

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Las Concentraciones de Calcio Afectan la Producción de Biomasa y la Actividad
Fisiológica de las Plantas de Pepino Híbrido SV2516CP

Por:

HUMBERTO NAVA PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Las Concentraciones de Calcio Afectan la Producción de Biomasa y la Actividad
Fisiológica de las Plantas de Pepino Híbrido SV2516CP

Por:

HUMBERTO NAVA PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

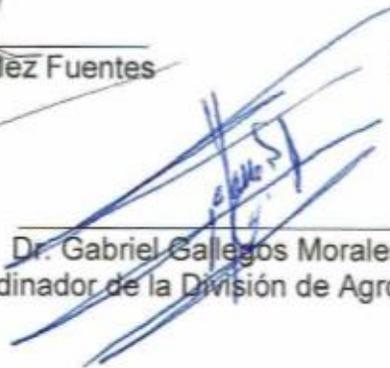
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor Principal


Dr. José Antonio González Fuentes
Coasesor


Dr. Alonso Méndez López
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México
Mayo 2019



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la fuerza y el don de la vida, por permitirme poder concluir con mis estudios, por guiarme y llenarme de bendiciones durante mi caminar en la Universidad, brindándome la sabiduría suficiente para poder lograr el termino de mi carrera.

A mi Alma Mater

Por brindarme la oportunidad de formar parte de ella y formarme profesionalmente, y darme las herramientas necesarias para poder ejercer de manera correcta, por abrirme las puertas y recibirme brindándome cada uno de sus servicios.

A mis asesores

Dr. Armando Hernández Pérez, por brindarme las bases para la realización de mi tesis, así como el apoyo para la realización de esta, por los consejos y enseñanzas de procesos de producción y sobre todo por la amistad brindada.

Dr. José Antonio González Fuentes

Por el apoyo, colaboración, dedicación y paciencia en la revisión de este trabajo que me han sido de gran ayuda para poder lograr mi formación.

Dr. Alonso Méndez López

Por el apoyo, colaboración, dedicación y paciencia en la revisión de este trabajo que me han sido de gran ayuda para poder lograr mi formación.

DEDICATORIAS

A mis padres

Jose Angel Nava Guillen y Reyna Teresa Perez Gomez por el esfuerzo que siempre hicieron para que pudiera terminar mi carrera, por apoyarme en la decisión de ser Ingeniero Agronomo y por no dudar de mi y mas que nada por estar ahí siempre cuando mas lo necesite, por no dejarme solo en ningun momento y hacerme sentir que a pesar de las circunstancias siempre se puede salir adelante, por los consejos que recibí siempre de ellos y por acompañarme siempre a pesar de la distancia que nos separaba, hoy el logro de ser Ingeniero Agrónomo en Horticultura también es suyo porque sin ellos quizá no hubiese sido posible.

A ellos les dedico con cariño mi logro, Ingeniero Agrónomo en Horticultura y sin ustedes nada sería de mí, Gracias.

A mi hermana

Yacsani Nava Perez por el apoyo durante mi carrera y por estar ahí siempre a pesar de las diferencias.

A mis tios

Elesvan Perez y Maria Perez por los consejos y el apoyo que siempre me han brindaron y hacerme sentir como un hijo y siempre compartir conmigo su felicidad.

A Osmari Yaneth Cañaverl Nieto

Por estar ahí siempre durante mi carrera y apoyarme en las decisiones que siempre tomaba, por formar parte de mí caminar y que a pesar de todo siempre estuvo ahí, por las largas horas platicando por teléfono y esas largas esperas para poder vernos.

A mi familia

Por estar siempre presentes y apoyarme siempre, dándome consejos y hacerme sentir que siempre contare con ustedes, que a pesar de las pocas veces que nos veíamos siempre estuvieron al pendiente de mí.

A mis amigos

Como de la carrera como de cualquier otra parte, por su amistad y por estar siempre ahí, por la ayuda cuando necesite de ustedes, por todas las convivencias y experiencias compartidas.

