

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto del Silicio en el Cultivo de Pepino
(*Cucumis sativus* L.)

Por:

FRANCISCO JAVIER AGAPITO HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Enero 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto del Silicio en el Cultivo de Pepino

(*Cucumis sativus* L.)

Por:

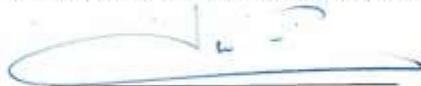
FRANCISCO JAVIER AGAPITO HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Asesor Principal



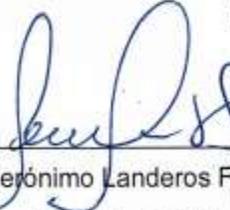
Dra. Daniela Alvarado Camarillo

Coasesor



Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores

Coordinador Interino de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Enero 2023.



Declaración de no plagio

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

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

Pasante



Francisco Javier Agapito Hernández

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por haberme permitido llegar a este momento tan hermoso de mi vida, por haberme guiado a lo largo de este camino, por ser mi apoyo, mi luz. Por haberme dado fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad donde estuve apunto de rendirme.

A **mis padres y hermanos**, mis más sinceros agradecimientos porque a pesar de las dificultades que se presentaron a lo largo de este camino, me enseñaron a salir adelante y a no rendirme. Sin su apoyo incondicional en todos los ámbitos no hubiera podido llegar a donde estoy ahora.

A **la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional dentro de sus instalaciones, por las enseñanzas y aventuras vividas a lo largo de este tiempo, pero sobre todo gracias, **Don Antonio Narro Rodríguez** por tu gran legado.

A **Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar**, por brindarme el espacio y la confianza para la realización de este experimento, por compartir sus conocimientos durante mi formación profesional y durante este trabajo, así mismo por la paciencia y dedicación a la revisión del mismo.

A **la Dra. Daniela Alvarado Camarillo**, por dedicación, confianza para la realización de este proyecto de tesis, por compartirme de sus conocimientos durante mi formación profesional, por eso y más gracias.

A **la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres**, por su tiempo y disponibilidad en la participación en la revisión de este trabajo.

A **Dr. Francisco Javier Sánchez Ramírez**, por formar parte de este trabajo y su dedicación en la revisión del mismo

A **mis amigos**, que formaron parte de esta aventura a lo largo de mi historia dentro de la universidad.

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida profesional, por haber iluminado mi camino, en los tiempos más complicados, porque el camino no fue nada fácil, pero sin duda alguna con dedicación y esfuerzo, se cumplen los sueños.

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre Adriana Hernández Gabriel a mi padre Toribio Agapito Martínez y mis hermanos José Julián y Juan Diego, por la confianza depositada en mis sueños y metas, sin su apoyo incondicional en cada momento no hubiera sido posible este sueño.

A mis asesores, por haberme dado la confianza y la oportunidad de realizar este trabajo, por sus consejos y conocimientos compartidos.

A mi Alma Mater que me acogió en su nido, que me dio la oportunidad de crecer como ser humano y de formarme profesionalmente.

A mis amigos: Ana Karen, Araceli, Nanci, Liz, Susana, Jazmín, Patricia, Ana Patricia, Víctor Manuel, José Agustín, José Antonio, Ángel, Omar, Rodolfo, José Emmanuel, Teo gracias porque cada uno de ustedes formo parte de una aventura dentro de esta universidad, se ganaron mi cariño y admiración, porque aprendí algo nuevo de cada uno de ustedes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I	INTRODUCCIÓN	1
	Objetivo General.....	3
	Objetivos Específicos	3
	Hipótesis	3
II	REVISIÓN DE LITERATURA	4
	El cultivo de pepino	4
	Importancia del cultivo de pepino	4
	Origen de la especie	4
	Clasificación taxonómica	4
	Descripción botánica	5
	Sistema radicular	5
	Tallo.....	5
	Hoja	5
	Flor	5
	Fruto.....	6
	Semillas	6
	Etapas fenológicas.....	6
	Clasificación del fruto	6
	Pepino Americano o Slicer	7
	Pepino Persa o Beit y Alpha	7
	Pepino tipo Holandés	7
	Pepino tipo Asiático.....	7
	Cultivo de pepino en México	7

Estados productores	8
Producción mundial	8
Requerimientos edáficos	9
Suelo	9
Clima	9
Humedad relativa	10
Luminosidad	10
Manejo del cultivo	10
Marco de plantación	10
Siembra y trasplante	10
Tutorado	11
Poda	11
Aclareo de frutos	11
Riego	12
Fertilización	12
Cosecha	13
Fisiopatías	13
Principales plagas	13
Mosquita blanca (<i>Bermisia tabaci</i>)	13
Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)	13
Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	14
Principales enfermedades	14
Mildiu vellosa (<i>Pseudoperonospora cubensis</i>)	14
Oídio (<i>Erysiphe cichoracearum</i>)	14
Virus del mosaico del pepino (CMV)	14

Agricultura protegida	14
Hidroponía	15
Silicio	16
El Silicio en la planta	17
Interacción del Silicio con otros nutrientes	17
III MATERIALES Y MÉTODOS	18
Sitio experimental	18
Material vegetal	18
Establecimiento y manejo del experimento	18
Riego	18
Fertilización	19
Plagas y enfermedades	19
Poda	20
Tutoreo	20
Cosecha	20
Tratamientos	20
Variables de estudio	21
Diseño experimental	23
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
Rendimiento de fruto	25
Longitud de fruto	26
Sólidos solubles	27
Concentración de K en fruto	28
Variables medidas en fruto sin diferencia significativa	29
Concentración de Ca en el peciolo	30

Extracto celular de peciolo sin diferencia significativa	31
Longitud de tallo	31
Peso fresco de hojas	32
Peso fresco de tallos	33
Peso seco tallo	34
Variables vegetativas sin diferencia significativa	35
V CONCLUSIONES	36
VI LITERATURA CITADA.....	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)....	4
Cuadro 2. Etapas fenológicas del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.).....	6
Cuadro 3. Principales estados productores de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), de acuerdo al ranking nacional.	8
Cuadro 4. Principales países productores de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), de acuerdo al ranking mundial.	9
Cuadro 5. Extracción de nutrientes del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), por ciclo de producción.....	12
Cuadro 6. Solución nutritiva empleada en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	19
Cuadro 7. Control químico aplicado para plagas y enfermedades durante el ciclo del cultivo.....	19
Cuadro 8. Tratamientos con Silicio (Si) aplicados al cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), en diferentes dosis vía drench y foliar.....	21
Cuadro 9. Variables agronómicas evaluadas en frutos cosechados en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), tratadas con diferentes dosis y aplicaciones de Silicio.	21
Cuadro 10. Significancia obtenida en el análisis de varianza para las variables evaluadas en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), tratadas con diferentes dosis y aplicaciones de Silicio.	24
Cuadro 11. Efecto de la fertilización de Si vía drench y foliar en el diámetro de fruto y algunas variables relacionadas.....	29
Cuadro 12. Efecto de la fertilización de Si vía drench y foliar en peciolo.	31
Cuadro 13. Efecto de la fertilización de Si vía drench y foliar en el diámetro de tallo y peso seco de hojas	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimientos de fruto en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.....	26
Figura 2. Longitud de fruto del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.....	27
Figura 3. Sólidos solubles obtenidos en frutos del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio aplicado vía drench y foliar.	28
Figura 4. Concentración de K en el fruto de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar).....	29
Figura 5. Concentración de Ca en el peciolo del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.	30
Figura 6. Longitud de tallo del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.....	32
Figura 7. Peso fresco de hojas del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.....	33
Figura 8. Peso fresco del tallo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.....	34
Figura 9. Peso seco del tallo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.....	35

RESUMEN

El pepino (*Cucumis sativus* L.), representa un cultivo de importancia económica. La producción de este cultivo ha aumentado continuamente debido al incremento de la superficie sembrada y a la producción que se puede obtener con el uso de la tecnología. El Silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la Tierra, pero no se considera un elemento esencial, pero sí benéfico para el desarrollo y crecimiento de las plantas, así como también para sobreponerse a los efectos del estrés **biótico** y **abiótico** producto del **medio ambiente**.

Las aplicaciones de Si se ha demostrado que son capaces de estimular una respuesta favorable en el crecimiento y desarrollo de las plantas, de tal manera que se planteó evaluar la efectividad de Si en el cultivo de pepino. El experimento tuvo lugar en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

El objetivo de este experimento fue evaluar la respuesta del cultivo de pepino a la aplicación de Si durante el desarrollo planta; se aplicaron 10 tratamientos incluido el testigo con 4 repeticiones, las aplicaciones de Si fueron suministradas mediante vía drench con un periodo de tiempo de cada 8 días más aplicaciones foliares con un intervalo de tiempo de cada 15 días.

Las variables evaluadas en el experimento fueron: rendimiento total, diámetro ecuatorial de fruto, longitud, firmeza, curvatura, sólidos solubles, concentración de NO_3^- , Ca y K en fruto y peciolo, peso fresco total de hojas, tallo, longitud y diámetro de tallo.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el Si incrementó el rendimiento de frutos por planta, con una dosis de 0.2 g L^{-1} en el sistema drench más 0.1 g L^{-1} aplicada foliarmente; este tratamiento no tuvo efectos negativos en la calidad de frutos. Con otros tratamientos se logró aumentar la calidad del fruto ya que el contenido de sólidos solubles aumenta al aplicar en drench 0.2 y 0.3 g L^{-1} o bien en forma foliar 0.15 y 0.1 g L^{-1} , mientras que con 0.4 y 0.2 g L^{-1} de Si vía drench y foliar se obtienen frutos de mayor longitud.

Palabras clave: Silicio, Hidroponía, Elementos benéficos, Micronutriente

I INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus* L.), es una planta perteneciente a la familia de la cucurbitáceas, que se cultiva en condiciones tropicales y subtropicales por todo el mundo, sus frutos son una buena fuente de minerales y vitaminas (Chacón y Monge, 2020). El cultivo de pepino es una hortaliza de suma importancia económica, tanto nacional como internacionalmente, debido a su índice de consumo, tanto fresco como procesado (Diédhiou, 2017).

La producción de pepino ha aumentado debido al incremento de su consumo a nivel nacional y mundial, por su alto valor nutrimental y alto potencial económico, unido a un mayor rendimiento e ingresos en un corto periodo de tiempo, lo cual es más interesante, para el agricultor (Rodríguez, 2021). La superficie sembrada de pepino en México en el 2021 fue de 18,104,24 ha, con un rendimiento promedio de 57.40 t ha (SIAP, 2021).

Actualmente la agricultura además de producción en campo, abierto se realiza en ambientes controlados como invernaderos, los cuales representan un ejemplo de los ecosistemas artificiales de la agricultura intensiva (Juárez *et al.*, 2011). La agricultura intensiva busca producir el máximo con la menor ocupación de suelo, por tal motivo se recurre a la producción de cultivos agricultura protegida, el cual busca obtener altos rendimientos a costo de aislar las condiciones naturales (López *et al.*, 2015).

La agricultura protegida, permite al agricultor generar condiciones ambientales favorables, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos, las estructuras más utilizadas de la agricultura protegida son los invernaderos, malla sombra y túneles (Venegas, 2017). En estas condiciones de agricultura protegida, la hidroponía ha ganado más terreno a la producción en suelo.

