

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA



Calidad de Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en Respuesta al Uso Combinado de
Calcio más Silicio

Por:

LEONARDO GUTIERREZ GARCIA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México
Febrero 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Calidad de Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en Respuesta al Uso Combinado de
Calcio más Silicio

Por:

LEONARDO GUTIERREZ GARCIA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité Asesor:


DR JOSE ANTONIO GONZALEZ FUENTES
Asesor Principal


DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR
Coasesor


DRA. DANIELA ALVARADO CAMARILLO
Coasesor


DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Febrero 2026

DERECHOS DE AUTOR Y 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. Asimismo, 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.

Autor principal

Leonardo Gutiérrez.

Leonardo Gutiérrez García

Asesor principal



Dr. José Antonio González Fuentes

DEDICATORIAS

A mis padres

A mi padre el señor Antonio Gutiérrez Soto y a mi madre la señora Elizabeth García Torres “Mi güera”.

Con el máximo respeto para ustedes que me dieron la vida y me permitieron llegar hasta donde me encuentro el día de hoy a base de consejos, regaños y apoyo incondicional.

Agradeciéndoles por el esfuerzo que realizaron día con día para que yo lograra esta nueva meta en mi vida.

De ustedes reconocí la importancia de hacer las cosas de la mejor manera donde quiera que me encuentre y a su vez a cuidarme solo.

A mis hermanos

Kenneth Gutiérrez García, Ramsés Gutiérrez García por apoyarme desde el inicio y alentarme a seguir creciendo en mi formación profesional, además del enorme apoyo que me brindaron en todas las etapas de este proyecto, a los cuales les deseo mucho éxito en la vida.

A mi hermana

Galilea Gutiérrez García, que te sirva mi dedicación, mi esfuerzo y disciplina como ejemplo en tu propia formación para que nunca dudes de tus capacidades y aptitudes, tú, siendo la más pequeña, que te falta un mar completo por descubrir, aprovecha al máximo las mismas oportunidades que yo tuve, y solo puedo decir que le echas muchas ganas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por permitirme descubrir los secretos de esta hermosa profesión dentro de sus aulas y de la mano de los mejores profesores del territorio mexicano. Además de todo el apoyo que recibí en mi estancia como estudiante.

A Dios por darme la fuerza de seguir con enfoque en los momentos más difíciles de esta etapa tan importante en mi vida.

Al Dr. José Antonio González Fuentes por brindarme su confianza y darme el apoyo necesario para concluir este proyecto.

A todos esos buenos amigos que estuvieron conmigo trabajando día con día, para lograr nuestros objetivos.

RESUMEN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una hortaliza de alta importancia económica y nutricional, cuya calidad poscosecha está estrechamente relacionada con la integridad estructural del fruto y el manejo de la nutrición mineral (Carl,1999). En este contexto, el (Ca^{++}) y el (Si) han sido reconocidos por su papel en el fortalecimiento de la pared celular y la mitigación de estrés fisiológico. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación combinada de (Ca^{++}) y (Si) sobre la calidad de frutos de tomate saladette ‘El Cid F1’, mediante el uso de Calciomix vía drench y Diatomix vía foliar.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con siete tratamientos, incluido un testigo sin aplicación, y cinco repeticiones por tratamiento. Las aplicaciones se realizaron semanalmente durante 2.5 meses. Se evaluaron variables de calidad del fruto, incluyendo firmeza, sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$), vitamina C, contenido de ácido cítrico y pH, así como variables morfológicas de la planta. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y prueba de comparación de medias LSD de Fisher ($\alpha = 0.05$).

Los resultados mostraron que la aplicación conjunta de Ca^{++} + Si incrementó significativamente la firmeza del fruto en comparación con el testigo, destacando los tratamientos con dosis bajas y moderadas, particularmente $0.25 \text{ g L}^{-1} \text{ Ca}^{++} + 0.25 \text{ g L}^{-1} \text{ Si}$ y $1.25 \text{ g L}^{-1} \text{ Ca}^{++} + 3 \text{ g L}^{-1} \text{ Si}$. En contraste, no se observaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de sólidos solubles totales, vitamina C ni pH entre tratamientos. El contenido de ácido cítrico fue mayor en tratamientos con dosis bajas de Ca^{++} + Si al comparar con las elevadas sin embargo los tratamientos no mejoraron este parámetro.

En conclusión, la aplicación combinada de Ca^{++} y Si mejora la firmeza del fruto y el potencial de conservación poscosecha del tomate, sin afectar negativamente su calidad interna. Dosis bajas o moderadas resultan suficientes para obtener respuestas agronómicas positivas, lo que posiciona esta estrategia como una alternativa viable dentro de programas de nutrición integral en sistemas intensivos de producción.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
II. LITERATURA REVISADA	3
2.1 Antecedentes del cultivo.	3
2.1.1 Origen.	3
2.1.2 Clasificación taxonómica.	3
2.2 Descripción botánica.	3
2.2.1 Sistema radicular.	4
2.2.2 Tallos.	4
2.2.3 Hojas.....	4
2.2.4 Flores.	4
2.2.5 Frutos.	5
2.2.6 Semilla.	5
2.3 Producción mundial.	5
2.3.1 Superficie establecida.....	5
2.4 Producción nacional.	5
2.4.1 Superficie establecida en México.....	5
2.5 Principales mercados.....	6
2.6 Requerimientos de suelo.	6
2.7 Requerimientos hídricos.....	6
2.8 Requerimientos climáticos.	6
2.8.1 Radiación.....	6
2.8.2 Temperatura.....	7
2.8.3 Humedad relativa.....	7

2.9 Plagas.	7
2.10 Enfermedades.	8
2.11 Trasplante.	9
2.12 Tutorio.	10
2.13 Polinización.	10
2.14 Poda.	10
2.15 Cosecha.	11
III. MATERIALES Y METODOS.	12
3.1 Material genético utilizado.	12
3.2 Ubicación y características del sitio experimental.	12
3.3 Establecimiento del cultivo.	12
3.4 Tutorio.	12
3.5 Manejo nutricional y riegos.	12
3.6 Manejo de plagas y enfermedades.	13
3.7 Eliminación de brotes axilares.	13
3.8 Poda de hoja.	13
3.9 Tratamientos evaluados.	13
3.10 Variables evaluadas.	14
3.10.1 Grosor del tallo.	14
3.10.2 Tamaño de hoja.	14
3.10.3 Tasa de crecimiento.	14
3.10.4 Peso del fruto.	15
3.10.5 Firmeza.	15
3.10.6 Sólidos solubles totales (SST).	15
3.10.7 Vitamina C.	15
3.10.8 % de ácido cítrico.	16
3.10.9 pH.	17
3.11 Diseño experimental.	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	18
V. CONCLUSIONES.	30
5.1 REFERENCIAS.	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Principales plagas que atacan al cultivo de tomate y algunos productos para su control biológico, biorracional y químico (INTAGRI, 2018).	7
Tabla 2.- Principales enfermedades del tomate y algunos métodos para su control biológico, biorracional y químico (INTAGRI,2018).	8
Tabla 3.- Soluciones nutritivas empleadas por etapa del cultivo.	13
Tabla 4.- Tratamientos evaluados, dos productos a base de (Ca ⁺⁺) como óxido de calcio (CaO) y silicio (Si) como Dioxido de silicio (SiO ₂) respectivamente, el Calciomix (con el 25 % de CaO) con una aplicación vía drench en conjunto con la solución nutritiva y el Diatomix (con el 92% de SiO ₂) aplicando vía foliar semanalmente.	13
Tabla 5.- .- Propiedades físicas de plantas y frutos de tomate en respuesta a aplicaciones de Calciomix (Camix) vía drench y Diatomix (Dmix) vía foliar aplicadas en gramos por litro (g L ⁻¹). (T1=Testigo sin aplicación; T2 = 0.25 g L ⁻¹ Camix + 0.25 g L ⁻¹ Dmix; T3 = 0.5 g L ⁻¹ Camix + 0.5 g L ⁻¹ Dmix, T4=0.75 g L ⁻¹ Camix + 1 g L ⁻¹ Dmix, T5=1.0 g L ⁻¹ Camix + 2 g L ⁻¹ Dmix, T6=1.25 g L ⁻¹ Camix + 3 g L ⁻¹ Dmix, T7=1.5 g L ⁻¹ Camix + 4 g L ⁻¹ Dmix).	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Efecto del uso de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix) más Diatomix (Dmix) sobre la firmeza de frutos de tomate (<i>solanum lycopersicum</i> L.)	18
Figura 2.- Efecto del uso de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix) más Diatomix (Dmix) sobre el % de °B de frutos de tomate (<i>solanum lycopersicum</i> L.)	20
Figura 3.- Efecto del uso de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix) más Diatomix (Dmix) sobre la vitamina C de frutos de tomate (<i>solanum lycopersicum</i> L.).....	22
Figura 4.- Efecto del uso de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix) más Diatomix (Dmix) sobre el % de Ácido cítrico de frutos de tomate (<i>solanum lycopersicum</i> L.).....	24
Figura 5.- Efecto del uso de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix) más Diatomix (Dmix) sobre el (pH) de frutos de tomate (<i>solanum lycopersicum</i> L.).....	26

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una de las hortalizas más importantes a nivel mundial debido a su elevada demanda, valor nutricional y relevancia económica. Su producción global supera los 180 millones de toneladas anuales y constituye un componente estratégico para la seguridad alimentaria, particularmente en sistemas intensivos y de agricultura protegida, donde se busca maximizar el rendimiento, la calidad del fruto y la eficiencia en el uso de recursos como el agua y los nutrientes (FAO, 2022). En regiones con condiciones climáticas variables y presiones crecientes derivadas del cambio climático, la optimización de la nutrición mineral se ha convertido en un eje central para garantizar la estabilidad productiva y la calidad poscosecha del cultivo (Marschner 2012).

En México, el tomate representa uno de los principales cultivos hortícolas tanto para el mercado interno como para la exportación, destacando su producción bajo invernadero e hidroponía, sistemas que permiten un mayor control de la fertirrigación, la fenología y las condiciones ambientales, pero que también incrementan la susceptibilidad a desórdenes fisiológicos relacionados con desequilibrios nutrimentales, como la pudrición apical del fruto y el estrés abiótico (SADER, 2016).

Dentro de la nutrición mineral del tomate, el calcio (Ca^{++}) desempeña un papel fundamental en la estabilidad estructural y funcional de los tejidos vegetales. Este elemento es un componente clave de la pared celular, donde participa en la formación de pectatos de (Ca^{++}), y regula la permeabilidad y selectividad de las membranas celulares, influyendo directamente en la integridad del fruto, la firmeza, la vida de anaquel y la resistencia a patógenos (Ho & White, 2005). No obstante, el (Ca^{++}) presenta una movilidad limitada en el floema, dependiendo principalmente del flujo transpiratorio vía xilema, lo que dificulta su adecuada redistribución hacia órganos con baja transpiración, como los frutos, especialmente bajo condiciones de alta humedad relativa o estrés hídrico (de Freitas et al., 2011).