INDICE GENERAL	
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	iv
INDICE DE CUADROS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Elementos esenciales	4
3.2. Nutrición mineral	4
3.2.1 Absorción y transporte de nutrientes	5
3.3 Calcio	6
3.3.1 Funciones del calcio en las plantas	7
3.3.2 Absorción de calcio	7
3.3.3 El Calcio en la Planta	8
3.3.4 Calcio en el fruto	8
3.3.5 El calcio y el crecimiento radical	8
3.3.6 Absorción y translocación de calcio	9
3.3.7 Deficiencia de calcio	10
4. Cultivo de pepino	11
4.1 Importancia económica	11
4.2 Acumulación de Materia Seca en Invernadero	14

4.3 Nutrición del pepino	14
4.4 Producción de pepino en el noroeste de México.....	15
4.5 Índices de Cosecha	16
4.6 Índice de calidad.....	16
5. Actividad fotosintética	16
5.1 Transpiración	16
5.2 La Fotosíntesis y Transpiración Procesos Inseparables	17
IV MATERIALES Y MÉTODOS	18
Localización del experimento.....	18
Materia vegetal.....	18
Instalación del experimento.....	18
Siembra.....	18
Tratamientos	19
Diseño experimental.....	19
Condiciones ambientales.....	20
Preparación de Soluciones Nutritivas	20
Manejo del Cultivo	20
Riego.....	20
Tutoreo	20
Poda de hoja y brotes.....	21
Control de plagas y enfermedades	21
Control de malezas.....	21
Cosecha.....	21
VARIABLES EVALUADAS.....	22
Rendimiento	22

Peso seco	22
Variables fisiológicas	22
Análisis estadístico	22
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
VI CONCLUSION.....	31
VII LITERATURA CITADA	32
PAGINAS ELECTRÓNICAS	37

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química del pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>), por 100 g de pepino comestible.....	13
Cuadro 2. Composición química del pepino (<i>Cucumis sativus L.</i>), por 100 g de pepino comestible.....	13
Cuadro 3. Extracción de nutrientes de cultivo de pepino por ciclo de producción.....	15
Cuadro 4. Soluciones nutritivas evaluadas en las plantas de pepino híbrido SV2516CP.....	19
Cuadro 5. Efecto de las concentraciones de calcio (Ca) en soluciones nutritivas sobre la biomasa seca y rendimiento de las plantas de pepino híbrido SV2516CP.....	24

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Deficiencia de calcio.....	10
Figura 2.- Efecto de la concentración de calcio, en el peso seco de las hojas activas de las plantas de pepino hibrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media. ANOVA $P \leq 0.035$	25
Figura 3.- Efecto de la concentración de calcio, en la transpiración de las plantas de pepino hibrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media. ANOVA $P \leq 0.001$	26
Figura 4.- Efecto de la concentración de calcio, en la conductancia estomática de las plantas de pepino hibrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media. ANOVA $P \leq 0.054$	27
Figura 5.- Efecto de la concentración de calcio, en la fotosíntesis de las plantas de pepino hibrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media. ANOVA $P \leq 0.049$	28
Figura 6.- Efecto de la relación entre Conductancia estomática, en la fotosíntesis de las plantas de pepino hibrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media.....	28
Figura 7.- Efecto de la relación entre el peso seco de las hojas activas y el rendimiento las plantas de pepino hibrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media.....	30
Figura 8.- Efecto de la concentración de Calcio, en el rendimiento de las plantas de pepino hibrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media.....	30

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva sobre la acumulación de biomasa, actividad fotosintética y el rendimiento de las plantas de pepino híbrido SV2516CP, las cuales fueron cultivados bajo invernadero. Los tratamientos evaluados fueron tres concentraciones de Calcio (7, 9 y 11 meq L⁻¹). Los micronutrientes empleados para la solución nutritiva fueron (mg·L⁻¹): Fe: 5, Cu: 0.02, Zn: 0.11, Mo: 0.05, Mn: 0.65 y B: 0.5. El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones por cada tratamiento. El rendimiento de fruto por planta no fue afectado por las diferentes concentraciones de calcio, con 7 meq L⁻¹ de calcio el peso seco de las hojas activas es menor mientras que con 9 y 11 meq L⁻¹ de Ca aumenta, mientras que la fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración de las hojas se incremento con 7 meq L⁻¹ de Ca pues con 9 y 11 meq L⁻¹ este disminuye. Asimismo, el incremento de la biomasa seca de hoja disminuye el rendimiento y una baja conductancia estomática redujo la actividad fotosintética. De esta manera en la siguiente investigación se encontró que con el incremento de las concentraciones de calcio el peso seco de hojas es mayor mientras que en las variables fisiológicas se encontraron mejores resultados con bajas concentraciones de calcio.