La hidroponía es una técnica de producción de cultivos sin necesidad de suelo, donde se suministra a la planta elementos nutritivos disueltos en agua (solución nutritiva), en el cual el suelo es sustituido por sustratos inertes y estériles o en algunos casos por la misma solución nutritiva. Los sistemas hidropónicos se dividen en dos tipos: sistemas hidropónicos en agua y en sustrato (Morales, 2019). En los últimos años la hidroponía en México ha crecido considerablemente debido a problemas en la producción del cultivo en suelo, como lo son la presencia de plagas, enfermedades, así como las condiciones climáticas (INTAGRI, 2017).

La hidroponía permite cultivar plantas sin suelo, mediante esta técnica se producen principalmente plantas de tipo herbáceo, aprovechando sitios o áreas no convencionales, sin

olvidar las necesidades de las plantas como la luz, temperatura, agua y nutrientes (Beltrano y Giménez, 2015).

Los nutrientes vegetales pueden dividirse en macronutrientes y micronutrientes. Las plantas necesitan los macronutrientes en cantidades relativamente elevadas. El Silicio (Si) no es considerado un nutriente esencial dentro de las plantas, pero tiene un efecto positivo en el desarrollo en sistema radicular, la asimilación y distribución de nutrientes minerales e incrementa la resistencia a estrés abiótico: temperatura, viento, alta concentración de sales y metales pesados, hidrocarburos, aluminio, etc., y biótico: insectos, hongos, enfermedades (Parménides, 2012). La fertilización con Si, optimiza el aprovechamiento del agua de riego, en un 30 a 40% y amplía los intervalos del riego sin efectos negativos hacia la planta, además de que incrementa la resistencia a la sequía (Peña y Galacio, 2019).

En el cultivo del pepino existen poca información acerca de las ventajas de aplicar Si bajo condiciones de hidroponía o cultivo sin suelo por esta razón se planteó el presente estudio para determinar si la aplicación de Si vía drench o vía foliar en pepino resultan en algún efecto positivo.

Objetivo General

Conocer el efecto de distintas concentraciones de Silicio aplicado vía drench y foliar durante el ciclo de producción de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Objetivos Específicos

- Conocer el efecto de diferentes concentraciones de Silicio sobre el crecimiento y desarrollo de plantas de pepino.
- Conocer el efecto sobre la productividad y calidad de frutos en pepino ante la aplicación de Silicio.

Hipótesis

H_a. La aplicación de diferentes concentraciones de Silicio tendrá un efecto positivo en el crecimiento, rendimiento y parámetros de calidad en el cultivo de pepino.

H_o. La aplicación de diferentes concentraciones de Silicio no tendrá un efecto positivo en el crecimiento, rendimiento y parámetros de calidad en el cultivo de pepino.

II REVISIÓN DE LITERATURA

El cultivo de pepino

Importancia del cultivo de pepino

El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), es una hortaliza de suma importancia por su alto consumo en ensaladas, colocándose dentro de las 20 hortalizas más importantes en Estados Unidos posicionándose en el lugar 7 por sus consumidores. Debido a su alta demanda por sus propiedades nutraceuticas su versatilidad para preparar como para generar empleos y divisas para el país, se convierte en una hortaliza de suma importancia en el sector agrícola (Guajardo, 2017). En México el cultivo de pepino ocupa el cuarto lugar como la hortaliza de mayor importancia económica, siendo su principal mercado Estados Unidos con un consumo per cápita de este cultivo de 3.6 kg y su participación en la producción nacional de hortalizas de 7.2 %. Los rendimientos en los últimos años permitieron que México, destacara como uno de los principales productores, ocupando el quinto lugar a nivel mundial, con una producción de 1, 159, 934 toneladas al año (SIAP, 2021).

Origen de la especie

El pepino (*Cucumis sativus* L.), se originó en las regiones tropicales de Asia (Sur de Asia), siendo cultivado en la India desde hace más de 3000 años; posteriormente el cultivo se extendió a Grecia y en seguida a Roma, introduciéndose a China. El pepino fue introducido por los Romanos a otras partes de Europa; hay registros en el siglo IX en Francia, en Inglaterra en el siglo XIV, a mediados de siglo XVI en Norteamérica, ya que Cristóbal Colón llevó semillas a América. El primer híbrido apareció en 1872 (Roa, 2015).

Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del cultivo del pepino se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
CLASE	Magnoliopsida

ORDEN	Cucubirtales
FAMILIA	Cucurbitaceae
GÉNERO	<i>Cucumis</i>
ESPECIE	<i>C. sativus</i>
NOMBRE CIENTIFICO	<i>Cucumis sativus</i> L.

Fuente: (Santillán, 2016).

Descripción botánica

Sistema radicular

Consta de una raíz principal potente que se ramifica rápidamente, para dar origen a raíces secundarias muy finas con abundantes pelos absorbentes de color blanco las cuales pueden alcanzar los 60 cm de profundidad, tiene la facultad de emitir raíces advertencias por encima del tallo (Beltrano, 2021).

Tallo

Tallo principal de porte rastrero y trepador que da origen a varias ramas laterales, es de color verde, leñoso, flexible que cuenta con zarcillos, que son trepadores, que pueden lograr a medir una longitud de 3.5 cm (Beltrano, 2021).

Hoja

Según Pico (2017), son hojas simples alargadas de color verde oscuro, que llegan a medir entre 10 a 12 cm, tienen forma acorazonada con 3 lóbulos y una cubierta de vello fino.

Flor

En los primeros cultivares se cree que las flores eran monoicas de dos sexos en la misma planta. Las flores son de pedúnculo corto y pétalos de color amarillo, se desarrollan en las axilas de las hojas siendo hermafroditas o unisexuales. Actualmente se han venido cultivando variedades de plantas que solo poseen flores femeninas (ginoicas) que portan un ovario ínfero (Masaquiza, 2016).

Fruto

Presenta una forma de pepónide áspero o liso, esto varía de acuerdo a la variedad, presenta un color verde claro, pasando después por un verde oscuro, hasta llegar a un color amarillo, esto sucede cuando está totalmente maduro, aunque a este punto no llega, ya se recolecta antes de llegar a su madurez fisiológica (Pico, 2017).

Semillas

Tienen forma ovalada, algo aplanadas son de color blanco amarillento. La cantidad de semilla difiere de la variedad del fruto, de la misma manera su peso. Se considera que entran entre 30 a 45 semillas por gramo, la semilla tiene un poder germinativo, de hasta 5 años, dependiendo de las condiciones de almacenamiento (Ormaza y Anchundia, 2016).

Etapas fenológicas

El ciclo del cultivo es relativamente corto, esto se ve influenciado al manejo agronómico al que reciba durante su desarrollo, así mismo a condiciones climáticas en las que se mantenga el cultivo (Hidalgo, 2020). En seguida se presenta el Cuadro 2 sobre las cinco etapas fenológicas del cultivo de pepino.

Cuadro 2. Etapas fenológicas del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Etapas fenológicas	Días después de la siembra
Emergencia	4 a 5 días
Inicio de emisión de guías	15 a 24
Inicio de floración	27 a 34
Inicio de cosecha	43 a 50
Fin de cosecha	75 a 90

Fuente: (Hidalgo, 2020).

Clasificación del fruto

Según INTAGRI (2021), el fruto de pepino se puede clasificar por sus diferentes características que presenta a lo largo de su desarrollo las cuales son: color, tamaño, forma, etc., esto de acuerdo a su grupo varietal. Empresas dedicadas al mejoramiento genético y a la venta de semillas clasifican el pepino, de acuerdo a su origen, mercado y tamaño. Otro criterio de clasificación del cultivo de pepino es por la longitud del fruto (tipo holandés) mediano (tipo Americano o Sclicer y Francés) y de tamaño pequeño (Beit Alpha, mini o pepinillo), estudios

concuerdan que el tipo de pepino más común en el mercado son tipo: Americano, Europeo (Hernández, 2021).

Pepino Americano o Slicer

El pepino americano es una planta ginoica, que tiene como característica un solo fruto por cada nudo con un tipo de piel áspera, cuenta con frutos partenocárpicos, con pequeñas espinas y protuberancias. Presenta un color oscuro, con una cascara gruesa, su comportamiento en postcosecha es relativamente bueno, el punto de corte es de 18 a 23 cm de longitud (Crosby, 2008).

Pepino Persa o Beit y Alpha

El pepino persa es una planta partenocarpica, se caracteriza por sus frutos pequeños los cuales llegan a tener una longitud de 14 a 16 cm, tienen un sabor dulce y una cascara muy delgada y no presentan semillas, produce un gran número de flores por nudo lo que permite tener un mejor rendimiento en comparación de otras variedades (Johnny's, 2014).

Pepino tipo Holandés

El pepino tipo holandés tiene un sabor suave, sin semillas que se cosecha aproximadamente de 30 a 36 cm de longitud, presenta una cascara delgada, lisa y sin espinas, con una excelente calidad comestible, se cultiva principalmente en invernadero (Chacón y Monge, 2016).

Pepino tipo Asiático

Los pepinos tipo asiático son espinosos, muy largos, y requieren tutorado para mantener los frutos rectos (Chacón y Monge, 2020).

Cultivo de pepino en México

México es el principal exportador de pepino a nivel mundial, obtuvo una producción de 1,159,934 toneladas, posicionándose en el quinto lugar en el ranking mundial, exportando 809,814 toneladas, aunque solo representa el 0.9% de la producción mundial, se ubica como el principal actor en el mercado global (FAO, 2022).

Estados productores

El estado de Sinaloa según datos del SIAP (2021), el principal productor de pepino en México, con una producción de 268, 878 toneladas equivalente al 33.9 % del total nacional (Cuadro 3), seguido por Sonora con una producción de 152, 457 toneladas, equivalente a 18% y Morelos ocupando el tercer lugar con una producción de 81,156 toneladas.

Cuadro 3. Principales estados productores de pepino (*Cucumis sativus* L.), de acuerdo al ranking nacional.

Entidad Federativa	Volumen de producción (toneladas)
Sinaloa	342,150
Sonora	262,871
Morelos	81,156
Michoacán	64,997
Guanajuato	61,709
Yucatán	51,346
Zacatecas	42,340
San Luis Potosí	41,332
Jalisco	37,388
Colima	30,095

Fuente; (SIAP, 2021)

Producción mundial

Según FAO (2022), la producción de pepino a nivel mundial fue de **91,258,272** millones de kg, siendo China el principal productor con una producción de **72,779,781** millones de kg, en una superficie de 1,278,152 hectáreas, con un promedio de 5.69 kg/m² (Cuadro 4), seguido por

Turquía con una producción de **1,926,883** millones de kg, sobre una superficie de 38.246 hectáreas con un promedio de 5.04 kg/m².

Cuadro 4. Principales países productores de pepino (*Cucumis sativus* L.), de acuerdo al ranking mundial.

Ranking mundial	País	Toneladas
1	China	72,779,781
2	Turquía	1,926,883
3	Rusia	1,686,976
4	Irán	1,205,679
5	México	1.159,934
6	Ucrania	1,012,530
7	Uzbekistán	812,728
8	España	794,880
9	EE. UU	646,414
10	Egipto	613,031

Fuente: Elaborado con datos de FAO (Hortoinfo, 2022).