Por otro lado, el (Si), aunque no es considerado un elemento esencial para la mayoría de las plantas, ha sido ampliamente reconocido como un elemento benéfico en diversos cultivos agrícolas. Su acumulación en tejidos vegetales se ha asociado con el fortalecimiento mecánico de la pared celular, la reducción de la transpiración excesiva, la mejora en la eficiencia del uso del agua y la mitigación de estrés biótico y abiótico, incluyendo salinidad,

sequía y ataque de patógenos (Ma & Yamaji, 2015; Coskun et al., 2019). Además, el (Si) puede influir indirectamente en la disponibilidad y absorción de otros nutrimentos, al modificar la química de la rizosfera y reducir la toxicidad de ciertos iones en el suelo o sustrato (Epstein, 2009).

Estudios recientes han señalado que la aplicación de (Si) puede inducir respuestas fisiológicas positivas en tomate, tales como una mayor actividad antioxidante, mejor arquitectura foliar y aumento en la calidad del fruto; sin embargo, los resultados son variables y dependen de la forma de aplicación, la dosis, el sistema de cultivo y la interacción con otros nutrimentos, particularmente el (Ca^{++}) (Jian Feng et al., 2015). A pesar de los avances, existe una brecha de conocimiento respecto al efecto combinado de (Ca^{++}) y (Si) sobre parámetros integrales de calidad y rendimiento del fruto, especialmente cuando se aplican mediante estrategias diferenciadas como drench al sustrato y aspersión foliar en sistemas intensivos de producción.

Desde una perspectiva agronómica y fisiológica, evaluar La integración del (Ca^{++}) y (Si) en la nutrición vegetal es fundamental, dado que ambos actúan de manera sinérgica para fortalecer la arquitectura de las paredes celulares. Esta interacción no solo mejora la firmeza y calidad postcosecha del fruto, sino que también optimiza el balance hídrico de la planta al mitigar la pérdida de agua por transpiración, aumentando así su resiliencia ante el estrés ambiental, CISV (2026).

La sinergia potencial entre estos nutrimentos podría contribuir a mejorar la calidad comercial del tomate, reducir pérdidas poscosecha y optimizar la eficiencia del manejo nutrimental en agricultura protegida. Por lo anterior se plantea el siguiente objetivo.

1.1 Objetivo.

Evaluar la respuesta del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la aplicación combinada de calcio (Ca^{++}) vía drench y silicio (Si) vía foliar, considerando su impacto sobre variables de calidad y rendimiento, bajo condiciones de producción intensiva.

1.2 Hipótesis.

H_0 el uso en conjunto de calcio (Ca^{++}) y silicio (Si) no mejora la calidad y rendimiento en tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

H_a el uso en conjunto de calcio (Ca^{++}) y silicio (Si) mejora la calidad y rendimiento en tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

II. LITERATURA REVISADA

2.1 Antecedentes del cultivo.

2.1.1 Origen.

El tomate (*Solanum lycopersicum*) tiene ancestros silvestres en la región andina (norte de Perú / sur de Ecuador); la evidencia arqueológica indica que formas silvestres como (*S. lycopersicum* var. *cerasiforme* y *S. pimpinellifolium*) participaron en la historia evolutiva, mientras que la domesticación y la diversificación hacia el tomate moderno tuvieron un papel importante en Mesoamérica (especialmente en el sureste de México). (Delices et al., 2019).

2.1.2 Clasificación taxonómica.

Reino: Plantae.

División: Magnoliophyta (Angiospermas).

Clase: Magnoliopsida (Dicotiledóneas).

Orden: Solanales.

Familia: Solanaceae.

Género: *Solanum*.

Especie: *Solanum lycopersicum* L. (GBIF, 2026).

2.2 Descripción botánica.

Aunque botánicamente el *Solanum lycopersicum* es una especie perenne, en los sistemas de producción agrícola se gestiona bajo un ciclo de vida anual, (Rodríguez-Huerta, 2024).

2.2.1 Sistema radicular.

El sistema radicular, compuesto por un eje principal así como por raíces secundarias y adventicias. Cabe destacar que las raíces adventicias son particularmente vigorosas, aunque su desarrollo suele concentrarse en los primeros 30 cm del perfil del suelo o sustrato, (Rodríguez-Huerta, 2024).

2.2.2 Tallos.

El eje caulinar se caracteriza por ser una estructura robusta, de geometría angular y coloración verdosa, con una superficie cubierta de pubescencia. Su diámetro oscila entre los 2 y 4 cm, presentando un estrechamiento hacia el ápice. Este tallo principal es el centro de origen de ramificaciones laterales, follaje e inflorescencias, albergando en su extremo distal el meristemo apical responsable del crecimiento continuo. Internamente, su naturaleza herbácea inicial revela una organización histológica compuesta por epidermis glandular, corteza, tejido medular y un sistema vascular definido, (Rodríguez-Huerta, 2024).

2.2.3 Hojas.

El follaje posee una arquitectura pinnada y compuesta, integrada por un conjunto de siete a nueve folíolos cuyos márgenes son dentados y lobulados. Estas estructuras, que presentan dimensiones variables (4-60 mm de longitud por 3-40 mm de ancho), se distribuyen de forma alterna u opuesta sobre el raquis. Taxonómicamente, la hoja destaca por su carácter glanduloso-pubescente, exhibiendo una tonalidad verde en el haz y un matiz cenizo en el envés. Su inserción en el eje caulinar es de carácter alterno, pudiendo adoptar disposiciones que varían desde la horizontalidad hasta una orientación semi-erecta o inclinada, (López Marín, 2017).

2.2.4 Flores.

La flor del tomate se define como una estructura perfecta y regular, donde las piezas del cáliz, la corola y el androceo tienen una inserción hipógina. El cáliz está constituido por cinco o más sépalos, mientras que la corola presenta pétalos amarillos con una filotaxia helicoidal. El aparato reproductor masculino lo integran cinco o seis estambres que alternan su posición con los pétalos, rodeando un ovario plurilocular de dos o más segmentos. Estas unidades se organizan en inflorescencias racemosas de origen axilar, localizándose típicamente cada dos o tres nudos foliares, con una densidad de tres a diez flores en cultivares de calibre comercial, (Rodríguez-Huerta, 2024).

2.2.5 Frutos.

El fruto se clasifica botánicamente como una baya de naturaleza bi o plurilocular, cuya morfología varía desde formas subesféricas y globosas hasta perfiles alargados, con una masa que fluctúa significativamente entre apenas unos miligramos hasta los 600 gramos. Su anatomía está integrada por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. En cuanto a su coloración, el estado inmaduro se caracteriza por una tonalidad verde que evoluciona hacia el rojo durante la senescencia; no obstante, la diversidad genética comercial permite encontrar variantes con frutos amarillos, rosados, púrpuras, anaranjados e incluso verdes en su etapa de madurez, (López Marín, 2017).

2.2.6 Semilla.

Las semillas presentan dimensiones medias de 5 x 4 x 2 mm y se caracterizan por una morfología ovoide y comprimida. Su superficie puede ser lisa o presentar una marcada vellosidad, con coloraciones en la gama de los pardos, encontrándose inmersas en una matriz mucilaginosa densa. Estructuralmente, cada unidad seminal está integrada por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal, (López Marín, 2017).

2.3 Producción mundial.

A nivel global, este cultivo se posiciona como el líder en términos de volumen de producción, alcanzando una cifra superior a los 120 millones de toneladas por año, (Muñoz, 2012).

2.3.1 Superficie establecida.

La superficie destinada al establecimiento de este cultivo a escala global se estima en aproximadamente 4 millones de hectáreas, (Muños, 2012).

2.4 Producción nacional.

Durante cada ciclo productivo, el volumen de cosecha alcanzado registra una cifra de un millón 213 mil 335 toneladas, (SIAP, 2024).

2.4.1 Superficie establecida en México.

Durante el ciclo agrícola otoño-invierno (OI) 2024, la superficie destinada al cultivo de jitomate experimentó una contracción del 7.0% en comparación con el periodo homólogo del año anterior. Esta reducción representa una disminución de 1,620 hectáreas, estableciendo el área de siembra actual en 21,663 hectáreas frente a las 23,283 hectáreas contabilizadas previamente, (SIAP, 2024).

2.5 Principales mercados.

El sector hortícola mexicano destaca por una balanza comercial superavitaria, sustentada en una capacidad productiva que facilita la exportación de aproximadamente un millón 733 mil toneladas cada año. El máximo histórico en ventas internacionales se registró en 2023, alcanzando un volumen de un millón 797 mil toneladas. En cuanto a la distribución geográfica de los envíos durante 2024, el mercado estadounidense se consolidó como el destino hegemónico al absorber el 99.8% de las exportaciones, dejando una participación marginal para naciones como Canadá, Japón y Guatemala, (SIAP, 2024).

2.6 Requerimientos de suelo.

El establecimiento exitoso del tomate demanda condiciones edáficas específicas, destacando la necesidad de suelos porosos que faciliten la lixiviación de excesos hídricos y posean una reserva orgánica considerable. Un perfil de suelo de hasta 60 cm es imperativo para permitir la exploración radicular, mientras que la estabilización del pH en niveles de 6.0 a 6.5 actúa como el regulador crítico para la asimilación química de los elementos fertilizantes, (Jones, 2024).

2.7 Requerimientos hídricos.

La gestión hídrica eficiente es fundamental no solo para restituir el agua y los minerales extraídos por la planta, sino también para regular la salinidad y asegurar la aireación en la rizosfera. Mediante el control del riego, es posible direccionar el equilibrio fisiológico del tomate: condiciones de alta humedad y baja conductividad eléctrica fomentan un desarrollo vegetativo, mientras que el déficit hídrico o la salinidad elevada inducen un estado generativo. No obstante, tanto el exceso como la carencia de agua generan estrés, comprometiendo la biomasa y el valor comercial del fruto. En términos cuantitativos, la demanda hídrica diaria por metro cuadrado varía entre 2 y 3 litros en cultivos en suelo, incrementándose ligeramente a un rango de 2 a 4 litros en sistemas basados en sustratos, (Pizarro, 2024).

2.8 Requerimientos climáticos.

2.8.1 Radiación.

Con el objetivo de optimizar la eficiencia fotosintética y minimizar las limitaciones metabólicas en el cultivo de tomate, es imperativo que los niveles de incidencia lumínica alcancen un umbral diario de entre 14 y 16 MJ/m², (ITHA, 2026).

2.8.2 Temperatura.

La gestión de la temperatura es un factor crítico en la modulación del metabolismo vegetal. Se requieren niveles térmicos diurnos de 20-25°C y nocturnos de 15-18°C, ajustando estas consignas de acuerdo con la fase de desarrollo del cultivo. Es vital entender que el gradiente térmico no opera de forma aislada, sino que mantiene una interacción sistémica con el resto de los parámetros del entorno productivo, (CIAT, 2026).

2.8.3 Humedad relativa.

El crecimiento óptimo del tomate requiere que la humedad relativa se mantenga en un intervalo del 60 al 80 %. La transgresión de estos límites superiores favorece la incidencia de patógenos fúngicos y bacterianos, además de interferir negativamente en los procesos de polinización y fecundación. Asimismo, las fluctuaciones drásticas o niveles inadecuados de humedad atmosférica están estrechamente vinculados con desórdenes fisiológicos, particularmente con la incidencia de agrietamiento o rajado del fruto, (Castellanos, 2024).