Palabras Clave: *Cucumis sativus*, crecimiento, conductancia estomática vs fotosíntesis, biomasa seca vs rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de pepino *Cucumis sativus* es una planta herbácea, rastrera anual que sus frutos son consumidos como alimento. Es un vegetal originario de la India, perteneciente a la familia de las cucurbitáceas. Se emplea con frecuencia crudo en las diversas cocinas del mundo como ingrediente de ensaladas.

En México la producción de esta hortaliza juega un papel muy importante debido a que su consumo genera una gran demanda tanto en el mercado nacional como en el internacional, lo que provoca que al año se produzcan poco más de 700 mil toneladas cultivadas a lo largo de la República donde estados como Sinaloa, Michoacán, Baja California, Morelos y Veracruz son los principales productores de pepino. Debido a esto el país ocupa el puesto número 11 como productor a nivel mundial con poco más de 16 mil hectáreas destinadas para la producción de esta hortaliza; asimismo México se encuentra entre los primeros lugares en la lista de exportadores, seguido de España y Holanda, donde Estados Unidos es el principal consumidor con una importación del 83% del total que se produce, el resto se envía a Canadá (Conoce Hidroponía, 2017).

La producción de pepino en invernadero en el noroeste de México ha sido un éxito, al obtenerse buenos rendimientos con una sola duración del ciclo, siendo esta de 108 días en invierno, lo que da oportunidad de realizar dos siembras al año prolongando así la ventana de producción (Hernández, 2006). La producción de cultivos en invernadero suele acompañarse de tecnología hidropónica, en donde en vez de suelo se usa un sustrato y los fertilizantes se agregan como una solución nutritiva junto con el riego (Sánchez y Escalante, 1988). La nutrición de pepino en invernadero se basa principalmente en la solución nutritiva de Steiner, sin embargo, usada a diferentes concentraciones se pueden obtener mejores resultados, siendo el calcio (Ca) uno de los nutrimentos que más influyen en estos mismos (Haifa, 2010). El Ca es un elemento esencial para las plantas. Interviene en la formación de compuestos que forman la pared celular (pectatos de calcio).

También mantiene la integridad de la membrana, lo que afecta la permeabilidad e integridad de la misma, así como la absorción nutrimental. Los pectatos de calcio en las paredes celulares protege los tejidos contra hongos; por otra parte, es un elemento importante en el crecimiento del tubo polínico (Rodríguez y Flórez, 2004). Asimismo, participa en una gran cantidad de procesos y está involucrado en casi todos los aspectos del desarrollo de la planta, sin embargo, esto no significa que el Ca siempre este activamente involucrado (Hepler, 2005). El ion Ca es un mensajero secundario y actúa en numerosas vías de señalización de las plantas, transportando amplia gama de estímulos ambientales y de desarrollo obteniendo las respuestas fisiológicas apropiadas (Leucorieux *et al.*, 2006).

Objetivo General

Evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva sobre la acumulación de biomasa, actividad fotosintética y el rendimiento de las plantas de pepino híbrido SV2516CP.

Objetivos específicos

Obtener la óptima concentración que calcio que permite mayor acumulación de biomasa seca de las plantas de pepino híbrido SV2516CP.

Determinar la concentración adecuada de calcio para la fotosíntesis y el rendimiento de las plantas de pepino híbrido SV2516CP.

Hipótesis

Al menos una concentración de calcio influirá en el crecimiento, actividad fisiológica y rendimiento de las plantas de pepino híbrido SV2516CP.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Elementos esenciales

Las plantas son organismos autótrofos capaces de emplear la energía de la luz del sol para sintetizar todos sus componentes a partir de dióxido de carbono, agua y elementos minerales. Estudios de nutrición vegetal han demostrado que hay elementos específicos que son esenciales para la vida de la planta (Taiz y Zeiger, 2006). Los elementos esenciales pueden ser clasificados por su concentración en el tejido vegetal. Los elementos de mayor concentración en la planta son conocidos como macronutrientes Carbono (C), Hidrogeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S) y aquellos que se encuentran en menor concentración son llamados micronutrientes Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl), Níquel (Ni) (Intagri, 2019).

El término elemento mineral esencial (o nutriente mineral) fue propuesto por Arnon y Stout (1939). Estos autores concluyeron que, para que un elemento se considere esencial, se deben cumplir tres criterios:

- Una planta debe ser incapaz de completar su ciclo de vida en ausencia del elemento esencial.
- La función de elemento no debe ser reemplazable por otro elemento.
- El elemento debe participar directamente en el metabolismo de la planta, por ejemplo, como un componente esencial de la planta; una enzima, o debe requerirse para un paso metabólico distinto, como una reacción enzimática (Marschner, 2012).