Requerimientos edáficos

Suelo

El pepino puede cultivarse en cualquier tipo de suelo, pero prefiere suelos con una textura franco arenoso, con un buen drenaje y suficiente contenido de materia orgánica, tolera medianamente la salinidad, con altas concentraciones de sales la planta absorbe con dificultad el agua de riego y el crecimiento se ve afectado, el pH óptimo es de 5.5 a 6.8 (Silva, 2015).

Clima

El pepino es una planta que demanda un clima cálido, por tal motivo se clasifica como una hortaliza de verano. (Navarrete, 2005). La temperatura requerida para desarrollo fisiológico y reproductivo del cultivo de pepino oscila entre 20°C a 30°C, para el fructificado de 18°C a 25°C, el crítico nocturno es de 12°C (Mendoza, 2016).

Humedad relativa

Es una planta que demanda una alta humedad relativa debido a su gran superficie foliar. La humedad que demanda durante el día es de 60 a 70% y durante la noche de 70 a 90%, El exceso de humedad durante el día, puede provocar la disminución de la transpiración y por ende la fotosíntesis, lo cual provocaría la reducción de la producción. Más del 90% de humedad puede provocar enfermedades fúngicas (Uchazara, 2018).

Luminosidad

Es una planta que crece, florece y fructifica, de tal manera que es exigente con la luminosidad, ambientes soleados ayuda a la estimulación y fecundación de las flores, no obstante, en días cortos (con menos de 12 horas de luz), presenta un rendimiento aceptable (Avalos, 2021).

Manejo del cultivo

El pepino se produce todo el año, pero con una mayor producción en el ciclo otoño-invierno con un 68%, el 32 % restante se produce en primavera verano (SIAP, 2015).

Marco de plantación

La densidad de plantación es un factor importante en la producción del cultivo, ya que el incremento de la densidad de plantación tiene como resultado un crecimiento menor de la planta como consecuencia una disminución y peso del fruto. El marco de plantación de pepino es de 1.5 – 2.0 m entre hileras y 0.2-0.3 m entre plantas (López *et al.*, 2015).

Siembra y trasplante

La siembra puede ser directa en el lugar donde se desarrollará el cultivo, pero lo más aconsejable es obtener plantas de semilleros, debido al precio de las semillas y para obtener mayor homogeneidad en la germinación (Guajardo, 2017). El Trasplante se realiza a los 20 o 30 días, después de la siembra, cuando las plantas hayan desarrollado sus 2 a 4 hojas verdaderas (Zamora, 2017).

Tutorado

El tutorado del pepino sostiene verticalmente a la planta, se realiza con una rafia o hilo que se mantiene atado al cuello de la planta con la ayuda de unos anillos. El hilo o rafia que sostiene a la planta, es sujeto por líneas de alambre que se colocan horizontalmente por encima de las plantas, a una altura promedio de 2.5 m de altura y 60 cm de separación entre ellas (Zamora, 2017).

Poda

La realización de, poda consiste en la eliminación de órganos de la planta, para mantener un equilibrio en el crecimiento vegetativo y reproductivo, evitando que exista un crecimiento excesivo de hojas y tallos, que provoque una disminución en la calidad de frutos (Casilimas *et al.*, 2012). Existen tres tipos de poda, en el cultivo de pepino, de acuerdo a la etapa fenológica en la que se encuentre la planta. La poda de frutos, consiste en la eliminación de los primeros 4 a 5 frutos, que brotan del tallo principal, esto con la finalidad de ayudar a la planta en un mejor desarrollo vegetativo. Poda de yemas laterales o chupones, que emergen de las axilas de las hojas, consiste en eliminarlos cuando presentan una altura de 5 cm aproximadamente, usando la presión de los dedos de la mano. La poda de hojas, se refiere a retirar hojas viejas, que inician el proceso de senescencia, así como de hojas enfermas, con el objetivo de ventilar a la planta y acelerar el proceso de maduración de los frutos y estimular la fructificación de la parte más alta de la planta (Cedillo *et al.*, 2018).

Aclareo de frutos

La realización de aclareo consiste en eliminar los frutos dañados o que estén curvados y que no reúnan las características de calidad, los frutos curvados, malformados, abortados deben ser eliminados de la planta, de la misma manera los frutos que aparezcan agrupados en las axilas de hoja, dejando un solo fruto por axila, para facilitar el llenado de los frutos restantes y dar mayor precocidad. El manejo cultural de poda de hoja y aclareo de fruto en la planta tendrá un manejo equilibrado, evitando el aborto de frutos y mejorando la calidad de los mismo (Ramírez *et al.*, 2012).

Riego

El cultivo de pepino demanda una gran cantidad de agua a nivel radicular, para obtener una buena producción, puede requiere de 6 a 8 riegos durante todo su ciclo de agrícola, de 1 y 2 pulgadas de agua por semana (Hernández, 2021).

Fertilización

Si la fertilización se llevado a cabo a través del riego se debe realizar un muestreo de suelo y agua para analizar el nivel de pH, nitrógeno, fosforo, potasio y el resto de los nutrientes con el objetivo de ajustar un plan de fertilización. El pH de la solución nutritiva debe mantenerse en un rango de 5.5 a 6.5 y una conductividad eléctrica de 1.5 y 2.5 dS/m (Zamora, 2017).

Para la realización de una fórmula de fertilización se deben tomar en cuenta aspectos como el contenido nutrimental de los fertilizantes a utilizar y los requerimientos nutrimentales de las plantas.

Cuadro 5. Extracción de nutrientes del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), por ciclo de producción

Macronutrientes			Micronutrientes		
Elemento	Extracción		Elemento	Extracción	
	Kg/ha	g/m ²		g/ha	mg/m ²
N mineral	140	14	Fe	600	60
P₂O₅	26	2.6	Mn	400	40
K₂O	180	18	Cu	500	50
Ca	23	2.3	Zn	300	30
Mg	13	1.3	B	200	20
S	30	3			

(INTAGRI, 2017)

Cosecha

De 44 a 53 días después de la siembra se inicia la cosecha, los frutos deben tener un color verde oscuro, erectos con un peso promedio de 450 a 550 g y 50 mm de diámetro y 25 a 27 cm de largo (Cedillo *et al.*, 2018).

Fisiopatías

La fisiopatía son desordenes abióticos conocidos también como enfermedades fisiológicas, como son deformaciones de frutos, tallos y hojas, a causa de un estrés de la planta o bien debido a un medio ambiente desfavorable, ya sea en campo o bajo agricultura protegida. El cultivo de pepino bajo invernadero o casa sombra, al igual que el tomate, pimiento y berenjena, presenta un número variable de fisiopatías que afectan el rendimiento, las fisiopatías más frecuentes son: la pudrición apical del fruto, abortos o caídas de frutos, corazón hueco del fruto, deformaciones de los frutos por diversas causas, entre otros desordenes (Zamora, 2016).

Principales plagas

Mosquita blanca (*Bermisia tabaci*)

Mosquita blanca (*Bermisia tabaci*) es un insecto chupador de suma importancia en el cultivo de pepino ya que es un vector de virus. El principal daño en el cultivo aparece en la disminución de la capacidad fotosintética de las hojas, debido al recubrimiento producido por la maleza y la negrilla. El insecto pasa por tres estadios en su ciclo biológico huevo, ninfa y adulto y se encuentra situado en el envés de las hojas (Morejon, 2022).

Araña roja (*Tetranychus urticae*)

Es un insecto que presenta ataque en la parte inferior de la hoja (envés), ocasionando una decoloración de las mismas, además presenta una punteaduras de color blanquecina que provoca una disminución de la savia al momento de alimentarse. Cuando el daño es severo puede provocar desecación de las hojas e incluso defoliar la planta en su totalidad. La temperatura elevada y poca humedad relativa favorece el ataque de la plaga. El insecto pasa por cuatro estadios en su ciclo biológico, huevo, larva, ninfa y adulto (Cerezo, 2022).

Trips (*Frankliniella occidentalis*)

Se alimentan de la savia de la planta dejando manchas blancas rodeadas de otras negras que son excremento, atacan a flores y frutos. Las flores atacadas no abren totalmente y caen prematuramente, el ambiente húmedo no favorece la reproducción de los trips. Las hembras depositan en las hojas, pétalos de las flores y tallos sus huevos (entre 40 y 300) y los dejan incubando. El estadio del insecto pasa por 4 ciclos biológicos, huevo, ninfa, pseudopupa y adulto (Huera, 2018).

Principales enfermedades

Mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*)

Mildiu vellosa (*Pseudoperonospora cubensis*) es una enfermedad que aparece sobre el haz de las hojas como manchas amarillentas o de color verde pálido, en el envés con masas de esporas color gris. Las manchas generalmente son angulares, bordeadas por las venas que tornan de color amarillo conforme avanza el tiempo las hojas severamente infectadas se tornan de color café y necróticas. En los frutos el hongo afecta la coloración y reduce el contenido de azúcares. Una vez infectada la hoja el desarrollo del hongo se favorece con la alteración de temperaturas y humedades relativas muy altas de 80 a 90% (Ramírez, 2021).

Oídio (*Erysiphe cichoracearum*)

Oídio o cenilla es una enfermedad que afecta a las hojas, peciolo y tallos del cultivo de pepino ocasionando daño en el fruto. En las hojas se observa la lesión como manchas de color blancas con aspecto polvoso, en el tallo las lesiones se observan de color amarillenta y si la infección es grave los tallos terminan por secarse (Chonillo, 2021).

Virus del mosaico del pepino (CMV)

Los síntomas que se presenta son mosaicos amarillentos en el haz de la hoja, enrollamiento y deformaciones, decoloraciones de frutos. La intensidad del síntoma depende de varios factores como el cultivo, edad de la planta y condiciones ambientales (Jutgla, 2009).

Agricultura protegida

La agricultura protegida se refiere a la producción bajo estructuras que le permiten al agricultor, controlar algunos factores del medio ambiente como (plagas, enfermedades, lluvias,

temperatura), mediante esta técnica el productor puede tener excelentes cosechas, en cualquier época del año. Las principales estructuras empleadas en la agricultura protegida son invernaderos, malla sombra, macro y micro túneles (SENASICA, 2016).

Actualmente el objetivo de la agricultura protegida es incrementar el rendimiento de la producción haciendo un uso más efectivo del agua, fertilizantes y reducción del uso de plaguicidas. Para lograr el objetivo es necesario conocer el tipo de cobertura, el manejo del cultivo y las variedades óptimas para cada zona geográfica (Hernández, 2021).

En México existen regiones naturales idóneas para el establecimiento de agricultura protegida, que permiten obtener productos de calidad y fuera de temporada para mercados nacionales como internacionales. De esta forma el empleo de agricultura protegida está contribuyendo ampliamente en la producción de alimentos y en el desarrollo de varias zonas agrícolas de México. De esta manera el crecimiento de la agricultura protegida en México en los últimos años, ha sido exponencial de 700 hectáreas a 23 mil 250 hectáreas entre los años 2000 y 2015. Los estados en los que se concentra el mayor número de hectáreas de agricultura protegida son, Sinaloa con un 22%, seguido de Baja California 14%, Baja California Sur con un 12% y Jalisco con un 10%, el 44% son invernaderos de baja tecnología y el 51% son malla sombra. Las principales especies que se producen bajo este sistema de agricultura protegida son: tomate (*Solanum lycopersicon*), pimiento (*Capsicum annuum* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.), melón (*Cucumis melo* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.), y plantas ornamentales como: rosa, crisantemo, gerbera (Juárez *et al.*, 2011). En México el pepino es una hortaliza de suma importancia económica, donde la producción bajo agricultura protegida ha permitido aumentar la producción de 2 a 9 veces más que en campo abierto, dependiendo del nivel de tecnología el manejo del cultivo y las condiciones climáticas (López *et al.*, 2015).