2.9 Plagas.

Una estrategia fitosanitaria integral debe articular dimensiones agronómicas, biológicas, culturales, químicas y normativas. La eficacia de dicho programa reside en un sistema de monitoreo sistemático, estructurado según la etología y los hábitos específicos de cada agente dañino. Asimismo, resulta imperativo sincronizar estas acciones con el estado fenológico de la planta y las variables meteorológicas predominantes. Bajo el enfoque de manejo integrado, se prioriza la prevención mediante tácticas de reducido impacto ecológico para conservar las poblaciones de plagas por debajo de los umbrales económicos; el uso de intervenciones químicas drásticas se reserva exclusivamente como último recurso, debiendo ejecutarse bajo estrictos protocolos técnicos y empleando únicamente sustancias con registro oficial para el cultivo, (FAO, 2026).

Tabla 1.- Principales plagas que atacan al cultivo de tomate y algunos productos para su control biológico, biorracional y químico, (INTAGRI, 2018).

Plaga	Control biológico	Productos biorracionales	Productos químicos
Mosca blanca	Encarsia formosa, Eretmoceris eremicus	Extracto de ajo, aceite de neem, piretrinas naturales.	Abamectina, Bifentrina, Spiromesifen,

	y mundus, Chrysoperla.		Oxamil, Thiametoxam.
Paratrioza	Tamarixia triozae, Chrysoperla.		
Trips	Amblyseius cucumeris y degenerans, Orius spp.	Sales potásicas, aceite de soya, piretrinas naturales.	Spinosad, Dimetoato, Imidacloprid.
Pulgones	Chrysoperla carnea, Aphidoletes aphidimyza, Aphidius colemanni.	Aceites minerales, jabón agrícola al 2%.	Bifentrina, Imidacloprid, Thiametoxam.
Araña roja	Phytoseiulus persimilis, Stethorus punctum, Amblyseius californicus.	Azufre humectable	Abamectina, Bifentrina, Dimetoato.

(INTAGRI, 2018).

2.10 Enfermedades.

El diseño de programas fitosanitarios para el control de enfermedades debe fundamentarse en una ética ecológica y de sostenibilidad ambiental. Este esquema de gestión integral debe articular tácticas de control cultural, legal, biológico, mecánico y químico, priorizando siempre la prevención. En este contexto, la vigilancia epidemiológica y el monitoreo sistemático resultan determinantes; asimismo, es imperativo identificar los parámetros meteorológicos que predisponen al cultivo a infecciones, implementando estrategias de modificación del microclima y manejo preventivo que inhiban el establecimiento y la dispersión de patógenos, (Agrios, 2024).

Tabla 2.- Principales enfermedades del tomate y algunos métodos para su control biológico, biorracional y químico (INTAGRI, 2018).

Enfermedad	Control cultural	Control biológico	Control químico
Marchitez del tomate y pudrición de la corona y raíz	Evitar riegos pesados, desinfectar materiales, plantas injertadas	<i>Trichoderma</i> <i>harzianum</i> , <i>T.</i> <i>lignorum</i> , <i>Bacillus</i> <i>subtilis</i> , <i>Gliocladium sp.</i>	Clorotalonil, Mancozeb, Zineb, Captan, Clorotalonil +Cimoxanil.

Verticilosis del tomate	Biosolarización, evitar daños en la raíz.	<i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Gliricium virens</i> .	Tiabendazol, Benomilo, Carbendazim.
Cenicilla del Tomate	Quitar hojas enfermas, desinfectar materiales, variedades resistentes.	<i>Bacillus subtilis</i>	Clorotalonil, Captan, Azufre, Azoxystrobin, Oxidloruro de cobre.
Tizón tardío	Evitar fugas de agua, desinfectar heridas, Variedades tolerantes.	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>aceite de neem</i> .	Clorotalonil, Captan, Mancozeb, Fosetil aluminio, Famoxadona.
Tizón temprano	Eliminar partes afectadas o plantas enfermas.	<i>Bacillus subtilis</i>	Mancozeb, Bocelad, Azoxystrobin.
Cáncer Bacteriano del tomate	Cambiar desinfectante diario, desinfectar materiales y evitar excesos de humedad.	----- ----	Oxidloruro de cobre, Mancozeb, Estreptomina, Hidróxido cúprico.
Mancha bacteriana	Eliminar hospederos, tratamientos térmicos a la semilla, eliminar plantas enfermas.	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>glutación</i> , <i>oligosacarinas</i> .	Hidróxido cúprico, Acibenzolar-s-metil, Sulfato de estreptomina.
Marchitez bacteriana	Buena ventilación, Eliminar partes o plantas enfermas	----- ----	Mancozeb, Oxidloruro de cobre, Sulfato de estreptomina.
Nematodos	Rotación de cultivos, eliminar plantas enfermas, biofumigación	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. penetrans</i> , <i>Paecilomyces lilacinus</i> .	Metam sodio, Oxamil, Forato, Disulfoton.

(INTAGRI, 2018).

2.11 Trasplante.

El proceso de establecimiento inicia con un riego de pre-trasplante, el cual debe asegurar la saturación del perfil hasta que la humedad sea visible en los pasillos de servicio si se cultiva en suelo. Tras la apertura de las oquedades y la colocación de las plántulas, es fundamental garantizar la íntima cohesión entre el sustrato y el cepellón para evitar bolsas de aire que

deshidratan las raíces. Con el fin de consolidar este contacto, se debe efectuar una irrigación inmediata post-trasplante, la cual puede ser aprovechada para la incorporación de fitohormonas enraizantes o agentes fungicidas preventivos. Finalmente, se aconseja programar los eventos de riego durante las primeras horas matutinas para optimizar la eficiencia hídrica y fisiológica, (Nuez, 2024).

2.12 Tutorio.

El entutorado del tomate se realiza principalmente mediante dos metodologías: el sistema de espaldera y el sistema holandés. En la conducción por espaldera, común en campo abierto, se emplean estructuras oblicuas en los extremos de las líneas unidas por hilos de polipropileno dispuestos horizontalmente cada 20-25 cm, soportados por estacas intermedias cada 2 o 3 metros. Por su parte, el sistema holandés asigna una guía de rafia individual por tallo, anclada desde un alambre superior hasta la base de la planta mediante anillos o nudos especializados. Esta técnica requiere un manejo semanal para enredar el tallo en un sentido constante y permite el descuelgue progresivo de la planta una vez que esta supera los 2.5 metros de altura, facilitando así la cosecha y el mantenimiento fitosanitario, (Castellanos, 2024).

2.13 Polinización.

La polinización es un proceso crítico para garantizar la uniformidad en el desarrollo del fruto y puede ejecutarse mediante métodos mecánicos, hormonales o biológicos. La técnica mecánica se basa en la vibración del follaje, ya sea mediante corrientes de aire forzado o percusiones ligeras en la estructura de soporte. No obstante, el empleo de polinizadores biológicos, específicamente del género *Bombus*, ha demostrado una eficacia superior; estos insectos pueden polinizar entre 20,000 y 50,000 flores al día, con una persistencia de la colmena de hasta 12 semanas. La densidad recomendada oscila entre 8 y 20 colmenas por hectárea, ajustándose según el cultivar y el entorno. Por el contrario, la inducción hormonal se considera la opción menos deseable, reservándose únicamente para escenarios donde las condiciones climáticas extremas impiden el éxito de los métodos convencionales, (Velázquez-Alcaraz, 2024).

2.14 Poda.

El manejo del follaje y la arquitectura de la planta se fundamenta en la poda de hojas y el desbrote. El deshoje implica la remoción de tejidos senescentes localizados bajo el racimo

en maduración, lo cual optimiza la aireación, la maduración cromática del fruto y la cobertura de los tratamientos fitosanitarios; no obstante, debe ejecutarse con moderación —máximo tres hojas por intervención— para prevenir desequilibrios fisiológicos. Complementariamente, el desbrote consiste en la eliminación de yemas axilares ("chupones"), preferentemente cuando alcanzan los 5 cm para asegurar una cicatrización rápida. La frecuencia de esta labor varía según la etapa fenológica, realizándose dos veces por semana en la fase vegetativa y una en la reproductiva. Ambas prácticas requieren cortes precisos al ras del tallo para mitigar riesgos patogénicos, pudiendo ejecutarse mediante tracción manual ascendente o con herramientas mecánicas debidamente esterilizadas con agentes desinfectantes, (Reséndiz-melgar, 2024).

2.15 Cosecha.

La recolección de tomates destinados al mercado en fresco se realiza de forma manual, priorizando el índice de madurez "quebrante" (etapa 2), aunque ocasionalmente se extiende a las fases "cambiante" (etapa 3) o "rosado" (etapa 4). Durante este proceso, es imperativo el uso de recipientes sanitizados y revestidos con materiales amortiguadores para mitigar lesiones por impacto. La técnica de corte debe consistir en una torsión delicada en la zona de abscisión del pedúnculo para prevenir daños estructurales por tracción. Asimismo, se debe evitar la compactación de los frutos dentro de las cajas y su exposición prolongada a la radiación solar directa. En sistemas donde se requiere la conservación del cáliz o el racimo completo, resulta obligatorio el empleo de utensilios de corte estériles, (Kader, 2026).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Material genético utilizado.

Para este experimento se utilizó tomate (*Solanum lycopersicum L.*) EL CID F1 que es de tipo saladette de crecimiento indeterminado, muy adaptable a distintas regiones y manejos agronómicos presenta buena calidad de frutos a lo largo del ciclo, buen cambio de color durante la maduración, son frutos de mediano tamaño con un peso que va desde los 140 g mínimo y hasta los 180 g máximo. Presenta paredes gruesas, presenta resistencia al (Tomato Mosaic Virus y *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici*) (Harrismoran, 2025).

3.2 Ubicación y características del sitio experimental.

El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel del área experimental del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, con las coordenadas geográficas 25°21'21.7" Norte 101°02'10.9" Oeste.

3.3 Establecimiento del cultivo.

El día 3 de agosto se sembraron 80 semillas de tomate, en 40 bolsas de polietileno de 11L perforadas, las cuales contaban con sustrato de proporción 70% Peat Moss y 30% perlita, (Nathan Cole, 2026).

con pH ajustado a 5.5, utilizando bicarbonato de sodio, 1 g L⁻¹ y un potenciómetro marca Hanna.

Se acomodaron las bolsas en un orden de 7x5. En el área asignada del invernadero.

3.4 Tutorio.

Esta actividad se realizó el día 7 de septiembre para asegurar una correcta estabilidad y soporte para la planta durante su crecimiento, consistió en amarrar rafia tutora desde la base de la hoja más madura con ayuda de un anillo de plástico y hasta llegar al ápice de la planta. Dicha actividad se continuó haciendo cada semana a medida que la planta crece, este cultivo se manejó a un solo tallo.

3.5 Manejo nutricional y riegos.

Se utilizaron tres soluciones nutritivas, modificadas por etapa.

Etapa 1.- DT a 1er cuaje.

Etapa 2.- 1er al 3er cuaje.

Etapa 3.- 3er al 5to cuaje.

Tabla 3.- Soluciones nutritivas empleadas por etapa del cultivo.

Etapa	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
1	9	1.5	6	6	8	3
2	10	1.5	7	7	8	4
3	12	1.5	8	8.5	9	5

(Castellanos, 2009).

Los riegos se realizaron de manera manual, comenzando la primera etapa antes del llenado del racimo #1 se realizaban una vez al día o cada dos días dependiendo las condiciones del clima.

