

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



Evaluar la Calidad del Pepino (*Cucumis Sativus* L.) y su Respuesta Agronomica en
Relación al uso de Calcio y Silicio Combinados

Por:

ADRIAN BACA GUTIERREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

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

Evaluar la Calidad del Pepino (*Cucumis Sativus* L.) y su Respuesta Agronomica en
Relación al uso de Calcio y Silicio Combinados

Por:

ADRIAN BACA GUTIERREZ

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


M.C. CARLOS ALBERTO GABRIEL ZUNUN
Asesor Principal Externo


DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR
Coasesor


DR. JOSE ALFREDO HERNANDEZ MARURI
Coasesor


DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía



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



Adrian Baca Gutierrez

DEDICATORIAS

A mis padres

Para mi jefa M. Reynamar Gutierrez Maya y mi jefe Jesus Baca, porque gracias a ustedes, hasta el día de hoy estoy donde estoy y siempre me apoyaron en cada una de mis decisiones y siempre me dieron sus consejos que es lo más valioso para mí, siempre están para mí motivándome a ser una mejor persona día con día, diciéndome que me supere y que nunca deje de soñar en grande y que todas mis metas que me proponga tarde o temprano las voy a cumplir, por eso y más el día de hoy este logro no es solo mío sino también de ustedes.

A mis hermanas

Para mis hermanas, **Meli, Fabi y Yani**, ustedes que siempre han estado para mí dándome consejos, motivándome a ser un hombre de bien y diciéndome que nunca me conforme con nada que siempre aspire a más que tengo todo el potencial, para lograr lo que yo me proponga y confían en mí para el día de mañana logre todas las cosas en un momento les conté.

A mis hermanos

Para mis hermanos, **Hugo, Beto, Jesus y Cesar**, que de alguna forma directa o indirectamente sé que siempre han estado presentes y que a pesar de la distancia que el destino nos tenía preparada, este logro es para ustedes también.

A mis sobrinos

Para cada uno de ustedes, que son el motor de sus papas, quiero verlos lograr cosas grandes en lo que ustedes decidan, este logro también es suyo, para donde quiera que los lleve su vida nunca duden en llamarme o pedirme algo, y si en ustedes esta tomar mi ejemplo.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por dejarme llegar con bien al lugar donde estoy, por cuidar de mi en cada momento y nunca dejarme solo.

A mi **alma terra mate, UAAAN**, la mejor universidad del mundo por darme la oportunidad de formar parte de ella y llenarme de conocimiento y enseñanzas que me llevo conmigo para toda la vida y permitirme conocer personas que se convirtieron en mi familia foránea.

Al **Dr. José Antonio González Fuentes** por confiar en mi para este proyecto y brindarme enseñanzas, conocimientos y herramientas que no solo van a servir para esta tesis sino para mi futuro también.

A **mi cachetitos preciosa (Hannaely Islas Hernandez)**, por siempre estar para mi motivándome, cuidándome y diciéndome que no me rindiera que yo podía con todo, por todo su apoyo emocional y físico dentro y fuera de la universidad y hoy esta meta y este logro lo puedo culminar por ayuda también de ella.

A **todos esos buenos amigos, maestros y conocidos** que en algún momento de mi vida me dieron un consejo, compartieron de su conocimiento y me ayudaron con alguna actividad, situación o problema que se me presentaba.

A **Leonardo Gutierrez Garcia** que desde el primer día y hasta hoy siempre estuvo motivando y diciendo que no se nos olvidara a que venimos y todo lo que está por delante y que vamos a lograr cosas grandes.

A **Alondra Garcia Cruz** por su apoyo y compartir sus habilidades para poder terminar este proyecto.

CONTENIDO

Contenido

DEDICATORIAS.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
CONTENIDO.....	IV
INDICE DE FIGURAS	VII
INDICE DE TABLAS	VIII
RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. HIPÓTESIS.....	12
3. OBJETIVOS	12
3.1 General.	12
3.2 Específicos.	12
4. REVISIÓN DE LITERATURA	13
4.1 Generalidades del pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>).....	13
4.1.1 Clasificación taxonómica.....	14
4.1.2 Descripción botánica.....	15
4.1.2.1 Sistema radicular.....	15
4.1.2.2 Tallo.....	15
4.1.2.3 Hojas.....	15
4.1.2.4 Flores.....	16
4.1.2.5 Fruto.....	16
4.1.2.6 Cavity y huecos de la semilla.....	16
4.1.3 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>)	17
4.1.3.1 Requerimientos de suelo	17
4.1.3.2 pH	17
4.1.3.3 Requerimientos climáticos.....	17
4.1.3.4 Riego.....	18
4.1.3.5 Tutorio.....	18
4.1.3.6 Poda de formación	18
4.1.3.7 Polinización	19
4.1.4 Plagas.....	19
4.1.4.1 Mosca Blanca (<i>Bemisia tabaci Gennadius</i>).....	19
4.1.4.2 Trips de las Flores (<i>Frankliniella occidentalis Pergande</i>).....	19

4.1.4.3 Araña Roja (<i>Tetranychus urticae</i> Koch)	19
4.1.4.4 Minador de la Hoja (<i>Liriomyza</i> spp.)	20
4.1.5 Enfermedades	20
4.1.5.1 Mildiú Velloso (<i>Pseudoperonospora cubensis</i> Berk. & Curt. Rost)	20
4.1.5.2 Cenicilla o Polvillo Blanco (<i>Podosphaera xanthii</i> Castagne)	20
4.1.5.3 Virus del Mosaico Amarillo de la Calabaza Zucchini (ZYMV)	20
4.1.5.4 Podredumbre Radicular y del Cuello (<i>Pythium</i> spp.)	21
5. MATERIALES Y MÉTODOS	22
5.1 Material genético utilizado.	22
5.2 Ubicación y características del sitio experimental	22
5.3 Establecimiento del cultivo	22
5.4 Tutorio	22
5.5 Manejo nutricional y riegos	23
5.6 Manejo de plagas y enfermedades	24
5.7 Eliminación de brotes axilares	24
5.8 Poda de hoja	25
5.9 Eliminación de frutos abortados	25
5.10 Diseño experimental	26
5.11 Tratamientos evaluados	26
5.12 Diámetro del tallo	27
5.13 Tasa de crecimiento	27
5.14 Altura (m)	28
5.15 Longitud del fruto (cm)	28
5.16 Diámetro ecuatorial (cm)	28
5.17 Diámetro polar (cm)	29
5.18 Peso (g)	29
5.19 Sólidos solubles totales (°Brix)	29
5.20 pH del fruto	30
5.21 Firmeza (Kg/cm ²)	30
5.22 Clorofila total (clorofila A y clorofila B)	31
5.23 Acidez titulable (% de ácido cítrico)	32
5.24 Vitamina c (mg/100 g de muestra)	33
5.25 Análisis de datos	34
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35

6.1 Diámetro de tallo	35
6.2 Tasa de crecimiento	38
6.3 Altura de la planta.....	41
6.4 Longitud del fruto.....	44
6.5 Diámetro ecuatorial del fruto	47
6.6 Diámetro polar del fruto	50
6.7 Peso del fruto	53
6.8 Solidos Solubles Totales	56
6.9 pH del fruto	59
6.10 Firmeza del fruto	62
6.11 Clorofila total.....	64
6.12 Clorofila A.....	67
6.13 Clorofila B	70
6.14 Acidez titulable	73
6.15 Vitamina C	76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diámetro de tallo.....	35
Figura 2: Tasa de crecimiento	38
Figura 3: Altura de la planta	41
Figura 4: Longitud del fruto.....	44
Figura 5: Diámetro ecuatorial del fruto.....	47
Figura 6: Diámetro polar del fruto	50
Figura 7: Peso del fruto	53
Figura 8: Solidos Solubles Totales	56
Figura 9: pH del fruto	59
Figura 10: Firmeza del fruto	62
Figura 11: Clorofila total.....	64
Figura 12:Clorofila A	67
Figura 13: Clorofila B	70
Figura 14: Acidez titulable	73
Figura 15: Vitamina C	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica el cultico del pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	14
Tabla 2: Soluciones nutritivas Steiner	23
Tabla 3: Tratamientos evaluados	26

RESUMEN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia económica a nivel mundial debido a su alta demanda y valor comercial. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes dosis de calcio y silicio aplicados mediante drench y aspersión foliar sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del pepino variedad Centauro F1 cultivado bajo condiciones de invernadero. Se establecieron siete tratamientos, incluyendo un Control sin aplicación, utilizando Calciomix como fuente de calcio vía drench y Diatomix como fuente de silicio vía foliar.

Las variables evaluadas fueron diámetro de tallo, altura de planta, tasa de crecimiento, longitud de fruto, diámetro ecuatorial y polar, peso de fruto, sólidos solubles totales (°Brix), pH, firmeza, clorofila total, acidez titulable y vitamina C. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los resultados mostraron respuestas diferenciadas entre tratamientos. La aplicación combinada de calcio y silicio favoreció variables relacionadas con la calidad del fruto, particularmente firmeza, contenido de vitamina C y sólidos solubles. Sin embargo, en variables vegetativas como diámetro de tallo, el tratamiento Control presentó los valores más altos. La mayor tasa de crecimiento se registró en el tratamiento T4, indicando una respuesta positiva a dosis intermedias de calcio y silicio.

Se concluye que la aplicación conjunta de calcio y silicio constituye una alternativa viable para mejorar la calidad del fruto de pepino bajo condiciones de cultivo protegido, aunque la respuesta depende de la dosis y de la variable evaluada.

Palabras clave: *Cucumis sativus* L., calcio, silicio, calidad de fruto, cultivo protegido.

1. INTRODUCCION

El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia a nivel mundial, debido a su alta demanda en consumo fresco y su valor nutricional, destacando su contenido de agua, vitaminas y compuestos antioxidantes (Infoagro, 2021). Esta especie pertenece a la familia de las cucurbitáceas y se caracteriza por su amplia adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y sistemas de producción, lo que ha favorecido su expansión a nivel global. En particular, las variedades híbridas de crecimiento indeterminado han cobrado relevancia por su alto potencial productivo, calidad de fruto y adaptación a sistemas de producción protegida, lo cual permite obtener cosechas continuas y de alta calidad comercial (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

El cultivo bajo cubierta permite optimizar las condiciones ambientales que requiere el pepino para su adecuado crecimiento y desarrollo. Entre los factores más importantes se encuentran la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar, los cuales pueden ser regulados para mantener un ambiente favorable durante todo el ciclo del cultivo. Esta capacidad de control ambiental no solo favorece el incremento del rendimiento, sino también mejora la calidad del fruto y reduce la incidencia de plagas y enfermedades (Resh, 2022). Además, el uso de estructuras protegidas permite extender los periodos de producción, lo que resulta en una mayor estabilidad en el suministro del producto al mercado.

En este contexto, los sistemas hidropónicos han surgido como una alternativa eficiente para el manejo de la nutrición vegetal, ya que permiten un suministro controlado de agua y nutrientes de acuerdo con las necesidades específicas del cultivo. A diferencia de los sistemas tradicionales en suelo, estos sistemas reducen las pérdidas por lixiviación y mejoran la eficiencia en el uso de fertilizantes, contribuyendo así a una producción más sostenible (Savvas & Gruda, 2018). Asimismo, el uso de sustratos inertes o parcialmente orgánicos facilita el control de variables como la conductividad eléctrica y el pH, factores clave para la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo radicular de las plantas.

En cuanto a la nutrición vegetal, el calcio (Ca^{++}) es un elemento esencial que desempeña múltiples funciones estructurales y fisiológicas en las plantas. Este nutriente participa en

la formación de paredes celulares mediante la estabilización de la pectina en la lámina media, lo que proporciona rigidez y resistencia a los tejidos vegetales. Además, el calcio es fundamental para mantener la integridad de las membranas celulares y actúa como un mensajero secundario en diversas rutas metabólicas (Marschner, 2012). Su deficiencia puede provocar desórdenes fisiológicos importantes, como la pudrición apical, que afecta directamente la calidad y comercialización de los frutos.

Por otro lado, el silicio (Si), aunque no es considerado un elemento esencial para todas las especies vegetales, ha demostrado tener efectos benéficos significativos en el crecimiento y desarrollo de diversos cultivos, incluyendo el pepino. El silicio contribuye al fortalecimiento de las paredes celulares mediante la deposición de sílice, lo que mejora la resistencia mecánica de la planta frente a factores de estrés (Swain & Rout, 2017). Asimismo, se ha reportado que este elemento incrementa la tolerancia al estrés abiótico, como la salinidad y la sequía, así como al estrés biótico causado por patógenos e insectos (Epstein, 1999). Además, el silicio puede mejorar la eficiencia fotosintética y la absorción de nutrientes, lo que se traduce en un mejor desempeño agronómico del cultivo.

La aplicación de calcio y silicio mediante distintas vías, como la aplicación directa al sustrato (drench) y la aspersión foliar, representa una estrategia agronómica eficiente para mejorar el crecimiento y desarrollo del cultivo de pepino. La aplicación vía drench permite que los nutrientes sean absorbidos directamente por el sistema radicular, facilitando su transporte hacia los tejidos en crecimiento. Por otro lado, la aplicación foliar constituye una alternativa rápida para corregir deficiencias nutricionales y suministrar elementos en momentos críticos del desarrollo del cultivo (Fernandez & Eichert, 2009).

En este sentido, el uso de productos comerciales como Calciomix (CaO) y Diatomix (SiO₂) permite la aplicación eficiente de calcio y silicio en concentraciones adecuadas, lo que puede influir positivamente en variables agronómicas como el crecimiento vegetativo, la firmeza del fruto, la vida de anaquel y la resistencia a enfermedades. Diversos estudios han demostrado que la combinación de estos elementos puede generar efectos sinérgicos, mejorando la estructura celular y la capacidad de respuesta de la planta frente a condiciones adversas (Kaya et al., 2006).

2. HIPOTESIS

La aplicación de Calciomix (drench) y Diatomix (foliar) incrementara el rendimiento y calidad del fruto del pepino.

3. OBJETIVOS

3.1 General.

Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de los productos Calciomix (vía drench) y Diatomix (vía foliar), en el crecimiento vegetativo y calidad del fruto en pepino.

3.2 Específicos.

Determinar el efecto de la aplicación de Diamotix y Calciomix en el crecimiento y el rendimiento del cultivo de pepino.

Comparar el efecto de la aplicación de diferentes dosis de Calciomix y Diatomix en el cultivo de pepino.

Evaluar el efecto de las aplicaciones de Diatomix y Calciomix en la calidad de fruto de pepino.

4. REVISION DE LITERATURA

4.1 Generalidades del pepino (*Cucumis sativus* L.)

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza perteneciente a la familia Cucurbitaceae que destaca por su importancia económica y alimentaria a nivel mundial. Su origen se sitúa en el sur de Asia, particularmente en la región de la India, donde se tienen registros de su domesticación desde hace más de 3,000 años. Debido a su adaptación a diversas condiciones ambientales y a la aceptación de sus frutos en el mercado internacional, actualmente se cultiva en regiones tropicales, subtropicales y templadas de todo el mundo (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

En México, el pepino representa una de las hortalizas de mayor relevancia dentro del sector agrícola debido a su contribución a la producción nacional, generación de empleo y participación en el comercio exterior (Siacon, 2020). En la actualidad, representa uno de los cultivos hortícolas más importantes y dinámicos a nivel global, posicionándose de manera consistente entre las cinco hortalizas de mayor producción y consumo mundial junto al tomate (*Solanum lycopersicum*) y la cebolla (*Allium cepa*) (Kaiser-Porras et al., 2023).

Este cultivo destaca no solo por su rentabilidad en los sistemas de producción intensiva, sino también por su valor nutricional. El fruto maduro está compuesto por aproximadamente un 95% de agua en su biomasa fresca, propiedad que le otorga un alto valor de hidratación y un bajo aporte calórico dentro de la dieta humana (Reyes-Pérez et al., 2023). Además de su importancia económica, el pepino posee valor nutricional debido a su elevado contenido de agua, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos. En investigaciones desarrolladas bajo sistemas hidropónicos se ha demostrado que el manejo nutricional puede modificar la calidad nutraceutica de los frutos, incrementando la concentración de compuestos antioxidantes y mejorando atributos relacionados con la calidad comercial (Díaz-Méndez et al., 2018).

Durante 2020 se establecieron aproximadamente 5,032 hectáreas, obteniéndose una producción cercana a 1.16 millones de toneladas. Asimismo, México se posicionó como uno de los principales exportadores de pepino a nivel mundial, destinando alrededor del 68 % de su producción al mercado estadounidense (Kaiser-Porras et al., 2023).

Cucumis sativus destaca por su plasticidad fenotípica y adaptabilidad, desarrollándose eficientemente tanto en sistemas de campo abierto como bajo esquemas de agricultura protegida (invernaderos y macrotúneles) (Fortis Hernández et al., 2013). Dentro de la producción comercial moderna en invernadero, la selección de materiales genéticos mejorados es un factor crítico. Un ejemplo de ello es el híbrido 'Centauro F1', un material comercial perteneciente al tipo de pepino americano (*Slicer*), caracterizado por su hábito de crecimiento indeterminado, alta precocidad y una marcada aptitud para el establecimiento bajo condiciones de agricultura protegida debido a su vigor radicular y foliar (Fortis Hernández et al., 2013; Zamora, 2017). Este híbrido se caracteriza por una alta eficiencia fotosintética y capacidad de amarre de frutos bajo cubiertas plásticas, respondiendo de manera sobresaliente a esquemas de nutrición vegetal tecnificada (Argentel-Martínez et al., 2025).

4.1.1 Clasificación taxonómica

El pepino (*Cucumis sativus* L.) pertenece a la familia Cucurbitaceae, una de las familias botánicas más importantes dentro de las hortalizas. Esta especie es considerada una planta anual de crecimiento rápido y constituye uno de los cultivos hortícolas más ampliamente distribuidos en el mundo debido a su importancia alimentaria y comercial.

Tabla 1 Clasificación taxonómica del cultivo del pepino (Cucumis sativus L.).

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Cucurbitales</i>
Familia	<i>Cucurbitaceae</i>
Género	<i>Cucumis</i>
Especie	<i>Cucumis sativus</i> L.

(Grumet et al., 2022)

La especie en estudio pertenece al género *Cucumis*, un grupo taxonómico de gran relevancia agrícola global que incluye cultivos de alta importancia económica como el melón (*Cucumis melo* L.) y el pepino (*Cucumis sativus* L.) (Morales Germán, 2005).

Dentro de la familia Cucurbitaceae, el pepino se caracteriza por presentar crecimiento rastrero o trepador, desarrollo simultáneo de estructuras vegetativas y reproductivas, y una gran variabilidad morfológica en hojas, flores y frutos (Liu et al., 2021).

4.1.2 Descripción botánica

4.1.2.1 Sistema radicular

El pepino (*Cucumis sativus* L.) desarrolla un sistema radicular superficial, conformado por una raíz principal pivotante que emite numerosas raíces secundarias y terciarias (Grumet et al., 2022).

El estudio de (Nuñez-Ambriz et al., 2025) en sistemas de producción protegida reportan que más del 80 % de la masa radicular activa se localiza en los primeros 25 a 30 cm de profundidad, lo que evidencia la dependencia del cultivo a una adecuada disponibilidad de humedad y nutrientes en esta zona del perfil radicular. Bajo condiciones favorables de aireación, humedad y fertilidad, algunas raíces pueden explorar profundidades mayores esta característica confiere al cultivo una elevada capacidad de absorción, pero también una alta sensibilidad a factores adversos como la compactación del suelo, el encharcamiento, la salinidad y el déficit hídrico (Enríquez-Acosta et al., 2023; Sun et al., 2026)

4.1.2.2 Tallo

El tallo es herbáceo, succulento y de crecimiento indeterminado. Presenta una estructura angular y pubescente, con entrenudos cuya longitud varía según la variedad y las condiciones de cultivo (CONABIO, 2005). En cada nudo se desarrollan hojas, flores y zarcillos que permiten a la planta sujetarse a estructuras de soporte cuando se cultiva bajo sistemas de tutorado. Una característica distintiva del pepino es que el crecimiento vegetativo y reproductivo ocurre simultáneamente durante gran parte de su ciclo biológico (Liu et al., 2021).

