D, el cual fue lo suficiente para aumentar un 17% el diámetro basal del tallo comparado con las plantas sometidas a una dosis de 0.15F/0.30D. Estos resultados coinciden con lo reportado por Quiroga (2016), quien menciona que el Si causa efectos benéficos en el crecimiento y desarrollo de las plantas cuando se encuentra en condiciones óptimas, pero son aún más visibles cuando se encuentran en condiciones de estrés, debido a que el Si se deposita en las paredes celulares de los vasos del xilema.

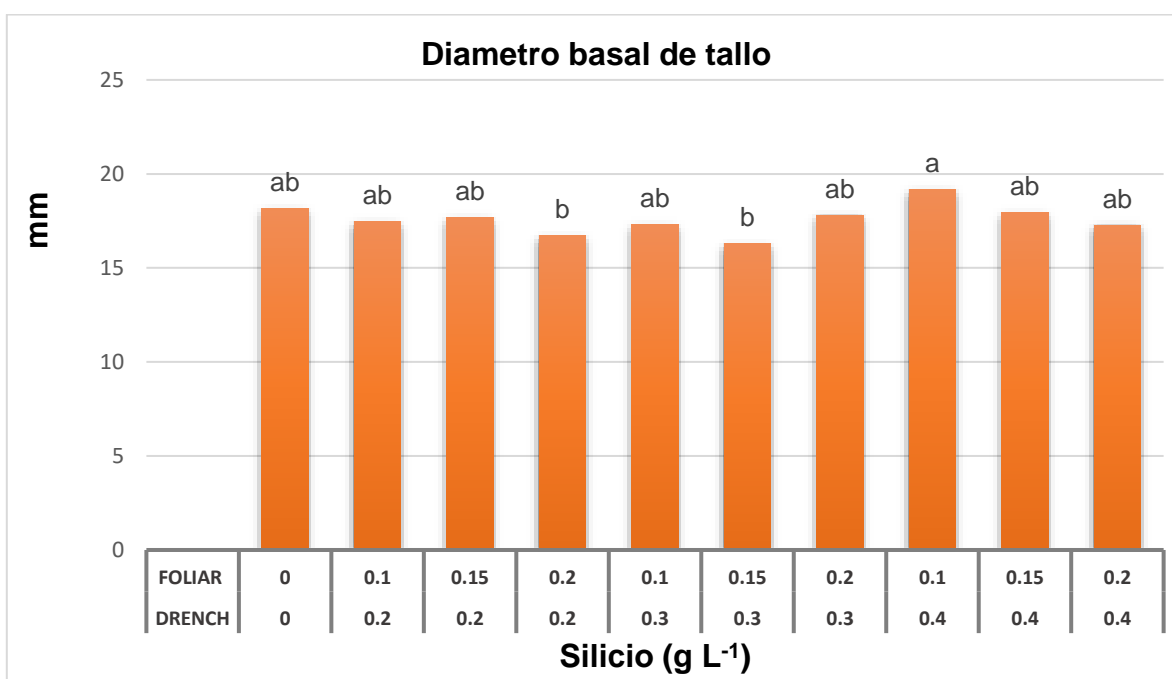


Figura 2. Efecto de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para diámetro basal del tallo. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan.

4.4 Peso Fresco de Tallo

De acuerdo a la comparación de medias mostrada en la Figura 3, el peso fresco de tallo no fue afectado significativamente en la mayoría de las plantas tratadas con Si en comparación a las plantas del tratamiento testigo, sin embargo, esta tuvo una tendencia a disminuir cuando se emplearon las aplicaciones a una dosis de 0.20F/0.20D, comparadas con las plantas sometidas al tratamiento testigo. Lo anterior pudiera deberse a que la concentración que se aplicó no fue la adecuada para generar un efecto positivo sobre las plantas. Estos resultados coinciden con lo reportado por Kalam et al. (2020), quien menciona que obtuvo un mejor resultado con las concentraciones más bajas de Si. Se puede observar que a pesar de que se tuvo tallos delgados en las plantas tratadas con la dosis 0.20F/0.20D (Figura 3) esto no tuvo un efecto que permitiera la disminución en el rendimiento en plantas de este tratamiento (Figura 1).