De la etapa dos en adelante los riegos se realizaban dos veces al día, en la mañana y en la tarde o dependiendo las condiciones del clima.

3.6 Manejo de plagas y enfermedades.

Se presentó únicamente mosca blanca (*Bemisia tabaci*) la cual se mantuvo bajo control con un insecticida químico (imidacloprid) y utilizando pesticidas preventivos como extracto de ajo y de clavo.

De manera preventiva se rotaban fungicidas químicos cada 15 días.

3.7 Eliminación de brotes axilares.

Esta práctica se inició el día 15 de septiembre y consistió en eliminar los brotes tiernos de las axilas de todas las plantas, evitando el gasto innecesario de energía por parte de la misma. Esta actividad se realizó semanalmente.

3.8 Poda de hoja.

Esta actividad se realizó por primera vez el día 8 de octubre, manteniendo en la planta entre 13 y 14 hojas, para evitar tener desequilibrios dentro de la misma, (Jaramillo-Noreña, 2024). Se realizó con tijera, desinfectando todo el tiempo la herramienta y realizando el corte lo más cerca del tallo. Se realizaron 4 podas durante el experimento siempre cortando una hoja por encima del racimo próximo a cosechar, esta actividad permitió tener una mayor entrada de luz y ventilación así evitando la presencia de enfermedades fúngicas.

3.9 Tratamientos evaluados.

Tabla 4.- Tratamientos evaluados, dos productos a base de (Ca⁺⁺) como óxido de calcio (CaO) y silicio (Si) como Dioxido de silicio (SiO₂) respectivamente, el Calciomix (con el 25

% de CaO) con una aplicación vía drench en conjunto con la solución nutritiva y el Diatomix (con el 92% de SiO₂) aplicando vía foliar semanalmente.

Tratamientos	CALCIOMIX (g L ⁻¹)	DIATOMIX (g L ⁻¹)
T1	0	0
T2	0.25	0.25
T3	0.5	0.5
T4	0.75	1
T5	1.0	2
T6	1.25	3
T7	1.5	4

3.10 Variables evaluadas.

Las variables consideradas se clasifican en Agronómicas e Índices de calidad.

Las agronómicas fueron.- Grosor de tallo en cm, Tamaño de hoja en cm, Tasa de crecimiento semanal en cm, Peso del fruto en g.

Los índices de calidad fueron.- Firmeza en Kg/cm², Grados brix (SST), Vitamina C, % de ácido cítrico, pH.

3.10.1 Grosor del tallo.

En esta actividad se utilizó un Vernier LCD Digital mejor conocido como pie de rey, con el cual la medición de rango es de 0.01 mm y máximo de 150 mm, con el cual se colocó en el tallo de la planta a una altura de 70 cm de altura desde el cuello de la planta, esta medición la realizaba una vez cada semana.

3.10.2 Tamaño de hoja.

Para realizar esta medición fue necesario utilizar un flexómetro, midiendo cada semana la misma hoja, en este caso fue la hoja más recientemente madura, a la cual se le realizó una marca para identificarla.

3.10.3 Tasa de crecimiento.

Utilizando un punto de referencia bien marcado en la planta se midió hasta el ápice y se realizaron lecturas cada semana, para esta variable fue necesario implementar una regla de plástico de 30 cm para facilitar la tarea.

3.10.4 Peso del fruto.

Con ayuda de una báscula eléctrica gramera con capacidad de hasta 500 g, se pesó cada fruto de cada racimo para obtener este dato.

3.10.5 Firmeza.

Para obtener esta variable se utilizó un penetrómetro de la marca (QA) con una capacidad de 13 Kg y una puntilla de 8mm. Realizando dos perforaciones opuestas en el fruto.

3.10.6 Solidos solubles totales (SST).

Esta variable se obtuvo utilizando un refractómetro de la marca (ATGO) con capacidad de lectura de 0 a 32% de grados Brix. Para hacer esta muestra se cubrió el cristal del refractómetro de una capa homogénea del jugo del tomate extraído de una de las dos perforaciones resultantes de la muestra de firmeza, evitando colocar residuo vegetal en el cristal.

3.10.7 Vitamina C

Para la obtención de esta variable se utilizó el método volumétrico. Se requirió el uso de una Balanza electrónica digital marca: Esnova modelo: SE-2000 con una carga máxima de 3000 g, mortero de mano, bureta de 50 mLt, cuchillo, embudo de filtración, gasa, matraces Erlenmeyer de 125 250 mLt, soporte universal, pipeta graduada de 10 mLt, piseta, probeta graduada de 50 y 100mLt, vaso de precipitado de 50mLt, además de algunos reactivos como ácido clorhídrico al 2% (HCl 2%), agua destilada y reactivo de Thielman (0.2g de 2,6, dicloroindofenol). El procedimiento consiste en lo siguiente., primeramente se pesan los 20g de muestra y se colocan en el mortero, posteriormente se agregan 10mLt de HCl al 2% y se tritura cuidadosamente hasta conseguir una consistencia de papilla de bebe, a esto se le agregan 100mLt de agua destilada y se mezcla correctamente, se filtra el contenido del mortero a través de una gasa hacia un matraz Erlenmeyer de 250mLt y se mide el volumen exacto, de esto se toma una alícuota de 10mLt del del filtrado y se colocan en un matraz Erlenmeyer de 125mLt, después en una bureta se mide el volumen conocido del reactivo Thielman, se titula la alícuota hasta la aparición de una coloración rosa que no desaparezca durante 30 seg. y se anota el volumen que se gastó, (AOAC, 1990).

Después de esto se calcula el contenido de vitamina C mediante la siguiente formula:

$$\text{Mg/100g de vitamina C} = \frac{\text{VRT} * 0.088 * \text{VT} * 100}{\text{VA} * \text{P}}$$

Donde:

VRT= volumen gastado en ml del reactivo de Thielman.

0.088= miligramos de ácido ascórbico equivalentes a 1ml de reactivo de Thielman.

VT= volumen total en mLt del filtrado de vitamina C en HCl.

VA= volumen en mLt de la alícuota valorada.

P= peso de la muestra en gramos, (AOAC, 1990).

3.10.8 % de ácido cítrico.

Para esta prueba se utilizó el método volumétrico. Se empleo un extractor para cítricos marca: TUR-MIX modelo: De uso rudo. Además de una probeta graduada de 100mLt, vaso de precipitados de 250mLt, pipeta graduada de 10mLt, piseta, Balanza electrónica digital marca: Esnova modelo: (SE-2000) con una carga máxima de 3000 g, bureta de 50mLt, soporte universal, pinzas para bureta, chuchillo, embudo de filtración, gasa y algunos reactivos como Fenolftaleína al 1% e hidróxido de sodio 0.1 N. El procedimiento fue: como primer paso obtener el jugo de la muestra a analizar, después filtrar el jugo a través de un embudo de filtración, se toman 10mLt de jugo y se colocan en un matraz Erlenmeyer de 125mLt, este procedimiento se repite tres veces, se añaden 4 gotas de fenolftaleína al 1% a cada una de las muestras, se coloca en una bureta un volumen conocido de NaOH 0.1 N. y se titula la muestra hasta el punto de viraje que es color rosa, (AOAC, 1990).

Posteriormente se calcula el porcentaje de ácido presente en la muestra.

Para lo cual se usa la siguiente formula:

$$\% \text{ acido} = \frac{\text{V} * \text{N} * \text{Meq} * 100}{\text{Alícuota valorada}}$$

V= Volumen de NaOH gastado en mLt.

N= Normalidad del NaOH.

Meq= miliequivalente del ácido que se encuentra en mayor proporción de la muestra: 0.064 para el ácido cítrico, 0.067 para el ácido málico y 0.075 para el ácido tartárico.

Alícuota valorada= peso en g o volumen de la muestra en mLt, (AOAC, 1990).

3.10.9 pH.

Para medir esta variable se utilizó un potenciómetro marca: HANNA modelo: HI98128

3.11 Diseño experimental.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA), considerando aplicaciones vía drench y foliar. Se evaluaron siete tratamientos, incluido el testigo, con cinco repeticiones por tratamiento, lo que dio un total de 35 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo constituida por una planta de tomate conducida a un solo tallo.

Los tratamientos se aplicaron con una frecuencia semanal durante un periodo de 2.5 meses, acumulando un total de 10 aplicaciones.

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software InfoStat versión 2020. Previo a la aplicación del análisis de varianza (ANOVA), se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de varianzas. Una vez satisfechos dichos supuestos, los datos se sometieron a un ANOVA y, cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de medias de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, utilizando un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre la firmeza de frutos de tomate saladette ‘El Cid F1’. La firmeza de los frutos osciló entre 4.4172 y 5.6904 kg cm⁻². El tratamiento testigo (T1, sin aplicación) presentó la menor firmeza, mientras que los tratamientos T2 (0.25 g L⁻¹ Camix + 0.25 g L⁻¹ Dmix) y T6 (1.25 g L⁻¹ Camix + 3 g L⁻¹ Dmix) alcanzaron las mayores firmezas siendo estadísticamente superiores al testigo según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

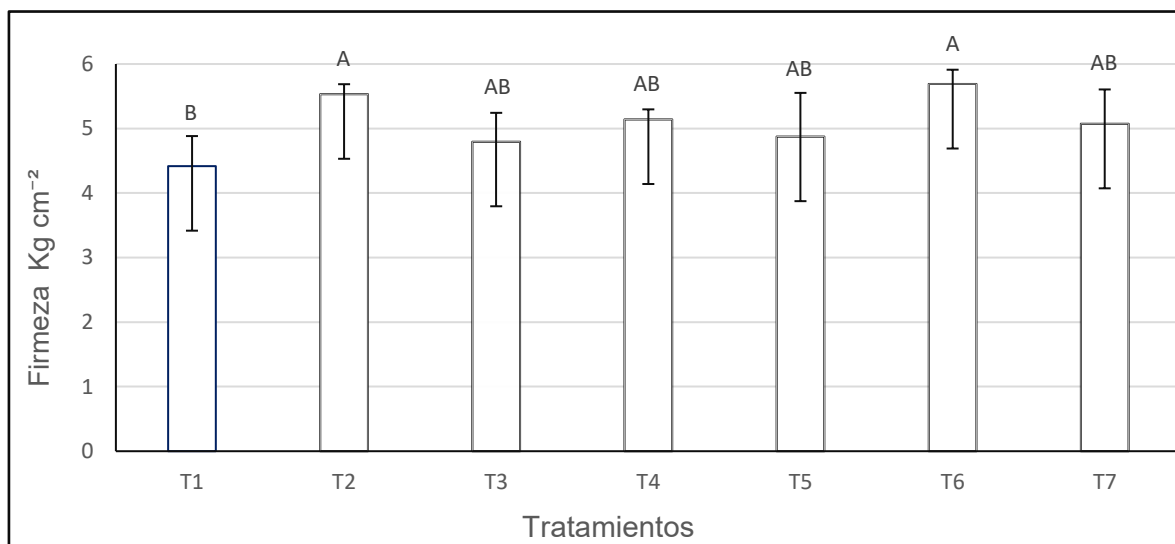


Figura 1.- Efecto del uso de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix) más Diatomix (Dmix) aplicadas semanalmente sobre la firmeza de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tipo saladette EL CID F1. Los valores representan la media y la barra el error estándar. Las distintas letras sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

Los tratamientos (T3, T4, T5 y T7) se ubicaron en un grupo sin diferenciarse del testigo ni de los tratamientos de mayor firmeza, lo que indica que la respuesta no es estrictamente lineal con la dosis, pero sí existe un contraste claro entre “sin aplicación” (T1) y (Ca⁺⁺) + (Si) ” (resto de tratamientos). En términos prácticos, la sola inclusión del (Ca⁺⁺) + (Si) , aún en dosis bajas (T2), es suficiente para incrementar la firmeza de los frutos, mientras que aumentos adicionales de dosis sólo generan variaciones moderadas.