4.1.2.3 Hojas

Las hojas son simples, alternas y peciolos de 4.0 a 7.0 cm de largo, generalmente de forma cordada a pentagonal. Presentan entre tres y cinco lóbulos poco profundos, margen ligeramente dentado y abundante pubescencia en ambas superficies (CONABIO, 2005) El tamaño y la morfología foliar constituyen características agronómicas

importantes debido a su influencia sobre la interceptación de radiación solar, la fotosíntesis y el rendimiento del cultivo (Li et al., 2022)

4.1.2.4 Flores

El pepino es predominantemente una especie monoica, aunque existen materiales ginoicos, andromonoicos y partenocárpicos desarrollados mediante programas de mejoramiento genético. Las flores son unisexuales, de color amarillo intenso y se originan en las axilas de las hojas. Las flores masculinas suelen aparecer primero y en mayor número, mientras que las flores femeninas presentan un ovario ínfero bien desarrollado que dará origen al fruto después de la fecundación o mediante partenocarpia en ciertos híbridos modernos. (Li et al., 2022; Zhang et al., 2021).

4.1.2.5 Fruto

El fruto del pepino es una baya modificada denominada pepónide, característica de las especies de la familia *Cucurbitaceae* (Dr. Jesús López-Elías et al., 2015). Se consume en estado inmaduro y presenta una amplia variabilidad en longitud, diámetro, forma, coloración, espinas, verrugas, grosor de pulpa y tamaño de la cavidad seminal. Estas características dependen tanto del genotipo como de las condiciones ambientales y de manejo. La diversidad morfológica del fruto ha permitido el desarrollo de distintos tipos comerciales como americano, europeo, persa, oriental y pickle (Grumet et al., 2022)

En el caso del híbrido Centauro F1, utilizado en la presente investigación, los frutos corresponden al tipo americano (Slicer), caracterizados por presentar forma cilíndrica uniforme, color verde oscuro y buena firmeza comercial (Zamora, 2017).

4.1.2.6 Cavidad y huecos de la semilla

El desarrollo del tamaño de la cavidad de la semilla está altamente correlacionado con el crecimiento del diámetro del fruto, creciendo exponencialmente de 0 a 12 DAA, luego aumentando lentamente hasta la madurez (Liu et al., 2020).

4.1.3 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

4.1.3.1 Requerimientos de suelo

El pepino se adapta a una amplia variedad de suelos; sin embargo, los mejores rendimientos y la mayor calidad de fruto se obtienen en suelos francos a franco-arenosos, profundos, bien drenados y con adecuado contenido de materia orgánica (Reche 2011). Debido a que el sistema radical se concentra principalmente en los primeros 30 cm del perfil del suelo, es indispensable mantener una adecuada aireación y evitar condiciones de compactación o anegamiento que limiten el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes (Nuñez-Ambriz et al., 2025)

4.1.3.2 pH

El pH óptimo para el cultivo se encuentra entre 5.5 y 7.0, siendo el intervalo de 6.0 a 6.8 el más favorable para la disponibilidad de nutrientes esenciales. Valores de pH fuera de este rango pueden reducir la absorción de elementos como calcio, magnesio y fósforo, afectando el crecimiento vegetativo y la calidad de los frutos (Salvador Arias, 2007).

4.1.3.3 Requerimientos climáticos

El pepino es una especie de clima cálido que presenta un crecimiento óptimo bajo condiciones de temperatura moderada y alta disponibilidad de radiación solar. Su desarrollo se ve influenciado directamente por factores ambientales como temperatura, humedad relativa, radiación y ventilación (Zamora, 2017)

4.1.3.3.1 Temperatura

El pepino es una especie de clima cálido cuyo desarrollo metabólico óptimo está fuertemente ligado a la temperatura ambiental dentro del invernadero. La temperatura óptima diurna debe oscilar entre 20°C y 25°C, mientras que la nocturna debe mantenerse entre 17°C y 20°C. Temperaturas superiores a los 35°C provocan un desbalance respiratorio, aceleran la senescencia foliar y abortan las estructuras florales (Méndez-Pérez, 2016). Por otro lado, el cultivo detiene su crecimiento exponencial cuando la temperatura desciende por debajo de los 12°C, y sufre daños irreversibles por frío (daño tisular y colapso celular) si se expone a menos de 8°C (CONABIO, 2005; Zamora, 2017)

4.1.3.3.2 Humedad

La humedad relativa óptima para el cultivo de pepino se encuentra entre 60 y 80 %. Valores inferiores pueden incrementar la transpiración y provocar estrés hídrico, mientras que humedades superiores al 85 % favorecen la incidencia de enfermedades causadas por hongos y bacterias, además de disminuir la eficiencia de la polinización en materiales no partenocárpicos (Valdez-Aguilar et al., 2024)

4.1.3.3.3 Luminosidad

El pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción (CONABIO, 2005).

4.1.3.3.4 Riego

La cantidad de agua aplicada en los riegos depende de: la edad de la planta después del trasplante, el desarrollo del fruto y el clima prevaleciente durante la cosecha. (Omari et al., 2023).

4.1.3.3.5 Tutoreo

El entutorado se utiliza para optimizar el uso del espacio y la producción de pepinos de calidad. El sistema de sombrilla se usa comúnmente para variedades sin semillas de tipo invernadero. Se suspende un alambre vertical a una altura de 1,8 a 2,4 metros del suelo. Para cada planta, se ata una cuerda a la base del tallo y se sujeta al alambre superior. Se pueden usar pinzas para tomates para asegurar la planta o se puede enrollar la cuerda alrededor del tallo a medida que crece. Cuando el tallo principal alcanza el alambre superior, se guían dos brotes laterales (laterales) sobre el alambre para que cuelguen a cada lado del tallo principal. El proceso se puede repetir con ramas laterales adicionales (Meriam Karlsson, 2024).

4.1.3.3.6 Poda de formación

Según la literatura dice (Zamora, 2017) que, en el caso de dejar caer la planta tras pasar el alambre para coger los frutos de los tallos secundarios, se recomienda no despuntar el tallo principal hasta que éste alcance unos 40 cm del suelo, permitiendo únicamente el desarrollo de dos tallos secundarios, eliminando todos los demás. Normalmente se suele

realizar en variedades muy vigorosas. En pepino "tipo holandés" se realiza a los pocos días del trasplante debido al rápido crecimiento de la planta, con la eliminación de brotes secundarios y frutos hasta una altura de 60 cm. También se realiza el destallado en pepino "tipo holandés" en el cual se suprimirán todos los brotes laterales para dejar la planta a un solo tallo. Para los restantes tipos de pepino la poda es muy similar, aunque no se eliminan los brotes laterales, sino que se despuntan por encima de la segunda hoja.

4.1.3.7 Polinización

La polinización es cruzada. Al ser una planta típicamente monoica, necesita de polinizadores para la transportación de los granos de polen hacia los ovarios y aunque algunas veces se presentan flores hermafroditas, estas tienen un porcentaje bajo de autopolinización o son incapaces de autopolinizarse (Díaz et al., 2022; Meriam Karlsson, 2024).

4.1.4 Plagas

4.1.4.1 Mosca Blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius)

Uno de los fitófagos más limitantes en cucurbitáceas. Los adultos y ninfas succionan la savia del envés de las hojas, provocando clorosis y debilitamiento general de la planta. El daño indirecto más grave es la excreción de melaza (que induce la aparición del hongo de la fumagina, reduciendo la fotosíntesis) y su papel como vector biológico de virus, principalmente del género *Begomovirus* (Gabriel-Ortega Julio et al., 2022).

4.1.4.2 Trips de las Flores (*Frankliniella occidentalis* Pergande)

Estos diminutos insectos raspadores-succionadores afectan tanto al follaje como a las estructuras florales y frutos en desarrollo. Sus picaduras alimenticias provocan decoloraciones plateadas en las hojas que luego se necrosan. En los frutos de pepino, el ataque temprano ocasiona deformaciones severas y torceduras (pérdida de valor comercial) y son vectores del virus del bronceado del tomate (TSWV) (Mendoza et al., 2019).

4.1.4.3 Araña Roja (*Tetranychus urticae* Koch)

Un ácaro polífago que coloniza el envés de las hojas, especialmente bajo condiciones de alta temperatura y baja humedad relativa. Al alimentarse de las células vegetales,

produce un punteado amarillento característico en el haz de la hoja. Si la población es alta, las hojas se desecan, caen prematuramente y la planta se cubre de finas telarañas que alteran el microclima foliar (Ishikawa & Takahata, 2019; Portilla Farfán, 2006).

4.1.4.4 Minador de la Hoja (*Liriomyza* spp.)

Las hembras adultas realizan picaduras para alimentarse y ovopositar en el parénquima de la hoja. Al eclosionar, las larvas se alimentan del tejido interno labrando galerías o "minas" serpenteantes transparentes. Esto destruye el tejido fotosintético, disminuye drásticamente el rendimiento del pepino y abre vías de entrada para patógenos secundarios (pozas Cárdenas et al., 2025).

4.1.5 Enfermedades

4.1.5.1 Mildiú Velloso (*Pseudoperonospora cubensis* Berk. & Curt. Rost)

Agente Causal: Oomiceto (*Pseudoperonospora cubensis*).

Se manifiesta inicialmente en el haz de las hojas maduras como manchas cloróticas, angulares, delimitadas claramente por las nervaduras. En el envés de estas manchas, bajo condiciones de alta humedad relativa, se desarrolla un fieltro grisáceo-violáceo (esporangióforos). Provoca una defoliación rápida si no se controla de forma preventiva (E. Ruiz-Sánchez et al., 2008).

4.1.5.2 Cenicilla o Polvillo Blanco (*Podosphaera xanthii* Castagne)

Agente Causal: Hongo ascomiceto (*Podosphaera xanthii*, sin. *Sphaerotheca fuliginea*).

Cubre la superficie foliar (haz y envés), tallos y pecíolos con un polvillo blanco harinoso compuesto por micelio y conidios. Las hojas infectadas se vuelven amarillas, se tornan marrones y se desecan por completo. Favorecido por temperaturas templadas y sombra (Félix-Gastélum et al., 2017).

4.1.5.3 Virus del Mosaico Amarillo de la Calabaza Zucchini (ZYMV)

Agente Causal: *Zucchini yellows mosaic virus* (Familia *Potyviridae*, género *Potyvirus*).

Es transmitido de forma no persistente por pulgones (*Aphis gossypii*). Causa mosaicos amarillos intensos en el follaje, distorsión severa de las láminas foliares (hojas filiformes o "en aguja") y protuberancias o deformaciones nodulares extremas en los frutos de

pepino, dejándolos completamente inservibles para el mercado (Ana Niurka Hernández-Lauzardo¹, 2007).

4.1.5.4 Podredumbre Radicular y del Cuello (*Pythium* spp.)

Agente Causal: Oomiceto de suelo (*Pythium* spp., ej. *Pythium ultimum*).

Ataca principalmente en etapas tempranas de la planta (causando *damping-off* o ahogamiento de plántulas) o en plantas adultas bajo condiciones de encharcamiento o sustratos mal drenados. Produce una lesión necrótica y húmeda (aspecto de "chupado") en la base del tallo y pudrición de las raíces principales, ocasionando un marchitamiento irreversible de la planta entera (Rosario et al., 2025).

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Material genético utilizado.

El experimento se llevó a cabo con pepino (*Cucumis sativus* L.) 'Centauro F1', un material comercial perteneciente al tipo de pepino americano (*Slicer*), caracterizado por su hábito de crecimiento indeterminado, alta precocidad y una marcada aptitud para el establecimiento bajo condiciones de agricultura protegida debido a su vigor radicular y foliar (Fortis Hernández et al., 2013; Zamora, 2017). Este híbrido se caracteriza por una alta eficiencia fotosintética y capacidad de amarre de frutos bajo cubiertas plásticas, respondiendo de manera sobresaliente a esquemas de nutrición vegetal tecnificada (Argentel-Martínez et al., 2025).

5.2 Ubicación y características del sitio experimental

El presente experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel perteneciente al Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Unidad Buenavista. Las instalaciones se localizan en Saltillo, Coahuila, México, en las coordenadas geográficas 25°21'21.7" latitud norte y 101°02'10.9" longitud oeste.

5.3 Establecimiento del cultivo

El día 16 de agosto del 2024 se sembraron 50 semillas de pepino, en 50 bolsas de polietileno de 11 L 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.

5.4 Tutorio

El tutorio de las plantas se inició el 7 de septiembre de 2024 con la finalidad de proporcionar soporte estructural y favorecer un adecuado crecimiento vertical del cultivo durante todo el ciclo de producción. Esta práctica consistió en colocar un anillo de tutorio

unido a una rafia alrededor del cuello de la planta, por debajo de los cotiledones, procurando evitar daños mecánicos al tallo.

Posteriormente, la planta fue guiada mediante el enrollado del tallo sobre la rafia en sentido contrario a las manecillas del reloj, desde la base hasta el ápice de crecimiento. La rafia fue fijada a la estructura superior del invernadero, permitiendo sostener el peso de la planta y facilitar su conducción.

Esta labor se realizó de manera continua y semanal, ajustando el tutoreo conforme avanzó el desarrollo vegetativo del cultivo, con el objetivo de mantener una adecuada arquitectura de la planta, mejorar la distribución de la luz y facilitar las labores de manejo agronómico.

5.5 Manejo nutricional y riegos

Se utilizaron 2 soluciones nutritivas durante las 17 semanas del ciclo de cultivo.

1era. Steiner al 50% las primeras 5 semanas.

2da. Steiner al 100% de la 6 a la 17 semana.

Tabla 2: Soluciones nutritivas Steiner

Steiner	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
50%	6	0.5	3.5	3.5	4.5	2	5	1.48	0.24	0.16	0.12	0.08
100%	12	1	7	7	9	4	5	1.48	0.24	0.16	0.12	0.08

Steiner (1961) 1

La nutrición del cultivo se realizó mediante la solución nutritiva universal propuesta por Steiner (1961), la cual se caracteriza por mantener un adecuado equilibrio entre cationes y aniones esenciales para el crecimiento vegetal.

Los riegos se realizaron de forma manual durante todo el ciclo del cultivo. Desde el establecimiento de las plantas y hasta el inicio de la etapa de floración, se aplicó un

volumen de 1 L de agua por planta en cada evento de riego. Posteriormente, a partir del cuajado de frutos y hasta la finalización del ciclo productivo, el volumen de riego se incrementó a 2 L por planta, con el fin de satisfacer los mayores requerimientos hídricos del cultivo durante esta etapa.

La aplicación del agua se efectuó en dos fracciones diarias de 1 L cada una, distribuidas en horario matutino y vespertino. No obstante, la frecuencia de riego se ajustó de acuerdo con las condiciones climáticas predominantes y las necesidades del cultivo, realizándose diariamente o cada tercer día, según la demanda hídrica observada.

Esta estrategia permitió mantener condiciones adecuadas de humedad en el sustrato, favoreciendo el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas de pepino durante el periodo experimental.

5.6 Manejo de plagas y enfermedades

Durante el ciclo de cultivo se presentó incidencia de mildiu (*Pseudoperonospora cubensis*), una de las principales enfermedades foliares que afectan al cultivo de pepino. Para su control se realizaron aplicaciones del fungicida comercial SAPROL®, cuyo ingrediente activo es triforine. Una vez controlada la enfermedad, se continuó con aplicaciones preventivas cada 15 días, realizadas tanto vía drench como vía foliar, preferentemente durante periodos de temperaturas frescas y en horarios de menor radiación solar, ya sea por la mañana o por la tarde.

Asimismo, se implementó un programa preventivo para el control de mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Para ello, se realizaron aplicaciones de extractos naturales a base de ajo y clavo como alternativa de manejo preventivo. En casos donde fue necesario reforzar el control de la plaga, se aplicó el insecticida comercial CONFIDEL®, cuyo ingrediente activo es imidacloprid, con el objetivo de mantener bajas poblaciones del insecto y prevenir daños al cultivo.

5.7 Eliminación de brotes axilares

La poda de formación se inició el 12 de septiembre de 2024 y consistió en la eliminación periódica de los brotes axilares desarrollados en las axilas de las hojas. Esta práctica se realizó cuando los brotes alcanzaban una longitud menor a 10 cm, con el propósito de

evitar una competencia innecesaria por fotoasimilados y nutrientes, favoreciendo así el crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta principal.

La poda se efectuó de manera continua durante todo el ciclo del cultivo, conforme se realizaban las labores de monitoreo y manejo agronómico. Esta práctica permitió mantener el sistema de conducción a un solo tallo, mejorar la distribución de la luz dentro del dosel vegetal, favorecer la ventilación entre las plantas y optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles para la producción de frutos.

5.8 Poda de hoja

El deshoje se realizó con el objetivo de eliminar las hojas basales de mayor edad y aquellas que presentaban signos de senescencia, manteniendo únicamente de una a dos hojas por debajo del fruto en desarrollo. Esta práctica tuvo como finalidad mejorar la ventilación y penetración de la luz dentro del dosel vegetal, reducir el riesgo de incidencia de enfermedades y optimizar la distribución de fotoasimilados hacia los órganos con mayor demanda fisiológica, principalmente los frutos en crecimiento.

Adicionalmente, el deshoje facilitó las labores de manejo y conducción del cultivo, especialmente el descenso de las plantas, debido a su hábito de crecimiento indeterminado. La primera intervención se realizó el 7 de octubre de 2024 y, durante el ciclo de cultivo, se efectuaron un total de tres podas de hojas, de acuerdo con el desarrollo y estado fisiológico de las plantas.

5.9 Eliminación de frutos abortados

La eliminación de frutos abortados se realizó de manera periódica durante el desarrollo del cultivo, con el objetivo de evitar que estos representaran una demanda innecesaria de recursos para la planta. Los frutos abortados se identificaron por presentar un tamaño reducido, coloración amarillenta y deformaciones durante las primeras etapas de desarrollo, además de mostrar una detención evidente en su crecimiento.

Una vez identificados, dichos frutos fueron retirados manualmente de la planta para favorecer la redistribución de fotoasimilados, agua y nutrientes hacia los frutos con potencial de desarrollo comercial. Esta práctica contribuyó a optimizar el crecimiento y la

calidad de la producción, además de mejorar las condiciones fitosanitarias del cultivo al eliminar tejidos susceptibles al deterioro y la proliferación de patógenos.

5.10 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 cuatro repeticiones por tratamiento, lo que dio un total de 28 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo constituida por una planta de pepino. Los tratamientos se aplicaron con una frecuencia semanal, acumulando un total de 11 aplicaciones.

5.11 Tratamientos evaluados

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.

Tabla 3: Tratamientos evaluados

Tratamientos	CALCIOMIX (g L^{-1})	DIATOMIX (g L^{-1})
T1	0	0
T2	1.75	5
T3	2	6
T4	2.25	7
T5	2.5	8
T6	2.75	9
T7	3	10

(Elaboración propia) 1

Las variables que fueron evaluadas en el presente experimento se dividen en Agronómicas e Índices de calidad.

Las agronómicas se clasifican en:

- Diámetro del tallo (cm)

- Tasa de crecimiento (cm)
- Altura (m)
- Longitud del fruto (cm)
- Diámetro ecuatorial (cm)
- Diámetro polar (cm)
- Peso (g)

Por otro lado, los índices de calidad son:

- Sólidos solubles totales (°Brix)
- pH del fruto
- Firmeza (kg/cm²)
- Clorofila total (mg/g)
- Clorofila A (mg/g)
- Clorofila B (mg/g)
- Acidez titulable (%de ácido cítrico)
- Vitamina c (mg/100g de muestra)

5.12 Diámetro del tallo

El diámetro de tallo se determinó utilizando un vernier digital STAINLESS HARDENED con una precisión de 0.01 mm y una capacidad máxima de medición de 150 mm. Las mediciones se realizaron a una altura de 70 cm a partir del cuello de la planta, considerado como punto de referencia para todas las evaluaciones.

Esta variable fue registrada semanalmente con el propósito de monitorear el crecimiento y desarrollo de las plantas durante el periodo experimental. Las evaluaciones iniciaron el 25 de octubre de 2024 y concluyeron el 22 de noviembre de 2024, obteniéndose mediciones periódicas que permitieron evaluar el efecto de los tratamientos sobre el engrosamiento del tallo y el vigor vegetativo del cultivo.

5.13 Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento de las plantas se determinó mediante mediciones semanales del crecimiento longitudinal del tallo principal. Para ello, se utilizó una regla graduada de 30

cm y se marcó la posición del meristemo apical sobre la rafia tutora, tomando como referencia el punto alcanzado por la planta en cada fecha de evaluación.

La primera medición se realizó el 25 de octubre de 2024, estableciendo el punto inicial de referencia. Posteriormente, el 1 de noviembre se efectuó una nueva marcación del meristemo sobre la rafia y se registró la distancia comprendida entre ambas marcas. Este procedimiento se repitió semanalmente hasta el 20 de diciembre de 2024, obteniéndose un total de cinco evaluaciones.

5.14 Altura (m)

La altura final de la planta se determinó al concluir el ciclo de cultivo. Para ello, se realizó el corte del tallo principal a nivel del cuello de la planta y posteriormente se extendió de forma recta sobre una superficie plana, procurando evitar curvaturas que pudieran afectar la precisión de la medición.