La producción mundial de invernaderos es aproximadamente de 750,000 ha, China es el país, con mayor crecimiento en producción bajo cubierta, con un ritmo de 30% anual, Alemania y España son los países con mayor concentración de invernaderos en el mundo (García *et al.*, 2018).

Hidroponía

La hidroponía es una palabra griega que se compone de dos términos; hidro que significa agua y ponos labor, lo cual quiere decir trabajo en agua. La hidroponía es una técnica eficiente que produce muchos tipos de cultivos sin necesidad del suelo agrícola, alimentándolos con una

solución nutritiva que se lleva directamente a la raíz de la planta, facilitando la absorción de los nutrientes y logrando un desarrollo sano en menor tiempo que en la agricultura tradicional (De la rosa y Herrera, 2015).

En México el origen de la hidroponía son los jardines flotantes de los aztecas, llamados chinampas, las cuales eran construidas con caña y bejucos que flotaban en el lago de Tenochtitlan (México), posteriormente en el año de 1960 los alemanes Sachs y Knop fueron los primeros en desarrollar plantas en unas soluciones nutritivas, llamándole nutricultura. En el año 1938 W.F. Gericke profesor de la universidad de California fue bautizado como el padre de la hidroponía, por lograr establecer un cultivo sin suelo de manera comercial, a partir de logro la hidroponía se empezó a extender por el mundo. Actualmente existen diversos sistemas hidropónicos los cuales son: sistema NFT, NGS, raíz flotante, aeropónicos y sistema de producción en sustrato. El sistema de producción en sustrato es el más utilizado en la actualidad, el cual se coloca en contenedor o bolsa de polietileno en forma pura o mezclado, brindando así sostén y anclaje a la planta manteniendo la humedad y facilitando la absorción de nutrientes, para lograr el crecimiento de los cultivos.

Los sustratos más usados en la horticultura son: peat moss, perlita, arena, lana de roca, turbas, fibra de coco y tezontle. La elección del sustrato se realiza en base de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (INTAGRI, 2017).

En México los principales cultivos hidropónicos más rentables bajo estos sistemas son: tomate, pepino, lechuga, pimiento, fresa y flores de corte (INTAGRI, 2017).

Silicio

El Si es un elemento químico no metálico, número atómico 14 y situado en el grupo 4 de la tabla periódica, es el segundo elemento más abundante, después del oxígeno, contribuyendo aproximadamente el 28% de la corteza terrestre (Castellano *et al.*, 2015). El Si no se encuentra de forma natural es decir en esta libre, por lo que se localiza en forma de dióxido de Si y silicatos complejos. El Si contiene cerca de 40% de los minerales más comunes y cerca del 90% de los minerales, que constituyen las rocas volcánicas. Las plantas absorben este elemento, como ácido monosilico $\text{Si}(\text{OH})_4$, el cual se transporta por medio del xilema, el cual se mueve dentro de la planta de acuerdo a la velocidad de transpiración de sus diferentes partes. Se reporta que aplicaciones de Si en el cultivo de arroz, aumenta los rendimientos desde 1 a 30%, en el cultivo de caña de 7 a 45% respectivamente (INTAGRI, 2016).

El Si se deposita en la cutícula de las hojas, tallos y raíces en forma de cristales de Si, participa en actividades metabólicas y fisiológicas, cuando la planta está en condiciones de estrés. Las plantas monocotiledóneas acumulan mayor cantidad de Si que las dicotiledóneas, aunque esta diferencia puede darse de acuerdo a la variedad de la planta (López, 2019).

El Silicio en la planta

El Si, es considerado un elemento no esencial para las plantas, porque no responde a los criterios directos e indirectos de la esencialidad, sin embargo, el Si contribuye al beneficio de algunos cultivos, el cual ayuda a la promoción del crecimiento, menor evapotranspiración, efecto en la actividad de las enzimas, tolerancia a la toxicidad por metales pesados, mejora la arquitectura de las plantas, reducción del encamado, resistencia a plagas y enfermedades, al estrés hídrico y salino (Castellanos *et al.*, 2015). El Si en las plantas de jitomate ayuda a tolerar los suelos salinos, además disminuye la concentración de sodio, boro y cloro en la parte área de la planta (Raya *et al.*, 2012). En Japón y Corea, la aplicación de fertilizantes a base de Si, anualmente es de 400,000 y 1,000,000 de toneladas, logrando así incrementar la producción de arroz, no obstante Brasil, Australia, Sudáfrica e India, utilizan el silicio, para la producción de caña de azúcar, en México, se ha empezado a generalizar la aplicación de Si, tanto a nivel experimental como comercial (Raya *et al.*, 2012).

Interacción del Silicio con otros nutrientes

La interacción del Si con el fósforo le permite una mayor asimilación, debido a que el fósforo que se encuentra en el suelo no asimilable para la planta, la aplicación de Si lo vuelve asimilable. En el cultivo de arroz las deficiencias de fósforo disminuyen considerablemente, con la aplicación de silicatos orgánicos solubles gracias al desplazamiento que realiza el ion silicato al ion fosfato en la molécula fijadora de fosforo (SEPHU, 2012). El tratamiento del suelo con productos a base de Si químicamente activo, restaura la degradación y optimiza la fertilidad, mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo, al mantener los nutrientes asimilables para la planta y mejorando la capacidad de intercambio catiónico, con un pH menor a 7 (Parménides, 2012).

III MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El trabajo se llevó a cabo en un invernadero del Departamento de Horticultura, dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, con las siguientes coordenadas: 25°21'23.55" latitud N, 101°25'16" longitud O y 1763 msnm. El sitio presenta un clima seco con temperatura media anual de 18 a 22 °C siendo las más altas en meses de mayo a agosto y la más baja en enero con una precipitación total media anual alrededor de 400 mm.

Material vegetal

El material vegetal consistió en semillas pepino híbrido Centauro clasificado como tipo Slicer/Frances (Fito S.A de C.V., México), reconocido por su alta producción y adaptabilidad, la planta presenta las siguientes características, vigor medio, hoja mediana de color verde intenso y buen set de frutos. El fruto se caracteriza por ser partenocárpico (se forma sin polinización), es recto, cilíndrico e intenso de color verde oscuro con una longitud de 23 a 25 cm y excelente vida de anaquel.

Establecimiento y manejo del experimento

La siembra se realizó el día 26 de marzo del 2022, en bolsas negras de polietileno con una capacidad de 10 L, se utilizó como sustrato una mezcla de peat moss y perlita al 70% - 30% V/V. Para ajustar el pH a 6.14 se agregó bicarbonato de sodio al sustrato a una dosis de 1 g/L. La emergencia ocurrió a partir del 31 de marzo.

Riego

El riego se realizó de forma manual con una frecuencia de cada tercer día aplicando una cantidad de 1,800 ml por planta al inicio del desarrollo del cultivo, en la etapa de fructificación el riego fue diariamente aplicando una cantidad de 3,800 ml que eran distribuidos durante todo el día.

Fertilización

La fertilización se realizó mediante solución nutritiva, la cual se estuvo aplicando al 25% en la etapa de desarrollo del cultivo, a partir del cuarto riego la solución aumento al 50% y posteriormente al 75% y finalmente al 100%. El contenido de la fertilización aplicada se muestra en el siguiente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Solución nutritiva empleada en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Sales fertilizantes	g/100 L
KNO ₃	17.59
Ca (NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	10.27
K H ₂ PO ₄	10.20
Ácidos	ml/ 100 L
HNO ₃	27.42
H ₂ SO ₄	3.20

Plagas y enfermedades

En cuanto a plagas y enfermedades se realizaron aplicaciones preventivas semanalmente de insecticidas y funguicidas haciendo rotación de los productos para no generar resistencia (Cuadro 7). Dentro de las plagas que se presentaron en el desarrollo del cultivo fueron: mosquita blanca y trips en cuestión de enfermedades presencia de hongo.

Cuadro 7. Control químico aplicado para plagas y enfermedades durante el ciclo del cultivo.

Grupo	Insecticida	Combinación
A	Overon I.A. Spiromesifen	Aplicación 1: Insecticida (A) + Funguicida (A)
B	Abamectina delta I.A. Abamectina	Aplicación 2: Insecticida (B) + Funguicida (A)
C	Confol I.A. Imidacloprid	Aplicación 3: Insecticida (C) + Funguicida (B)
D	Diazinon I.A. Diazinon	Aplicación 4: Insecticida (D) + Funguicida (A)

	Funguicidas	Aplicación 5: Insecticida (A) + Funguicida (B)
A	Sanadel I.A. Propicon azol	Aplicación 6: Insecticida (B) + Funguicida (A)
B	Hidroflow I.A. Hidróxido cúprico	

Poda

La poda se realizó a un solo tallo, desde que la planta emitió sus primeros brotes axilares (chupones) esto sucedió 28 días posterior a la emergencia de la planta y se estuvo realizando hasta el término del experimento, la poda de hojas se realizó después de la primera cosecha, manteniendo una hoja bajo el siguiente fruto a cosechar.

Tutoreo

La actividad se realizó utilizando un hilo con un extremo sujeto a la parte basal de la planta con un anillo y la otra extremidad de la cuerda a unos alambres que servían como sostén a la planta, la cual se fue enredando al hilo, y se colocaron más anillos, para facilitar en manejo de la planta a este tipo de tutoreo se le conoce como tipo Holandés.

Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual, para lo cual se utilizaron tijeras, el punto de corte fue, cuando se presentara una estrella de color verde claro en el ápice del fruto.

Tratamientos

La evaluación se realizó bajo un diseño en bloques completos al azar donde se emplearon diferentes concentraciones de Si a través de SiO₂ las concentraciones se aplicaron mediante dos sistemas drench y foliar. Las aplicaciones vía drench se realizaron cada 8 días

distribuyendo 500 m/L de la solución por tratamiento, respecto a las aplicaciones foliares se realizaron cada 15 días, humectando el área foliar sin llegar a escurrimiento, de esta manera los tratamientos de SiO₂ se ajustaron como se observa en el (Cuadro 8).

Cuadro 8. Tratamientos con Silicio (Si) aplicados al cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), en diferentes dosis vía drench y foliar.

Tratamiento	Si (g L ⁻¹)	
	Drench	Foliar
1	0	0
2	0.2	0.1
3	0.2	0.15
4	0.2	0.2
5	0.3	0.1
6	0.3	0.15
7	0.3	0.2
8	0.4	0.1
9	0.4	0.15
10	0.4	0.2

Variables de estudio

Las variables agronómicas evaluadas durante el desarrollo del experimento a diferente dosis y aplicaciones de Si se observan en el (Cuadro 9).

Cuadro 9. Variables agronómicas evaluadas en frutos cosechados en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.), tratadas con diferentes dosis y aplicaciones de Silicio.