Este comportamiento es coherente con el papel conocido del (Ca⁺⁺) en el reforzamiento de la pared celular. El Ca⁺⁺ forma “puentes” entre cadenas de pectina en la lámina media,

disminuye la solubilización de pectatos y retrasa el ablandamiento durante la maduración. En estudios con aspersiones pre cosecha de CaCl_2 , se ha observado un aumento significativo de la firmeza y una extensión de la vida de anaquel del tomate, asociado a mayor contenido de Ca^{++} en el pericarpio y mayor retención de sólidos solubles (Daundasekera et al., 2015).

Por otro lado, Diatomix aporta (Si), que se deposita como sílice amorfa en la pared celular y la cutícula, aumentando la rigidez mecánica y reduciendo la pérdida de agua. En un estudio reciente por Wang et al. (2024) reportaron que la aspersión foliar de silicio ($0.6\text{--}1.8\text{ mmol L}^{-1}$) mejoró la firmeza de la epidermis, el peso individual y la concentración de sólidos solubles vitamina C en tomate, con un nivel óptimo intermedio de Si.

En una línea de investigación concordante, Zhang et al. (2024) evidenciaron que la integración de enmiendas orgánicas con silicio (Si) optimiza sustancialmente los parámetros cualitativos del tomate, incluyendo las concentraciones de ácido ascórbico (vitamina C), glúcidos y licopeno. Los resultados subrayan que, si bien la sinergia es beneficiosa para el rendimiento general, el aporte de silicio constituye el determinante crítico con mayor incidencia estadística en la mejora de las propiedades funcionales y el valor nutricional del fruto. Así también, Añibarro-Ortega et al. (2025) evaluaron un bioestimulante a base de Ca^{++} y Si en tomate bajo riego deficitario y reportaron que las aplicaciones de este bioestimulante modificaron de forma significativa la composición química y la calidad del fruto, incrementando azúcares y ácidos orgánicos y mejorando el perfil nutraceutico.

En conjunto los resultados confirman que la adición de Ca^{++} y Si incluso en dosis moderadas, incrementa la firmeza de los frutos al comparar con el testigo, así también si se sobrepasa un umbral mínimo de Ca^{++} y Si en fruto, incrementos adicionales de dosis tienden a producir respuestas de firmeza menos marcadas, lo que explica que los tratamientos (T3, T4, T5 y T7) sean iguales estadísticamente. Por consiguiente, el uso combinado de Calciomix en drench y Diatomix foliar es una estrategia viable para mejorar firmeza en tomate saladette el cid y en consecuencia aumentar el potencial de conservación del fruto en poscosecha.

La Figura 2 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre los sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de tomate saladette ‘El Cid F1’. En todos los tratamientos evaluados (T2-T7), incluyendo el testigo (T1) no se observaron diferencias estadísticas significativas según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$). Esto indica que la aplicación conjunta de calcio (Ca^{++}) y silicio (Si), aún en diferentes dosis, no modificó de manera sustancial el contenido de sólidos solubles totales (SST).

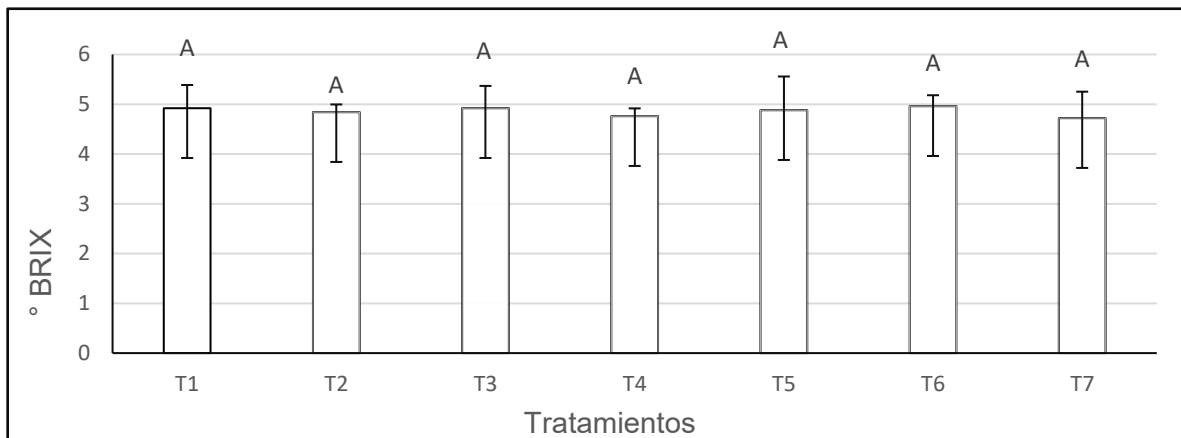


Figura 2.- Efecto del uso de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix) más Diatomix (Dmix) aplicadas semanalmente sobre el % de °B de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) tipo saladette EL CID F1. Los valores representan la media y la barra el error estándar. Las distintas letras sobre las barras indican las nulas diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$)

Aunque algunos tratamientos presentaron ligeros incrementos numéricos en °Brix, estos cambios no fueron suficientes para considerarlos efectos reales sobre la calidad interna del fruto. Resultados similares han sido reportados previamente en la literatura. Los hallazgos de la presente investigación guardan estrecha relación con lo reportado por Cázares-Flores et al. (2023), quienes al suministrar distintas concentraciones de silicio (Si) en sustrato a una profundidad de 5.0 cm, registraron fluctuaciones marginales en los Sólidos Solubles Totales (SST) que oscilaron entre 8.1 y 10.8%. En ambos casos, la ausencia de diferencias estadísticas significativas sugiere que, bajo estas condiciones de aplicación radicular, el silicio no altera drásticamente la concentración de azúcares en el fruto, manteniendo una respuesta homeostática en el cultivo.

Por otro lado Mazumder et al. (2021) demostraron que aspersiones semanales desde el inicio de la fruta y hasta cosecha con soluciones de CaCl_2 (0.0%, 1.0%, 1.5% y 2.0%), no alteraron significativamente el contenido de (SST) ni la acidez titulable en diferentes variedades de tomate, señalando que esta respuesta puede depender de la variedad. De igual forma Haleema et al., (2024) reportaron que aplicaciones foliares de Ca^{++} (0.3, 0.6 y 0.9%), B (0.25 y 0.5%), y Zn (0, 0.25 y 0.5%) redujeron ligeramente los SST del fruto de tomate, sin efectos positivos relevantes en el parámetro, lo que reafirma que el contenido de SST suele ser poco sensible a la suplementación mineral foliar. En el ámbito de la producción hortícola, los hallazgos de Faroutine et al. (2023) corroboran que el suministro de silicato de calcio Ca^{++} en dosis crecientes de 0, 50 y 100 mg L⁻¹ no induce cambios estadísticamente significativos en la concentración de Sólidos Solubles Totales (SST). Los autores señalan que, si bien se registraron variaciones numéricas en los grados Brix, la estabilidad de este parámetro sugiere que la interacción entre el silicio y el calcio no altera de forma directa el metabolismo de los carbohidratos en los frutos evaluados.

En conjunto los resultados obtenidos indican que , si bien el (Ca^{++}) y (Si) pueden mejorar otros atributos del fruto, su efecto sobre el contenido de azúcares es limitado o nulo, lo que explica la ausencia de respuesta en los tratamientos evaluados. Por tanto, bajo las condiciones de este estudio, el uso combinado de Calciomix en drench y Diatomix foliar no influye de manera significativa en el contenido de (SST), aunque variaciones podrían presentarse dependiendo de la variedad y condiciones proporcionadas al cultivo.

La figura 3.- Muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar), sobre el contenido de vitamina C en frutos de tomate saladette ‘El Cid F1’. Donde no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en los tratamientos evaluados (T2-T7) incluyendo el testigo (T1), según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

Esto nos indica que la aplicación combinada de (Ca^{++}) y (Si) aun cuando se usan diferentes dosis no altera de forma primordial el contenido de vitamina C. Por otra parte si se obtuvieron diferencias numéricas, tenemos el Tratamiento T4 ($=0.75 \text{ g L}^{-1}$ Camix + 1 g/L Dmix) con el mayor rango 19.75101 mg/100g , y tenemos que el tratamiento T3 ($=0.5 \text{ g Camix} + 0.5 \text{ g L}^{-1}$ Dmix) obtuvo el menor rango con 17.28056 mg/100g . El resto de tratamientos mantiene oscilación entre 17.53018 y 19.42658 mg/100g .

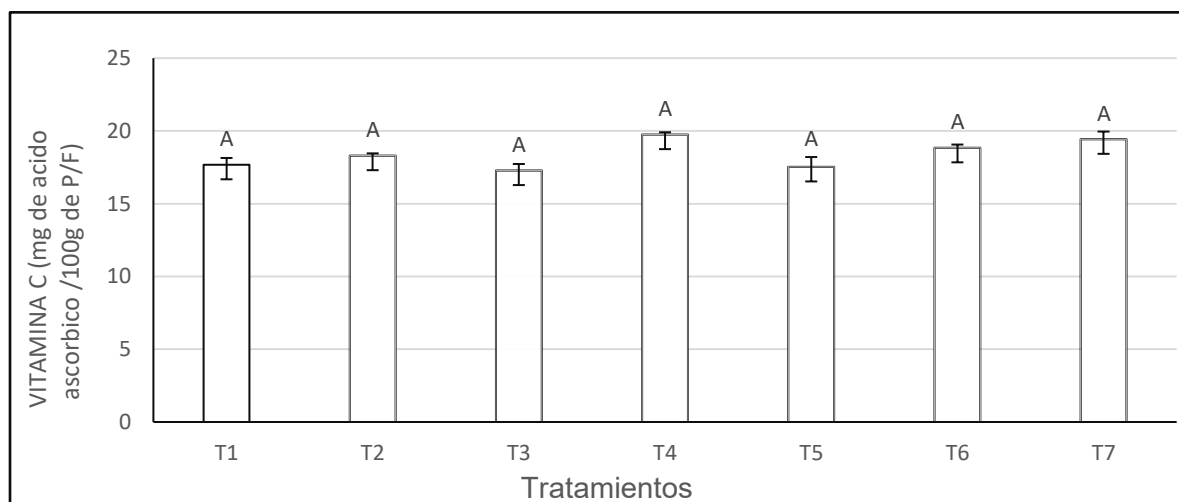


Figura 3.- Efecto del uso de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix) más Diatomix (Dmix) aplicadas semanalmente sobre la vitamina C (VC) de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) tipo saladette EL CID F1. Los valores representan la media y la

barra el error estándar. Las distintas letras sobre las barras indican las inexistentes diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

Los resultados nos indican poco paralelismo entre el aumento de vitamina C y la aplicación de Calciomix y Diatomix, los datos numéricos si mostraron diferencia, aunque no son suficientemente consistentes para tener una valoración adecuada de la vitamina C presente en los frutos.