Una vez extendido el tallo, se utilizó un flexómetro para medir la longitud total desde la base hasta el ápice de crecimiento. Los datos obtenidos se registraron en metros (m) y se emplearon para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la altura final de la planta.

5.15 Longitud del fruto (cm)

La longitud del fruto se determinó utilizando una cinta métrica flexible. Para realizar la medición, los frutos cosechados fueron colocados sobre una superficie plana y nivelada, procurando mantenerlos en posición recta para garantizar la precisión de la evaluación.

La medición se efectuó registrando la distancia comprendida entre la base del pedúnculo (punto de inserción del fruto) y el extremo apical del mismo. Los resultados se expresaron en centímetros (cm) y se utilizaron para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo y tamaño de los frutos de pepino.

5.16 Diámetro ecuatorial (cm)

El diámetro ecuatorial del fruto se determinó utilizando un vernier digital STAINLESS HARDENED con una precisión de 0.01 mm y una capacidad máxima de medición de 150 mm. Para cada fruto evaluado se realizaron tres mediciones en diferentes puntos a lo

largo de su eje longitudinal: en la región proximal cercana al pedúnculo, en la parte central y en la región distal o apical.

Posteriormente, los valores obtenidos en cada punto de medición fueron promediados para obtener un único valor representativo del diámetro ecuatorial de cada fruto. Los resultados se expresaron en centímetros (cm) y se utilizaron para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo y uniformidad de los frutos de pepino.

5.17 Diámetro polar (cm)

El diámetro polar del fruto se determinó utilizando una cinta métrica flexible. Para cada fruto se realizaron dos mediciones perpendiculares entre sí, formando una cruz alrededor de su circunferencia. Ambas mediciones se efectuaron tomando como punto de referencia la base del pedúnculo y rodeando completamente el fruto hasta regresar al punto de inicio.

Posteriormente, los dos valores obtenidos fueron promediados con el fin de obtener un valor representativo del diámetro polar de cada fruto. Los resultados se registraron en centímetros (cm) y se utilizaron para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo y uniformidad de los frutos de pepino.

5.18 Peso (g)

El peso del fruto se determinó utilizando una báscula digital marca RHINO, previamente calibrada, con una capacidad máxima de 30 kg. Para la evaluación, cada fruto cosechado fue colocado individualmente sobre la plataforma de la báscula, registrándose su peso de manera independiente.

Los datos obtenidos se expresaron en gramos (g) y fueron utilizados para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo y rendimiento de los frutos de pepino.

5.19 Sólidos solubles totales (°Brix)

El contenido de sólidos solubles totales se determinó utilizando un refractómetro marca ATAGO con un rango de medición de 0 a 32 °Brix. Para ello, se obtuvo una muestra de jugo de los frutos mediante un extractor industrial marca TUR MIX.

Posteriormente, una pequeña cantidad del jugo extraído se colocó sobre el prisma del refractómetro, asegurando una distribución uniforme de la muestra y evitando la presencia de partículas o residuos vegetales que pudieran interferir con la precisión de la lectura. Una vez realizada la medición, los resultados se registraron en grados Brix (°Brix), los cuales representan la concentración de sólidos solubles presentes en el fruto.

Esta variable fue evaluada con el propósito de determinar el efecto de los tratamientos sobre la calidad interna de los frutos de pepino, ya que los sólidos solubles están relacionados con la acumulación de azúcares y otros compuestos solubles.

5.20 pH del fruto

El pH del fruto se determinó utilizando un potenciómetro digital marca HANNA, modelo HI98128, previamente calibrado. Para el análisis, se obtuvo una muestra de jugo fresco del fruto de pepino, la cual se colocó en un vaso de precipitados limpio y seco.

Posteriormente, el electrodo del potenciómetro fue introducido directamente en la muestra de jugo hasta obtener una lectura estable. El valor registrado se utilizó como indicador de la acidez del fruto.

5.21 Firmeza (Kg/cm²)

La firmeza del fruto se determinó utilizando un penetrómetro marca QA con capacidad máxima de 13 kg y una puntilla de 11 mm de diámetro. Para realizar la medición, el equipo fue colocado sobre una base de soporte que permitió mantener condiciones uniformes durante la evaluación.

En cada fruto se realizaron dos perforaciones, ubicadas en la zona media comprendida entre la base del pedúnculo y el extremo apical, procurando seleccionar áreas representativas de la superficie del fruto. La fuerza necesaria para penetrar el tejido fue registrada directamente por el equipo y utilizada como indicador de la firmeza del fruto.

Los valores obtenidos permitieron evaluar el efecto de los tratamientos sobre la resistencia mecánica y calidad física de los frutos de pepino, características estrechamente relacionadas con su vida de anaquel, manejo poscosecha y aceptación comercial.

5.22 Clorofila total (clorofila A y clorofila B)

Esta se obtuvo con ayuda de un equipo de espectrofotometría de la marca JENWAY, modelo 6320D.

Haciendo la determinación del contenido de clorofila total, clorofila a y clorofila b se realizó en muestras de cáscara de frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) mediante extracción con acetona al 85 % y posterior cuantificación espectrofotométrica (AOAC, 1990).

Para ello, se pesaron 2.5 g de cáscara fresca finamente picada y se colocaron en un vaso de precipitados de 50 ml. Posteriormente, se adicionó acetona al 85 % hasta cubrir completamente la muestra. Los recipientes fueron cubiertos con papel aluminio para evitar la degradación de los pigmentos por efecto de la luz y se mantuvieron en refrigeración durante 24 horas para favorecer la extracción de las clorofilas. Una vez transcurrido el periodo de extracción, las muestras fueron maceradas en un mortero hasta obtener una mezcla homogénea. El extracto obtenido se transfirió a un matraz aforado de 100 ml mediante filtración a través de una gasa. El residuo vegetal fue sometido a cuatro lavados consecutivos con porciones de 20 ml de acetona al 85 %, recuperando cada filtrado en el mismo matraz para maximizar la extracción de los pigmentos fotosintéticos. Finalmente, el volumen se ajustó a 100 ml con acetona al 85 %. Posteriormente, una alícuota del extracto fue colocada en una celda para espectrofotómetro y se realizaron lecturas de absorbancia a longitudes de onda de 643 y 660 nm, utilizando acetona al 85 % como blanco. El contenido de clorofila total, clorofila a y clorofila b se calculó a partir de los valores de absorbancia obtenidos mediante las ecuaciones propuestas para extractos en acetona al 85 %. Los resultados fueron expresados en miligramos de clorofila por gramo de muestra fresca (mg/g) (AOAC, 1990).

Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

Clorofila total

$$\text{mg/g} = \frac{(7.12 \times \% \text{ Abs}_{660 \text{ nm}}) + (16.8 \times \% \text{ Abs}_{643 \text{ nm}})}{10 * P}$$

Clorofila A

$$\frac{\text{mg/g} = (9.93 \times \% \text{ Abs}_{660 \text{ nm}}) - (0.777 \times \% \text{ Abs}_{643 \text{ nm}})}{10 * P}$$

Clorofila B

$$\frac{\text{mg/g} = (17.6 \times \% \text{ Abs}_{643 \text{ nm}}) - (2.81 \times \% \text{ Abs}_{660 \text{ nm}})}{10 * P}$$

donde:

- %Abs = porcentaje de absorbancia
- P = peso de la muestra en g
- Subíndices (643 nm y 660 nm) = longitud de onda

Este procedimiento permitió cuantificar los pigmentos fotosintéticos presentes en la cáscara de los frutos (AOAC, 1990).

5.23 Acidez titulable (% de ácido cítrico)

El porcentaje de ácido cítrico se determinó mediante el método volumétrico descrito por la AOAC (1990). Para ello, se utilizó un extractor marca TUR-MIX de uso rudo, además de material de laboratorio que incluyó probeta graduada de 100 ml, vaso de precipitados de 250 ml, pipeta graduada de 10 ml, piseta, balanza electrónica digital marca Esnova modelo SE-2000 con capacidad máxima de 3000 g, bureta de 50 ml, soporte universal, pinzas para bureta, cuchillo, embudo de filtración y gasa. Los reactivos empleados fueron fenolftaleína al 1 % e hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N.

Para el análisis, inicialmente se extrajo el jugo de los frutos de pepino y posteriormente se filtró mediante un embudo con gasa para eliminar partículas sólidas e impurezas. Del filtrado obtenido se tomó una alícuota de 10 ml, la cual se colocó en un matraz Erlenmeyer de 125 ml. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada muestra analizada.

A continuación, se agregaron cuatro gotas de fenolftaleína al 1 % a cada una de las alícuotas. Posteriormente, una bureta fue llenada con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N previamente estandarizada. La titulación se realizó adicionando lentamente

la solución alcalina hasta alcanzar el punto final de la reacción, identificado por la aparición de una coloración rosa tenue persistente durante al menos 30 segundos (AOAC, 1990).

Finalmente, se registró el volumen de NaOH consumido en cada muestra y, con base en dichos valores, se calculó el porcentaje de ácido cítrico presente en el fruto mediante la ecuación correspondiente. Los resultados se expresaron como porcentaje (%) de ácido cítrico en base al peso fresco de la muestra.

Para lo cual se usa la siguiente formula:

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

V= Volumen de NaOH gastado en ml.

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 ml. (AOAC, 1990).

5.24 Vitamina C (mg/100 g de muestra)

El contenido de vitamina C se determinó mediante el método volumétrico descrito por la AOAC (1990). Para ello, se empleó una balanza electrónica digital marca Esnova, modelo SE-2000, con capacidad máxima de 3000 g, así como material de laboratorio que incluyó mortero con pistilo, bureta de 50 ml, cuchillo, embudo de filtración, gasa, matraces Erlenmeyer de 125 y 250 ml, soporte universal, pipeta graduada de 10 ml, piseta, probetas graduadas de 50 y 100 ml y vasos de precipitados de 50 ml. Los reactivos utilizados fueron ácido clorhídrico al 2 % (HCl), agua destilada y reactivo de Thielman preparado con 0.2 g de 2,6-dicloroindofenol.

Para el análisis, se pesaron 20 g de muestra fresca de fruto de pepino, los cuales fueron colocados en un mortero. Posteriormente, se adicionaron 10 ml de ácido clorhídrico al 2 % y la muestra se maceró cuidadosamente hasta obtener una mezcla homogénea. Una

vez logrado lo anterior, se agregaron 100 ml de agua destilada y se mezcló completamente para facilitar la extracción del ácido ascórbico.

La suspensión obtenida se filtró a través de una gasa hacia un matraz Erlenmeyer de 250 ml, registrando el volumen final del filtrado. A continuación, se tomó una alícuota de 10 ml del extracto filtrado y se transfirió a un matraz Erlenmeyer de 125 ml. Posteriormente, se realizó la titulación utilizando el reactivo de Thielman contenido en una bureta previamente calibrada, hasta la aparición de una coloración rosa tenue persistente durante al menos 30 segundos. Finalmente, se registró el volumen de reactivo consumido para el cálculo del contenido de vitamina C presente en la muestra (AOAC, 1990).

El contenido de vitamina C se calculó posteriormente mediante la ecuación correspondiente y los resultados se expresaron en miligramos de ácido ascórbico por 100 gramos de peso fresco de muestra:

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

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 ml del filtrado de vitamina C en HCl.

VA= volumen en ml de la alícuota valorada.

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

5.25 Análisis de datos

Para el análisis de los datos se elaboró una base de datos con todas las mediciones obtenidas durante el experimento. Posteriormente, se calcularon los promedios de cada variable evaluada y se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Una vez corroborados dichos supuestos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Cuando se detectaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$), se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para identificar las diferencias entre tratamientos.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Diámetro de tallo

La Figura 1 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el diámetro de tallo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 0.74 y 0.82 cm. El tratamiento T1(Control), presentó el mayor diámetro de tallo, ubicándose en el grupo estadísticamente superior (A), seguido del tratamiento T5(2.5 g L⁻¹ Camix + 8 g L⁻¹ Dmix) en (AB). Por otro lado, el tratamiento T6(2.75 g L⁻¹ Camix + 9 g L⁻¹ Dmix) registró el menor valor, siendo significativamente diferente (D) de los tratamientos con mayor respuesta, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

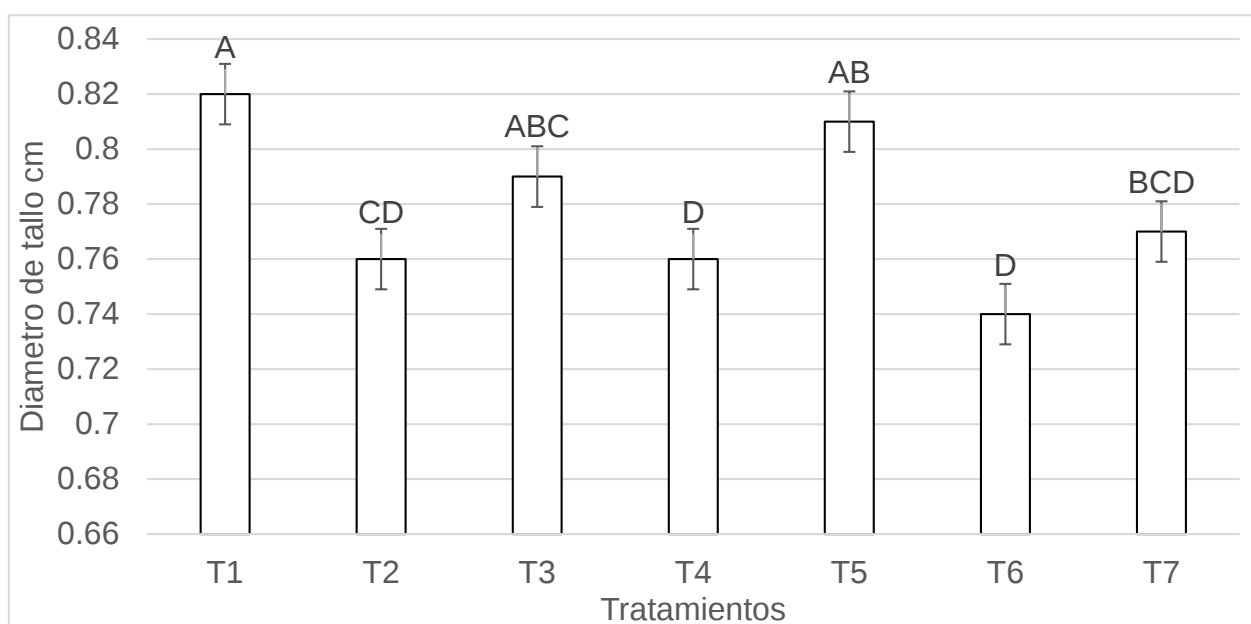


Figura 1.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre el diámetro de tallo del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T2, T3, T4 y T7 presentaron valores intermedios, agrupándose entre las categorías (ABC), (BCD) y (CD), lo que indica que la aplicación de calcio y silicio no promovió un incremento consistente en el diámetro de tallo. De hecho, en el presente estudio el tratamiento control mostró el mayor desarrollo estructural del tallo, lo que

sugiere que las dosis aplicadas pudieron no representar la concentración óptima para esta variable o que existió una interacción fisiológica que limitó la respuesta positiva esperada.

Este comportamiento coincide con lo reportado por Kaya et al., 2006; Valdez-Aguilar et al., (2024) en estudios sobre pepino tratados con silicio y cloro, donde se observó que el mayor diámetro de tallo también se presentó en el tratamiento testigo, sin aplicación de silicio, mostrando similitud estadística con algunas dosis bajas del elemento. Los autores mencionan que, aunque el silicio favoreció variables como rendimiento y calidad del fruto, no siempre incrementó significativamente el diámetro del tallo, debido a que la respuesta depende de la dosis, el genotipo y las condiciones de cultivo.

En contraste, (Pérez et al., 2025), en otro cultivo como pimiento (*Capsicum annuum* L.), reportaron que el silicio generó incrementos lineales positivos en variables morfofisiológicas como altura de planta y diámetro de tallo; sin embargo, destacaron que la respuesta depende de la concentración aplicada y de la especie vegetal evaluada.

Fisiológicamente, el calcio participa en la estabilidad de las paredes celulares y la integridad de membranas, mientras que el silicio contribuye al fortalecimiento estructural mediante depósitos de sílice en los tejidos vegetales. No obstante, diversos autores han señalado que el efecto de estos elementos benéficos puede variar dependiendo de la disponibilidad nutrimental, el equilibrio iónico y las condiciones ambientales del cultivo. En algunos casos, aplicaciones elevadas pueden generar respuestas menos eficientes en variables vegetativas específicas, aun cuando mejoren características productivas o de calidad (S. Parra Terraza^{1*} et al., 2009).

Por otra parte, el hecho de que el tratamiento control presentara el mayor diámetro de tallo podría indicar que las plantas no sometidas a aplicaciones adicionales mantuvieron un equilibrio fisiológico favorable para el desarrollo estructural. Esto sugiere que el efecto de calcio y silicio no necesariamente se refleja en un aumento directo del diámetro de tallo, sino que puede manifestarse en otras variables relacionadas con calidad de fruto, firmeza, tolerancia al estrés y rendimiento.

En términos agronómicos, el diámetro de tallo es una variable importante porque se relaciona con la capacidad de soporte, transporte de agua y nutrientes, así como con el vigor general de la planta. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que la respuesta del cultivo a la aplicación de calcio y silicio es compleja y depende de la dosis y combinación utilizada, por lo que es necesario continuar evaluando estrategias de manejo nutrimental que permitan optimizar el crecimiento y desempeño del pepino bajo condiciones de invernadero.

6.2 Tasa de crecimiento

La Figura 2 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre la tasa de crecimiento en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 16.97 y 20.27 cm. El tratamiento T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) presentó la mayor tasa de crecimiento con aumento en un 17.85%, respectivamente, en comparación con el control, ubicándose en el grupo estadísticamente superior (A), seguido por T6(2.75 g L⁻¹ Camix + 9 g L⁻¹ Dmix) (AB). En contraste el tratamiento T1(Control), mostró uno de los valores más bajos junto con T5(2.5 g L⁻¹ Camix + 8 g L⁻¹ Dmix), perteneciendo ambos al grupo estadístico (C), de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

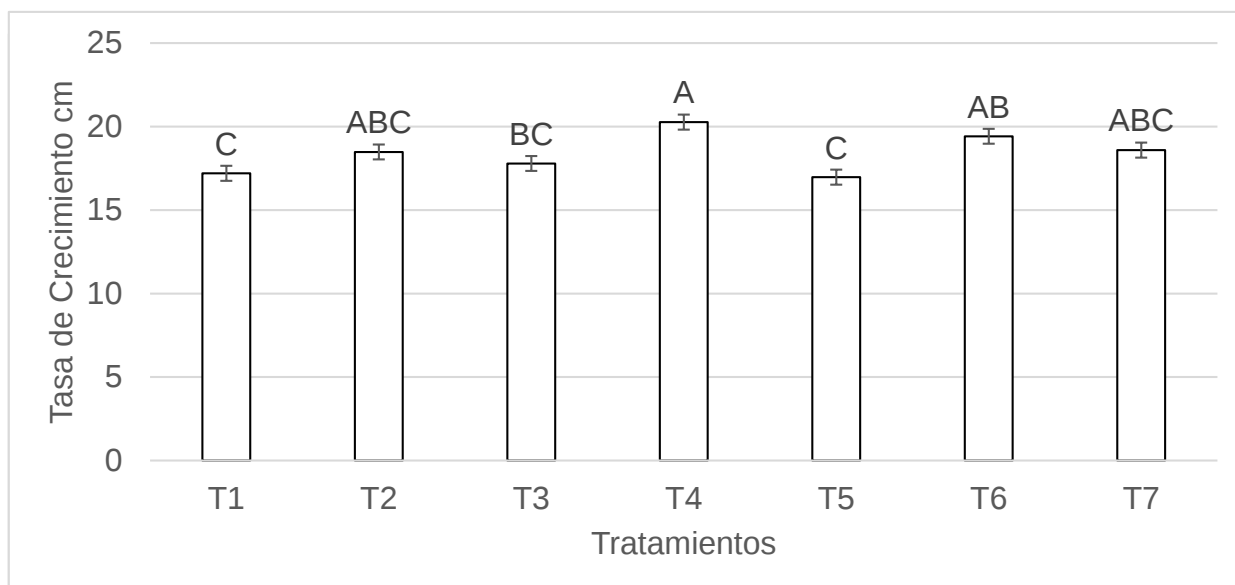


Figura 2.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre la tasa de crecimiento del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos intermedios T2, T3 Y T7 se agruparon en categorías (ABC) y (BC) lo que indica que no existe una tendencia lineal estricta en la respuesta de la tasa de crecimiento respecto a las dosis aplicadas. Este comportamiento sugiere que la combinación de calcio y silicio tiene un efecto positivo en la tasa de crecimiento, pero depende de la dosis y de la interacción entre ambos elementos.