3.2. Nutrición mineral

El estudio de la absorción de elementos minerales inorgánicos y su asimilación por las plantas se denomina nutrición mineral. Una vez que los elementos son

absorbidos por las raíces, se trasladan a varias partes de la planta donde participan en la realización de importantes funciones biológicas que resultan en un crecimiento y desarrollo normales (Pandey, 2015). Asociado a ello, una adecuada nutrición mineral es fundamental para alcanzar una producción agrícola que garantice la seguridad alimentaria, de manera que soporte la creciente demanda de una población mundial que día a día aumenta (FAO, 1998).

La nutrición vegetal consiste en la elaboración y utilización de materia rica en energía (azúcares, aceites, proteínas...) a partir de los materiales recogidos en el suelo y del aire (agua, sales minerales, dióxido de carbono) y de la energía del sol. Esta materia que fabrican las plantas es la que sirve de alimentos para los seres heterótrofos.

La nutrición vegetal comprende tres procesos:

- Absorción y transporte de nutrientes hacia la hoja
- Fotosíntesis
- Utilización de alimento

(Borrego *et al.*, 1994).

3.2.1 Absorción y transporte de nutrientes

La absorción de nutrientes por parte de las raíces es compartida por todas las partes jóvenes de la raíz y especialmente por una zona de pelos radiculares que aumenta hasta cientos de veces el área de superficie de una raíz. Las plantas pueden absorber nutrientes a través de las raíces en forma de pequeñas moléculas sin carga eléctrica o en forma de iones de carácter positivo o negativo de una variedad de elementos. Además, algunos nutrientes se pueden absorber de varias formas diferentes (por ejemplo, nitrógeno). Las raíces se encuentran en contacto directo con algunos nutrientes; sin embargo, estos difícilmente pueden entrar a las células por difusión simple, aproximadamente sólo el 2.5% del total de nitrógeno, potasio y fósforo ingresan a la planta mediante este mecanismo (Foth y Ellis, 1997).

Para lograr el ingreso de nutrientes la planta utiliza mecanismos de transporte activo y pasivo. El mecanismo, tal vez, más importante se denomina "Flujo

masivo” y consiste en el ingreso de los nutrientes en forma de iones disueltos en el agua, esto debido al potencial hídrico que genera la transpiración, la eficiencia de este sistema de transporte depende de la movilidad de cada elemento o ion. La movilidad de los nutrientes dentro de la planta depende del tipo de planta y de su estado fenológico, así como de la capacidad de cada uno de ellos para desplazarse (Melgarejo, 2010).

Algunos nutrientes se movilizan dentro de la planta, desde la raíz hasta la zona en crecimiento. La movilidad puede ser alta, media o baja, y dependerá del tipo de planta y del estado fenológico en que se encuentre. Para condiciones óptimas los elementos móviles son nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio, cloro, sodio, molibdeno, zinc, y los inmóviles son calcio, azufre, hierro, cobre y boro (Marschner, 1995). En la superficie de la raíz, los iones entran en la pared celular y siguen una de las dos vías paralelas para el movimiento de nutrientes desde la superficie de la raíz hacia la planta. Uno es a través del apoplasto, la pared celular y los espacios intercelulares, y el otro es el transporte a través de la membrana celular hacia el simplasma y luego de célula a célula a través de los plasmodesmas.

Los iones pueden moverse desde la superficie de la raíz a través de la epidermis y la corteza hasta la endodermis, que es la capa más interna de las células de la corteza. La endodermis tiene una banda hidrófoba de suberina en las paredes, conocida como banda de Casparian, que es una barrera para el movimiento pasivo de iones en la estela. (Adler P.R., Cumming J.R. y Arora R., 2009).

3.3 Calcio

El calcio es un elemento estructural en la planta ya que constituye la lámina media, las paredes y membranas de la célula y, además, participa en la división y extensión celulares, influye en la compartimentalización de la célula, modula la acción de hormonas y señales, estabiliza la pared y membrana, y contribuye al equilibrio iónico de la célula (Marschner, 1986).

3.3.1 Funciones del calcio en las plantas

A diferencia de otros elementos, el calcio no tiene gran importancia como activador enzimático. Además, es un elemento de muy baja movilidad interna. Su papel más importante es formar parte de la pared celular y mejorar la permeabilidad celular. Las principales funciones del calcio, dentro de las plantas son:

- Forma parte del pectato de calcio que confiere rigidez y resistencia a las paredes celulares.
- Promueve la turgencia del plasma coloidal, en forma similar al potasio.
- Activa los meristemos de la raíz para su crecimiento radicular.
- Contribuye a la formación de nódulos de leguminosas.
- Contribuye a la germinación de los granos de polen y para que se desarrolle el tubo polínico.
- Es importante para la división y elongación celular.
- Contrario a otros elementos, como el potasio, tiene poca importancia en la activación de enzimas.