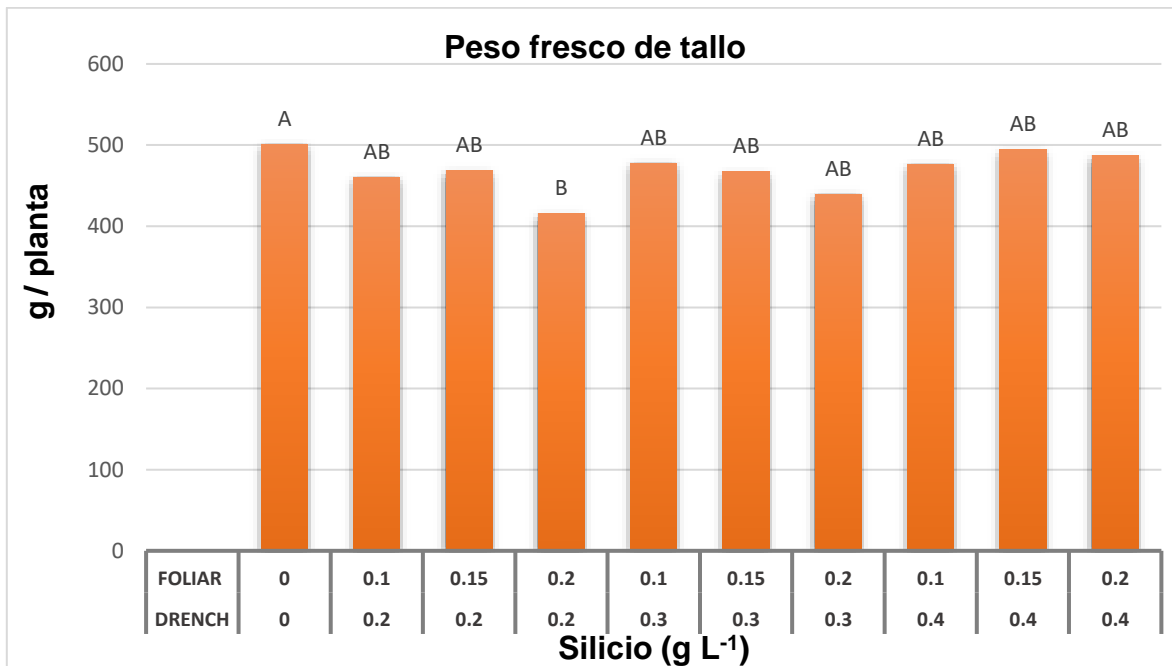


Figura 3. Efecto de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para peso fresco de tallo. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan.

4.5 Diámetro y Largo de Fruto

El diámetro de fruto no fue afectado significativamente por los tratamientos en comparación con las plantas testigo (Figura 4), sin embargo, los frutos producidos cuando se aplicó Si a una dosis de 0.20F/0.40D tuvieron mayor diámetro que aquellos obtenidos con 0.15-0.20F/0.30D o bien con 0.15F/0.4D.