Estos resultados indican que la aplicación combinada de calcio y silicio favoreció significativamente el crecimiento vegetativo del cultivo. El incremento observado en T4 puede atribuirse al papel fisiológico del calcio en la división y elongación celular, así como a la función del silicio en el fortalecimiento estructural y mejora de la eficiencia fotosintética. Diversos estudios han demostrado que la suplementación con calcio y silicio incrementa variables relacionadas con el vigor de la planta, tales como altura, biomasa y tasa de crecimiento (Mahdy et al., 2024; Takahashi et al., 1983).

Los resultados obtenidos coinciden con (Mahdy et al., 2024), quienes reportaron que aplicaciones de nano calcio y nano silicio en pepino bajo invernadero incrementaron significativamente la altura de planta, biomasa fresca y seca, así como el crecimiento general del cultivo en comparación con el tratamiento control. Los autores señalaron que el calcio favorece el desarrollo celular y la estabilidad de tejidos, mientras que el silicio mejora la absorción nutrimental y la capacidad fotosintética de la planta.

De igual manera, Takahashi et al., (1983) observaron que plantas de pepino cultivadas sin suministro de silicio presentaron alteraciones en el desarrollo vegetativo y menor vigor durante etapas avanzadas de crecimiento, mientras que las plantas suplementadas con silicio mostraron un crecimiento más uniforme y estructuralmente más fuerte.

Por otra parte, investigaciones recientes han demostrado que el silicio aplicado vía foliar mejora el crecimiento y rendimiento del pepino debido a una mayor acumulación de azúcares, aminoácidos y compuestos antioxidantes, favoreciendo así el metabolismo general de la planta. Además, se ha señalado que la interacción entre calcio y silicio puede generar efectos sinérgicos sobre el crecimiento bajo condiciones de cultivo protegido (Hu et al., 2022; Jiang et al., 2020).

El comportamiento observado en el tratamiento T1(Control), donde se registró una de las menores tasas de crecimiento, evidencia la importancia de la suplementación nutrimental en sistemas intensivos de producción. En cultivos establecidos bajo condiciones de invernadero, la demanda nutrimental es mayor debido al rápido crecimiento y alta productividad de las variedades híbridas de crecimiento indeterminado. Por ello, la incorporación de calcio y silicio representa una estrategia eficiente para estimular el

crecimiento vegetativo y mejorar el desempeño agronómico del cultivo (Cázarez-Flores et al., 2022; Faroutine et al., 2023).

Asimismo, el efecto positivo del silicio puede relacionarse con una reducción del estrés fisiológico y una mejor regulación hídrica de la planta. Estudios realizados en pepino bajo déficit hídrico mostraron que la aplicación de silicio mejoró el crecimiento y la absorción de nutrientes, favoreciendo un desarrollo vegetativo más eficiente incluso bajo condiciones limitantes (Faroutine et al., 2023).

En términos agronómicos, una mayor tasa de crecimiento representa una ventaja importante en cultivos de pepino bajo invernadero, ya que permite acelerar el desarrollo vegetativo, incrementar la superficie foliar y mejorar la capacidad fotosintética, factores que posteriormente se reflejan en un mayor rendimiento y calidad del fruto. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este estudio confirman que la aplicación adecuada de calcio y silicio puede contribuir significativamente al crecimiento del pepino cultivado bajo condiciones protegidas.

6.3 Altura de la planta

La Figura 3 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre la altura final de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 3.64 y 4.13 m. El tratamiento T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) presentó la mayor altura de planta con aumento de 12.23%, respectivamente, en comparación con el control, ubicándose en el grupo estadísticamente superior (A), mientras que los tratamientos T2, T3, T6 y T7 se agruparon en una categoría intermedia (B). Por otro lado, el tratamiento T1(Control), junto con T5(2.5 g L⁻¹ Camix + 8 g L⁻¹ Dmix), presentó los valores más bajos, perteneciendo al grupo estadístico (C), de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

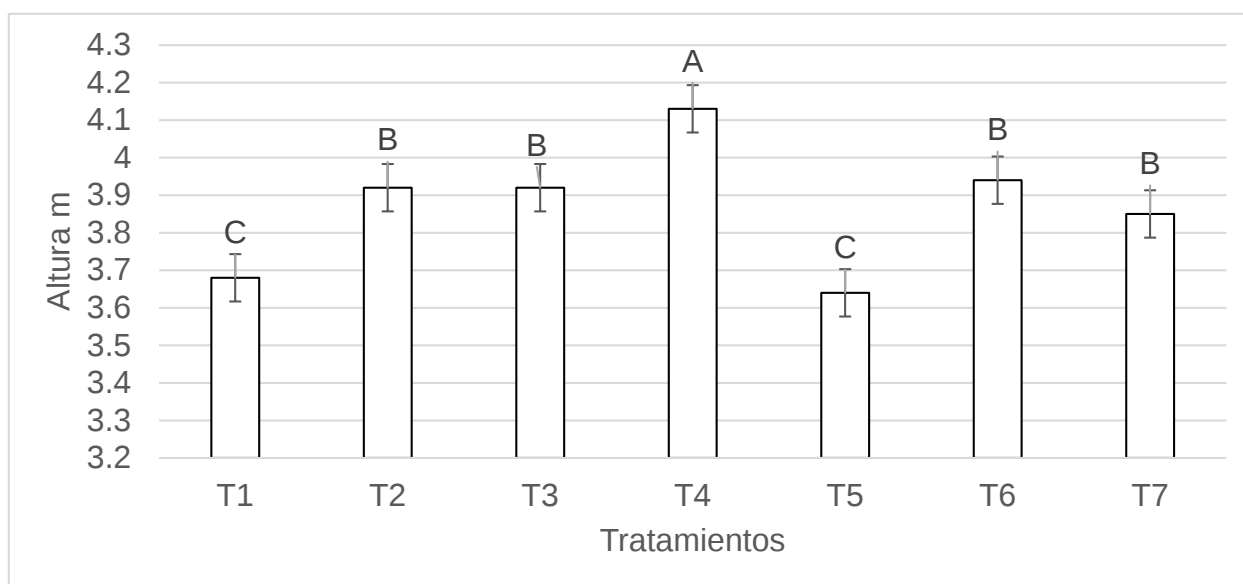


Figura 3.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre la altura final del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los resultados obtenidos indican que la aplicación combinada de calcio y silicio favoreció significativamente el crecimiento longitudinal de las plantas. El incremento observado en T4 sugiere que la interacción entre ambos elementos promovió un mejor desarrollo vegetativo, posiblemente debido a una mayor actividad metabólica, mejor absorción nutrimental y fortalecimiento estructural de los tejidos vegetales.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Mahdy et al., (2024), quienes observaron que aplicaciones de calcio y silicio en pepino bajo condiciones de invernadero incrementaron significativamente la altura de planta respecto al tratamiento control. Los autores atribuyen este efecto a la función del calcio en la división y elongación celular, así como al papel del silicio en la mejora de la eficiencia fotosintética y la reducción del estrés fisiológico.

De igual manera, estudios realizados por Takahashi et al., (1983) demostraron que plantas de pepino cultivadas con suministro de silicio presentaron mayor crecimiento vegetativo y desarrollo estructural en comparación con plantas deficientes en este elemento. Los investigadores señalaron que el silicio favorece la rigidez de los tejidos y mejora el aprovechamiento de nutrientes esenciales, contribuyendo a un crecimiento más vigoroso.

Asimismo, investigaciones recientes han reportado que la aplicación de silicio incrementa la altura de planta y el área foliar en cultivos hortícolas, especialmente bajo sistemas protegidos, donde las plantas presentan altas tasas de crecimiento y demanda nutrimental. El silicio también mejora la tolerancia al estrés abiótico, permitiendo mantener un crecimiento constante aún bajo condiciones ambientales limitantes (Hu et al., 2022).

Por otra parte, el calcio desempeña un papel fundamental en la estructura de las paredes celulares y la estabilidad de membranas, factores directamente relacionados con la expansión celular y el desarrollo de tejidos vegetales. (Marschner, (2012) menciona que deficiencias de calcio pueden limitar el crecimiento de órganos jóvenes debido a la alteración de procesos fisiológicos y estructurales en la planta.

El comportamiento observado en el tratamiento T1(Control), donde se registró una de las menores alturas finales, evidencia la importancia de la suplementación nutrimental en cultivos intensivos de pepino. La ausencia de aplicaciones de calcio y silicio pudo limitar parcialmente el potencial de crecimiento de las plantas, en comparación con tratamientos donde sí se suministraron dichos elementos.

Además, diversos autores han señalado que la combinación de calcio y silicio puede generar efectos sinérgicos sobre el crecimiento vegetal, debido a que ambos elementos participan en el fortalecimiento estructural y en la regulación de procesos fisiológicos relacionados con la absorción de agua y nutrientes. En sistemas bajo cubierta, donde el crecimiento del cultivo depende directamente de la disponibilidad nutrimental, el manejo adecuado de estos elementos resulta fundamental para maximizar el desarrollo vegetativo y el rendimiento del cultivo (Faroutine et al., 2023).

En términos agronómicos, una mayor altura de planta representa una ventaja importante en cultivos de crecimiento indeterminado como el pepino Centauro F1, ya que permite una mayor formación de entrenudos, desarrollo foliar y potencial productivo. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este estudio confirman que la aplicación adecuada de calcio y silicio contribuye favorablemente al crecimiento vegetativo del cultivo bajo condiciones protegidas.

6.4 Longitud del fruto

La Figura 4 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre la longitud del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 27.24 y 29.68 cm. Los tratamientos T1(Control), T3(2 g L⁻¹ Camix + 6 g L⁻¹ Dmix) y T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) presentaron las mayores longitudes de fruto, con aumentos en un 1.29%, 0.41%, respectivamente, ubicándose dentro del grupo estadísticamente superior (A), mientras que el tratamiento T6(2.75 g L⁻¹ Camix + 9 g L⁻¹ Dmix) registró el menor valor, siendo significativamente diferente (C) de los tratamientos con mayor respuesta, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

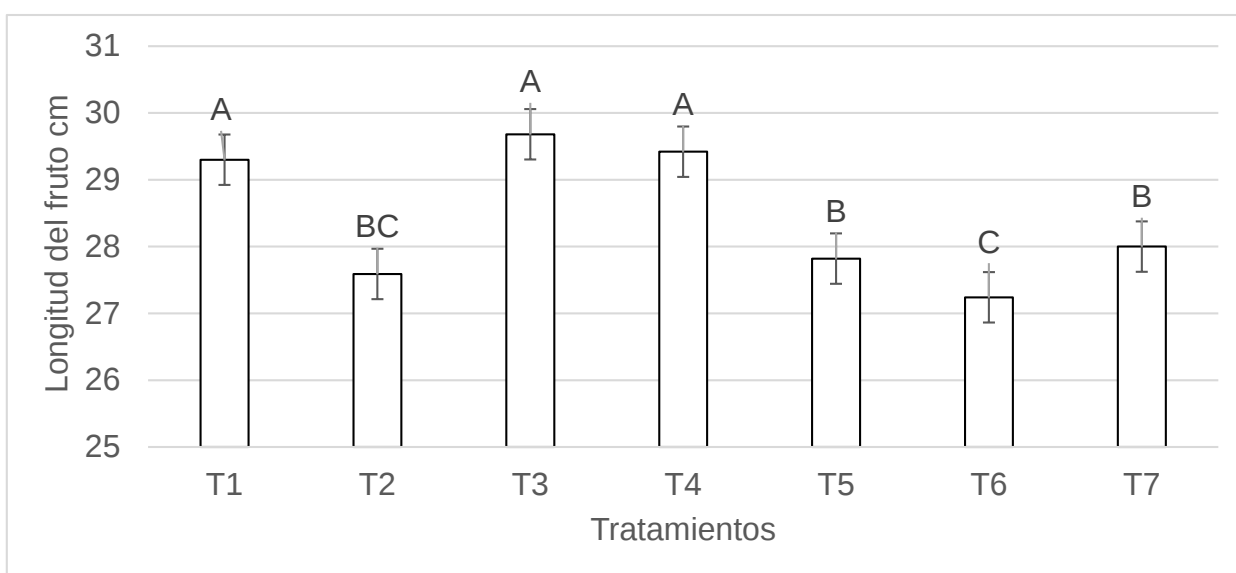


Figura 4.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre la longitud del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T5 y T7 mostraron valores intermedios (B), mientras que T2 se ubicó en la categoría (BC), lo que indica que la respuesta de esta variable dependió de la dosis y combinación de calcio y silicio aplicada. En el presente estudio, los tratamientos T3 y T4, que incluyeron aplicación de calcio y silicio, favorecieron significativamente la elongación del fruto respecto a otros tratamientos.

Los resultados obtenidos contrastan lo reportado por Mahdy et al., (2024), quienes evaluaron aplicaciones de nano calcio y nano silicio en pepino cultivado bajo condiciones de invernadero. Los autores observaron incrementos significativos en la longitud, diámetro y peso del fruto en tratamientos con aplicación de calcio y silicio, comparados con el tratamiento control. Asimismo, señalaron que el calcio promovió mayor crecimiento vegetativo y desarrollo de frutos, mientras que el silicio mejoró la eficiencia fisiológica y nutrimental de la planta.

El calcio participa directamente en procesos relacionados con la división y elongación celular, además de intervenir en la estabilidad de membranas y paredes celulares. Marschner, (2012) menciona que una adecuada disponibilidad de calcio favorece el crecimiento de órganos en desarrollo y mejora la firmeza y calidad estructural de los frutos.

Por otra parte, el silicio ha demostrado efectos benéficos en cultivos hortícolas debido a su participación en la regulación hídrica, fotosíntesis y fortalecimiento de tejidos vegetales. Swain & Rout, (2017) señalan que este elemento mejora el crecimiento y productividad de diversos cultivos al incrementar la eficiencia metabólica y reducir el estrés fisiológico.

Asimismo, estudios sobre desarrollo de frutos de pepino han demostrado que la longitud final del fruto depende principalmente del número y expansión celular durante las etapas tempranas de crecimiento. Investigaciones realizadas en diferentes genotipos de pepino reportan que la elongación del fruto está estrechamente relacionada con procesos hormonales y fisiológicos que regulan la división celular y acumulación de biomasa (Liu et al., 2020; Yane et al., 2024).

De igual manera, González-Terán et al., (2020) reportaron que aplicaciones de calcio y silicio mejoraron parámetros de crecimiento y calidad de frutos de pepino bajo condiciones de estrés salino, observando incrementos en tamaño y calidad comercial del fruto debido a una mejor absorción de nutrientes y fortalecimiento estructural de los tejidos.

El comportamiento observado en T6, donde se registró la menor longitud del fruto, sugiere que concentraciones elevadas o desbalanceadas de calcio y silicio podrían no generar beneficios adicionales sobre esta variable. Esto coincide con diversos estudios donde la respuesta del cultivo depende de la dosis óptima, el método de aplicación y las condiciones ambientales del sistema de producción (González-Terán et al., 2020; Mahdy et al., 2024).

En términos agronómicos, la longitud del fruto es una característica de gran importancia comercial en pepino, ya que influye directamente en la clasificación y aceptación del producto en el mercado. Por ello, los resultados obtenidos indican que el manejo adecuado de calcio y silicio puede contribuir favorablemente al desarrollo y calidad del fruto en sistemas bajo condiciones de invernadero.

6.5 Diámetro ecuatorial del fruto

La Figura 5 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el diámetro ecuatorial del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 5.33 y 5.83 cm. El tratamiento T3(2 g L⁻¹ Camix + 6 g L⁻¹ Dmix) presentó el mayor diámetro ecuatorial, con aumento en un 0.86%, ubicándose en el grupo estadísticamente superior (A), seguido de T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) (AB), mientras que el tratamiento T2(1.75 g L⁻¹ Camix + 5 g L⁻¹ Dmix) registró el menor valor, siendo significativamente diferente (E) a la mayoría de los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

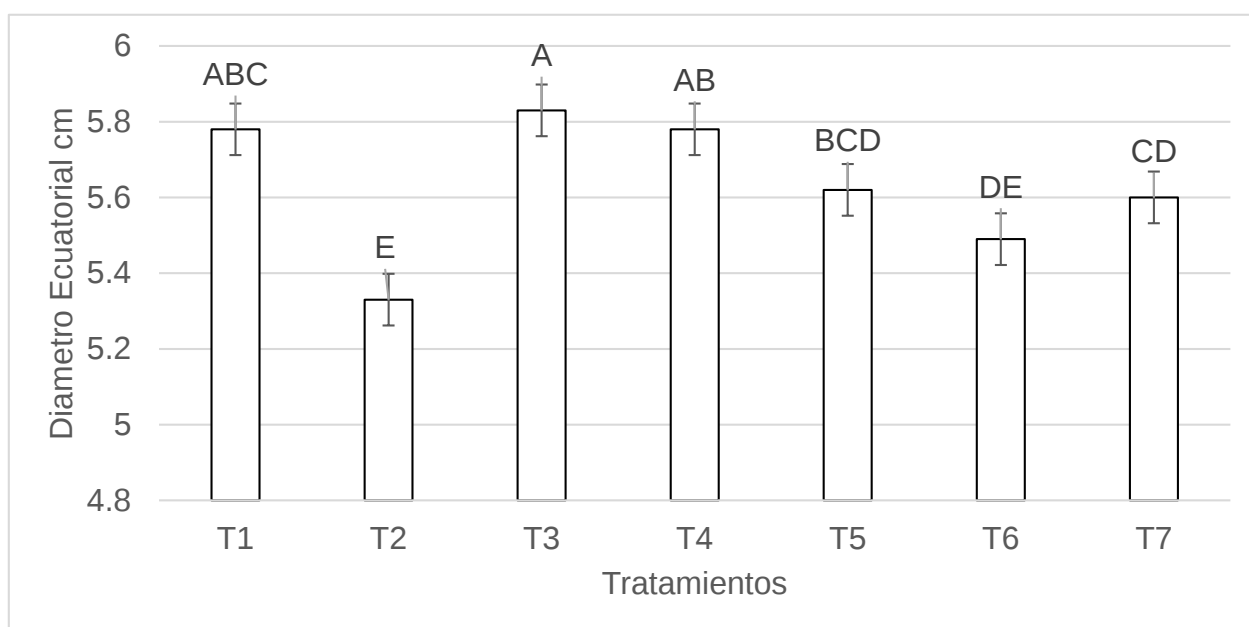


Figura 5.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre el diámetro ecuatorial del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T1(Control), T5, T6 y T7 mostraron valores intermedios, agrupándose entre las categorías (ABC), (BCD), (DE) y (CD), lo que indica que la respuesta del cultivo dependió de la dosis y combinación de calcio y silicio aplicada. En el presente estudio, los tratamientos T3 y T4, no tuvieron un efecto negativo en el desarrollo transversal del fruto, sugiriendo que ambos elementos contribuyeron al crecimiento y expansión celular.

El calcio desempeña un papel fundamental en la formación y estabilidad de las paredes celulares, además de participar en procesos relacionados con la división y expansión celular. Marschner, (2012) menciona que una adecuada disponibilidad de calcio mejora el desarrollo de órganos en crecimiento y contribuye a una mayor calidad física de los frutos.

Por otra parte, el silicio ha sido asociado con una mejora en el crecimiento y desarrollo de frutos debido a su efecto sobre la eficiencia fotosintética, absorción de nutrientes y regulación hídrica. Swain & Rout, (2017) señalan que el silicio fortalece los tejidos vegetales y favorece el desarrollo estructural de diversos cultivos hortícolas.

Los resultados obtenidos coinciden con (Mahdy et al., 2024), quienes reportaron incrementos significativos en diámetro y tamaño de frutos de pepino bajo aplicaciones de calcio y silicio en condiciones de invernadero. Los autores observaron que los tratamientos con ambos elementos mejoraron el crecimiento del fruto debido a una mayor actividad fisiológica y una mejor movilización de nutrientes hacia los órganos reproductivos.

Asimismo, (Wilfried Baudoin et al., 2013) reportaron que el silicio incrementa el crecimiento y productividad de cultivos hortícolas, favoreciendo frutos de mayor tamaño y mejor calidad comercial. Los autores atribuyen este efecto a la capacidad del silicio para mejorar la resistencia al estrés y aumentar la eficiencia en el uso de agua y nutrientes.

De igual manera, investigaciones realizadas en pepino bajo sistemas protegidos han demostrado que aplicaciones de calcio mejoran el tamaño y firmeza del fruto debido a su relación con procesos de expansión celular y transporte de carbohidratos. Fernandez & Eichert, (2009) mencionan que la aplicación eficiente de nutrientes vía foliar y radicular puede favorecer significativamente el desarrollo y calidad del fruto.