(Kass, 1996).

3.3.2 Absorción de calcio

El calcio (Ca) se adquiere de la solución del suelo por el sistema radicular y se trasloca al brote a través del xilema. Este ingresa a las células de la planta a través de los canales de iones permeables al Ca^{2+} en sus membranas plasmáticas (White, 2000). Las plantas absorben el Ca como un catión divalente Ca^{2+} . El potencial de captación de Ca es más bajo que el de otros cationes, como K^+ , aunque la concentración de Ca en la solución del suelo es diez veces más alta que la de K. Esto se debe a que la absorción de Ca tiene lugar solo a través de puntas de raíces jóvenes en las que las paredes celulares de la endodermis aún no están perfiladas. La captación de Ca de la solución del suelo por las raíces es principalmente un proceso pasivo, e incluso dentro de los tejidos de las plantas, la translocación de Ca se produce de forma pasiva. (Demidchik y Maathuis, 2007).

3.3.3 El Calcio en la Planta

Entre las especies vegetales existen notables diferencias en cuanto a sus requerimientos de calcio, lo que ha motivado el establecimiento de dos grupos totalmente diferenciados. Algunas especies precisan un medio edáfico en el que abunde este elemento y constituyen el grupo de plantas calcícolas, entre las que se encuentran la remolacha azucarera, la zanahoria, algunas leguminosas, etc; otras se desarrollan mejor cuando son escasas las formas más o menos solubles de calcio y está poco saturado en el complejo absorbente, constituyendo el grupo de las especies acidófilas (altramuz, sandia, etc.). La mayor parte de las plantas cultivadas se sitúan entre ambos extremos, es decir, viven mejor y les basta con que el complejo de cambio esté suficientemente saturado con una adecuada proporción de calcio (Sánchez y Dios Vidal, 1976).

3.3.4 Calcio en el fruto

El Ca posee efectos sobre la textura y resistencia a enfermedades del fruto, además de retrasar la maduración y senescencia, afectándola de tres maneras: manteniendo la estructura de la pared celular, la función de la membrana celular y regulando procesos celulares por su acción en la transmisión de señales (Watkins, 1995). La deficiencia de calcio en los frutos es un problema que se asocia más a una deficiente translocación de este elemento por los vasos conductores floemáticos de la planta, que a la cantidad total de calcio presente en el suelo (Aedo, 1994).

3.3.5 El calcio y el crecimiento radical

El nutriente es tan importante para el desarrollo de raíces que, en la ausencia de este, se detiene el crecimiento radical en tan solo unas horas. Se ha demostrado en que el calcio mejora en el crecimiento de raíces en diferentes cultivos y en el caso de leguminosas participa en el desarrollo de nódulos. En conjunto con el potasio (K^+) en el crecimiento radical, el papel del calcio se liga a la división y elongación de las células que componen este órgano (Intagri, 2018).

3.3.6 Absorción y translocación de calcio

El Calcio, a diferencia de la mayoría de los elementos, es absorbido y transportado por un mecanismo pasivo. Por ello el proceso de transpiración de las plantas es importante en el transporte del Calcio. Una vez en la planta, el Calcio se mueve hacia las áreas de rápida expansión, tales como hojas nuevas o frutos, a través de la transpiración. (Piedrahita, 2012).

La translocación dentro de la planta es por la savia del xilema (hacia arriba) con la corriente de la transpiración, que va a las hojas; participa en el almacenamiento de azúcares y mejora la firmeza de los frutos; en las hojas el flujo de Ca, disminuye después de la madurez de la hoja, aun cuando se mantenga una transpiración constante (Mengel y Kirkby, 2001).

El melón tiene problemas de firmeza después de cosechado, lo que trae como consecuencia una menor vida postcosecha. La firmeza de los frutos es el criterio de calidad más significativo en la comercialización internacional. La firmeza en los frutos tiene origen fisiológico-nutricional asociado a la absorción y translocación del calcio en primer lugar y del potasio en segundo lugar. El desorden fisiológico que resulta de la deficiencia localizada de calcio dentro de la planta, es atribuido a una pobre distribución de este elemento más que a una restricción en su absorción. El calcio es transportado por el xilema y el floema, pero el transporte del soluto puede ser particularmente crítico en órganos, que son naturalmente bajos en calcio, tales como los frutos y las hojas jóvenes (Kirkby y Pilbean, 1984).