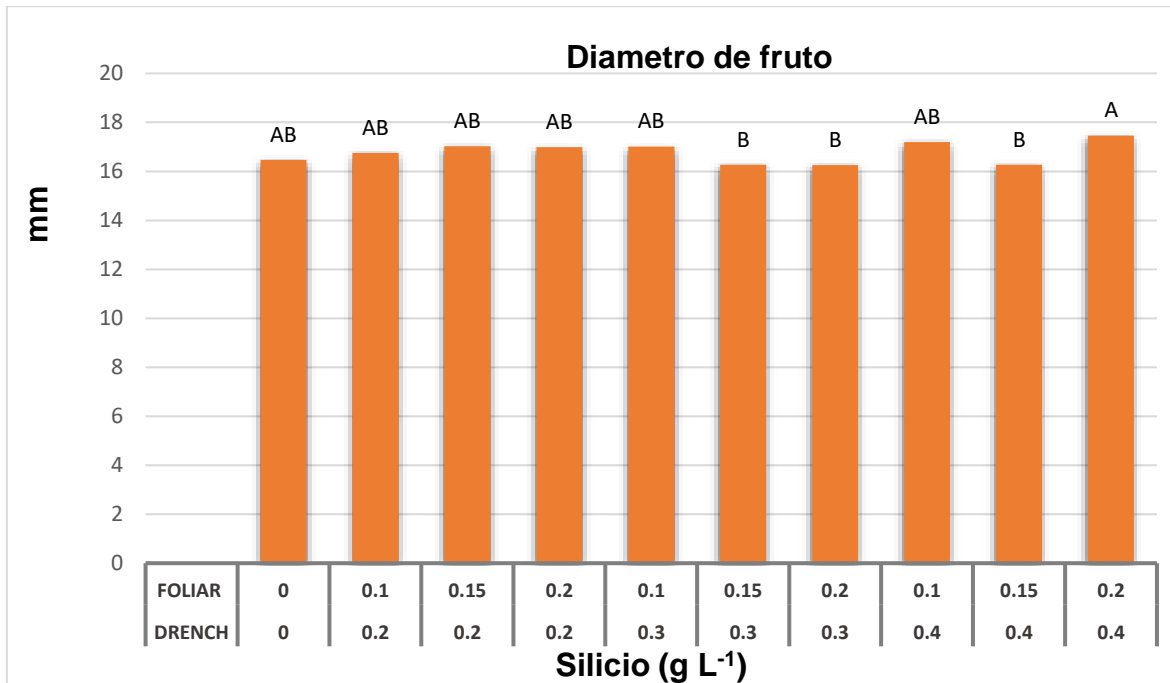


Figura 4. Efectos de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para diámetro de fruto. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan.

En cuanto a la longitud del fruto, las aplicaciones de Si a una dosis de 0.2F/0.4D produjeron frutos de mayor longitud comparado con los obtenidos por las plantas sin aplicaciones de Si (Figura 5). Con las restantes dosis de Si aplicadas se observa una tendencia a aumentar la longitud, pero sin significancia estadística. Esto puede deberse a que las concentraciones con las que fueron tratadas las plantas fueron las adecuadas para generar un efecto positivo sobre los tratamientos. Dichos resultados coinciden con lo reportado por Giménez (2019), para las variables de

diámetro y largo de fruto, el cual tuvo una diferencia significativa entre sus tratamientos.

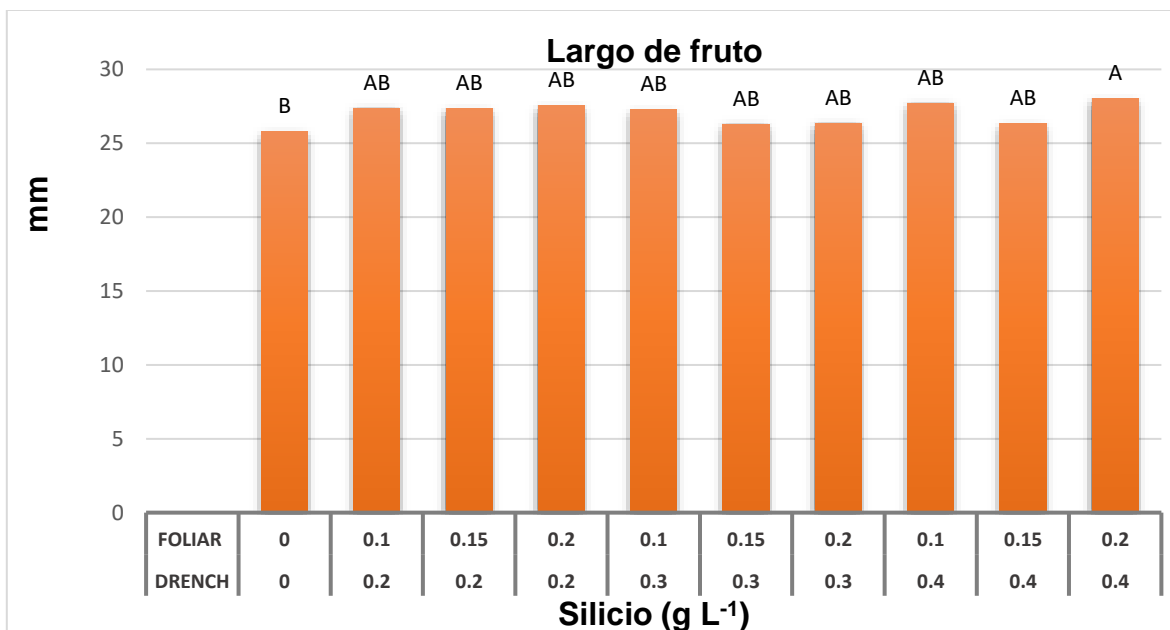


Figura 5. Efecto de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para largo de fruto. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan.

4.6 Concentración de Nutrientes en Fruto

La concentración de NO_3^- en el fruto no fue afectada significativamente en las plantas tratadas con Si en comparación de las plantas testigo (Figura 6), sin embargo, esta tuvo una tendencia a disminuir cuando se emplearon las aplicaciones de Si. En los frutos obtenidos de plantas tratadas con Si a una dosis de 0.10F/0.40D (Figura 6), se detectó una disminución significativa en NO_3^- comparado con lo obtenido en plantas tratadas con 0.10F/0.20D.