Variable	Material utilizado	Descripción de la actividad
Peso fresco de fruto (g)	Báscula digital, capacidad 3000 g X 0.1 g	Se tomó el peso de todos los frutos obtenidos.
Diámetro ecuatorial de fruto (mm)	Vernier digital	Se tomó una sola lectura por número.

Longitud de fruto (cm)	Cintra métrica flexible	Se tomó una sola lectura colocando la cinta de extremo a superior a extremo inferior de un fruto.
Firmeza (kg/fuerza)	Penetrómetro	Se tomó la lectura por cada de fruto de cada tratamiento.
Curvatura (cm)	Regla metálica	Se midió la distancia de la base al índice distal colocando el fruto horizontalmente sobre una superficie plana.
Sólidos solubles (°Brix)	Refractómetro de mano de marco ATAGO.	Se extrajo el jugo del fruto y se tomó una sola lectura.
Concentración de NO ₃ ⁻ , Ca, y K en el fruto (ppm).	Sensores de cada elemento de la marca HORIBA.	Se determinó con los frutos de cada tratamiento, macerando, para extraer el jugo del fruto y tomar la lectura.
Concentración de NO ₃ ⁻ , Ca, y K en el peciolo de la hoja (ppm).	Sensores de cada elemento de la marca HORIBA.	Se tomó la muestra en invernadero, se llevó a laboratorio se macero y con el extracto se tomaron las lecturas.
Longitud de tallo (cm)	Cintra métrica flexible, de 1 a 10 m.	Se tomó una sola lectura colocando la cinta de extremo superior a extremo inferior.
Diámetro de tallo (mm)	Vernier digital	Se tomó una sola lectura por planta.
Peso fresco de total (g)	Báscula digital, capacidad 3000 g X 0.1 g	El peso fresco se tomó al terminar el experimento pesando la biomasa fresca de hojas y tallos.
Peso seco de total (g)	Báscula digital, capacidad 3000 g X 0.1 g	El peso seco se tomó una semana después de haber

		terminar el experimento pesando la biomasa seca de hojas y tallos.
--	--	--

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar con 9 tratamientos y un testigo; se trabajó con 4 repeticiones por tratamiento, dando un total de 40 plantas. Para determinar la existencia de diferencias estadísticas entre tratamientos se realizó un ANOVA, adicionalmente se realizó una prueba de comparación de medias según LSD ($p < 0.05$).

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las plantas de pepino, desarrollados bajo diferentes concentraciones de Si aplicado vía drench y foliar, se presentan en el (Cuadro 10).

Cuadro 10. Significancia obtenida en el análisis de varianza para las variables evaluadas en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), tratadas con diferentes dosis y aplicaciones de Silicio.

Variables evaluadas	Diferencia significativa
Rendimiento de fruto	**
Diámetro ecuatorial de fruto	ns
Longitud del fruto	ns
Firmeza	ns
Curvatura	ns
Solidos solubles	**
NO ₃ ⁻ en fruto	ns
K en fruto	**
Ca en fruto	ns
NO ₃ ⁻ en peciolo	ns
K en peciolo	ns
Ca en peciolo	**
Longitud de tallo	**
Diámetro de tallo	ns
Peso fresco de hojas	**
Peso fresco de tallos	**
Peso seco de hojas	ns
Peso seco de tallos	**

** : Diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$). * : Diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

ns: no significativo.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas respecto a las siguientes variables: rendimiento de fruto, longitud de fruto, sólidos solubles, K en fruto, Ca en el peciolo, longitud de tallo, peso fresco de hojas, tallo y peso seco de tallo. Las variables de diámetro ecuatorial de fruto, firmeza, curvatura, concentración de NO_3^- y Ca en fruto y K en peciolo, diámetro de tallo y peso seco de hojas no presentaron diferencias significativas respecto a la aplicación de Si.

Rendimiento de fruto

Los resultados mostraron que las plantas cultivadas con aplicación de Si vía drench con una dosis de 0.2 g L^{-1} más 0.1 g L^{-1} foliar, superaron el rendimiento obtenido por las plantas testigo en un 35% (Figura 1); los tratamientos restantes con aplicaciones de Si no lograron superar el rendimiento de las plantas testigo. El Si es considerado un elemento benéfico que favorece el crecimiento de los cultivos, pero no es considerado un elemento esencial; los resultados obtenidos indican que efectivamente el Si promueve la producción de fruto en pepino a una concentración óptima.

Los datos coinciden con los obtenidos por Pinedo (2011), en el estudio de evaluación de dosis de Si en el rendimiento del pepino Híbrido variedad Stonewall F1, en el cual encontraron diferencias significativas en la variable rendimiento, sobresaliendo la dosis de Si de 2.4 L/ha . Igualmente, Pilay (2022), obtuvo resultados similares en un trabajo de investigación donde evaluó el efecto de Si sobre el desarrollo y rendimiento en el cultivo pimiento (*Capsicum annuum* L.), bajo condiciones controladas, donde obtuvo mejor rendimiento a una dosis de 10 g por planta de Si. Las aplicaciones de Si tienen un efecto positivo sobre el rendimiento de pepino, debido a que el Si aumenta la absorción de los nutrientes y hace más eficiente la actividad fotosintética lo que se traduce en un mayor rendimiento (Emad *et al.*, 2017).

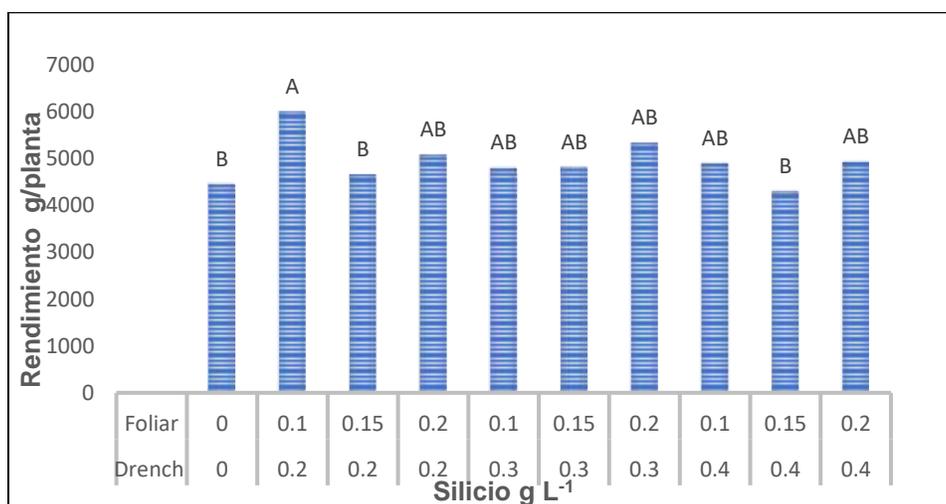


Figura 1. Rendimientos de fruto en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.

Longitud de fruto

La aplicación de Si a una dosis vía drench de 0.4 g L⁻¹ más 0.2 g L⁻¹ aplicado foliarmente tuvo un efecto significativo sobre la variable longitud de fruto, presentando una media de 29.19 cm, superando estadísticamente al testigo, seguido por el tratamiento T8 con una dosis de 0.4 y 0.15 g L⁻¹. Respecto a los tratamientos restantes no presentaron diferencia significativa respecto al tratamiento testigo.

Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con un estudio de evaluación de dosis de Si y su efecto en el rendimiento del pepino Híbrido variedad Stonewall F1, donde obtuvieron que la concentración de Si 2.4 L/ha, presentó una diferencia significativa respecto al tratamiento testigo (Pinedo, 2011). Los frutos obtenidos del experimento se encuentran en el rango de calidad para exportación, exigiendo una longitud mínima de 15 cm (Hernández, 2021). Esto probablemente se debe a que el K es el principal soluto que requieren las vacuolas para lograr la elongación celular, debido a que el aumento del potencial osmótico favorece la entrada de agua (INTAGRI, 2017), y el Si presenta una capacidad de retención de agua en las células vegetales (Calderón, 2022).

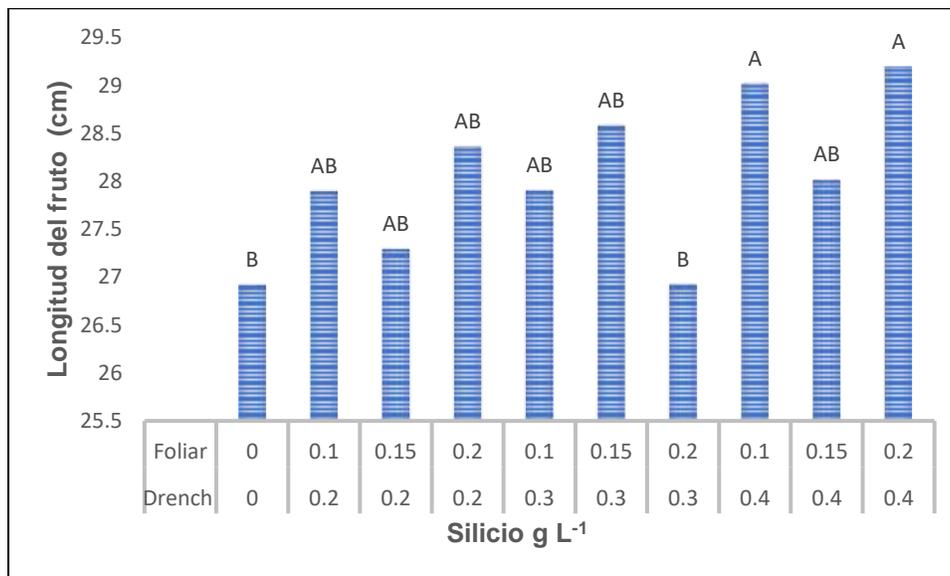


Figura 2. Longitud de fruto del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.

Sólidos solubles

La concentración de Si aplicado vía drench con una dosis de 0.3 g L⁻¹ más 0.1 g L⁻¹ aplicado foliarmente, seguido por el T3 con una dosis de 0.2 y 0.15 g L⁻¹, tuvieron un efecto significativo sobre el contenido de sólidos solubles, superando al testigo por un 12 y 13 %, en comparación con los demás tratamientos que no presentaron diferencias significativas, con respecto al tratamiento testigo (Figura 3). Esto pudo deberse a que el Si está relacionado con el contenido de ácido giberélico, ya que este favorece el desdoblamiento de azúcares a azúcares simples por medio de la alfa-amilasa, lo que da como resultado un fruto con mayor acumulación de azúcares (Romero, 2019). Estos resultados obtenidos en el experimento son respaldados por Velázquez (2010), quien reportó haber obtenido influencia en la concentración de sólidos solubles en el cultivo de tomate bajo una concentración de Si de 250 g por planta y 148.8 g por planta.