El calcio está gradualmente asociado a los procesos de maduración de frutos y vida de almacenamiento postcosecha. Concentraciones altas de calcio en los tejidos del fruto resultan en una tasa lenta de maduración, cantidades más bajas de respiración y producción reducida de etileno (Ferguson, 1979). Por otro lado, Watkins y Ferguson (1981) mencionan que el principal sitio para la acción del calcio en senescencia y maduración puede estar en la estructura y función de las membranas y en la estructura de la pared celular. Aunque altas concentraciones externas de calcio son una ventaja en reducir la tasa de senescencia o madurez.

3.3.7 Deficiencia de calcio

La función principal del calcio es mantener la estructura de las membranas celulares, de las cuales es uno de sus componentes. Por lo tanto, la deficiencia de este elemento, al afectar la organización celular, produce efectos násticos en los puntos de crecimiento (tejido meristemático) que se manifiestan por una deformación de las hojas. Otro factor que contribuye a este problema es la baja movilidad del calcio en la planta, que, ni aun en caso de extrema deficiencia, es translocado de los tejidos viejos hacia los tejidos jóvenes (CIAT, 1981).



Figura 1.- Deficiencia de calcio

Es un nutriente poco móvil dentro de la planta y su deficiencia se manifiesta como un amarronamiento y muerte de los ápices de crecimiento tanto de raíces como los de la parte aérea. Las hojas jóvenes se retuercen con los márgenes de color marrón. También su deficiencia causa una baja en la calidad de la cosecha, además de una alta pudrición de flores, lo cual disminuye el rendimiento (IPNI, 2015).

El calcio es poco móvil y tiende a acumularse en los órganos más viejos, mientras que los de mayor actividad metabólica (hojas en crecimiento, flores, frutos y meristemas apicales) son los que necesitan un mayor porcentaje. Por tanto, la deficiencia de este macronutriente afecta en primer lugar a las partes en formación y meristemas en crecimiento. Donde queda fijado y prácticamente inmóvil en sus paredes celulares. Debido a esta inmovilidad, las hojas viejas pueden tener

concentraciones de calcio. Mientras que las jóvenes, frutos u otros órganos, pueden presentar niveles por debajo de la normalidad (Chiu Y Bould, 1977)

Así pues, las alteraciones fisiológicas asociadas con la nutrición cálcica son factores importantes para los cultivos. De hecho, según POOVAIAH (1993), al aumentar la concentración de calcio en tejidos vegetales debería disminuir la incidencia de estas patologías y, por tanto, mejorar la calidad del producto. Sin embargo, niveles de calcio bajos en determinados órganos de una planta no siempre son el resultado de una absorción de calcio insuficiente, sino que puede deberse a problemas de distribución (Paiva *et al.* 1998).

4. Cultivo de pepino

El pepino es originario del sudeste de Asia. Es una especie cultivada que se extendió hacia el cercano Oriente; fue conocido por los griegos y los romanos antiguos, incluso su cultivo era forzado y lo introdujeron hacia el este de China y después a Europa (Maroto *et al.* 2010).

El pepino es una planta herbácea, anual, rastrera o trepadora si se le facilita un entutorado apropiado mediante zarcillos sencillos que nacen en las axilas de las hojas, junto a los brotes en formación y que se enrollan en las mallas o hilos dispuestos para el entutorado. En estado adulto la planta de pepino puede alcanzar los 2 metros de altura, aunque, a veces, la exigencia del cultivo determina que la planta tenga menor tamaño (Reche, 2011).

4.1 Importancia económica

El pepino se destaca a nivel mundial como una de las principales hortalizas de alto consumo y de mayor importancia ya que su producción es relativamente rápida, favoreciendo a países de clima templado quienes las pueden trabajar durante todo el año, lo cual significan un punto a favor respecto a países estacionales, quienes solamente las desarrollan en condiciones protegidas, convirtiéndose en un mercado atractivo de exportación. Por ser de consumo tanto en fresco para en ensaladas y platos típicos, como industrializado en encurtidos, en países pioneros en su producción el área cultivada se encuentra en constante crecimiento, dadas

las exigencias de un mercado dinámico y en crecimiento, a nivel nacional e internacional (Reho, 2015).