El comportamiento observado en T2, donde se registró el menor diámetro ecuatorial, sugiere que dosis bajas o desbalanceadas de calcio y silicio podrían limitar el crecimiento transversal del fruto. Esto coincide con reportes donde la respuesta del cultivo depende de la dosis óptima, el método de aplicación y las condiciones ambientales del sistema de producción.

En términos agronómicos, el diámetro ecuatorial es una característica importante para la calidad comercial del pepino, ya que influye en la clasificación y aceptación del fruto en el mercado. Los resultados obtenidos indican que la aplicación adecuada de calcio y silicio puede contribuir favorablemente al tamaño y calidad física del fruto en sistemas bajo condiciones de invernadero.

6.6 Diámetro polar del fruto

La Figura 6 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el diámetro polar del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 58.81 y 63.25 cm. Los tratamientos T1(Control), T3(2 g L⁻¹ Camix + 6 g L⁻¹ Dmix) y T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) presentaron los mayores valores de diámetro polar, con aumentos en un 0.06%, respectivamente, ubicándose dentro del grupo estadísticamente superior (A), mientras que los tratamientos T2(1.75 g L⁻¹ Camix + 5 g L⁻¹ Dmix), T5(2.5 g L⁻¹ Camix + 8 g L⁻¹ Dmix) y T6(2.75 g L⁻¹ Camix + 9 g L⁻¹ Dmix) mostraron los valores más bajos, perteneciendo al grupo estadístico (C). El tratamiento T7(3 g L⁻¹ Camix + 10 g L⁻¹ Dmix) presentó un valor intermedio, agrupándose en la categoría (B), de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

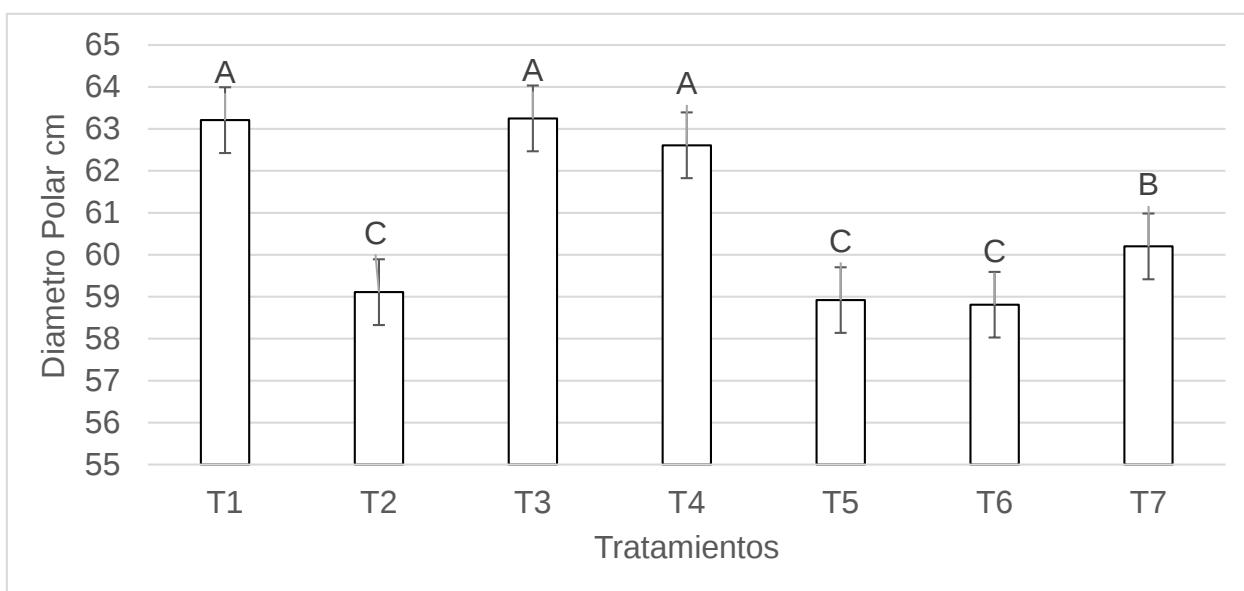


Figura 6.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre el diámetro polar del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los resultados obtenidos indican que algunos tratamientos con aplicación de calcio y silicio favorecieron el crecimiento longitudinal del fruto, particularmente T3 y T4. Sin embargo, el tratamiento T1(Control) también presentó uno de los valores más altos, lo

que sugiere que la respuesta del cultivo dependió de la dosis y equilibrio entre ambos elementos, más que de su sola aplicación.

Estos resultados coinciden parcialmente con lo reportado por Mahdy et al., (2024), quienes evaluaron la aplicación de nano calcio y nano silicio en pepino cultivado bajo condiciones de invernadero. Los autores observaron incrementos significativos en longitud, diámetro y peso del fruto en tratamientos con calcio y silicio, atribuyendo estos efectos a una mejora en la división y expansión celular, así como a un mayor transporte de fotoasimilados hacia los frutos.

El calcio participa activamente en la formación y estabilidad de paredes celulares, además de intervenir en procesos relacionados con el crecimiento y desarrollo del fruto. Marschner, (2012) menciona que este elemento es esencial para mantener la integridad estructural de los tejidos vegetales y favorecer el desarrollo de órganos en crecimiento.

Por otro lado, el silicio ha demostrado efectos positivos sobre la productividad y calidad de cultivos hortícolas, debido a que mejora la eficiencia fotosintética, regulación hídrica y resistencia al estrés. Swain & Rout, (2017) señalan que el silicio fortalece los tejidos vegetales y promueve un mejor desempeño fisiológico en cultivos bajo condiciones intensivas.

Asimismo, investigaciones sobre crecimiento y desarrollo de frutos de pepino han demostrado que el tamaño final del fruto depende de procesos de división y expansión celular regulados por factores fisiológicos y nutrimentales. Liu et al., (2020) reportaron que la elongación y diámetro del fruto están estrechamente relacionados con la actividad metabólica de la planta y la disponibilidad de nutrientes durante las primeras etapas de desarrollo del fruto.

De igual manera, (Wilfried Baudoin et al., 2013) señalaron que el silicio favorece el crecimiento y productividad de cultivos hortícolas cultivados en sistemas protegidos, observando frutos de mayor tamaño y mejor calidad comercial en tratamientos suplementados con este elemento. Los autores atribuyen estos efectos a una mejora en la absorción de nutrientes y eficiencia fisiológica de las plantas.

El comportamiento observado en T2, T5 y T6, donde se registraron menores valores de diámetro polar, sugiere que concentraciones bajas o desbalanceadas de calcio y silicio podrían limitar el crecimiento longitudinal del fruto. Esto coincide con diversos estudios donde la respuesta positiva de estos elementos depende de la dosis óptima, la vía de aplicación y las condiciones ambientales del cultivo. Además, se ha reportado que aplicaciones excesivas pueden alterar el equilibrio nutrimental y reducir la eficiencia fisiológica de la planta.

En términos agronómicos, el diámetro polar es una característica importante para la calidad comercial del pepino, ya que influye directamente en la uniformidad y aceptación del fruto en el mercado. Los resultados obtenidos en este estudio indican que la aplicación adecuada de calcio y silicio puede contribuir favorablemente al desarrollo del fruto bajo cultivo protegido, aunque la respuesta depende del equilibrio entre ambos nutrientes y las dosis utilizadas.

6.7 Peso del fruto

La Figura 7 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el peso del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 551.41 y 710.7 g por fruto. El tratamiento T3(2 g L⁻¹ Camix + 6 g L⁻¹ Dmix) presentó el mayor peso de fruto, con aumento en un 6.71%, respectivamente, ubicándose en el grupo estadísticamente superior (A), seguido de T1(Control) y T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix), los cuales se agruparon en la categoría (AB). Por otro lado, el tratamiento T2(1.75 g L⁻¹ Camix + 5 g L⁻¹ Dmix) registró el menor peso del fruto, siendo significativamente diferente (E) del resto de los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

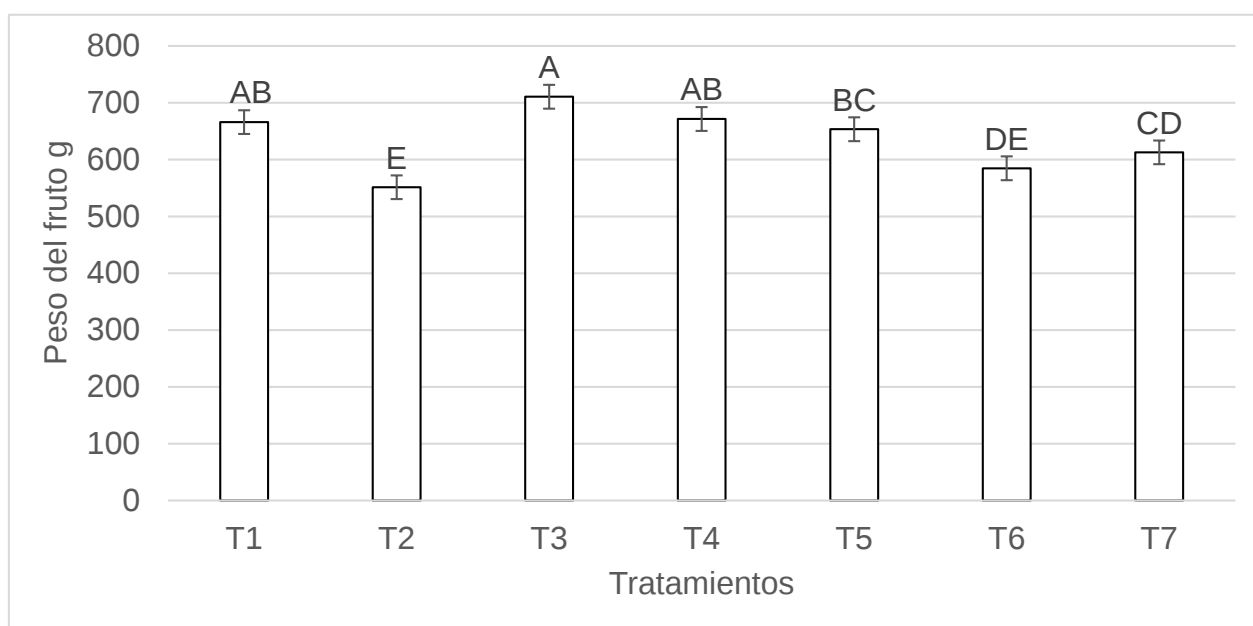


Figura 7.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre el peso del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T5, T6 y T7 mostraron valores intermedios, agrupándose entre las categorías (BC), (DE) y (CD), lo que indica que la respuesta del cultivo dependió de la dosis y combinación de calcio y silicio aplicada.

Los resultados obtenidos indican que la aplicación combinada de calcio y silicio tuvieron un efecto hormético en el peso del fruto, dado que dosis altas afectaron negativamente esta variable. Reyes-Pérez et al., (2024), evaluaron la aplicación de dióxido de silicio en pepino bajo condiciones de invernadero y observaron que las mayores concentraciones de silicio incrementaron significativamente el peso, diámetro y longitud de los frutos, además del rendimiento total del cultivo.

(Mahdy et al., 2024) reportaron incrementos significativos en el peso promedio y rendimiento de frutos de pepino mediante aplicaciones foliares de nano calcio y nano silicio. Los autores mencionan que ambos elementos mejoran la actividad fisiológica de la planta, favoreciendo una mayor fotosíntesis, absorción nutrimental y transporte de carbohidratos hacia los frutos. Además, destacaron que el calcio promovió mayor crecimiento vegetativo y desarrollo del fruto, mientras que el silicio mejoró la eficiencia metabólica de la planta.

El calcio desempeña un papel fundamental en el crecimiento y calidad de los frutos debido a su participación en la estabilidad de membranas celulares y paredes celulares. Ho & Adams, (1994) mencionan que el calcio es esencial para el desarrollo del fruto de pepino, ya que interviene en la acumulación de materia seca y en el mantenimiento del crecimiento bajo condiciones de estrés. Asimismo, los autores señalan que los frutos actúan como órganos de alta demanda fisiológica para la acumulación de calcio y fotoasimilados.

Por otra parte, el silicio ha sido ampliamente relacionado con incrementos en crecimiento y productividad de cultivos hortícolas. Estudios realizados por (Hu et al., 2022) demostraron que aplicaciones foliares de silicio mejoraron significativamente el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de pepino, incrementando además la acumulación de azúcares y compuestos antioxidantes. Los autores atribuyen este efecto a una mejora en la eficiencia fotosintética y en la regulación fisiológica de la planta.

Investigaciones sobre el desarrollo fisiológico de frutos de pepino indican que la acumulación de calcio en los tejidos del fruto está estrechamente relacionada con la tasa de crecimiento y acumulación de peso fresco. (Engelkes et al., 2019) reportaron que la

concentración y contenido de calcio en frutos de pepino presentan una relación directa con el crecimiento del fruto y las condiciones ambientales de cultivo.

El comportamiento observado en T2, donde se registró el menor peso del fruto, sugiere que dosis bajas o desbalanceadas de calcio y silicio podrían no ser suficientes para promover un crecimiento óptimo del fruto. Esto coincide con diversos estudios donde la respuesta del cultivo depende de la dosis adecuada, el estado fisiológico de la planta y las condiciones ambientales del sistema de producción.

En términos agronómicos, el peso del fruto es una de las variables más importantes en la producción comercial de pepino, debido a su relación directa con el rendimiento y valor económico del cultivo. Los resultados obtenidos en este estudio indican que la aplicación adecuada de calcio y silicio puede contribuir favorablemente al incremento del peso y calidad del fruto bajo condiciones de invernadero.

6.8 Sólidos Solubles Totales

La Figura 8 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre los sólidos solubles totales (°Brix) del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 3.3 y 4.1 °Brix. Los tratamientos T2(1.75 g L⁻¹ Camix + 5 g L⁻¹ Dmix) y T6(2.75 g L⁻¹ Camix + 9 g L⁻¹ Dmix) presentaron los °Brix más altos, con aumentos en un 24.24%, 21.21%, respectivamente, en comparación con el control, ubicándose dentro del grupo estadísticamente superior (A), mientras que los tratamientos T1(Control), T5(2.5 g L⁻¹ Camix + 8 g L⁻¹ Dmix) y T7(3 g L⁻¹ Camix + 10 g L⁻¹ Dmix) mostraron los valores más bajos, siendo significativamente diferentes (C) de los tratamientos con mayor respuesta, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

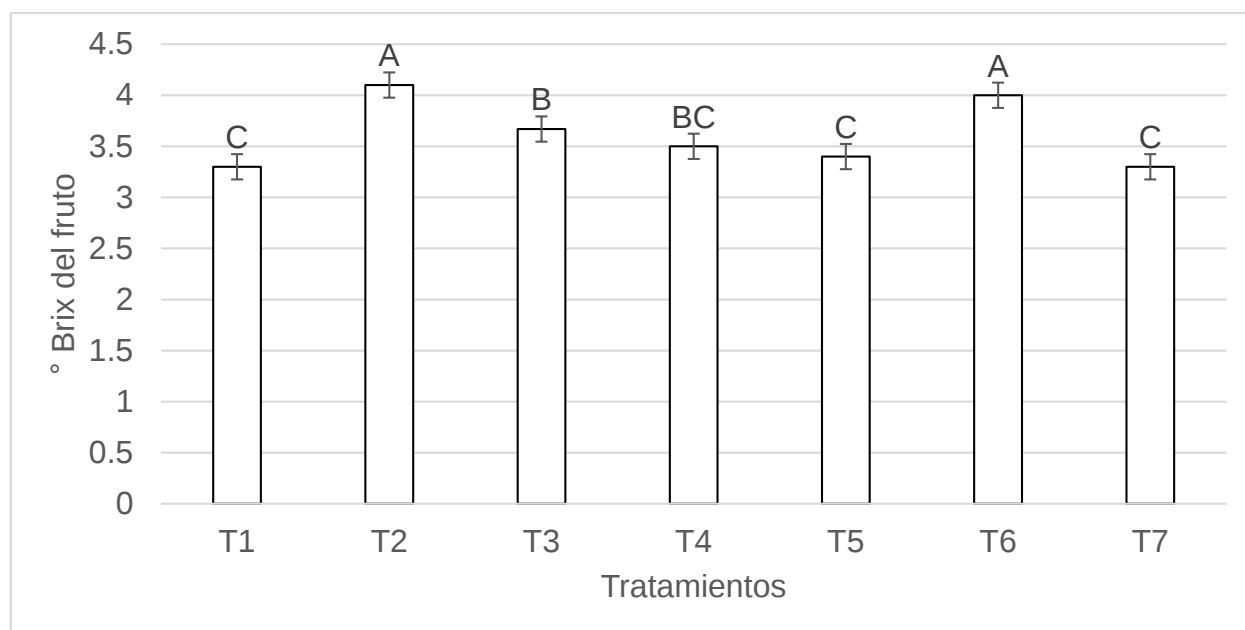


Figura 8.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre los sólidos solubles totales (°Brix) del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T3 y T4 mostraron valores intermedios, en las categorías (B) y (BC), lo que indica que la respuesta del cultivo dependió de la dosis y combinación de calcio y silicio aplicada.

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de calcio y silicio favoreció el incremento de sólidos solubles en algunos tratamientos, particularmente en T2 y T6. Esto sugiere que ambos elementos contribuyeron a mejorar la acumulación de azúcares y compuestos solubles en el fruto, posiblemente debido a una mayor eficiencia fotosintética y transporte de carbohidratos.

Estos resultados coinciden con lo reportado por (EL-MOGY et al., 2025), quienes evaluaron aplicaciones foliares de calcio, silicio y potasio nanoparticulado en pepino bajo estrés hídrico. Los autores observaron incrementos significativos en sólidos solubles totales, ácido ascórbico y compuestos fenólicos en frutos tratados con calcio y silicio, comparados con el tratamiento control. Además, señalaron que la combinación de ambos elementos mejoró la fotosíntesis, eficiencia en el uso de agua y actividad antioxidante, favoreciendo una mayor acumulación de compuestos de calidad en el fruto.

De igual manera, Cázares-Flores et al., (2022) reportaron que aplicaciones de silicio incrementaron los °Brix en frutos de pepino cultivados bajo condiciones protegidas. Los autores mencionan que el silicio favorece el metabolismo de carbohidratos y mejora la capacidad fotosintética de la planta, promoviendo una mayor acumulación de azúcares en los frutos.

El calcio desempeña un papel importante en la regulación metabólica y en el transporte de carbohidratos hacia los órganos de almacenamiento. (Marschner, 2012) menciona que este nutriente participa en procesos relacionados con la estabilidad de membranas celulares y actividad enzimática, factores que influyen directamente en la calidad y composición química de los frutos.

Por otra parte, el silicio ha sido asociado con mejoras en la fotosíntesis y síntesis de compuestos orgánicos. Gou et al., (2020) demostraron que el silicio incrementa la síntesis de clorofila y mejora la asimilación de nitrógeno en pepino, favoreciendo un crecimiento más eficiente y una mayor acumulación de biomasa y azúcares solubles.

Asimismo, investigaciones realizadas por Hu et al., (2022) reportaron que aplicaciones foliares de silicio incrementaron significativamente los niveles de azúcares solubles,

aminoácidos y vitamina C en frutos de pepino. Los autores atribuyen este efecto a una mejora en la eficiencia fotosintética y en el transporte de fotoasimilados hacia el fruto.

El comportamiento observado en los tratamientos T1, T5 y T7, donde se registraron menores valores de °Brix, sugiere que dosis insuficientes o desbalanceadas de calcio y silicio podrían limitar la acumulación de sólidos solubles. Esto coincide con diversos estudios donde la respuesta del cultivo depende de la concentración aplicada, el método de aplicación y las condiciones fisiológicas de la planta. Además, se ha señalado que el efecto positivo del silicio es más evidente cuando las plantas se encuentran bajo condiciones de estrés o alta demanda metabólica (Shalaby et al., 2021).

En términos agronómicos, los °Brix representan una variable importante en la calidad comercial y organoléptica del pepino, ya que se relacionan con el contenido de azúcares, sabor y aceptación del fruto. Los resultados obtenidos indican que la aplicación adecuada de calcio y silicio puede contribuir favorablemente a mejorar la calidad química del fruto en sistemas bajo condiciones de invernadero.