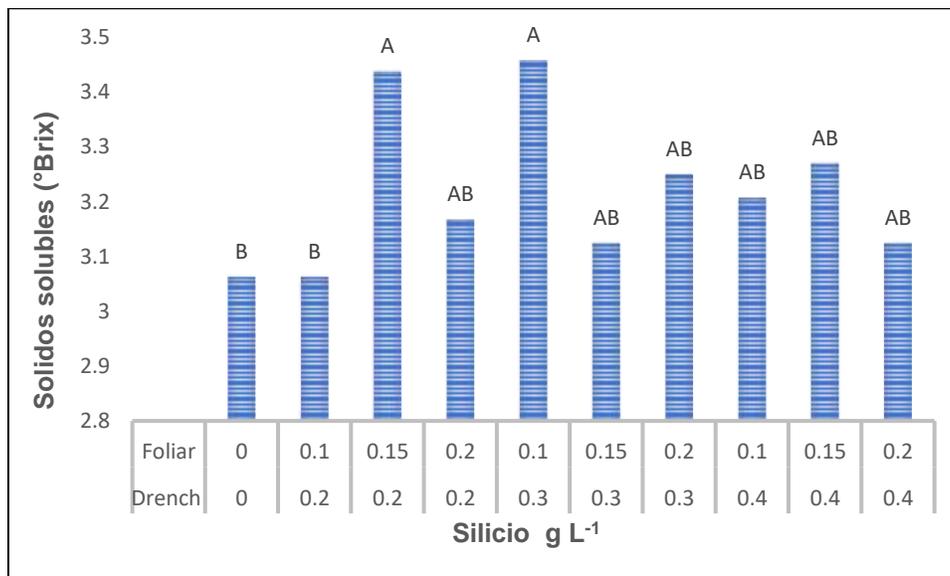


Figura 3. Sólidos solubles obtenidos en frutos del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio aplicado vía drench y foliar.

Concentración de K en fruto

En comparación con las plantas del tratamiento testigo (T1), las plantas crecidas bajo una concentración de Si vía drench de 0.3 y 0.2 g L⁻¹ más 0.2 y 0.15 g L⁻¹ aplicado foliarmente, mostraron una diferencia significativa en la concentración de K en el fruto de pepino. Mientras que el tratamiento T6 bajo una concentración de Si vía drench de 0.2 g L⁻¹ más 0.15 g L⁻¹ aplicado foliarmente presentó una disminución del 42% respecto al testigo (Figura 4). Mientras que los tratamientos restantes no presentaron diferencias significativas respecto al tratamiento testigo. Esto se debe probablemente a que el Si mejora la absorción de K tanto en hidroponía como en suelo, mediante la activación de la H⁺ ATPasa (González *et al.*, 2021). Los datos obtenidos coinciden con Aguilar (2012), quien evaluó la aplicación de Si en tomate y su efecto en la calidad nutrimental, obtuvo diferencias significativas resultando el T1 y el T2 con una dosis de (30 y 60 ppm), con un 2.15 % de K, en comparación con el testigo que registró 1.67%.

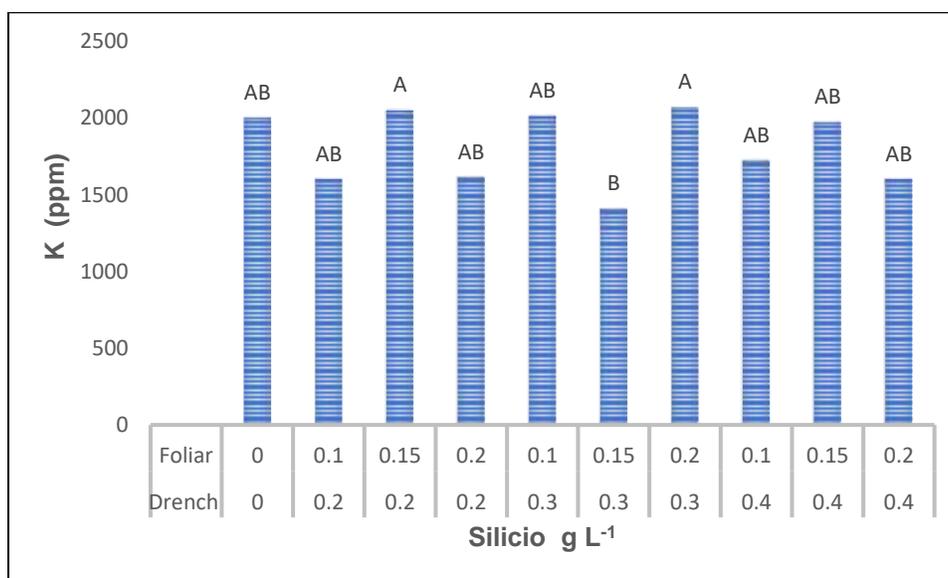


Figura 4. Concentración de K en el fruto de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar)

Variables medidas en el fruto sin diferencia significativa.

Las variables evaluadas en fruto diámetro, firmeza, curvatura, NO₃⁻ y Ca no presentaron diferencia significativa a la aplicación de Si (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto de la fertilización de Si vía drench y foliar en el diámetro de fruto y algunas variables relacionadas.

Tratamiento	Si (g L ⁻¹)		Diámetro ecuatorial (mm)	Firmeza (kg/fuerza)	Curvatura (cm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	Ca (ppm)
	Drench	Foliar					
1	0	0	56.6	512.2	7.2	97.4	34.2
2	0.2	0.1	58.1	512.5	7.7	123.3	39.7
3	0.2	0.15	57.9	514.3	7.1	116.9	45.0
4	0.2	0.2	59.0	514.1	7.0	83.9	43.2
5	0.3	0.1	58.1	513.5	7.0	103.9	29.3
6	0.3	0.15	58.0	512.5	7.4	83.2	30.2
7	0.3	0.2	57.9	510.0	6.6	111.9	40.4
8	0.4	0.1	58.9	512.0	7.5	111.8	41.8
9	0.4	0.15	59.5	508.3	7.1	118.6	38.6
10	0.4	0.2	57.8	507.5	7.8	123.5	37.7

Concentración de Ca en el peciolo

La aplicación de Si vía drench y foliarmente a una dosis de 0.2 g L⁻¹ presentó una concentración de Ca en el peciolo de 1100 g L⁻¹, mientras que el tratamiento testigo presentó una concentración de 1500 ppm, mostrando una disminución del 36% de concentración de Ca respecto al testigo, seguidos por el tratamiento T7 y T8, presentando una concentración de Ca de 1175 y 1162 ppm en comparación con el testigo (Figura 5). Mientras que los tratamientos restantes no presentaron una diferencia significativa respecto al testigo.

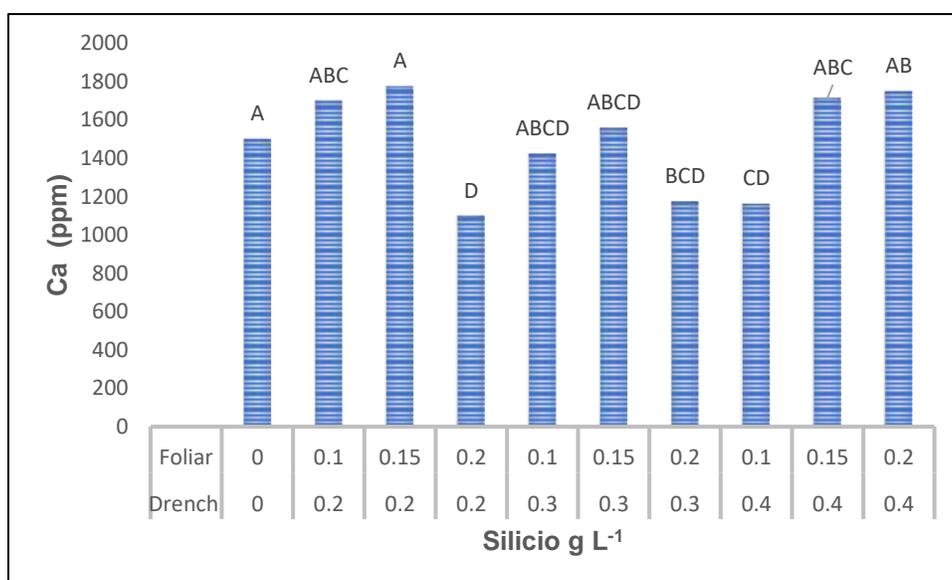


Figura 5. Concentración de Ca en el peciolo del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.

Extracto celular de peciolo sin diferencia significativa.

La concentración de NO_3^- y K en peciolo no presentaron diferencia significativa (Cuadro 12).

Cuadro 12. Efecto de la fertilización de Si vía drench y foliar en peciolo.

Tratamiento	Si (g L^{-1})		NO_3^- (ppm)	K (ppm)
	Drench	Foliar		
1	0	0	2900.0	2350.0
2	0.2	0.1	3566.7	2400.0
3	0.2	0.15	3450.0	2150.0
4	0.2	0.2	3250.0	2005.0
5	0.3	0.1	3075.0	2175.0
6	0.3	0.15	2675.0	2500.0
7	0.3	0.2	2375.0	2075.0
8	0.4	0.1	2800.0	1800.0
9	0.4	0.15	2050.0	19250
10	0.4	0.2	3200.0	1725.0

Longitud de tallo

Los resultados mostraron que las plantas desarrolladas con una aplicación de Si de 0.2 g L^{-1} aplicado vía drench y foliarmente, superaron la longitud del tallo por un 1% respecto al tratamiento testigo (Figura 6). Mientras que la concentración de Si a una dosis vía drench de 0.4 g L^{-1} más 0.2 g L^{-1} aplicado foliarmente presentó una disminución de longitud de tallo respecto al tratamiento testigo. Los demás tratamientos no presentaron una diferencia significativa, lo cual puede deberse al que el Si mejora el movimiento de carbohidratos, proteínas, metabolismos secundarios y minerales en el tejido y células de las plantas logrando un mejor proceso de los metabolismos en el desarrollo del tallo (Naranjo y Solorzano, 2018).

Estos datos coinciden con los obtenidos en el estudio de respuesta a las aplicaciones de Si en el cultivo de pepino variedad Modan en condiciones de estrés hídrico bajo cubierta, donde encontraron diferencias significativas en la longitud del tallo con una aplicación de Si de 15 mL/L (Quiroga, 2016).

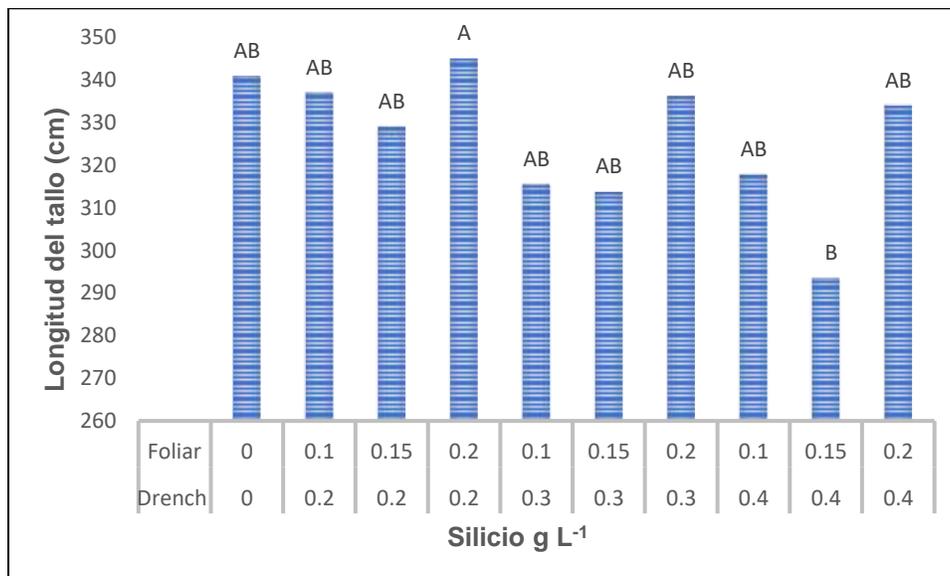


Figura 6. Longitud de tallo del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.