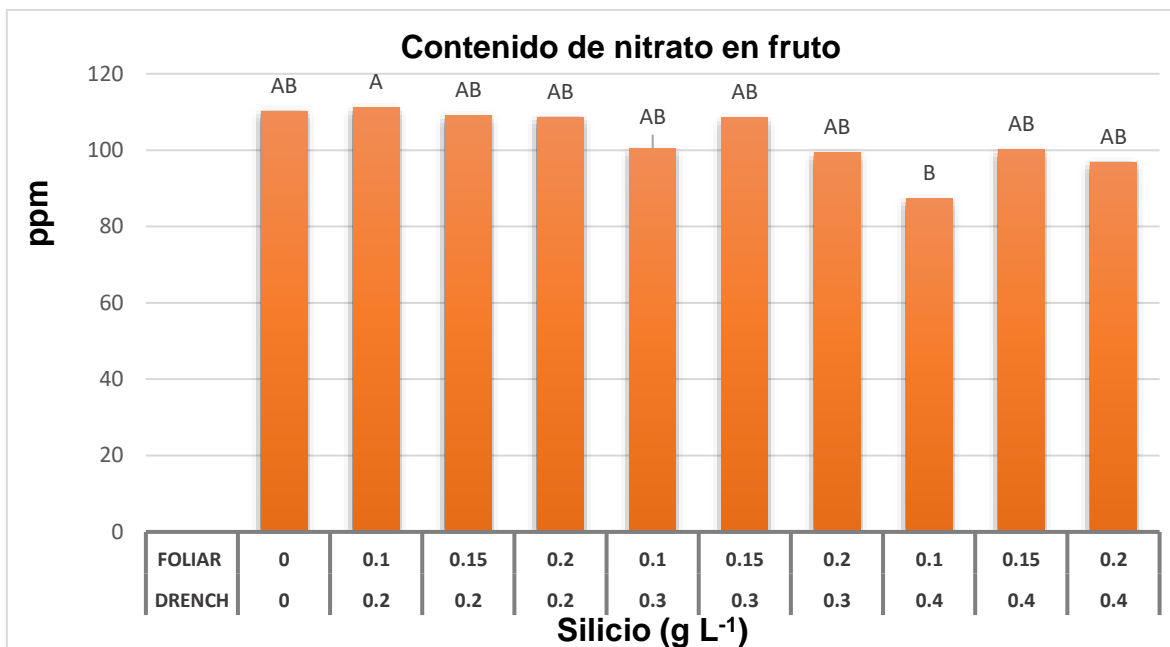


Figura 6. Efecto de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para contenido de nitrato en fruto. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan.

La figura 7 muestra que el contenido de Ca^{++} en fruto tiende a disminuir al aplicar Si, en tanto que no hubo efecto significativo en las aplicaciones de Si sobre la concentración de K^+ en los frutos (Cuadro 3). El efecto sobre Ca en frutos puede deberse a que el Ca^{++} es un elemento antagónico con múltiples nutrientes incluyendo el Si, lo antes mencionado coincide con los resultados de Aguilar (2012), quien demuestra que a menores niveles de Si se presenta menor concentración de Ca^{++} indicando tendencias probablemente de antagonismo entre el Ca^{++} y Si. Cabe mencionar que durante el experimento se presentó la disminución del Ca^{++} , como consecuencia se tuvo pudrición apical en frutos. La tendencia a disminuir el NO_3^- en fruto y la reducción en Ca^{++} sugieren que la aplicación de Si debe de ir acompañada de un aumento en la fertilización con estos elementos a través de la solución nutritiva o aplicaciones foliares.