6.9 pH del fruto

La Figura 9 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el pH del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 5.14 y 5.57. El tratamiento T3(2 g L⁻¹ Camix + 6 g L⁻¹ Dmix) presentó el mayor valor de pH, con aumento en un 2.39%, respectivamente, ubicándose dentro del grupo estadísticamente superior (A), mientras que el tratamiento T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) registró el menor valor, siendo significativamente diferente (B) del tratamiento con mayor respuesta, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

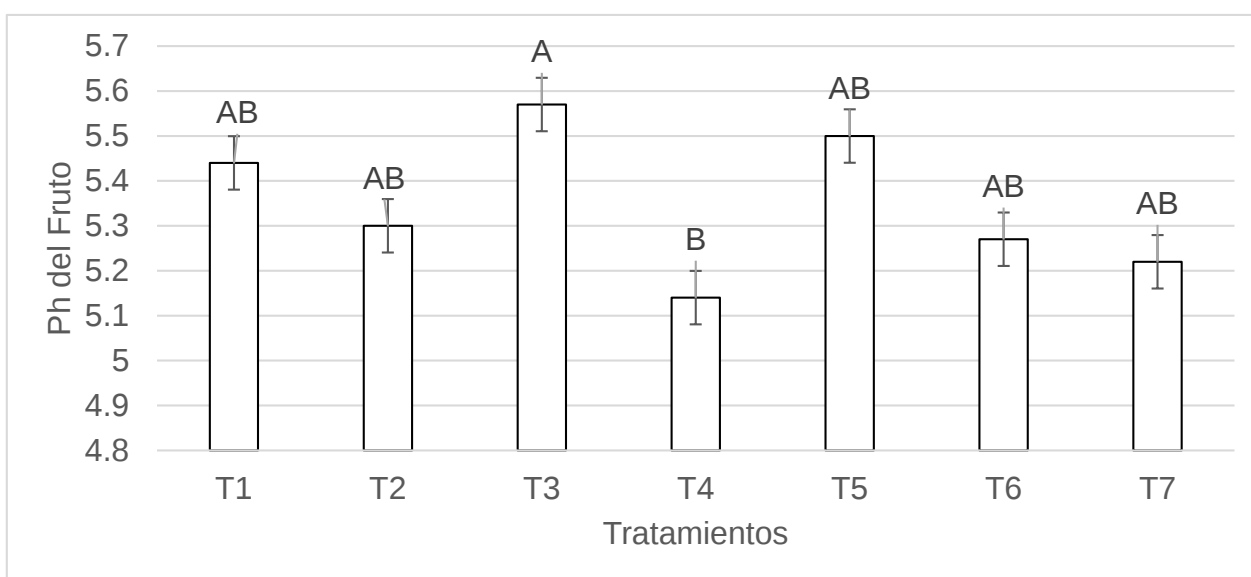


Figura 9.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre el pH del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T1(Control), T2, T5, T6 y T7 mostraron valores intermedios, agrupándose principalmente en las categorías (AB), lo que indica que la aplicación de calcio y silicio tuvo influencia sobre esta variable de calidad del fruto. En el presente estudio, algunos tratamientos con aplicación de calcio y silicio, particularmente T3 y T5, favorecieron un incremento en el pH del fruto respecto a otros tratamientos, lo cual sugiere una modificación en la composición química y fisiológica del fruto derivada de la nutrición mineral aplicada.

Estos resultados coinciden con lo reportado por (Nuñez-Ambriz et al., 2025), quienes evaluaron diferentes vías y dosis de silicio en pepino cultivado en tezontle bajo condiciones protegidas. Los autores observaron que la aplicación de 1500 mg L⁻¹ de silicio vía raíz incrementó el pH del fruto en 4.9 % respecto al tratamiento control, además de mejorar variables de calidad y rendimiento. Asimismo, señalaron que el silicio favorece la acumulación de nutrientes y mejora la calidad fisicoquímica del fruto.

De igual manera, Cázares-Flores et al., (2022) reportaron que la aplicación de silicio en pepino y tomate modificó variables de calidad poscosecha, incluyendo pH y sólidos solubles totales. Los autores mencionan que el silicio puede influir sobre procesos metabólicos relacionados con la acumulación de compuestos orgánicos y regulación del equilibrio iónico dentro del fruto.

El calcio desempeña un papel importante en la estabilidad de membranas celulares y en la regulación de procesos metabólicos relacionados con la maduración y calidad del fruto. Marschner, (2012) menciona que este nutriente participa en mecanismos fisiológicos asociados con el transporte de compuestos orgánicos y la integridad celular, factores que influyen directamente en características fisicoquímicas como acidez y pH.

Por otra parte, el silicio ha sido asociado con una mejora en la eficiencia fisiológica y antioxidante de las plantas, lo que puede influir sobre la composición química de los frutos. Nuñez-Ambriz et al., (2025) señalaron que el silicio interactúa con elementos esenciales y benéficos dentro de la planta, favoreciendo procesos de absorción y metabolismo nutrimental que repercuten directamente en la calidad del fruto.

Asimismo, investigaciones realizadas por (Nuñez-Ambriz et al., 2025) demostraron que aplicaciones de calcio y silicio mejoraron parámetros de calidad de frutos de pepino, incluyendo firmeza, tamaño y composición química. Los autores atribuyen estos efectos a una mejora en el equilibrio nutrimental y en la resistencia fisiológica de la planta bajo condiciones de estrés.

El comportamiento observado en T4, donde se registró el menor valor de pH, podría indicar que determinadas dosis o combinaciones de calcio y silicio favorecen una mayor acumulación de ácidos orgánicos en el fruto, disminuyendo ligeramente el pH. Esto

coincide con reportes donde la respuesta del pH depende de la dosis aplicada, la vía de aplicación y el estado fisiológico del cultivo. Además, diversos autores han señalado que cambios en el pH del fruto están estrechamente relacionados con procesos de maduración y metabolismo de carbohidratos y ácidos orgánicos (Cázarez-Flores et al., 2022).

En términos agronómicos, el pH del fruto es una variable importante debido a su relación con la calidad poscosecha, sabor, estabilidad y aceptación comercial del producto. Los resultados obtenidos indican que la aplicación adecuada de calcio y silicio puede contribuir favorablemente a modificar características fisicoquímicas del fruto de pepino bajo condiciones de invernadero.

6.10 Firmeza del fruto

La Figura 10 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre la firmeza de frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores de firmeza oscilaron entre 7.22 y 8.87 kg cm⁻². El tratamiento T2 (1.75 g L⁻¹ Camix + 5 g L⁻¹ Dmix), T4 (2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) y T6 (2.75 g L⁻¹ Camix + 9 g L⁻¹ Dmix) presentaron las mayores firmezas con aumentos en un 13.06%, 13.57%, 12.67%, respectivamente, en comparación con el control; ubicándose dentro del grupo estadísticamente superior (A), mientras que el tratamiento T7 (3 g L⁻¹ Camix + 10 g L⁻¹ Dmix) mostró el valor más bajo, siendo significativamente diferente (C) de los tratamientos con mayor respuesta, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

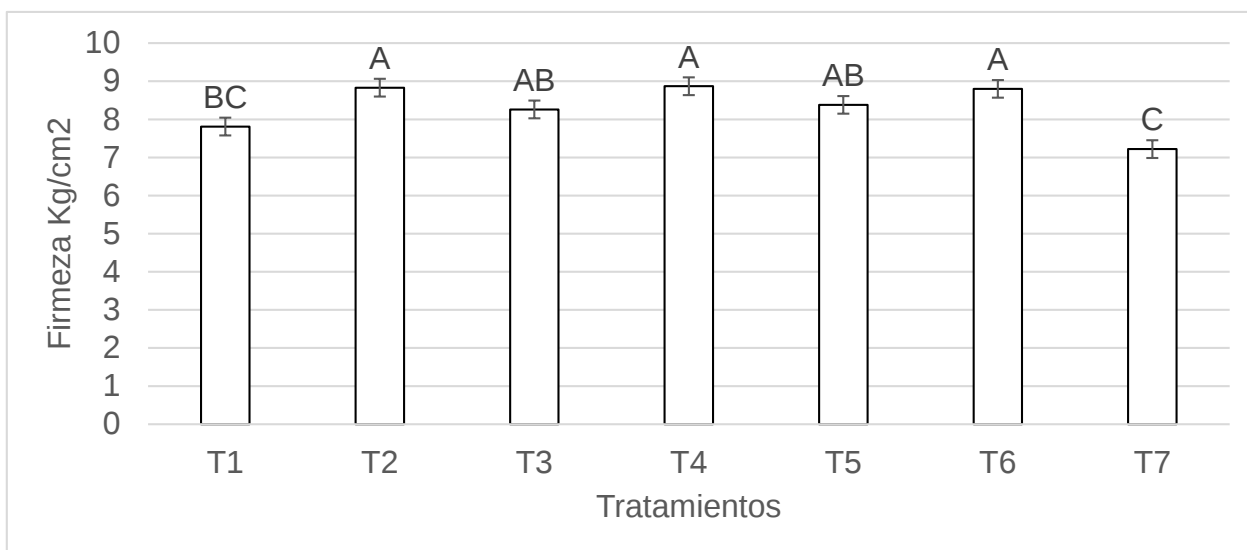


Figura 10.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre la firmeza del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos intermedios T1(Control) en (BC) y los T3 y T5 se agruparon en categorías (AB), lo que indica que no existe una tendencia lineal estricta en la respuesta de la firmeza respecto a las dosis aplicadas. Este comportamiento sugiere que la combinación de calcio y silicio tiene un efecto positivo en la firmeza del fruto, pero depende de la dosis y de la interacción entre ambos elementos.

Estos resultados coinciden con lo reportado Nuñez-Ambriz & Apáez-Barrios, (2025) específicamente en el estudio de aplicación de silicio en pepino, donde se observó que la firmeza del fruto se incrementó hasta en un 19–20% con dosis altas de silicio aplicadas tanto vía foliar como radicular. Este efecto positivo del silicio en la firmeza se atribuye a su capacidad para depositarse en las paredes celulares, aumentando la rigidez estructural y reduciendo la pérdida de agua en los tejidos.

En este caso, los tratamientos con mejor respuesta (T2, T4 y T6) podrían estar reflejando este mismo mecanismo fisiológico, donde la combinación de calcio y silicio favorece el reforzamiento de la pared celular. El calcio contribuye formando enlaces con pectinas en la lámina media, lo que incrementa la cohesión celular y retrasa el ablandamiento del fruto, mientras que el silicio actúa como un elemento estructural adicional que mejora la resistencia mecánica. Asimismo, el hecho de que el tratamiento T7 presentara la menor firmeza sugiere que dosis más altas o desbalanceadas de estos elementos no necesariamente mejoran la calidad del fruto, lo cual también ha sido reportado en estudios donde la respuesta del cultivo depende de la dosis óptima y de la vía de aplicación (Nuñez-Ambriz & Apáez-Barrios, 2025).

Adicionalmente, investigaciones previas han demostrado que el silicio no solo incrementa la firmeza, sino que también mejora la calidad postcosecha al reducir la transpiración y aumentar la integridad de los tejidos, lo que se traduce en frutos con mayor vida de anaquel y resistencia al manejo (Cázarez-Flores et al., 2022). Esto respalda los resultados observados en este estudio, donde los tratamientos con aplicación combinada mostraron una tendencia a mayor firmeza en comparación con aquellos de menor respuesta.

6.11 Clorofila total

La Figura 11 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el contenido de clorofila total en la cáscara del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 0.55 y 0.64 mg/g. Los tratamientos T1(Control) y T7(3 g L⁻¹ Camix + 10 g L⁻¹ Dmix) presentaron los mayores contenidos de clorofila total, con aumentos en un 1.59%, respectivamente, ubicándose dentro del grupo estadísticamente superior (A), mientras que los tratamientos T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) y T6(2.75 g L⁻¹ Camix + 9 g L⁻¹ Dmix) registraron los valores más bajos, siendo significativamente diferentes (C), de los tratamientos con mayor respuesta, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

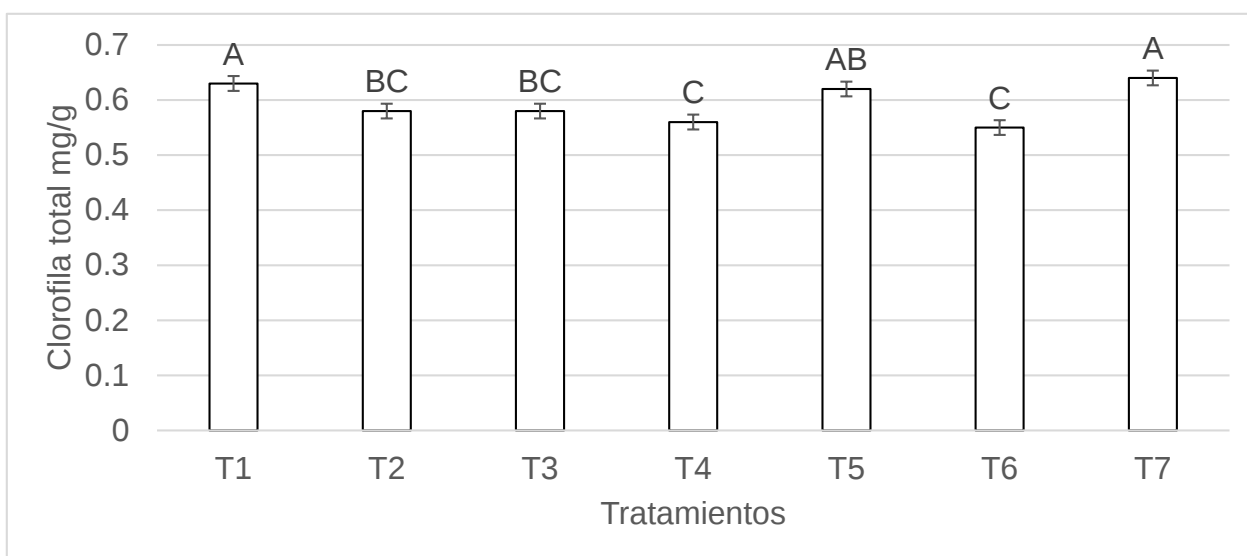


Figura 11.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre el contenido de clorofila total en la cáscara del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T2 y T3 mostraron valores intermedios (BC), mientras que T5 se ubicó en la categoría (AB), indicando que la respuesta de esta variable dependió de la dosis y combinación de calcio y silicio aplicada. En el presente estudio, algunos tratamientos con calcio y silicio favorecieron la conservación de clorofila en la epidermis del fruto, lo cual podría relacionarse con una mayor estabilidad fisiológica y retraso en procesos de degradación pigmentaria.

Estos resultados coinciden con lo reportado por EL-MOGY et al., (2025), quienes evaluaron aplicaciones foliares de calcio, silicio y potasio nanoparticulado en pepino bajo condiciones de estrés hídrico. Los autores observaron que las aplicaciones de calcio y silicio incrementaron significativamente el contenido de clorofila y mejoraron parámetros fisiológicos relacionados con la actividad fotosintética y calidad del fruto. Además, señalaron que el silicio favoreció la estabilidad de pigmentos fotosintéticos al reducir el daño oxidativo y mejorar la eficiencia metabólica de las plantas.

El calcio participa en la estabilidad estructural de membranas celulares y cloroplastos, contribuyendo al mantenimiento de la integridad de los pigmentos fotosintéticos. Marschner, (2012) menciona que una adecuada nutrición cálcica favorece la estabilidad de tejidos vegetales y disminuye procesos de degradación celular asociados al estrés fisiológico.

Por otra parte, el silicio ha demostrado efectos positivos sobre la síntesis y conservación de clorofila en diferentes cultivos hortícolas. (Gou et al., 2020) reportaron que aplicaciones de silicio en pepino incrementaron significativamente el contenido de clorofila y mejoraron la actividad fotosintética, debido a una mayor asimilación de nitrógeno y protección de los cloroplastos frente al estrés oxidativo.

De igual manera, Pavlovic et al., (2021) indicaron que el silicio interactúa con nutrientes esenciales y mejora procesos fisiológicos relacionados con la fotosíntesis y protección antioxidante de los tejidos vegetales. Esto puede favorecer la conservación de pigmentos verdes y retrasar procesos de senescencia en frutos hortícolas.

El comportamiento observado en T4 y T6, donde se registraron menores contenidos de clorofila total, sugiere que determinadas concentraciones o combinaciones de calcio y silicio podrían no ser suficientes para mantener altos niveles de pigmentos fotosintéticos en la cáscara del fruto. Esto coincide con diversos estudios donde la respuesta depende de la dosis aplicada, el estado fisiológico del cultivo y las condiciones ambientales del sistema de producción.

En términos agronómicos, el contenido de clorofila en la cáscara del pepino es una característica importante debido a su relación con la apariencia visual, calidad comercial

y frescura del fruto. Los resultados obtenidos indican que la aplicación adecuada de calcio y silicio puede contribuir favorablemente a conservar la coloración verde y calidad fisiológica del fruto bajo condiciones de invernadero.

6.12 Clorofila A

La Figura 12 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el contenido de clorofila A en la cáscara del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 0.26 y 0.29 mg g. El tratamiento T7(3 g L⁻¹ Camix + 10 g L⁻¹ Dmix) presentó el mayor contenido de clorofila A, con aumento en un 3.57%, respectivamente, ubicándose dentro del grupo estadísticamente superior (A), mientras que los tratamientos T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) y T6(2.75 g L⁻¹ Camix + 9 g L⁻¹ Dmix) registraron los valores más bajos, siendo significativamente diferente (B) del tratamiento con mayor respuesta, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

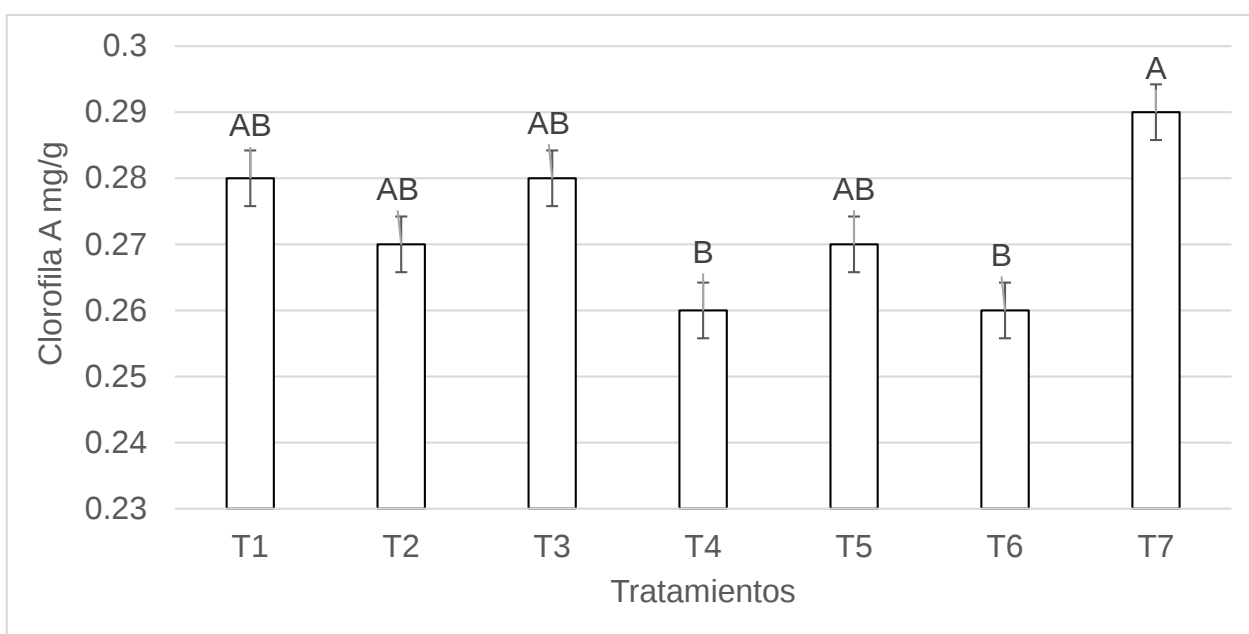


Figura 12.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre el contenido de clorofila A en la cáscara del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T1(Control), T2, T3 y T5 mostraron valores intermedios agrupados principalmente en la categoría (AB), lo que indica que la aplicación de calcio y silicio influyó sobre la concentración de este pigmento fotosintético. En el presente estudio, el

incremento observado en T7 sugiere que determinadas combinaciones de calcio y silicio favorecieron la conservación y estabilidad de la clorofila A en la epidermis del fruto.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Hu et al., (2022), quienes evaluaron aplicaciones foliares de silicio y selenio en pepino cultivado bajo condiciones de campo. Los autores observaron incrementos significativos en el contenido de clorofila y en la actividad fotosintética de las plantas tratadas con silicio, atribuyendo este efecto a una mejora en la protección antioxidante y estabilidad de los cloroplastos. Además, señalaron que el silicio favoreció la acumulación de pigmentos fotosintéticos y mejoró la calidad fisiológica del cultivo.