Resultados comparables han sido documentados en estudios previos. por ejemplo:

Wu et al., (2025) evaluaron distintas concentraciones de CaCl_2 aplicado de forma exógena con pulverizaciones foliares en tomate, donde demostraron que el contenido de vitamina C fue menor en el tratamiento de alta concentración de CaCl_2 , además concentraciones moderadas tienden a promover acumulación de vitamina C al aplazar el estrés oxidativo. Lo cual tiene semejanza con los datos obtenidos en este experimento. Mientras tanto en tomate Gonzales-Moscoso et al., (2019) obtuvieron que la aplicación al suelo de diferentes dosis de nanopartículas de Dióxido de Si (NPs de SiO_2) redujo en más de un 40% la vitamina C de todos sus tratamientos, obteniendo diferencias significativas nulas, únicamente numéricas con variaciones 8 a 9.54% teniendo interacciones con arsénico inorgánico. Esto comprueba que la Vitamina C es poco receptiva a la adición de estos minerales vía foliar y vía suelo. Por otra parte, Pinedo-Guerrero et al. (2020) observaron que el suministro bimensual de 10 ml de silicato de potasio (K_2SiO_3) y nanopartículas de dióxido de silicio (SiO_2), en concentraciones de 250 y 500 mg L^{-1} , provocó una reducción en los niveles de ácido ascórbico en el tejido foliar del tomate. Estos hallazgos sugieren que el impacto del silicio sobre la síntesis de vitamina C no se limita exclusivamente al plano carpológico (fruto), sino que se extiende a otros órganos vegetativos, como las hojas, alterando posiblemente la dinámica antioxidante sistémica de la planta.

Mouhamed et al., (2024) presentaron una investigación donde comparan tratamientos (Aloe vera, CaCl_2 , menta, hierba gatera, agua destilada y agua caliente a 35°C) en post cosecha usando distintas dosis y etapas de madurez del tomate (fase de cambio de color y fase de color rojo claro), reportaron que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la mayoría de los tratamientos evaluados incluyendo al (CaCl_2) empleando frutos inmaduros, además dicen que los frutos de mayor madurez si presentaron diferencia significativa entre

los tratamientos. Esto nos demuestra que el contenido de Vitamina C se modifica de acuerdo con la etapa de madurez del fruto.

Reuniendo estos datos tenemos que, pese a que el uso combinado de Calciomix y Diatomix influyen positivamente en otros aspectos fisiológicos del fruto, su impacto sobre el contenido de Vitamina C es escaso o neutro, lo que se relaciona con la poca diferencia entre los tratamientos evaluados. Si bien el uso de (Ca^{++}) y (Si) vía drench y foliar no repercute de manera significativa en el contenido de Vitamina C, se pueden presentar alteraciones dependiendo la etapa de cosecha del fruto y si se aplica o no tratamiento poscosecha.

La Figura 4 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el % de Ácido Cítrico en frutos de tomate saladette ‘El Cid F1’. El tratamiento T2 (0.25 g L^{-1} Camix + 0.25 g L^{-1} Dmix) presentó el mayor % de Ácido cítrico comparado con el tratamiento T7 (1.5 g L^{-1} Camix + 4 g L^{-1} Dmix) que fue el que alcanzó el menor % de Ácido cítrico, todos los demás tratamientos incluyendo al testigo son estadísticamente iguales según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

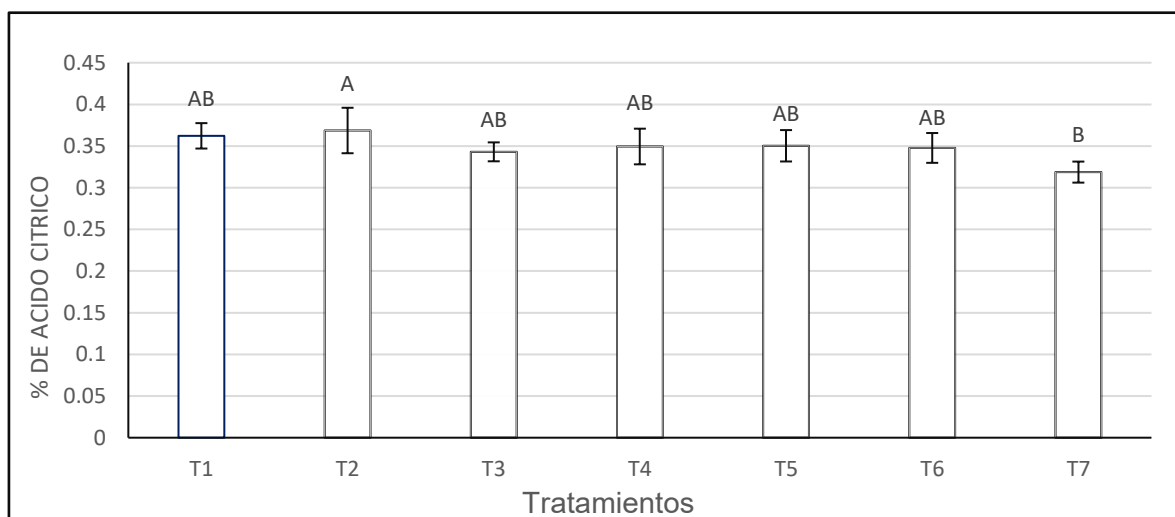


Figura 4.- Efecto del uso de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix) más Diatomix (Dmix) aplicadas semanalmente sobre el % de Ácido cítrico de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) tipo saladette EL CID F1. Los valores representan la media y la barra el error estándar. Las distintas letras sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

Existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos (T2 y T7) lo que indica que la aplicación conjunta de (Ca^{++}) + (Si) en dosis bajas (T2) tiene mejor respuesta en la producción de Ácido cítrico comparado con dosis altas (T7) lo que resulta en menor

producción de este ácido. Mientras que los tratamientos (T1,T3,T4,T5 y T6) se mantuvieron estables sin diferencias significativas a los demás tratamientos, en términos generales es conveniente hacer la incorporación de estos minerales a bajas dosis. Algunas publicaciones corroboran dicha información:

Wu et al., (2025) reportaron que con aplicaciones foliares de silicato de sodio Na_2SiO_3 (0.6 mmol/L) incrementaron el contenido de ácido cítrico en el tomate un 5.4%, con relación a otras dosis mayores (1.8 mmol/L) esta fue la que obtuvo mayor diferencia estadística. Lo cual es similar a los resultados obtenidos en este estudio. Por otra parte Añibarro-Ortega et al., (2025) evaluaron el efecto de dos sistemas de riego - déficit de irrigación (DI) y riego completo (FI) y la aplicación de bioestimulantes a base de (Si), donde obtuvieron que la DI aumento el contenido de ácido individual y orgánico total excepto en el tratamiento T3 donde la FI resultó en cantidades mayores. En otras investigaciones Cano-Hernández et al., (2016) encontraron que dos aplicaciones foliares de bio reguladores de crecimiento como el selenito de sodio a razón de 125 mg L^{-1} demostró la mayor acumulación de ácido cítrico de los frutos, en comparación con otras dosis (75 y 175 mg L^{-1}) y comparándolo con otros biorreguladoras como etefon y yodo, evidenció resultados superiores. En tomates Cherry Roca-Molina. (2024) evaluaron 12 dosis distintas de biosilice, boro y zinc, desde T1 (0.000% biosilice, 0.000% boro y 0.025% zinc) y hasta T12 (0.150% biosilice, 0.025% boro y 0.025% zinc) siendo este último tratamiento el superior en el parámetro de ácidos titulable con relación a todos los demás tratamientos (T1-T11).

Con los resultados obtenidos se confirma que con la aplicación de $(\text{Ca}^{++}) + (\text{Si})$ en dosis bajas vamos a obtener mejor respuesta en la producción de compuestos orgánicos del fruto, con relación a dosis altas que solo generan variación mínima.

La Figura 5 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el Potencial de Hidrógeno (pH) en frutos de tomate saladette ‘El Cid F1’. Donde no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$). Lo que nos indica que el uso en conjunto de Camix y Dmix no expresa cambios en la composición de ácidos orgánicos del fruto, sin embargo sí se obtuvieron diferencias numéricas. Se encuentra el tratamiento T3 con los valores más bajos 4.256 en el extremo con los datos más altos el tratamiento T4 con 4.382. El resto de tratamientos (T2,T5,T6,T7) incluyendo al testigo (T1) oscilaron entre 4.276-4.372 rango de pH.

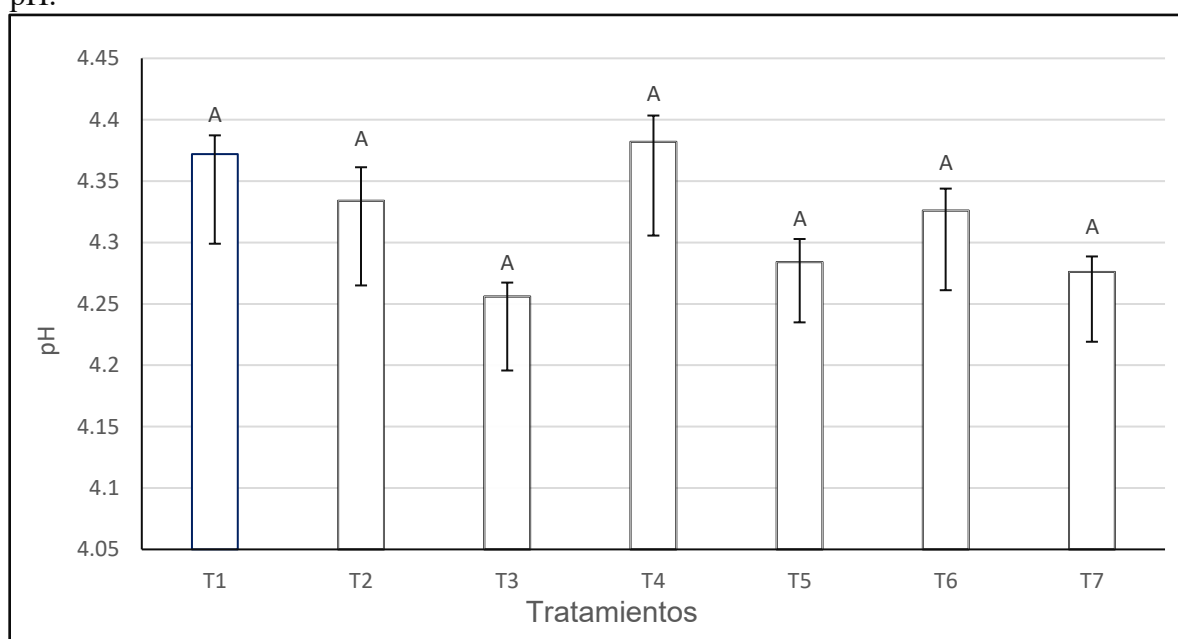


Figura 5.- Efecto del uso de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix) más Diatomix (Dmix) aplicadas semanalmente sobre el (pH) de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tipo saladette EL CID F1. Los valores representan la media y la barra el error estándar. Las distintas letras sobre las barras indican que no hay diferencias significativas entre tratamientos, según la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