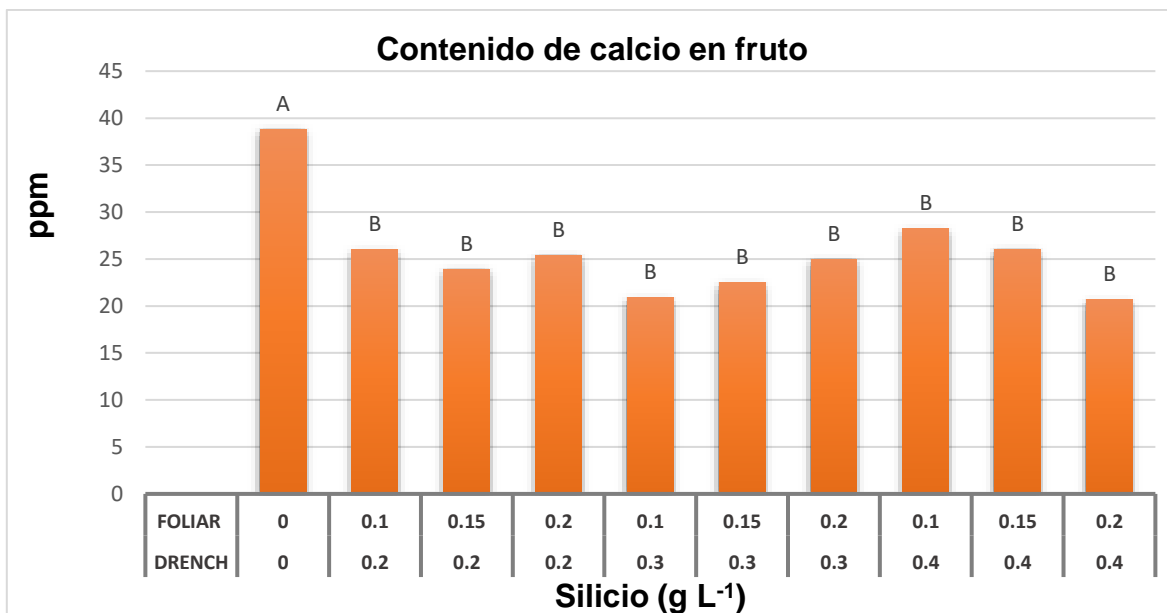


Figura 7. Efecto de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para contenido de calcio en fruto. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan.

4.7 Sólidos Solubles Totales y Firmeza

La concentración de sólidos solubles totales tendió a elevarse con las aplicaciones de Si, llegando a ser significativa cuando la dosis fue de 0.15F/0.30D (Figura 8) en comparación con los obtenidos por las plantas que no recibieron Si. Estos resultados sugieren que el Si promueve la acumulación de sólidos como los azúcares por lo que la calidad de los frutos es mejor. Sin embargo, para no permitir que esta calidad disminuya en otros aspectos debe de aplicarse una mayor concentración de NO_3^- y Ca^{++} a efecto de que estas concentraciones no disminuyan.

De acuerdo a los resultados se puede observar también que plantas tratadas a concentraciones de 0.10F/0.40D tienden a disminuir el contenido de sólidos solubles (Figura 8) y el rendimiento (Figura 1), sin embargo, para evitar una disminución en cuanto a calidad y producción, se sugiere a partir de los resultados

obtenidos el aumentar la concentración de NO_3^- y Ca^{++} ya que son unos de los elementos que la planta demanda en mayor cantidad durante su crecimiento.

De acuerdo a los resultados obtenido en el Cuadro 3, las aplicaciones de Si a diferentes concentraciones de manera foliar y drench, no causaron un efecto que permitiera aumentar la firmeza de fruto. Cabe mencionar también que, aunque la firmeza de fruto estadísticamente no tuvo diferencia significativa, la aplicación de Si presentó un efecto favorable debido a que las plantas tratadas a una dos de 0.15F/0.30D, fueron las que presentaron frutos de mejor calidad con mayores contenidos de azúcares (Figura 8). Estos resultados no concuerdan con Balakhnina et al. (2012), quienes mencionan que las aplicaciones de Si en tomate incrementan la firmeza en fruto.