El calcio desempeña un papel importante en la estabilidad estructural de membranas celulares y organelos fotosintéticos. Marschner, (2012) menciona que una adecuada nutrición cálcica contribuye a mantener la integridad de los cloroplastos y favorece procesos metabólicos relacionados con la síntesis y conservación de pigmentos fotosintéticos.

Por otra parte, el silicio ha sido ampliamente relacionado con incrementos en clorofila y actividad fotosintética en cultivos hortícolas. Gou et al., (2020) reportaron que aplicaciones de silicio en pepino incrementaron significativamente la síntesis de clorofila y la asimilación de nitrógeno, mejorando la eficiencia fotosintética y el crecimiento vegetal. Los autores señalaron que el silicio protege a los cloroplastos frente al daño oxidativo y reduce la degradación de pigmentos fotosintéticos.

De igual manera, (Pavlovic et al., 2021) señalaron que el silicio interactúa con nutrientes esenciales y mejora procesos relacionados con la fotosíntesis, estabilidad celular y metabolismo antioxidante. Estas interacciones favorecen la conservación de pigmentos verdes y retrasan procesos de degradación fisiológica en tejidos vegetales.

El comportamiento observado en T4 y T6, donde se registraron menores contenidos de clorofila A, sugiere que ciertas dosis o combinaciones de calcio y silicio podrían no ser suficientes para mantener altos niveles de pigmentos fotosintéticos. Esto coincide con diversos estudios donde la respuesta fisiológica del cultivo depende de la concentración aplicada, la vía de aplicación y las condiciones ambientales del sistema de producción.

En términos agronómicos, la clorofila A es un indicador importante de la calidad fisiológica y apariencia comercial del fruto de pepino, debido a su relación con la intensidad de color verde y frescura del producto. Los resultados obtenidos indican que la aplicación adecuada de calcio y silicio puede contribuir favorablemente a mantener la estabilidad de pigmentos fotosintéticos y mejorar la calidad del fruto bajo condiciones de invernadero.

6.13 Clorofila B

La Figura 13 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el contenido de clorofila B en la cáscara del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 0.28 y 0.34 mg g. Los tratamientos T1(Control), T5(2.5 g L⁻¹ Camix + 8 g L⁻¹ Dmix) y T7(3 g L⁻¹ Camix + 10 g L⁻¹ Dmix) presentaron los mayores contenidos de clorofila B, ubicándose dentro del grupo estadísticamente superior (A), mientras que los tratamientos T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) y T6(2.75 g L⁻¹ Camix + 9 g L⁻¹ Dmix) registraron los valores más bajos, siendo significativamente diferentes (B) de los tratamientos con mayor respuesta, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

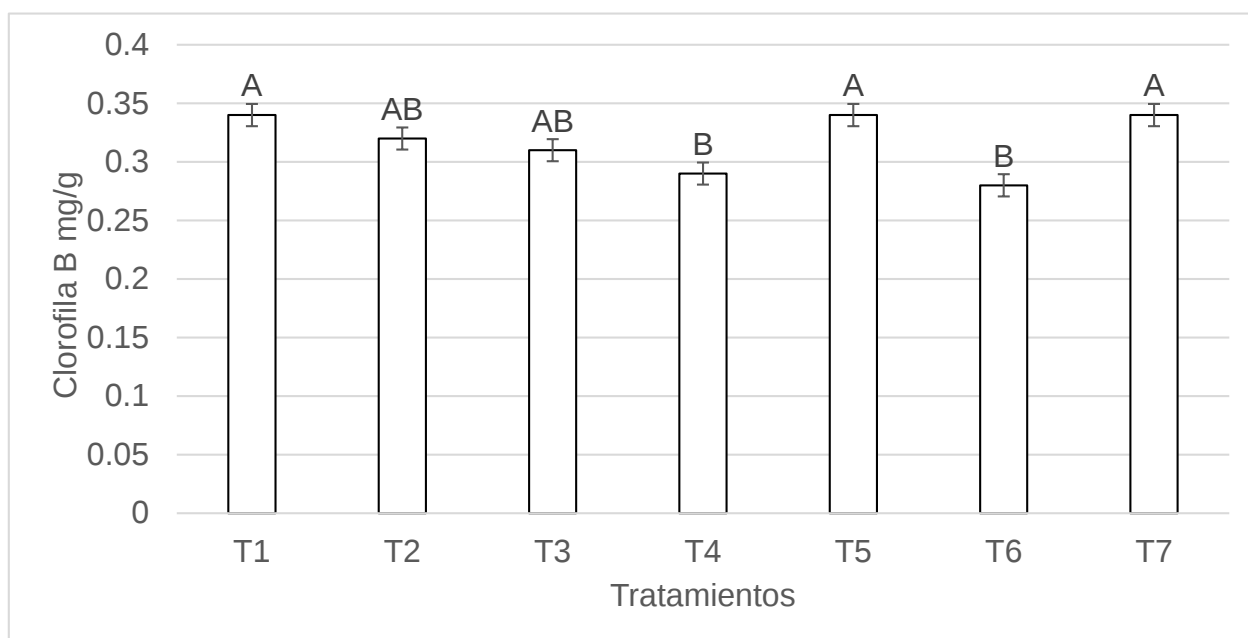


Figura 13.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre el contenido de clorofila B en la cáscara del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T2 y T3 mostraron valores intermedios agrupados en la categoría (AB), lo que indica que la aplicación de calcio y silicio influyó sobre la concentración de este pigmento fotosintético. En el presente estudio, los mayores contenidos de clorofila B observados en T1(Control), T5 y T7 sugieren que determinadas combinaciones de calcio

y silicio favorecieron la conservación de pigmentos fotosintéticos y la estabilidad fisiológica del fruto.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Harizanova & Koleva-Valkova, (2019), quienes evaluaron el efecto del silicio sobre la fotosíntesis y parámetros de fluorescencia de clorofila en pepino cultivado hidropónicamente bajo estrés salino. Los autores encontraron que la aplicación de silicio incrementó significativamente los contenidos de clorofila A, clorofila B y clorofila total en plantas de pepino, además de mejorar la actividad fotosintética y reducir los efectos negativos del estrés salino. Asimismo, reportaron que el silicio favoreció la estabilidad de los pigmentos fotosintéticos y protegió los cloroplastos frente al daño oxidativo.

El calcio participa en la estabilidad de membranas celulares y organelos fotosintéticos, contribuyendo al mantenimiento estructural de los cloroplastos y la conservación de pigmentos verdes. Marschner, (2012) menciona que una adecuada nutrición cálcica favorece la integridad celular y disminuye procesos de degradación asociados al estrés fisiológico.

Por otra parte, el silicio ha demostrado efectos positivos sobre la síntesis y acumulación de clorofila en cultivos hortícolas. (Gou et al., 2020) reportaron que aplicaciones de silicio en pepino incrementaron significativamente la síntesis de clorofila y mejoraron la asimilación de nitrógeno bajo condiciones de estrés por nitratos. Los autores señalaron que el silicio favorece la actividad fotosintética y reduce el daño oxidativo en los tejidos vegetales.

Asimismo, Yin et al., (2019) observaron que la aplicación de silicio incrementó el contenido de clorofila y mejoró la tolerancia al estrés salino en plantas de pepino, debido a una reducción en el daño oxidativo y una mayor estabilidad metabólica. Los autores señalaron que el silicio favorece mecanismos antioxidantes que protegen los pigmentos fotosintéticos frente a condiciones adversas.

De igual manera, (Shalaby et al., 2021) reportaron que aplicaciones foliares de silicio incrementaron significativamente la clorofila y parámetros fotosintéticos en pepino cultivado bajo estrés combinado de salinidad y altas temperaturas. Los autores

atribuyeron estos efectos a una mejora en la eficiencia fotosintética y protección antioxidante de los tejidos vegetales.

El comportamiento observado en T4 y T6, donde se registraron menores contenidos de clorofila B, sugiere que ciertas dosis o combinaciones de calcio y silicio podrían no ser suficientes para mantener altos niveles de pigmentos fotosintéticos. Esto coincide con diversos estudios donde la respuesta fisiológica del cultivo depende de la concentración aplicada, método de aplicación y condiciones ambientales del sistema de producción. Además, se ha reportado que el silicio presenta mayores efectos positivos bajo condiciones de estrés fisiológico o alta demanda metabólica.

En términos agronómicos, la clorofila B es un indicador importante de la actividad fotosintética y calidad visual del fruto, debido a su relación con la intensidad de color verde y frescura comercial. Los resultados obtenidos indican que la aplicación adecuada de calcio y silicio puede contribuir favorablemente a mantener la estabilidad fisiológica y calidad del fruto de pepino en condiciones de invernadero.

6.14 Acidez titulable

La Figura 14 muestra el efecto de diferentes dosis combinadas de Calciomix (Camix, vía drench) y Diatomix (Dmix, vía foliar) sobre el porcentaje de ácido cítrico en frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores oscilaron entre 0.12 y 0.15 %. El tratamiento T2(1.75 g L⁻¹ Camix + 5 g L⁻¹ Dmix) presento el mayor porcentaje de acidez titulable expresada como ácido cítrico, con aumento en un 25%, respectivamente, en comparación con el control, ubicándose dentro del grupo estadísticamente superior (A), seguido por el T5(2.5 g L⁻¹ Camix + 8 g L⁻¹ Dmix) (AB), mientras que los tratamientos T1(Control) y T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) mostraron los valores más bajos, siendo significativamente diferentes (C) del tratamiento con mayor respuesta, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

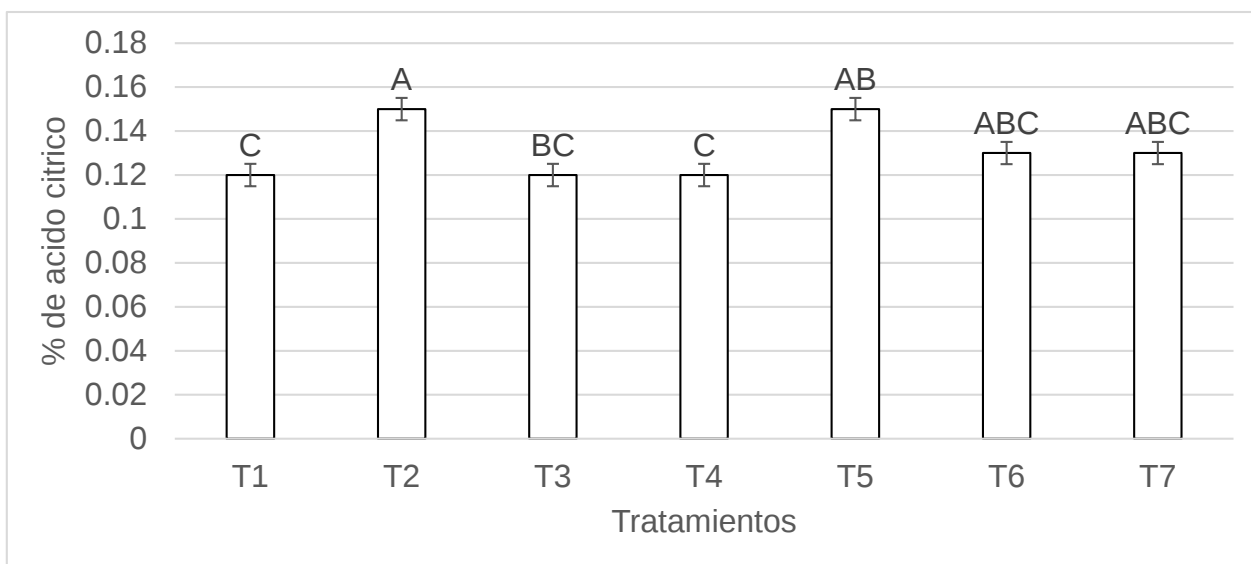


Figura 14.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre el porcentaje de ácido cítrico en frutos del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T3, T6 y T7 mostraron valores intermedios agrupados en las categorías (BC) y (ABC), lo que indica que la aplicación de calcio y silicio influyó sobre la acumulación de ácidos orgánicos en el fruto. En el presente estudio, las aplicaciones de calcio y silicio favorecieron un incremento moderado en el porcentaje de ácido cítrico,

particularmente en T2 y T5, lo cual sugiere una mejora en el metabolismo fisiológico y bioquímico del fruto.

Estos resultados coinciden con lo reportado por González-García et al., (2022), quienes evaluaron dos formas de silicio en frutos de pepino y observaron incrementos significativos en la acidez titulable respecto al tratamiento control. Los autores reportaron aumentos de hasta 38.8 % en acidez titulable con aplicaciones de silicato de potasio y nanopartículas de silicio, atribuyendo este efecto a una mejora en la actividad metabólica y en la acumulación de compuestos bioactivos durante el desarrollo del fruto.

El calcio participa activamente en la regulación del metabolismo celular y en la estabilidad de membranas, procesos relacionados con la síntesis y acumulación de ácidos orgánicos. (Marschner, 2012) menciona que el calcio desempeña funciones importantes en la regulación enzimática y transporte de metabolitos, influyendo directamente en la calidad química y fisiológica de los frutos.

Por otra parte, el silicio ha demostrado efectos positivos sobre la calidad bioquímica de frutos hortícolas, debido a su participación en mecanismos antioxidantes y regulación fisiológica. Lyu et al., (2022) reportaron que aplicaciones exógenas de silicio en pepino mejoraron la absorción nutrimental, metabolismo del nitrógeno y actividad antioxidante, favoreciendo un mejor equilibrio fisiológico y reducción del estrés oxidativo.

Asimismo, (Hu et al., 2022) señalaron que aplicaciones foliares de silicio incrementaron la calidad química de frutos de pepino, incluyendo sólidos solubles, vitamina C y compuestos antioxidantes. Los autores atribuyeron estos efectos a una mejora en la fotosíntesis, transporte de fotoasimilados y regulación metabólica del cultivo.

De igual manera, da Silva et al., (2021) indicaron que el silicio puede atenuar deficiencias nutrimentales y mejorar parámetros de calidad vegetal relacionados con compuestos antioxidantes y ácidos orgánicos. Los autores mencionan que el silicio favorece la estabilidad fisiológica y reduce el daño oxidativo en tejidos vegetales.

Además, investigaciones realizadas por Meng et al., (2021); Szegő et al., (2021) demostraron que el silicio mejora la actividad antioxidante y regula mecanismos

relacionados con especies reactivas de oxígeno en plantas de pepino, contribuyendo a mantener una mejor estabilidad metabólica y fisiológica.

El comportamiento observado en T1, T3 y T4, donde se registraron menores porcentajes de ácido cítrico, sugiere que determinadas dosis o combinaciones de calcio y silicio podrían no ser suficientes para estimular la acumulación de ácidos orgánicos en el fruto. Esto coincide con diversos estudios donde la respuesta fisiológica depende de la concentración aplicada, la vía de aplicación y el estado nutricional de las plantas.

En términos agronómicos, la acidez titulable es una variable importante en la calidad del fruto debido a su relación con sabor, frescura y estabilidad poscosecha. Los resultados obtenidos indican que la aplicación adecuada de calcio y silicio puede contribuir favorablemente a mejorar características bioquímicas del fruto de pepino bajo condiciones de invernadero.

6.15 Vitamina C

La Figura 15 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 pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores de vitamina C oscilaron entre 3.35 y 4.58 mg 100 g de muestra. El tratamiento T4(2.25 g L⁻¹ Camix + 7 g L⁻¹ Dmix) presentó el mayor contenido de vitamina C, con aumento de 13.93%, respectivamente, ubicándose dentro del grupo estadísticamente superior (A), particularmente T7(3 g L⁻¹ Camix + 10 g L⁻¹ Dmix), el cual mostró el valor más bajo, siendo significativamente diferente (C) del tratamiento con mayor respuesta, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

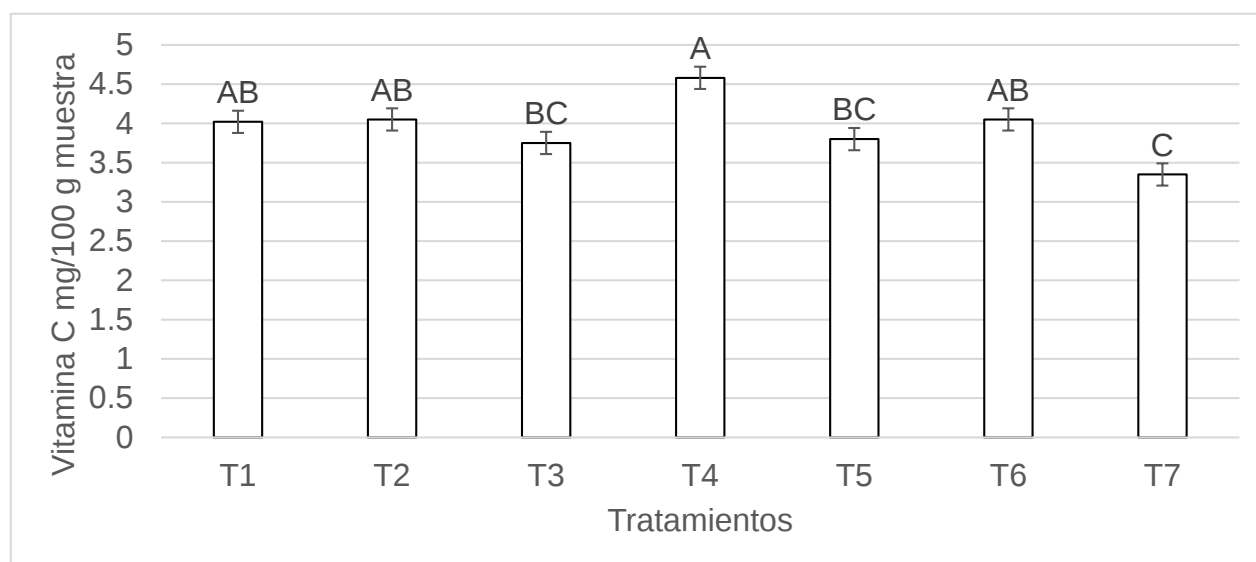


Figura 15.- Efecto de la aplicación de distintas dosis de Calciomix (Camix) y Diatomix (Dmix) usadas semanalmente sobre la vitamina C del fruto del pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los valores representados en la gráfica son las medias y las barras el error estándar mientras que las letras muestran las diferencias significativas y las que son estadísticamente iguales entre los tratamientos, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los tratamientos T1(Control), T2 y T6 se ubicaron en un grupo intermedio (AB), lo que indica que no difieren significativamente entre sí ni respecto al tratamiento con mayor contenido T4, pero sí presentan tendencia a valores superiores en comparación con los tratamientos de menor respuesta. Por otro lado, T3 y T5 mostraron valores intermedios (BC), evidenciando una posible respuesta diferencial a las dosis aplicadas.

Estos resultados sugieren que la aplicación combinada de calcio y silicio puede influir positivamente en la síntesis y acumulación de compuestos antioxidantes como la vitamina C, aunque la respuesta no presenta una relación estrictamente lineal con la dosis. En términos fisiológicos, el calcio desempeña un papel importante en la estabilidad de las membranas celulares y en la regulación del metabolismo oxidativo, lo que puede favorecer la conservación de ácido ascórbico en los tejidos vegetales (Marschner, 2012).

Por su parte, el silicio ha sido asociado con la mejora del sistema antioxidante en las plantas, ya que puede inducir la actividad de enzimas relacionadas con la detoxificación de especies reactivas de oxígeno, contribuyendo así a una mayor acumulación de compuestos como la vitamina C (Swain & Rout, 2017). Asimismo, se ha reportado que la aplicación foliar de silicio puede incrementar la calidad nutracéutica de los frutos, incluyendo el contenido de ácido ascórbico, debido a su efecto en la reducción del estrés oxidativo (Epstein, 1999).

El comportamiento observado en este estudio coincide con lo reportado en otros cultivos hortícolas, donde la aplicación de calcio y silicio ha mostrado efectos positivos en la calidad del fruto, aunque con respuestas variables dependiendo de la dosis y la interacción entre ambos elementos. En este sentido, la combinación de ambos nutrientes en dosis adecuadas puede representar una estrategia eficiente para mejorar no solo el crecimiento del cultivo, sino también su valor nutricional.

6. CONCLUSIONES

La aplicación combinada de Calciomix vía drench y Diatomix vía foliar influyó de manera diferencial en el crecimiento y la calidad del fruto de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Centauro F1. Los resultados demostraron que la respuesta del cultivo dependió de las dosis aplicadas, observándose que concentraciones intermedias favorecieron diversas variables productivas y de calidad, mientras que dosis más elevadas no siempre generaron respuestas superiores e incluso redujeron algunos parámetros agronómicos.