La especie es una de las hortalizas de mayor relevancia de acuerdo a su consumo per cápita principalmente como hortaliza fresca; en México el cultivo de pepino es la cuarta hortaliza de mayor importancia siendo además el segundo país exportador a nivel mundial y el primer proveedor de mercado de los Estados Unidos (Mejía, 2010 y Barraza, 2012).

El pepino (*Cucumis sativus L.*), es una de las especies que se desarrolla más rápidamente desde la siembra hasta la cosecha. Sin embargo, el número de días desde la siembra hasta la cosecha puede variar en función de la temperatura ambiental, lo que dificulta la estimación de la fecha de la cosecha (Wehner y Guner, 2004).

El pepino (*Cucumis sativus L.*) es una cucurbitácea que se cultiva mundialmente con varios propósitos: para consumo en fresco, industria del encurtido, e industria cosmética, principalmente. En 2012 se cosecharon 2,1 millones de hectáreas en las que se obtuvo una producción de 65,1 millones de toneladas de frutos (FAO, 2014).

El pepino es una hortaliza que presenta un amplio interés industrial por la facilidad de adaptación al procesamiento mínimo. Esta hortaliza se utiliza mucho en la elaboración de ensaladas (Artes y Artes-Hernández, 2004; Karakas y Yildiz, 2007), y es conocido como uno de los vegetales de menor valor energético, siendo su contenido en fibras y vitaminas C, A, y tiamina, bajo con respecto a la media de otras hortalizas (FAO, 2002).

El consumo del pepino lo ubica como la cuarta hortaliza más importante del mundo, después del jitomate, repollo y cebolla. Se utiliza tanto en estado fresco como industrial (pepinillos o "pickles"). También tiene amplio uso en cosmetología y salud, en la fabricación de jabones, cremas y productos que aprovechan sus propiedades como emoliente, diurético, depurativo, laxante y calmante, así como sus efectos en tratamientos de aclaramiento de la piel y manchas, reducción de ojeras y nutrición del cuero cabelludo (Qureshi *et al.* 2010; Abu *et al.* 2013)

Cuadro 1. Composición química del pepino (*Cucumis sativus L.*), por 100 g de pepino comestible.

Componente	Valor	Componente	Valor
Agua	95-96 %	Hierro	0.3 mg
Sustancias nítricas	0.35-0.95 %	Sodio	13 mg
Azúcares	1.07-2.14 %	Potasio	140 mg
Cenizas	0.39-0.57 %	Magnesio	9 mg
Calorías	10 cal	Vitamina B ₁	0.04 mg
Proteínas	0.6 g	Vitamina B ₂	0.04 mg
Carbohidratos	1.8 g	Vitamina B ₆	0.4 mg
Fosforo	24 mg	Vitamina C	8 mg
Calcio	23 mg	Ácido Fólico	14 mg

Fuente: FDA 1992.

Sin embargo, estudios más recientes muestran otros valores nutricionales como los que se encuentran en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Composición química del pepino (*Cucumis sativus L.*), por 100 g de pepino comestible.

Componente	Valor	Componente	Valor
Energía	12 cal	Vitamina A	45 UI
Proteína	0.6 g	Vitamina B ₁	0.03 g
Grasa	0.1 g	Vitamina B ₂	0.02 g
Carbohidratos	2.2-3.6 g	Niacina (Vitamina B ₃)	0.3 g
Fibra dietética	0.5 g	Vitamina C	12 mg
Calcio	14 mg	Hierro	0.3 mg
Magnesio	15 mg	Sodio	5 mg
Potasio	124 mg	Zinc	0.2 mg
Fosforo	24 mg		

Fuente: Haifa 2014.

4.2 Acumulación de Materia Seca en Invernadero

La materia seca total de la planta representa la integración espacial y temporal de todos los procesos de crecimiento y desarrollo, por lo tanto, un parámetro muy relevante de estudio. El término análisis del crecimiento vegetal se refiere a un conjunto de métodos cuantitativos que describen los resultados de los sistemas donde las plantas son cultivadas (Hunt, 2003). El crecimiento vegetal y la consecuente acumulación de materia seca están relacionados directamente con la absorción continua de nutrientes minerales, la cual se produce solamente si aumenta el tamaño de la planta. En caso contrario, especialmente para las hortalizas, caracterizadas por su periodo vegetativo relativamente corto, se deja de aprovechar el potencial productivo de los genotipos de alto rendimiento, disponibles y accesibles en la actualidad y por lo tanto, se obtienen rendimientos por debajo de una buena rentabilidad económica, con la consiguiente pérdida de competitividad y sostenibilidad (Güenkov, 1974; Valadez, 1998).