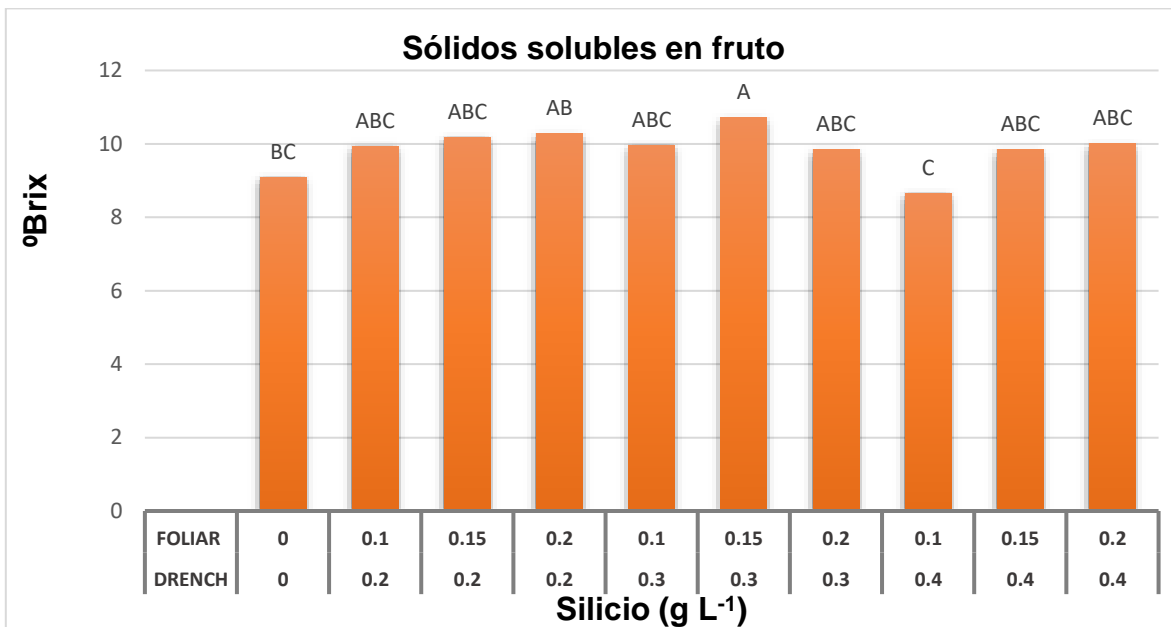


Figura 8. Efecto de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para sólidos solubles en fruto. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan.

4.8 Extracto Celular de Pecíolo

Comparado con las plantas del tratamiento testigo, las plantas que recibieron aplicaciones de Si no tuvieron efectos significativos en el contenido de K^+ en el extracto celular del pecíolo (Figura 9). Sin embargo, a una dosis de 0.15F/0.20D se detectó una menor concentración de K^+ en comparación con las plantas de los tratamientos a 0.10F y 0.15F con 0.30D en ambos casos. Basado en estos resultados se puede asociar la disminución del contenido de K^+ en extracto de pecíolo de los tratamientos a una dosis de 0.15F y 0.2F con 0.20D con los tratamientos del rendimiento y las mismas dosis (Figura 1), se puede observar también que, aunque el K^+ tiende a disminuir, el rendimiento aumenta por lo que podría sugerir que la mejor vía para complementar esta disminución sería aplicaciones foliares de K^+ o aumentar la concentración en la nutrición. El NO_3^- y Ca^{++} en el extracto del pecíolo no fue afectada significativamente por las aplicaciones de Si (Cuadro 3). Esto no concuerda con lo reportado por El-Salam et al., (2021), quien menciona que el Si aumenta la cantidad de tricomas y por tanto permite un mayor flujo de algunos elementos como es el caso del potasio.

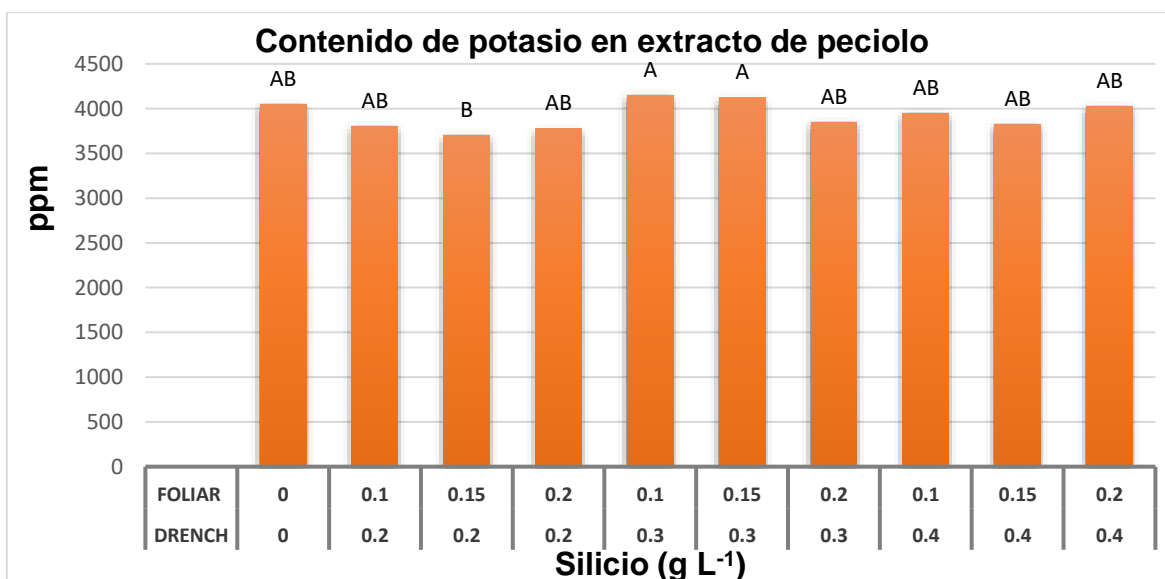


Figura 9. Efecto de la aplicación de silicio de manera foliar y drench en tomate tipo uva variedad cherubs para contenido de potasio en extracto de pecíolo. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas con $p < 0.05$ de acuerdo a la prueba de Duncan.