Aunque el tratamiento Control presentó los mayores valores en algunas variables de crecimiento vegetativo, la aplicación de calcio y silicio mostró efectos positivos sobre características relacionadas con la calidad comercial del fruto, tales como peso, firmeza, contenido de clorofila y otros atributos fisicoquímicos evaluados. Esto confirma que ambos elementos pueden actuar de manera complementaria fortaleciendo la estructura celular, mejorando la eficiencia fisiológica y favoreciendo el desarrollo de frutos con mejores características para su comercialización.

En términos generales, la hipótesis planteada se acepta parcialmente, ya que la combinación de Calciomix y Diatomix no incrementó todas las variables evaluadas, pero sí mejoró diversos parámetros asociados al rendimiento y calidad del fruto. De los tratamientos estudiados, las dosis intermedias mostraron el mejor comportamiento agronómico, por lo que representan una alternativa viable para optimizar la producción de pepino bajo condiciones de agricultura protegida.

Finalmente, se recomienda continuar investigando diferentes concentraciones y frecuencias de aplicación de calcio y silicio para determinar las dosis óptimas que permitan maximizar tanto el crecimiento vegetativo como la calidad y rendimiento del cultivo de pepino.

7. LITERATURA CITADA

- Ana Niurka Hernández-Lauzardo¹, M. H.-M. (2007). *Actividad Antifúngica del Quitosano en el Control de Rhizopus stolonifer (Ehrenb.:Fr.) Vuill. y Mucor spp.* https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092007000200003
- Argentel-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., & Garatuza-Payán, J. (2025). Investigaciones Biológicas, Agrícolas y Ambientales de México: Volumen II. In *Investigaciones Biológicas, Agrícolas y Ambientales de México: Volumen II*. Pantanal Editora. <https://doi.org/10.46420/9786585756563>
- S. Parra Terraza^{1*}, G. A. Baca Castillo², J. L. Tirado Torres², M. Villarreal Romero¹, P. Sánchez Peña¹, & S. Hernández Verdugo¹. (2009, June). *Calidad del fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a silicio y al potencial osmótico de la solución nutritiva.* https://classic.scielo.org.mx/scielo.php?lng=pt&nrm=iso&pid=S0187-57792009000200005&script=sci_arttext&utm
- Cázarez-Flores, L. L., Partida-Ruvalcaba, L., de Jesús Velázquez-Alcaraz, T., Ayala-Tafoya, F., Díaz-Valdés, T., Yáñez-Juárez, M. G., & López-Orona, C. A. (2022a). Silicio y cloro en el crecimiento, rendimiento y calidad postcosecha de pepino y tomate. *TERRA LATINOAMERICANA*, 40. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V40I0.994>
- CONABIO. (2005). *Cucumis sativus* HISTORIA NATURAL DE LA ESPECIE CENTRO DE ORIGEN. In *Cucumis esculentus* Salisb.
- da Silva, D. L., de Mello Prado, R., Tenesaca, L. F. L., da Silva, J. L. F., & Mattiuz, B. H. (2021). Silicon attenuates calcium deficiency by increasing ascorbic acid content, growth and quality of cabbage leaves. *Scientific Reports* 2021 11:1, 11(1), 1770-. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80934-6>
- Díaz, C., Rafael Paredes Jacomé Cuauhtémoc Edgar Rendón Lara, J., Enríquez García, F., Retureta Aponte, A., Carmona Díaz, G., Rafael Paredes Jacomé, J., & Edgar Rendón Lara, C. (2022). Cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en Invernadero. *Revista*

- Díaz-Méndez, H. A., Preciado-Rangel, P., Chávez, E. S., Rivera, J. R. E., Hernández, M. F., & Álvarez-Reyna, V. de P. (2018). El potasio en la calidad nutracéutica de frutos de pepino hidropónico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (20).
<https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V0I20.994>
- Dr. Jesús López-Elías, Dr. Sergio Garza Ortega, MSc. Marco Antonio Huez López, Dr. José Jiménez León, & Dr. Edgar Omar Rueda Puente. (2015). PRODUCCION DE PEPINO (CUCUMIS SATIVUS L.) EN FUNCION DE LA DENSIDAD DE PLANTACION EN CONDICIONES DE INVERNADERO. *European Scientific Journal*, 11, 25–36.
- E. Ruiz-Sánchez, J. M. Tún-Suárez, L. L. Pinzón-López, G. Valerio-Hernández, & M. J. Zavala-León. (2008, April). *Evaluación de fungicidas sistémicos para el control del mildiú velloso (Pseudoperonospora cubensis Berk. & Curt.) Rost. en el cultivo del melón (Cucumis melo L.)*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X200800010001 1
- EL-MOGY, M. M., ABDELDAYM, E. A., ABDELAZIZ, S. M., ISMAIL, A. M., EL-BELTAGI, H. S., RAMADAN, K. M. A., MAHMOUD, A. W. M., & MOTTALEB, S. A. (2025). Foliar application of calcium, silicon, and potassium nanoparticles improves growth, and fruit quality of drought-stressed cucumber plants through modulation of osmolytes, antioxidant enzymes, photosynthesis efficiency, and phytohormones. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 53(2), 14470–14470.
<https://doi.org/10.15835/NBHA53214470>
- Engelkes, C. A., Widders, I., & Price, H. (2019). Ontogenetic Changes in Calcium Concentration and Content in Pickling Cucumber Fruit as Influenced by Genotype and Environment. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(4), 555–558. <https://doi.org/10.21273/JASHS.115.4.555>
- Enríquez-Acosta, E. A., Ruiz-Espinoza, F. H., Carballo-Méndez, F. de J., Beltrán-Morales, F. A., Vázquez-Vázquez, C., García-Sánchez, H. D., Enríquez-Acosta, E. A., Ruiz-

- Espinoza, F. H., Carballo-Méndez, F. de J., Beltrán-Morales, F. A., Vázquez-Vázquez, C., & García-Sánchez, H. D. (2023). El silicio como mitigador a salinidad en las variables fisiológicas de germinación de tres variedades de *Solanum lycopersicum*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(1), 85–96. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V14I1.3385>
- Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Biology*, 50, 641–664. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ARPLANT.50.1.641>
- Faroutine, G., Arteaga-Ramírez, R., Pineda-Pineda, J., & Vázquez-Peña, M. A. (2023). Assessment of Two Calcium Silicate Sources on Cucumber Under Water Restriction. *Journal of Agricultural Science*, 15(6), 74. <https://doi.org/10.5539/JAS.V15N6P74>
- Faroutine, G., Arteaga-Ramírez, R., Pineda-Pineda, J., & Vázquez-Peña, M. A. (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://doi.org/10.4067/S0718-58392023000300334>
- Félix-Gastélum, R., Maldonado-Mendoza, I. E., Beltran-Peña, H., Apodaca-Sánchez, M. Á., Espinoza-Matías, S., Martínez-Valenzuela, M. del C., Longoria-Espinoza, R. M., Olivas-Peraza, N. G., Félix-Gastélum, R., Maldonado-Mendoza, I. E., Beltran-Peña, H., Apodaca-Sánchez, M. Á., Espinoza-Matías, S., Martínez-Valenzuela, M. del C., Longoria-Espinoza, R. M., & Olivas-Peraza, N. G. (2017). Las cenicillas en cultivos agrícolas de Sinaloa: Situación actual sobre su identificación y líneas futuras de investigación. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(1), 106–129. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1607-4>
- Fernandez, V., & Eichert, T. (2009). Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(1–2), 36–68. <https://doi.org/10.1080/07352680902743069>
- Fortis Hernández, M., Carlos, ;, Tapia, S., Rangel, P. P., Sosa, E. S., Segura Castruita, M. A., Orozco Vidal, J. A., Chavarría Galicia, J. A., Radamés, ;, & Valencia, T. (2013). Sustratos orgánicos tratados para producción de pepino.... *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*, 1, 1–7.

- Gabriel-Ortega Julio, Chonillo Pionce Pablo, Narváez Campana Washington, & Fuentes Figueroa Tomas. (2022). Evaluación de cuatro bioestimulantes en la inducción de la resistencia sistémica en pepino (*Cucumis sativus* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en monocultivo y cultivo asociado en invernadero. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 69–80.
- González-García, Y., Flores-Robles, V., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., De La Fuente, M. C., Sandoval-Rangel, A., & Juárez-Maldonado, A. (2022). Application of two forms of silicon and their impact on the postharvest and the content of bioactive compounds in cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruits. *Biocell*, 46(11), 2497–2506. <https://doi.org/10.32604/BIOCELL.2022.021861>
- González-Terán, G. E., Gómez-Merino, F. C., & Trejo-Téllez, L. I. (2020). EFFECTS OF SILICON AND CALCIUM APPLICATION ON GROWTH, YIELD AND FRUIT QUALITY PARAMETERS OF CUCUMBER ESTABLISHED IN A SODIC SOIL. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 19(3), 149–158. <https://doi.org/10.24326/ASPHC.2020.3.13>
- Wilfried Baudoin, Remi Nono-Womdim, NeBambi Lutaladio, & Alison Hodder. (2013). *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops -Principles for Mediterranean climate areas*. www.fao.org/publications
- Gou, T., Yang, L., Hu, W., Chen, X., Zhu, Y., Guo, J., & Gong, H. (2020). Silicon improves the growth of cucumber under excess nitrate stress by enhancing nitrogen assimilation and chlorophyll synthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 152, 53–61. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2020.04.031>
- Grumet, R., Lin, Y. C., Rett-Cadman, S., & Malik, A. (2022). Morphological and Genetic Diversity of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Fruit Development. *Plants*, 12(1), 23. <https://doi.org/10.3390/PLANTS12010023>
- Harizanova, A., & Koleva-Valkova, L. (2019). Effect of silicon on photosynthetic rate and the chlorophyll fluorescence parameters at hydroponically grown cucumber plants under salinity stress. *Journal of Central European Agriculture*, 20(3), 953–960. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.3.2312>

- Ho, L. C., & Adams, P. (1994). Regulation of the Partitioning of Dry Matter and Calcium in Cucumber in Relation to Fruit Growth and Salinity. *Annals of Botany*, 73(5), 539–545. <https://doi.org/10.1006/ANBO.1994.1067>
- Hu, W., Su, Y., Zhou, J., Zhu, H., Guo, J., Huo, H., & Gong, H. (2022). Foliar application of silicon and selenium improves the growth, yield and quality characteristics of cucumber in field conditions. *Scientia Horticulturae*, 294, 110776. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2021.110776>
- Infoagro. (2021). *Agroinformación - El cultivo del pepino. 1ª parte*. <https://www.infoagro.com/hortalizas/pepino.htm>
- Ishikawa, T., & Takahata, K. (2019). Insect and mite pests of pepino (*Solanum muricatum* Ait.) in Japan. *Biodiversity Data Journal* 7: E36453, 7, e36453. <https://doi.org/10.3897/BDJ.7.E36453>
- Jiang, Z., Ning, Z., Fu-de, L., Huan-gai, B., Xi-zhen, A., Jiang, Z., Ning, Z., Fu-de, L., Huan-gai, B., & Xi-zhen, A. (2020). Optimization of silicon and calcium fertilization in grafted cucumber in solar-greenhouse. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, Vol. 26, Issue 2, Pages: 393-400, 26(2), 393–400. <https://doi.org/10.11674/ZWYF.19162>
- Kaiser-Porras, A., García-Salazar, J. A., Mora-Flores, J. S., Kaiser-Porras, A., García-Salazar, J. A., & Mora-Flores, J. S. (2023). Planeación de la superficie sembrada para evitar la volatilidad de precios de pepino en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 33(62). <https://doi.org/10.24836/ES.V33I62.1313>
- Kaya, C., Tuna, L., & Higgs, D. (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 29(8), 1469–1480. <https://doi.org/10.1080/01904160600837238>
- Li, J., Cao, J., Wang, C., Hao, N., Zhang, X., Liu, M., & Wu, T. (2022). Research Progress on the Leaf Morphology, Fruit Development and Plant Architecture of the Cucumber. *Plants*, 11(16), 2128. <https://doi.org/10.3390/PLANTS11162128>

- Liu, X., Chen, J., & Zhang, X. (2021). Genetic regulation of shoot architecture in cucumber. *Horticulture Research*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/S41438-021-00577-0/6446726>
- Liu, X., Pan, Y., Liu, C., Ding, Y., Wang, X., Cheng, Z., & Meng, H. (2020a). Cucumber Fruit Size and Shape Variations Explored from the Aspects of Morphology, Histology, and Endogenous Hormones. *Plants* 2020, Vol. 9, Page 772, 9(6), 772. <https://doi.org/10.3390/PLANTS9060772>
- Lyu, J., Jin, N., Meng, X., Jin, L., Wang, S., Xiao, X., Liu, Z., Tang, Z., & Yu, J. (2022). Exogenous silicon alleviates the adverse effects of cinnamic acid-induced autotoxicity stress on cucumber seedling growth. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.968514>
- Mahdy, H. A. A., Abdelmawgoud, A. M. R., Fawzy, Z. F., & Ibrahim, H. A. (2024). Increasing greenhouse cucumber growth and yield with nano calcium and silicon. *Journal of Applied Horticulture*, 26(1), 10–14. <https://doi.org/10.37855/JAH.2024.V26I01.02>
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants Third Edition*. 3. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.X0001-5>
- Méndez-Pérez. (2016). Méndez-Pérez (2016). *Evaluación de la producción de pepino (Cucumis sativus L.) con porcentajes de lixiviado de vermicompost en invernadero*. Universidad autónoma agraria Antonio Narro.
- Mendoza, J. G., José, U., Toledo, J., Escuela, M., Panamericana, A., & Honduras, Z. (2019). *El uso de agentes biológicos para el control de Frankliniella occidentalis (Pergande) en el cultivo de pepino (Cucumis sativus L.)*. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6703>
- Meng, X., Luo, S., Dawuda, M. M., Gao, X., Wang, S., Xie, J., Tang, Z., Liu, Z., Wu, Y., Jin, L., Lyu, J., & Yu, J. (2021). Exogenous silicon enhances the systemic defense of cucumber leaves and roots against CA-induced autotoxicity stress by regulating the ascorbate-glutathione cycle and photosystem II. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 227, 112879. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2021.112879>

- Meriam Karlsson. (2024, November). *Growing Cucumbers in Greenhouses*.
<https://www.uaf.edu/ces/publications/database/gardening/growing-cucumbers-greenhouses.php>
- Morales Germán, M. (2005). *IDENTIFICACIÓN DE UN CANDIDATO PARA EL GEN *nsv* QUE CONFIERE RESISTENCIA AL VIRUS DE LAS MANCHAS NECRÓTICAS DEL MELÓN (MNSV) MEDIANTE CLONAJE POSICIONAL*.
- Núñez-Ambriz, R., & Apáez-Barrios, P. (2025). *Application Route and Dose of Silicon in the Production of Cucumber Grown in Tezontle*.
<https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v43i.2248>
- Núñez-Ambriz, R., Apáez-Barrios, P., Núñez-Ambriz, R., & Apáez-Barrios, P. (2025). Vía de Aplicación y Dosis de Silicio en la Producción de Pepino Cultivado en Tezontle. *Terra Latinoamericana*, 43.
<https://doi.org/10.28940/TERRALATINOAMERICANA.V43I.2248>
- Omari, S., Omerkhil, N., & Sadiq, G. A. (2023). Influence of Plant Density and Application of Different NPK Doses on Growth and Yield Performances of Cucumber (*Cucumis Sativus* L.) under the Open Field Conditions in Kabul, Afghanistan. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 6(1), 17–36.
<https://doi.org/10.33002/NR2581.6853.060102>
- Pavlovic, J., Kostic, L., Bosnic, P., Kirkby, E. A., & Nikolic, M. (2021). Interactions of Silicon With Essential and Beneficial Elements in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 697592. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.697592/FULL>
- Pérez, J. J. R., Ramos, L. T. L., Almea, M. A. M., Klinger, E. V. C., Sánchez, E. A., de Luna de la Peña, R., Espinosa, A. P., & Montiel, L. G. H. (2025). PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DEL PIMIENTO (*Capsicum annum* L.) EN RESPUESTA A CONCENTRACIONES DE SILICIO. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 41(2), 279–289. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS41-25PUJJ80025>
- Portilla Farfán, F. (2006). LA LUCHA CONTRA LAS PLAGAS Y ENFERMEDADES EN LOS CULTIVOS Y LA CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE. *Universitas, Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 159–178.
- POZAS CÁRDENAS, J. G., GOMEZ DEMETRIO, W., AQUINO MARTINEZ, J. G., JUAN PEREZ, J. I., MÉNDEZ VILLALOBOS, G. C., JARAMILLO ESCUTIA, G., CARMONA MANUEL, V., LANDEROS FLORES, V., & NAVA BERNAL, E. G.

- (2025). *Plagas y Enfermedades de Hortalizas*.
<https://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/142726>
- Resh, H. M. (2022). Hydroponic Food Production. *Hydroponic Food Production*.
<https://doi.org/10.1201/9781003133254>
- Reyes-Pérez, J. J., Llerena-Ramos, L. T., Torres-Rodriguez, J. A., Hernández-Montiel, L. G., Macías Pettao, R. K., Sánchez, E. A., & Palacios-Espinosa, A. (2024). SILICON AS A BIOSTIMULANT IN CUCUMBER CULTIVATION (Cucumis sativus L.)). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(3).
<https://doi.org/10.56369/tsaes.5359>
- Rosario, B. J., Medina, G., Milenia, B., & López Vega, A. (2025). *Alternativa de injerto en pepinillo Cucumis sativus para superar problemas bióticos por efecto del cambio climático en la Costa Central*.
- Salvador Arias. (2007, April). *Producción de Pepino*.
<https://es.scribd.com/doc/90449610/15-USAID-RED-Manual-Produccion-08-Pepino-04-07>
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280–293. <https://doi.org/10.17660/EJHS.2018/83.5.2>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Cucurbita: la gran familia de las calabazas*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cucurbita-la-gran-familia-de-las-calabazas>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022, March 16). *De la familia de las cucurbitáceas, el pepino es el consentido*. Gob.Mx.
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/de-la-familia-de-las-cucurbitaceas-el-pepino-es-el-consentido?idiom=es&utm>
- Shalaby, T. A., Abd-Alkarim, E., El-Aidy, F., Hamed, E. S., Sharaf-Eldin, M., Taha, N., El-Ramady, H., Bayoumi, Y., & dos Reis, A. R. (2021). Nano-selenium, silicon and H₂O₂ boost growth and productivity of cucumber under combined salinity and heat stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 212.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111962>
- Sun, C., Yu, W., Wang, Y., Ge, W., Zhang, M., Xu, S., Lan, Q., & Wang, Y. (2026). Salt tolerance in cucumber: from stage-specific injury and integrative regulation to horticultural deployment. *Scientia Horticulturae*, 361, 114860.
<https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2026.114860>
- Swain, R., & Rout, G. R. (2017). *Silicon in Agriculture*. 233–260.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-58679-3_8
- Szegő, A., Mirmazloum, I., Pónya, Z., Bat-Erdene, O., Omran, M., Kiss-Bába, E., Gyöngyik, M., & Papp, I. (2021). Downregulation of polyamine and diamine

- oxidases in silicon-treated cucumber. *Plants*, 10(6), 1248.
<https://doi.org/10.3390/PLANTS10061248/S1>
- Takahashi, E., Miyake, Y., & Takahashi, E. (1983). Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. *Soil Science and Plant Nutrition*, 29(1), 71–83.
<https://doi.org/10.1080/00380768.1983.10432407>
- Valdez-Aguilar, L. A., Hernández-Velázquez, E., Hernández-García, R., Pérez-Rodríguez, P., & Alvarado-Camarillo, D. (2024). Relative Humidity and Nutrient Solution Concentration Affect Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Yield, Quality and Nutrient Status. *Terra Latinoamericana*, 42.
<https://doi.org/10.28940/TERRA.V42I0.1968>
- Yane, S., Zhuo, D., Chengzhen, S., Dun, B., & Haonan, C. (2024). Cytokinin-related genes regulate cucumber fruit pedicel length. *Scientific Reports*, 14(1).
<https://doi.org/10.1038/S41598-024-75186-7>
- Yin, J., Jia, J., Lian, Z., Hu, Y., Guo, J., Huo, H., Zhu, Y., & Gong, H. (2019). Silicon enhances the salt tolerance of cucumber through increasing polyamine accumulation and decreasing oxidative damage. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.105>
- Zamora, P. E. (2017). *Cultivos Protegidos HORT-CP-008 Marzo*.
- Zhang, J., Feng, S., Yuan, J., Wang, C., Lu, T., Wang, H., & Yu, C. (2021). The Formation of Fruit Quality in *Cucumis sativus* L. *Frontiers in Plant Science*, 12, 729448. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.729448/TEXT>