No existe diferencia estadística sobre la interacción del (Ca^{++}) y (Si) en la producción de ácidos orgánicos, tan solo diferencias numéricas entre los tratamientos del experimento. La literatura menciona algunos aspectos similares de importancia por ejemplo:

Carbajal-Vazquez et al., (2023) evaluaron distintas dosis de Si (SiO_2) (0, 75 y 150 mgL^{-1}) y NaCl (0,50 y 100 mM) reportan que la aplicación foliar de si (75 mgL^{-1}) disminuyó significativamente el pH de la fruta en un 0.6%, se obtuvieron rangos de pH (4.08-4.10) lo

que indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, siendo similares los resultados obtenidos en este experimento. Gonzales-Moscoso et al., (2019) obtuvieron que el pH de frutos de tomates maduros no se alteró aplicando nanopartículas de dióxido de silicio (NPs de SiO_2) sin embargo mencionan que el pH se redujo en un 3.45-4.99% en interacción con fuentes de arsénico orgánico. También Cázares-Flores et al. (2023) reportaron que la aplicación de (Si) a tomate en suelo a dosis de (0 , 20, 30 y 50 mg L^{-1}) todas ocasionaron una disminución del 4% en el pH comparándolo con el testigo (0 mgL^{-1}), lo cual se traduce como ninguna diferencia estadística en el experimento. En postcosecha trabajaron sumergiendo los tomates a tinajas con concentraciones de CaCl_2 (0.5%, 2.5% y 4.5%) además de agua destilada como testigo, y demostrando que los tratamientos con la dosis más alta de CaCl_2 mostraban el mayor porcentaje de pH en un lapso de 0 a 42 días de tratamiento. Lo que nos da a entender que el momento de cosecha (madurez) tiene mucha importancia al momento de evaluar este parámetro del fruto, ya que está relacionado directamente con la síntesis de algunos ácidos orgánicos, a su vez estos no tienen mucha relación con la aplicación conjunta de Calciomix y Diatomix.

Tabla 5.- Propiedades físicas de plantas y frutos de tomate en respuesta a aplicaciones de Calciomix (Camix) vía drench y Diatomix (Dmix) vía foliar aplicadas en gramos por litro (g L⁻¹). (T1=Testigo sin aplicación; T2 = 0.25 g L⁻¹ Camix + 0.25 g L⁻¹ Dmix; T3 = 0.5 g L⁻¹ Camix + 0.5 g L⁻¹ Dmix, T4=0.75 g L⁻¹ Camix + 1 g L⁻¹ Dmix, T5=1.0 g L⁻¹ Camix + 2 g L⁻¹ Dmix, T6=1.25 g L⁻¹ Camix + 3 g L⁻¹ Dmix, T7=1.5 g L⁻¹ Camix + 4 g L⁻¹ Dmix).

Tratamiento	Dímetro de tallo	Tamaño de hoja (cm)	Tasa de crecimiento (cm/semana)	Peso de fruto(g)
T1	1.43 ± 0.14 ab	41.16 ± 40.29 a	5.56 ± 1.53 ab	120.94 ± 62.44 a
T2	1.45 ± 0.09 ab	43.83 ± 63.61 a	8.05 ± 4.94 a	113.4 ± 225.52 a
T3	1.47 ± 0.10 ab	47.50 ± 13.67 a	4.96 ± 2.31 b	122.57 ± 45.79 a
T4	1.39 ± 0.11 ab	40.50 ± 31.78 a	4.83 ± 4.49 b	115.58 ± 98.79 a
T5	1.48 ± 0.08 ab	45.33 ± 32.11 a	6.28 ± 4.02 ab	114.13 ± 127.73 a
T6	1.62 ± 0.29 a	45.866 ± 43.59 a	6.03 ± 3.50 ab	122.02 ± 113.08 a
T7	1.35 ± 0.14 b	44.16 ± 70.03 a	6.5 ± 3.86 ab	106.69 ± 111.39 a

Los valores representan la media ± desviación estándar. Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencia estadística significativa de acuerdo a la prueba LSD de Fisher ($p \leq 0.05$).

Los resultados presentados en la Tabla 5 muestran que la aplicación combinada de (Ca⁺⁺) y (Si) influyó de manera diferenciada en las variables morfológicas y productivas evaluadas. En el diámetro del tallo, el tratamiento T6 (1.25 g L⁻¹ Camix + 3 g L⁻¹ Dmix) presentó el valor promedio más alto (1.62 ± 0.29 cm), diferenciándose estadísticamente del tratamiento T7, lo que sugiere un efecto positivo del (Ca⁺⁺) y (Si) sobre el fortalecimiento estructural del tallo, posiblemente asociado con una mayor deposición de compuestos estructurales en la pared celular.

En cuanto al tamaño de hoja, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, lo que indica que la combinación de del (Ca⁺⁺) y (Si) no modificó de manera apreciable esta variable bajo las condiciones experimentales evaluadas. Resultados similares fueron reportados por Bravo-Salvatierra et al. (2024), quienes evaluaron aplicaciones foliares de (Si) en distintos intervalos y dosis, encontrando que el número y tamaño de hojas no presentaron diferencias significativas a los 30 y 60 días después de la aplicación.

Respecto a la tasa de crecimiento, el tratamiento T2 mostró el valor promedio más alto (8.05 ± 4.94), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos T3 y T4, lo que sugiere que

dosis moderadas de (Ca^{++}) y (Si) podrían favorecer procesos fisiológicos asociados con la elongación celular y el crecimiento vegetativo inicial. Este comportamiento concuerda parcialmente con lo reportado por Zhaozhuang Li et al. (2022), quienes demostraron que aplicaciones foliares de silicato de sodio incrementaron el diámetro del tallo hasta en un 29 % en comparación con aplicaciones radiculares, atribuyendo este efecto a una mayor eficiencia en la absorción y translocación del (Si).

En relación con el peso de fruto, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, aunque se observó una tendencia a valores ligeramente superiores en los tratamientos T3 y T6. Este comportamiento podría estar asociado a la limitada movilidad del (Ca^{++}) y hacia los frutos y a la interacción del silicio con otros factores fisiológicos y ambientales. Sakeena Tul-Ain Haider et al. (2024) reportaron que aplicaciones foliares de distintas fuentes de Ca^{++} (CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, CaCO_3 y CaCl_2) al 2 % incrementaron la altura de planta, destacando el cloruro de calcio como la fuente más eficiente; sin embargo, dichos efectos no siempre se traducen en incrementos directos en el peso del fruto.

Por otro lado, González-Moscoso et al. (2022) señalaron que la aplicación de nanopartículas de dióxido de silicio (NPs SiO_2) en interacción con arsénico orgánico puede reducir el rendimiento del fruto hasta en un 13.36 %, debido a alteraciones fisiológicas y a la interrupción en la acumulación de biomasa ocasionadas por la toxicidad del arsénico. Esto resalta que la respuesta del cultivo al (Si) depende fuertemente del contexto fisiológico y ambiental en el que se aplique.

En conjunto, los resultados indican que la aplicación combinada de (Ca^{++}) y (Si) puede favorecer variables estructurales y de crecimiento en plantas de tomate; sin embargo, su efecto sobre el peso del fruto no fue concluyente bajo las condiciones del presente estudio, lo que sugiere la necesidad de continuar evaluando dosis, formas de aplicación y etapas fenológicas para maximizar su impacto productivo.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten concluir que la aplicación combinada de (Ca^{++}) y (Si), mediante Calciomix vía drench y Diatomix vía foliar, constituye una estrategia agronómica viable para mejorar atributos físicos y de conservación del fruto de tomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.) cultivar ‘El Cid F1’, bajo las condiciones evaluadas.

1. La firmeza del fruto fue el parámetro de calidad que mostró la respuesta más consistente a la suplementación con (Ca^{++}) y (Si). Los tratamientos T2 (0.25 g L^{-1} Camix + 0.25 g L^{-1} Dmix) y T6 (1.25 g L^{-1} Camix + 3 g L^{-1} Dmix) incrementaron significativamente la firmeza respecto al testigo, lo que sugiere una mejora en la integridad estructural del fruto y, en consecuencia, un mayor potencial de conservación poscosecha.
2. La respuesta observada en la firmeza no fue estrictamente dependiente de la dosis, ya que dosis intermedias y altas no generaron incrementos proporcionales. Esto indica la existencia de un umbral mínimo efectivo de Ca^{++} + Si, a partir del cual aumentos adicionales en la concentración producen únicamente variaciones marginales, sin beneficios agronómicos adicionales relevantes.
3. En contraste, las variables de calidad interna evaluadas como sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$), pH y contenido de vitamina C, no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Esto indica que, bajo las condiciones del presente estudio, la suplementación con (Ca^{++}) y (Si) no modifica de manera sustancial estos atributos, los cuales parecen estar más asociados a factores genéticos, ambientales y al estado de madurez del fruto que a la nutrición mineral suplementaria.
4. A nivel morfológico, la aplicación combinada de Ca^{++} + Si mostró efectos positivos sobre el diámetro del tallo y la tasa de crecimiento, particularmente con dosis moderadas, lo que sugiere un fortalecimiento estructural de la planta y una posible mejora en la tolerancia a factores de estrés; sin embargo, estos efectos no se tradujeron en incrementos significativos en el peso del fruto.

En términos generales, el (Ca^{++}) y el (Si) desempeñaron funciones clave como elementos estructurales y moduladores fisiológicos, contribuyendo al reforzamiento de la pared celular,

la estabilidad de los tejidos y la protección del fruto, sin alterar negativamente su calidad interna.

Finalmente, se concluye que la incorporación de (Ca^{++}) y (Si) como complemento de un programa de nutrición balanceada es recomendable, especialmente a dosis bajas o moderadas, ya que permite mejorar la firmeza y el potencial poscosecha del tomate sin afectar parámetros sensoriales críticos. No obstante, se sugiere continuar evaluando su efecto en diferentes etapas fenológicas, condiciones ambientales y sistemas de producción, así como su interacción con tratamientos poscosecha, para optimizar su uso agronómico.

5.1 REFERENCIAS.

Agrios, G. N. (2024). Fitopatología (6.^a ed.). Editorial Limusa / Elsevier.

Añibarro-Ortega, M.; Pereira, A.; Pinela, J.; Liava, V.; Chaski, C.; Alexopoulos, A.A.; Barros, Pinela J., Liava, V., Chaski C. & Petropoulos S.A. Enhancing Tomato Growth and Quality Under Deficit Irrigation with Silicon Application. *Agronomy* (2025), 15, 682.
<https://doi.org/10.3390/agronomy15030682>

Bravo Salvatierra, J. X., Sánchez Candelario, J. E., Suarez Chichande, V. L., & Llerena Ramos, L. T. (2024). Influencia de diferentes concentraciones de silicio sobre el desarrollo fisiológico, morfológico y productivo del cultivo de zanahoria (*Daucus carota*). *Código Científico Revista De Investigación*, 5(E4), 831–842.

<https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE4/560>

Carl E. Sams, Preharvest factors affecting postharvest texture, *Postharvest Biology and Technology*, Volume 15, Issue 3, (1999), Pages 249-254,

[https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00098-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00098-2).