V. CONCLUSIÓN

El rendimiento aumentó con las aplicaciones de Si a una concentración de 0.15F/0.20D o 0.20F/0.20D; estos tratamientos también ocasionaron un aumento en la calidad porque se aumentó el contenido de sólidos solubles. Sin embargo, este mayor rendimiento estuvo asociado con una disminución en el contenido de K^+ en el extracto celular de peciolo y de Ca^{++} en el fruto, por lo que se sugiere realizar aplicaciones foliares de estos elementos o bien incrementar su concentración en la solución nutritiva. El mayor rendimiento no estuvo asociado con un mayor crecimiento vegetativo de las plantas, por lo que las aplicaciones de Si promueven el crecimiento generativo en tomate.

VI. LITERATURA CITADA

Acosta P. L. F., Cabrales H. E. (2020). Effect of Silicon on Tomato Production in Semi-controlled Conditions in the Colombian Caribbean. *J Appl Biotechnol Bioeng*. 7(5):191-194.

Aguilar G. J. C. (2012). Aplicación de Silicio en Tomate y su Efecto en la Calidad Nutricional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. Saltillo, Coahuila. 31p.

Aguilar S. J. A. (2020). Respuesta del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la Aplicación de Nanopartículas de Magnetita. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. Saltillo, Coahuila, México. 51p.

Aurelio L. D., Alfonzo D. L., Flores S. R. (2018). Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum*). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. 37p.

Benítez S. R. (2019). La Estacionalidad del Jitomate. Universidad Autónoma del Estado de México. Tesis de Licenciatura. México. 91p.

Cevallos G. K. J. (2018). Evaluación y Selección de Cultivares Híbridos de Tomate [*Solanum lycopersicum* L. (MILL.)] en la Zona de Puerto la Boca, Manabí. Universidad Estatal Del Sur De Manabí. Tesis de Licenciatura. Jipijapa, Manabi, Ecuador. 75p.

Cuesta T. A. (2007). El Cultivo del Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Monografía. Saltillo, Coahuila. 77p.

El-Salam Shalaby. O.A. Konopinski, M. Y El-Sayed Ramadan, M. (2017). Effect of Chelated Iron and Silicon on the Yield and Quality of Tomato Plants Grown Under Semi-Arid Conditions. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 16(6): 30–37.

Escalona C. V., Alvarado V. P., Monardes M. H., Urbina Z. C. y Martin B. A. (2009). Manual De Cultivo De Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Facultad de Ciencias. Universidad de Chile. Informe. 60p.

FAO. 2011. Final 2009 Data <http://faostat.fao.org>. Consultado 05 de octubre del 2022.

Favela C. E., Preciado R. P. Y Benavides M. A. (2006). Manual Para la Preparación de Soluciones Nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 146p.

FIRA. 2017. Panorama agroalimentario tomate rojo 2017. Disponible en <file:///C:/Users/HP/Downloads/Panorama%20Agroalimentario%20Tomate%20Rojo%202017.pdf>

Giménez M. J. M. (2019). Efecto del Silicio Sobre la Productividad de Plantas de Tomate (*Solanum lycopersicum*) Tipo RAF en Cultivo sin Suelo. Universidad de Almería. Trabajo Técnico Experimental. San Urbano Almería. 59p.

Gonzales T. G. E. (2017). Silicio y Calcio en la Tolerancia a la Salinidad en Pepino en Cultivo Hidropónico y en Suelo. Colegio de Postgraduados. Tesis de Maestría. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 175p.

Hernández L. S. (2013). Estudio del Comportamiento de Distintos Tipos de Sustratos de Lana de Roca, en Respuesta al Aumento de Oxígeno Disuelto en la Solución Nutritiva Respecto a la Producción y Calidad de un Cultivo de Tomate Tipo “Cherry Pera”. Universidad de Almería. Monografía. Almería. 131p.

Hernández M. S. (2018). Características que Determinan la Calidad en Diferentes Líneas de Especialidad en Tomate (*Solanum lycopersicum L.*) Bajo Agricultura Protegida en la Región del Altiplano Potosino. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. Saltillo, Coahuila. 66p.