Peso fresco de hojas

Los resultados mostraron que las plantas desarrolladas con Si vía drench a una dosis de 0.4 g L⁻¹ más 0.15 g L⁻¹ aplicado foliarmente, superaron el peso fresco de las hojas obtenidas en las plantas testigo en un 42% (Figura 7). Las plantas tratadas con una concentración de Si vía drench de 0.3 g L⁻¹ más 0.1 g L⁻¹ aplicado foliarmente presentaron una disminución del 7% del peso fresco de hojas respecto al testigo. Mientras que los tratamientos restantes no presentaron diferencias significativas con respecto al testigo.

Los resultados obtenidos son similares a un estudio realizado por Barraza (2004), en el cultivo de tomate, donde obtuvo mayor cantidad de área foliar a una concentración de Si de 148 g por planta.

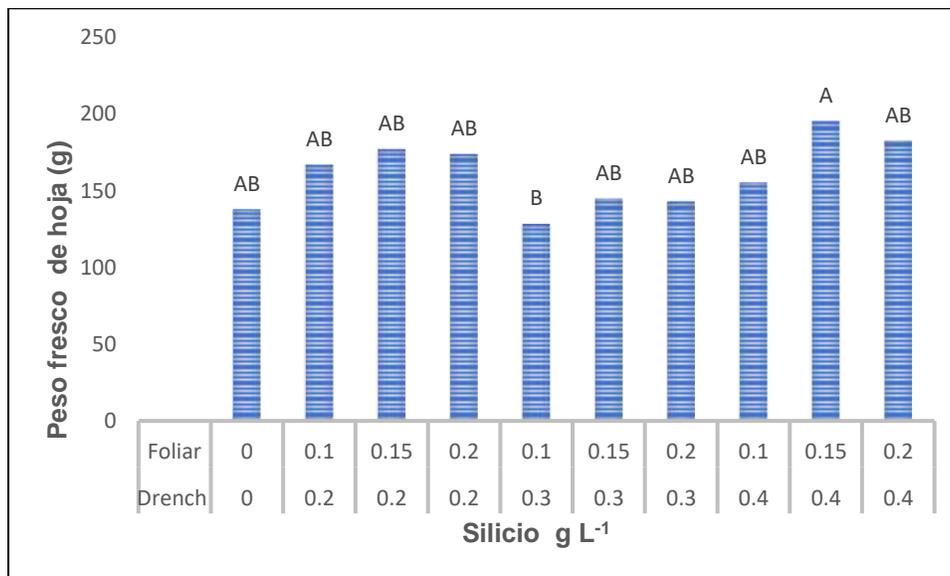


Figura 7. Peso fresco de hojas del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.

Peso fresco de tallos

De acuerdo con los resultados obtenidos en la variable peso fresco de tallos respecto a los tratamientos evaluados de Si vía drench y foliarmente, no lograron superar al tratamiento testigo (Figura 8). El T6 mostró una disminución del peso fresco en un 19% respecto al testigo, con una dosis de aplicación de Si vía drench de 0.3 g L⁻¹ más 0.15 g L⁻¹ aplicado foliarmente. Mientras que los tratamientos restantes tuvieron una correlación con el tratamiento testigo.

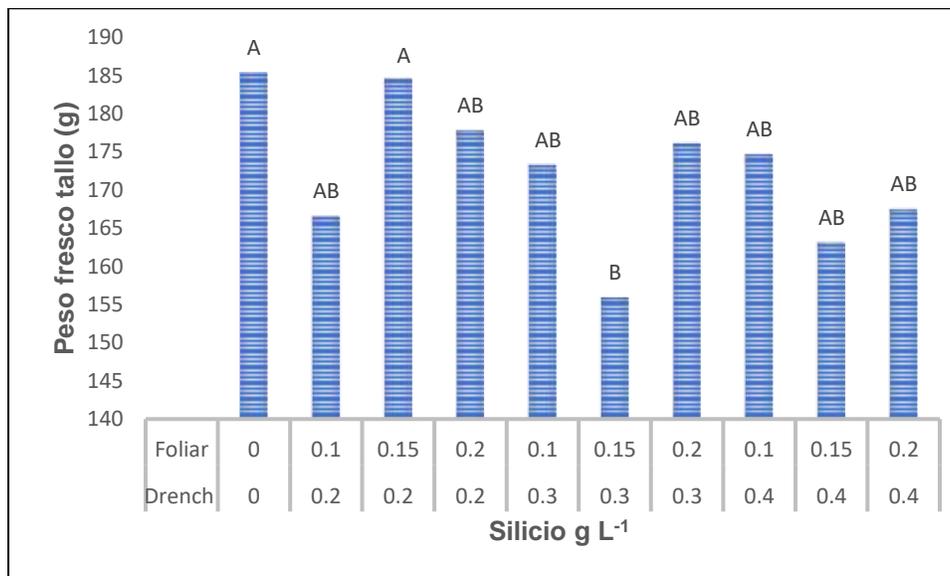


Figura 8. Peso fresco del tallo de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.

Peso seco tallo

De acuerdo con los resultados obtenidos en la variable peso seco de tallo, los tratamientos T5 y T10 presentaron una disminución de su peso respecto al testigo con una dosis de Si de vía drench de 0.3 y 0.4 g L⁻¹ más 0.1 y 0.2 g L⁻¹ aplicado foliarmente. Los tratamientos restantes no presentaron diferencias significativas respecto al tratamiento testigo.

Los resultados obtenidos no concuerdan con los reportados por Velázquez (2010), quien fertilizó con Si el cultivo de tomate, obtuvo como resultado mayor acumulación de materia seca en el tallo con un tratamiento de 20.89 g por planta.

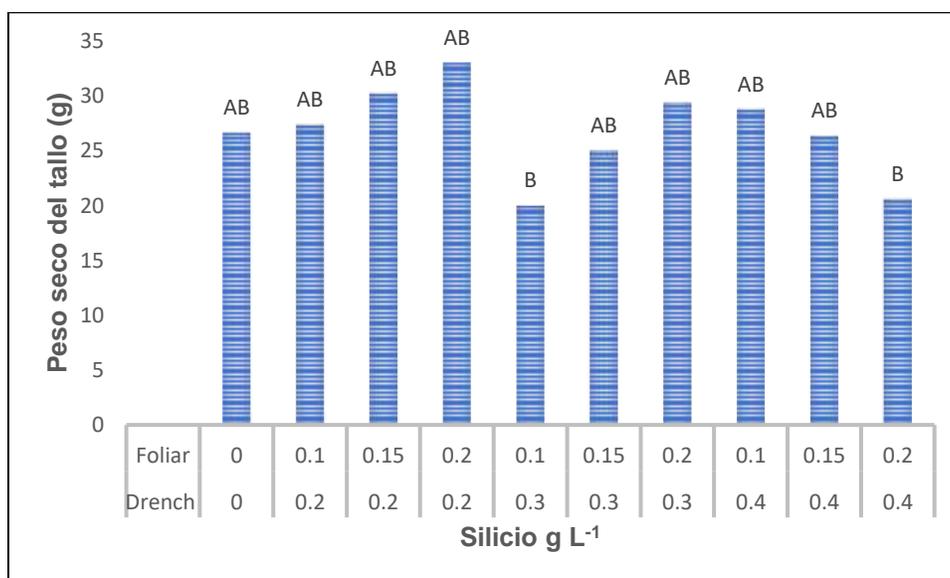


Figura 9. Peso seco del tallo de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo diferentes concentraciones de Silicio vía drench y foliar.

Variables vegetativas sin diferencia significativa.

Las aplicaciones de Si vía drench y foliar en las variables diámetro de tallo y peso seco de hojas no presentaron diferencia significativa (Cuadro 13).

Cuadro 13. Efecto de la fertilización de Si vía drench y foliar en el diámetro de tallo y peso seco de hojas

Tratamiento	Si (g L ⁻¹)		Diámetro de tallo (mm)	Peso seco hojas (g)
	Drench	Foliar		
1	0	0	12.9	82.2
2	0.2	0.1	13.2	93.3
3	0.2	0.15	13.0	93.3
4	0.2	0.2	13.1	103.43
5	0.3	0.1	12.6	72.2
6	0.3	0.15	12.4	80.5
7	0.3	0.2	12.4	78.4
8	0.4	0.1	13.5	82.8
9	0.4	0.15	12.6	82.2
10	0.4	0.2	12.4	105.3

V CONCLUSIONES

- 1) De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación sobre la aplicación de Si vía drench y foliar en el cultivo de pepino, es posible incrementar el rendimiento de frutos por planta con una dosis de 0.2 g L^{-1} más 0.1 g L^{-1} aplicados en drench y foliarmente, respectivamente, sin efectos negativos en la calidad de los frutos obtenidos.
- 2) Se logró aumentar la calidad del fruto en cuanto a contenido de sólidos solubles al aplicar en drench 0.2 y 0.3 g L^{-1} , o bien en forma foliar 0.15 y 0.1 g L^{-1} .
- 3) Los frutos de mayor longitud se obtuvieron con una dosis de Si vía drench de 0.4 g L^{-1} y 0.2 g L^{-1} foliarmente, sin embargo, con estos tratamientos no se aumentó el rendimiento de fruto.
- 4) De acuerdo con los resultados obtenidos, el Si pudiera ser un modulador de procesos fisiológicos por su efecto positivo en el rendimiento y en el contenido de sólidos solubles.

VI LITERATURA CITADA

- Aguilar, G. J. A (2012). Aplicación de silicio en tomate y su efecto en la calidad nutrimental. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. Tesis de licenciatura. 46 p.
- Avalos, Q. J. Z. (2021). Efecto de la aplicación de microorganismos mediante el método Jadam coreano (smj) en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.), Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil, Ecuador. Tesis de licenciatura. 40 p
- Barraza, F. V. Fischer, G y Cardona, C. E. (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 81-90.
- Beltrano, G. C. I. (2021). Efecto de la fertilización orgánica en parámetros morfológicos y productivos del cultivo del pepino en la finca comuna el cambio. Facultad de ciencias agrarias, Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Tesis de licenciatura. 88 p
- Beltrán, J. Giménez, D. O. (2015). Cultivo en hidroponía. Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina. Editorial de la Universidad de la plata. 181 p.
- Calderón, R. J. J. (2022). Evaluación de la aplicación de Si en el control de bactericera cockerelli (Sulc) en el cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L.), Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Colombia. Tesis licenciatura. 71 p.
- Casilimas, H. Bojaca, C. R. Gil, R. Villagrán, E. Arias, L. A. Fuentes, L. S. (2012). Manual De producción de pepino bajo invernadero. Universidad de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano. 199 p.