Cano-Hernández R, Martínez-Damián M.T Moreno-Pérez EC, Sánchez-del Castillo F, Cruz-Álvarez, o, Rodríguez-Roque MJ (2019). Efecto de biorreguladores del crecimiento sobre indicadores de calidad fisicoquímica en frutos de tomate cultivados en invernadero. *ITEA- Información Técnica Económica Agraria* 115(2): 120-133

<https://doi.org/10.12706/itea.2018.032>

Carbajal-Vázquez VH, Gómez-Merino FC, Alcántar-González G, Herrera-Corredor JA, Contreras-Oliva A, Trejo-Téllez LI. (2023). Sodium chloride and silicon affect yield and quality of tomato fruits. 57(3) 13-14.

<https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i3.2967>

Castellanos, J. Z. (2024). Manual de producción de tomate en invernadero. Editorial Intagri. Cázarez-Flores, Luz Llarely, Angulo-Castro, Azareel, Vega-Gutiérrez, Tomás Aarón, Ayala-Tafoya, Felipe, Aguilar-Quiñonez, José Antonio, & Román-Román, Leonardo. (2023). Producción de tomate en respuesta a dosis de silicio. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(3), e3851. 6-7.

<https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3851>

Centro de Investigación en Sanidad Vegetal [CISV]. (2026). Protocolos avanzados en nutrición y manejo integrado de cultivos intensivos. Editorial Agro-Técnica Profesional.

Consortio de Investigación en Agrotecnología [CIAT]. (2026). Dinámica del microclima y control metabólico en la producción hortícola bajo cubierta. Ciudad de México: Serie de Guías Técnicas de Precisión.

Coskun, D., Deshmukh, R., Sonah, H., Menzies, J.G., Reynolds, O., Ma, J.F., Kronzucker, H.J. & Bélanger, R.R. (2019), The controversies of silicon's role in plant biology. *New Phytol*, 221: 67-85.

<https://doi.org/10.1111/nph.15343>

Daundasekera, W. A. M., Liyanage, G. L. S. G., Wijerathne, R. Y. & Pieris, R. (2015) Preharvest Calcium chloride Application Improves Postharvest Keeping Quality of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) *Ceylon Journal of Science (Bio. Sci.)* 44 (1): 55-60, 2015

<http://dx.doi.org/10.4038/cjsbs.v44i1.7341>

Dolhaji, N.H., Rasid, N.H.A.M., Tarmizi, N.H.A., Shampazuraini, S. & Nur Suraya, A. (2024). A study on postharvest calcium treatment on chilling injury of tomato fruit. 8(4). 127 - 135

[https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(S4\).19](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(S4).19)

Epstein, E. (2009), Silicon: its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology*, 155: 155-160.

<https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x>

FAO. (2026). Manual de buenas prácticas en el manejo integrado de plagas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Faroutine, Georgy, Arteaga-Ramírez, Ramón, Pineda-Pineda, Joel, & Vázquez-Peña, Mario Alberto. (2023). Effect of calcium silicate and moisture content of the substrate on the growth and productivity parameters of cucumber. *Chilean journal of agricultural research*, 83(3), 334-346.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392023000300334>

García, M. C., Jaramillo, J. E. & Rodríguez, V. P. (2012). Poscosecha de tomate. 39-40.

<http://hdl.handle.net/20.500.12324/1349>

Délices, Gino, Leyva Ovalle, Otto Raúl, Mota-Vargas, Claudio, Núñez Pastrana, Rosalía, Gámez Pastrana, Roberto, Meza, Pablo Andrés, & Serna-Lagunes, Ricardo. (2019). Biogeografía del tomate *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (*Solanaceae*) en su centro

de origen (Sur de América) y de domesticación (México). *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 1023-1036.

<https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i4.33754>

Solanum lycopersicum L. in GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy.

<https://doi.org/10.15468/39omei>

Gómez, V. B. 2014. El calcio y su asimilación por parte de las plantas. *Dialnet*, 58-63.

González-Moscoso, M., Martínez-Villegas, N., Cadenas-Pliego, G., & Juárez-Maldonado, A. (2022). Effect of Silicon Nanoparticles on Tomato Plants Exposed to Two Forms of Inorganic Arsenic. *Agronomy*, 12(10), 2366.

<https://doi.org/10.3390/agronomy12102366>

González-Moscoso, M., Martínez-Villegas, N. V., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., Rivera-Cruz, M. D. C., González-Morales, S., & Juárez-Maldonado, A. (2019). Impact of Silicon Nanoparticles on the Antioxidant Compounds of Tomato Fruits Stressed by Arsenic. *Foods (Basel, Switzerland)*, 8(12), 612.

<https://doi.org/10.3390/foods8120612>

Haider, S. T.-A., Anjum, M. A., Shah, M. N., Hassan, A. U., Parveen, M., Danish, S., Alharbi, S. A., & Alfarraj, S. (2024). Deciphering the Effects of Different Calcium Sources on the Plant Growth, Yield, Quality, and Postharvest Quality Parameters of 'Tomato'. *Horticulturae*, 10(9), 1003.

<https://doi.org/10.3390/horticulturae10091003>

Haleema, B., Shah, S. T., Basit, A., Hikal, W. M., Arif, M., Khan, W., Said-Al Ahl, H. A. H., & Fhatuwani, M. (2024). Comparative Effects of Calcium, Boron, and Zinc Inhibiting Physiological Disorders, Improving Yield and Quality of *Solanum lycopersicum*. *Biology*, 13(10), 766.

<https://doi.org/10.3390/biology13100766>

Instituto de Tecnología Hortícola Aplicada [ITHA]. (2026). Optimización de la radiación y eficiencia metabólica en Solanáceas bajo ambiente protegido. Ciudad de México: Boletín Técnico de Fisiología Vegetal.

INTAGRI, 2018. Funciones del Calcio (Ca) en la Nutrición de los Cultivos. Mexico.

<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/funciones-del-calcio-en-la-nutricion-de-los-cultivos>

Jones, J. B. (2024). *Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse, and Home Garden* (3.^a ed.). CRC Press.

Li, Z., Liu, Z., Yue, Z., Wang, J., Jin, L., Xu, Z., Jin, N., Zhang, B., Lyu, J., & Yu, J. (2022). Application of Exogenous Silicon for Alleviating Photosynthetic Inhibition in Tomato Seedlings under Low-Calcium Stress. *International journal of molecular sciences*, 23(21), 13526.

<https://doi.org/10.3390/ijms232113526>

LIM C. HO, PHILIP J. WHITE, A Cellular Hypothesis for the Induction of Blossom-End Rot in Tomato Fruit, *Annals of Botany*, Volume 95, Issue 4, March 2005, Pages 571–581, <https://doi.org/10.1093/aob/mci065>

Jian Feng Ma, Naoki Yamaji, A cooperative system of silicon transport in plants, *Trends in Plant Science*, Volume 20, Issue 7, (2015), Pages 435-442, ISSN 1360-1385.

<https://doi.org/10.1007/s11104-013-1911-x>

Kader, A. A. (2026). *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (4.^a ed.). Editorial Universidad de California.

Marín, L. M. (2017). MANUAL TÉCNICO DEL CULTIVO DE TOMATE. (I. Laura Ramírez Cartín, Ed.) 129-130.

<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>

Marschner, P. (Ed.). (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.

Mazumder, M. N. N., Misran, A., Ding, P., Wahab, P. E. M., & Mohamad, A. (2021). Preharvest Foliar Spray of Calcium Chloride on Growth, Yield, Quality, and Shelf-Life Extension of Different Lowland Tomato Varieties in Malaysia. *Horticulture*, 7(11), 466.

<https://doi.org/10.3390/horticulturae7110466>

Mouhamed, B. A., & Kasnazany, S. A. S. (2024). Impact of Harvesting Stages and Postharvest Treatments on the Quality and Storability of Tomato Fruits (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Sangaw. *Coatings*, 14(9), 1143

<https://doi.org/10.3390/coatings14091143>

Nuez, F. (2024). *El cultivo del tomate* (5.^a ed.). Ediciones Mundi-Prensa.

Pinedo-Guerrero, Z. H., Cadenas-Pliego, G., Ortega-Ortiz, H., González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., Valdés-Reyna, J., & Juárez-Maldonado, A. (2020). Form of Silica

Improves Yield, Fruit Quality and Antioxidant Defense System of Tomato Plants under Salt Stress. *Agriculture*, 10(9), 367.

<https://doi.org/10.3390/agriculture10090367>

LIM C. HO, PHILIP J. WHITE, A Cellular Hypothesis for the Induction of Blossom-End Rot in Tomato Fruit, *Annals of Botany*, Volume 95, Issue 4, March 2005, Pages 571–581,

<https://doi.org/10.1093/aob/mci065>

Rodríguez-Huerta, L. (2024). Morfofisiología y nutrición vegetal del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo sistemas de producción intensiva. Editorial Universitaria Agraria.

Salazar, J. F. (2019). El Silicio (Si) como mineral multifuncional en la agricultura. Los Ríos-Ecuador.

Reséndiz-Melgar, C. A. (2024). Prácticas culturales y manejo del dosel en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Editorial Iberoamericana de Horticultura.

<https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/51f82bba-ad73-4478-b7d4-38dca3e2e543/content>

SADER. (2016). El *Solanum lycopersicum*, es el nombre científico de la hortaliza mundialmente conocida como tomate, el prefijo “ji” del término jitomate, indica rojo en lengua náhuatl. 3-4.

<https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tomate-o-jitomate#:~:text=El%20Solanum%20lycopersicum%2C%20es%20el,indica%20rojo%20en%20lengua%20n%C3%A1huatl>.

Sosa, L. M. (2007). Producción de jitomate en invernadero. Un campo mexiquense más productivo, 23-24.

<https://icamex.edomex.gob.mx/sites/icamex.edomex.gob.mx/files/files/publicaciones/2013/2013%20JITOMATE.pdf>

Velázquez-Alcaraz, T. J. (2024). Tecnología de la producción de hortalizas en ambiente protegido. Editorial Universitaria.

Wang, L.; Jin, N.; Xie, Y.; Zhu, W.; Yang, Y.; Wang, J.; Lei, Y.; Liu, W.; Wang, S.; Jin, L.; Yu J. and Lyu J. Improvements in the Appearance and Nutritional Quality of Tomato Fruits Resulting from Foliar Spraying with Silicon. *Foods* (2024), 13, 223.

<https://doi.org/10.3390/foods13020223>

Wu, C., Xia, N., & Wang, W. (2025). Exogenous Calcium on Calcium Accumulation, Uptake and Utilization in Tomato. *Horticulturae*, 11(8), 986

<https://doi.org/10.3390/horticulturae11080986>

Yang, Y., Zhu, W., Jin, N., Liu, W., Lie, Y., Wang, L., Jin, L., Wang, S., Yu, J., & Lyu, J. (2024). Exogenous silicon applied at appropriate concentrations is effective at improving tomato nutritional and flavor qualities. *Food chemistry: X*, 22, 101306.

<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101306>

Zhang, F.; Liu, Y.; Liang, Y.; Dai, Z.; Zhao, Y.; Shi, Y.; Gao, J.; Hou, L.; Zhang, Y.; Ahammed, G.J. Improving the Yield and Quality of Tomato by Using Organic Fertilizer and Silicon Compared to Reducing Chemical Nitrogen Fertilization. *Agronomy* (2024), 14, 966

<https://doi.org/10.3390/agronomy14050966>