INEGI. 2022. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=050380584>

INIA. 2017. Manual de Cultivo del Tomate al Aire Libre. Instituto de Desarrollo Agropecuario. Revista. Santiago de Chile. Disponible en

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6707/Bolet%C3%ADn%201NIA%20N%C2%B0%20376?sequence=1&isAllowed=y>

Jiménez A. J. (2005). Producción de Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) en Dos Sustratos Hidropónicos a Solución Perdida y Recirculada. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de licenciatura. Coahuila, México. 67p.

Kalam-Azad Md. O., Sun-Park Beom., Md. Adnan., Germ M., Kreft I., Woo H. Y Ho-Park C. (2020). El Bioestimulante de Silicio Mejora las Características de Crecimiento y Fortalece los Compuestos Bioactivos en la Planta de Trigo Sarraceno Común y Tartaria. Revista de Ciencia y Biotecnología de Cultivos. 13p.

Lazcano-Bello M. I., Sandoval-Castro E., Tornero-Campante M. A., Hernández-Hernández B. N., Ocampo-Fletes I. Y Díaz-Ruiz R. (2021). Evaluación de Sustratos, Solución Nutritiva y Enraizador en Producción de Plántulas de Jitomate. REMEXCA. 12(1):61-63.

Yuan Li., Wenquan Niu., Miles Dyck., Jingwei Wang. Y Xiaoyang Zou. (2016). Yields and Nutritional of Greenhouse Tomato in Response to Different Soil Aeration Volume at Two Depths of Subsurface Drip Irrigation. Sci. Rep. 6, 39307.

López Marín, L. M. (2017). Manual técnico del Cultivo del Tomate: *Solanum lycopersicum*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, Costa Rica. 126p.

Hernández-Salinas M., Valdez-Aguilar L. A., Alia-Tejacal I., Alvarado-Camarillo D. Y Cartmill A. D. (2021). Silicon Enhances the Tolerance to Moderate NaCl-salinity in Tomato Grown in a Hydroponic Recirculating System. Journal of Plant Nutrition. 45:1-4.

Pérez N. J. (2017). Evaluación de la Producción y Calidad de Tomate Tipo Saladette (*Lycopersicon esculentum L*) con Diferentes Porcentajes de Solución Nutritiva Universal de Steiner. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. Coahuila, México. 86p.

Pérez N. S. L. (2012). Efecto de Fertilizantes Orgánicos Sobre el Rendimiento y Calidad de Tomate Variedad Río Grande. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. Saltillo, Coahuila. 35p.

Pérez V. S. (2017). El Balance Potasio: Calcio Afecta el Rendimiento de Fruto en Tomate en Un Sistema de Cultivo Sin Suelo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. Saltillo, Coahuila, México. 42p.

Quiroga S. A. M. (2016). Respuesta a las Aplicaciones de Silicio en el Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus L*) Variedad Modan, en Condiciones de Estrés Hídrico Bajo Cubierta en Culiacán, Sinaloa. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Tesis de Licenciatura. Bogotá, Colombia. 67p.

Raya P. J. C. Y Aguirre M. C. L. (2012). El Papel del Silicio en los Organismos y Ecosistemas. Instituto Tecnológico de Roque, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Revista. 46p.

Rodríguez S.V. H. Y Morales B. J. L. (2007). Evaluación de Alternativas de Protección Física y Química de Semilleros de Tomate (*Lycopersicum Esculentum mill*) Contra el Ataque del Complejo Mosca Blanca (*Bemisia tabaci*, Gennadius)-Geminivirus y su Efecto en el Rendimiento, en el Municipio de Tisma, Masaya. Universidad Nacional Agraria. Tesis de Licenciatura. Managua, Nicaragua. 62p.

SAGARPA. 2010. Monografía del Cultivo de Tomate. Consulta: 23 de noviembre 2022. Disponible en:

http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/pablo/documentos/monografia_s/jitomate.pdf

Tamara I. Balakhnina., Vladimir V. Matichenkov., Teresa Wlodarczyk., Aneta Borkowska., Magdalena Nosalewicz. Y Irina R. Fomina. (2012). Effects of Silicon on Growth Processes and Adaptive Potential of Barley Plants Under Optimal soil Watering and Flooding. Springer Science+Business Media B.V. 67(1): 135-138.

Zhang Y., Han W., Feng R., Hu Y., Guo J. y Gong H. (2016). Silicon Enhances Water Stress Tolerance by Improving Root Hydraulic Conductance in *Solanum lycopersicum* L. *Frontiers in Plant Science*. 7(196):1-2.