- Castellano, L. De Mello, R. Silva, C. (2015). El Silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cultivos Tropicales, vol. 36. p.16-24.
- Cerezo, V. M (2022). Control químico de araña roja *Tetranychus Urticae* Koch 1836 en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), Universidad Técnica de Babahoyo. Los Ríos, Ecuador. Tesis licenciatura. 15 p.
- Cedillo, E. Castro, P. Contreras, F. Rivera, Z. Martínez, L. (2018). Manual de producción de pepino en bolis de fibra de coco en invernadero. Universidad Nacional Autónoma De México. 15 p.
- Chacón, P. K., y Monge, P. J. E. (2016). Evaluación del rendimiento y la calidad de seis genotipos de pepino (*Cucumis sativus* L.), cultivados bajo invernadero en Costa Rica. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 10(2), 323-332.
- Chacón. K. y Monge, P. J. E. (2020). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo invernadero: comparación entre tipos de pepino. Revista Tecnología en Marcha, 33(1), 17-35.
- Chonillo, P. P. A. (2021). Efecto de cuatro bioestimulantes en la resistencia sistemática inducida del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* Mill) bajo invernadero. Manabí, Ecuador. Tesis licenciatura. 48 p.
- Crosby, L. C. (2008). Growth and consumer evaluation of *Cucumis sativus* L. cultivated in controlled environments. Graduate Faculty of Texas Tech University. 88 p.
- De la Rosa, T. P. Herrera, V. I. A. (2015). La producción hidropónica ¿Una herramienta alimentaria en espacios urbanos? Universidad Autónoma del Estado de México. Tesis licenciatura. 46 p.

DIÉDHIYOU, I. (2017). Respuesta del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), a la aplicación de abonos orgánicos en diferentes sistemas de producción. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Tesis maestría. 74 p.

Emad, A. A. Yousry, B. Elmahdy, M. & Mohamed, R. (2017). Silicon supplements affect yield and fruit quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in net houses. African Journal of Agricultural Research, 12(31), 2518-2523.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2022). México es el mayor exportador de pepino a nivel mundial.

García, S. E. I. Vargas, C. J. M., Palacios, R. M. I., y Aguilar, A. J. (2018). Sistema de innovación como marco analítico de la agricultura protegida en la región centro de México. Cuadernos de Desarrollo Rural, vol.15, núm. 81,2018.

González, M. G. Martínez, V. N. V. Rivera, C. M.C. Cadenas, P, G. Juárez, M. A. (2021). Las nanopartículas de SiO₂ mejoran la absorción de nutrientes en plantas de tomate desarrolladas en presencia de Arsénico. Revista bio ciencias, Vol. 8.

Guajardo, P. I. (2017). Efecto de la relación calcio- magnesio en la producción y calidad de pepino en invernadero y malla sombra. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. Tesis licenciatura. 42 p.

Hernández, G. R. (2021). Influencia de la concentración de la solución nutritiva y la humedad Relativa en el Rendimiento y Crecimiento de Pepino (*Cucumis sativus* L.), en Invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de licenciatura. 46 p.

Hernández, V. E (2021). Efecto de la humedad relativa en interacción con la concentración de la solución nutritiva sobre rendimiento y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de licenciatura. 40 p.

Hidalgo, R. R. J. (2020). Evaluación del rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) ante la aplicación de bioestimulantes a base de algas marinas en la zona de Simón Bolívar provincia del Guayas. Universidad Técnica De Babahoyo, Ecuador. Tesis licenciatura 39 p.

Hortoinfo (Diario digital de actualidad hortofrutícola). (2022). La producción de pepino en Holanda es de 70'52 kg/m² frente a los 10'28 kg/m² en España. Disponible en: <https://hortoinfo.es/produccion-mundial-pepino-120722/>

Huera, M. E. A. (2018). Evaluación del control etológico de trips (*Frankliniella occidentalis*) y mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en el cultivo de pepinillo (*Cucumis sativus* L.) Carchi, Ecuador. Tesis Licenciatura. 20 p.

INTAGRI. (2021). Tipos de Pepino Cultivados bajo Invernadero. Serie Horticultura Protegida, Núm. 41. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.

INTAGRI. (2017). La Industria de los Cultivos Hidropónicos. Serie Horticultura Protegida. Núm. 31. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.

INTAGRI. (2017). Producción de pepino en invernadero. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/produccion-de-pepino-en-invernadero>

INTAGRI. (2017). Las funciones del Potasio en la Nutrición Vegetal. Serie Nutrición Vegetal Núm. 100. Artículos Técnicos de Intagri. México. 4 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal#:~:text=El%20potasio%20se%20ha%20asociado,calidad%20de%20frutas%20y%20hortalizas.>

INTAGRI. (2016). Silicio para la Nutrición y Protección Vegetal. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/silicio-para-la-nutricion-y-proteccion-vegetal> -

Johnny's, S. S. (2014). Cucumber types and terminology. Disponible en: <http://www.johnny-seeds.com/assets/information/cucumbers-types-terminology-8989.pdf>

Juárez, L. P. Bugarin, M. R. Castro, B. R. Sánchez, M. L. Cruz, C. E. Juárez, R. C. Alejo, S. G. Balois, M. R. (2011). Estructuras Utilizadas en la Agricultura Protegida. 27 p.

Jutgla, M. P. (2009). Búsqueda de fuentes de resistencia al virus del mosaico del pepino dulce (Pepino Mosaic virus) en tomate. Universidad Politécnica de Valencia. España. Tesis licenciatura. 34 p.

López, E. J. Garza, O. S. Huez, L. M. A. Jiménez, L. J. Rueda, P. E. O. (2015). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.), en función de la densidad de plantación en condiciones de invernadero. European scientific, edition vol.11, No.24

López, C. P. I. (2019). Silicio como alternativa para mitigar el estrés salino en pepino y tomate. Universidad Autónoma De Baja California. Tesis doctorada.97 p.

Masaquiza, C. P. A. 2016. Manejo de Población de Insectos en Pepino (*Cucumis sativus* L.), Bajo Principios de Producción Limpia en el Sector la Isla, Cantón Cumandá. Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ciencias Agropecuarias. Tesis de licenciatura. 82 p.

Mendoza, M. H. A. (2016). Respuesta a la aplicación de fertilizantes foliares orgánicos en la productividad del cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.), Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil, Ecuador). Tesis de licenciatura. 35 p.

Morales, B. M. (2019). Biofortificación con selenio en el cultivo de tomate producido en hidroponía. Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila. Tesis de maestría. 70 p.

Morejan, D., D. M. (2022). Manejo ecológico de insectos chupadores en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L). Universidad Técnico de Babahoyo. Los Ríos, Ecuador. Tesis licenciatura. 22 p.

- Ormaza, G. J. H. Anchundia, S. C. L. (2016). Influencia del Tutorado y Densidad Poblacional en el Rendimiento del Cultivo de Pepino H. Diamante. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador. Tesis de licenciatura. 49 p.
- Parménides, F. B. (2012). Efecto del Silicio en la Fertilidad del Suelo, en la Incidencia de Enfermedades y el Rendimiento del Cultivo de Arroz (*Oryza sativa*) var cr 4477. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Tesis licenciatura. 36 p.
- Peña, C. R. A., y Gelacio, J. M. A. (2019). Efecto del silicio orgánico en el rendimiento de maracuyá (*Passiflora edulis*), cultivada en Somate- Sullana. Revista De Investigaciones
- Pinedo, G. J. A. (2011). Evaluación de dosis de silicio en el rendimiento del pepino híbrido (*Cucumis sativus* L.), variedad stonewall f1. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto, Perú. Tesis licenciatura. 69 p.
- Pico, K. T. (2017). Fertilización foliar a base de algas marinas en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), En época lluviosa en la zona de Quevedo. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Tesis Licenciatura. 92 p.
- Quiroga, S., A. M. (2016). Respuesta a las aplicaciones de silicio en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), variedad Modan, en condiciones de estrés hídrico bajo cubierta en Culiacán Sinaloa. Universidad de Ciencias Aplicadas y ambientales U.D.C.A Bogotá, Colombia. Tesis licenciatura. 67 p.
- Ramírez, M. G. Rico, G. E. Mercado, L. A. Ocampo, V. R. Guevara, G. R.G. Soto, Z. G.M. (2012). Efecto del manejo cultural y sombreo sobre la productividad del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), Universidad Autónoma de Querétaro. vol. 5, no 1, p. 1-9.

- Ramírez, A. O. Hernández M. J y González R. F. (2021). Análisis económico del pepino persa en condiciones de invernadero en guerrero y estado de México, 2020. Revista Mexicana de Agronegocios, vol. 48, pp. 678-689.
- Ramírez, O. J. J. (2021). Efecto de la aplicación de Silicio (SiO_2) en el control de mildiu veloso (*Pseudoperonospora cubensis*) en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador. Tesis licenciatura. 37 p.
- Raya, P. J. C. Aguirre, M. C. L. (2012). El Papel del Silicio en los Organismos y Ecosistemas. Instituto Tecnológico de Aguascalientes. Conciencia Tecnológica, núm. 43. 42-46 p.
- Rodríguez, F. P. (2021). Producción ecológica de pepino (*Cucumis sativus* L.), en las condiciones edafoclimáticas del III Frente Ciencia en su PC. Universidad de Oriente, Cuba. vol. 1, núm. 2, pp. 71-81.
- Romero, M. R. O. (2019). Fuentes de Silicio para mejorar la calidad postcosecha en limón persa (*Citrus latifolia* ton). Colegio de postgraduados, Texcoco, Estado de México. Tesis Maestría. 52 p.
- Santillán, R. J. A. (2016). Producción Urbana De Pepino (*Cucumis sativus* L.), Mediante Dos Sistemas de Cultivo Hidropónico. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Agrarias. 88 p.
- SENASICA, (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2016). La aplicación de sistemas de protección garantiza la disposición de frutas y verduras todo el año.
- SEPHU (Sociedad española de productos húmicos, s.a.). (2012). El silicio (SiO_2) En el cultivo de arroz. Colombia, Zaragoza.8 p.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). Disponible en: <https://www.gob.mx/siap>

SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

SIAP (Servicio de Información Agroalimentario y pesquera). (2015). Márgenes de comercialización. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/71326/MargenesComer Pepino Feb2015.pdf>

Silva, T. J. R. (2015). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.), tutorado y sin tutorar con dos abonos orgánicos (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ). Tesis de licenciatura. 95 p.

Solorzano, C. S. Naranjo, C. J. F. (2018). Evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de Silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA playitas. Escuela agrícola panorámica, Zamorana, Honduras. Tesis licenciatura. 17 p.

Uchazara, T. L. F. (2018). Evaluación de dos variedades de pepinillo (*Cucumis sativus* L.), con tres niveles de fertilizante foliar “vigortop” en ambiente protegido en el centro experimental de cota. Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. Tesis de licenciatura 72 p.

Velázquez, M. N. S. (2010). Análisis de fertilización a base de silicio en el cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* mil) en condiciones de invernadero y cultivo sin suelo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. Tesis de licenciatura. 65 p.

Venegas, D. D (2017). Impacto de la agricultura protegida en la economía del estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México. Tesis licenciatura. 20 p.

Zamora, E. (2017). El cultivo de pepino tipo slicer–americano (*Cucumis sativus* L.), bajo cubiertas plásticas. Universidad de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería, Cultivos protegidos, Folleto HORT. CP-008, Hermosillo, Sonora, México, 1-8 p

Zamora, P. E. (2016). Algunas fisiopatías de frutos, tallos y hojas en cultivos protegidos. Cultivos Protegidos HORT. CP, 1, 1-15.