4.3 Nutrición del pepino

Para realizar las fórmulas de fertilización es necesario tener en cuenta tres aspectos fundamentales: el contenido nutricional de los materiales a utilizar (fertilizantes, abonos y/o enmiendas), los requerimientos nutricionales de las plantas y el contenido nutricional del suelo. Se debe tener un balance nutricional de todos los elementos necesarios para el desarrollo del cultivo.

Cuadro 3. Extracción de nutrientes de cultivo de pepino por ciclo de producción (Intagri, 2019).

Macronutrientes			Micronutrientes		
Elemento	Extracción		Elemento	Extracción	
	Kg/ha	g/m ²		g/ha	Mg/m ²
N Mineral	140	14	Fe	600	60
P ₂ O ₅	26	2.6	Mn	400	40
K ₂ O	180	18	Cu	500	50
Ca	23	2.3	Zn	300	30
Mg	13	1.3	B	200	20
S	30	3			

Como componente tecnológico para aumentar el rendimiento y calidad en cultivos de pepino, la fertirrigación hidropónica utiliza el riego por goteo para aplicar fertilizantes de alta solubilidad y mantener niveles óptimos de nutrimentos en la rizosfera. Teniendo en cuenta que, estos fertilizantes tienden al encarecimiento, provocan impactos negativos en el ambiente y en la salud de los consumidores, cuando son utilizados en cantidades inadecuadas. Actualmente se busca que los sistemas hidropónicos basados en fertirrigación sean más eficientes en cuanto al uso del agua y fertilizantes (Barraza, 2017; Sánchez *et al.* 2014; De Santiago, 2008). Los rendimientos en ambiente protegido comparado con los encontrados a la intemperie son significativamente diferentes. Higón (2002) reporta que el pepino suele alcanzar rendimientos de 20 a 30 t·ha⁻¹ al aire libre; mientras que en invernadero alcanza 150 a 300 t·ha⁻¹. En México, según reportes del SIAP (2013), el rendimiento promedio de pepino al aire libre es de 30,5 t·ha⁻¹ y en condiciones protegidas es de 98,0 t·ha⁻¹, con incrementos del 221%.

4.4 Producción de pepino en el noroeste de México

La producción de pepino en invernadero en el noroeste de México ha sido un éxito, al obtenerse buenos rendimientos con una sola duración del ciclo, siendo

esta de 108 días en invierno, lo que da oportunidad de realizar dos siembras al año prolongando así la ventana de producción (Hernández, 2006). Bajo condiciones de invernadero, la producción de pepino es de 2 a 9 veces más que en campo abierto, dependiendo del nivel tecnológico, el manejo y las condiciones climatológicas (Fumiaf, 2005; SIAP, 2013), constituyendo asimismo una alternativa a la diversificación de cultivos en invernadero.

4.5 Índices de Cosecha

Los pepinos se cosechan en diversos estados de desarrollo. El período entre floración y cosecha puede ser de 55 a 60 días, dependiendo del cultivar y de la temperatura. Generalmente, los frutos se cosechan en un estado ligeramente inmaduro, próximos a su tamaño final, pero antes de que las semillas completen su crecimiento y se endurezcan. La firmeza y el brillo externo son también indicadores del estado premaduro deseado. En el estado apropiado de cosecha un material gelatinoso comienza a formarse en la cavidad que aloja a las semillas (Suslow y Cantwell, 2013).

4.6 Índice de calidad

Los pepinos se clasifican por su grado de madurez en pepinillos y pepinos, por su tamaño los pepinos son preferidos de 20 a 30 cm de largo, de superficie cilíndrica lisa y recta, color verde oscuro y uniforme (ausencia de amarillamientos), se comercializan bien limpios, deben ser firmes al corte y el anillo interno deberá presentar mayor proporción de pulpa de color blanco y las semillas de un tamaño no mayor de 3 mm del largo, mostrando buena humedad en su interior. Cuando el pepino se quiebra manualmente este debe emitir un ligero sonido de resistencia (López, 2003).

5. Actividad fotosintética

5.1 Transpiración

La transpiración es la salida de vapor de agua hacia la atmósfera circundante desde las superficies celulares que, en conjunto al intercambio de dióxido de

carbono (CO_2), determinan la eficiencia del uso de agua de una planta y se encuentra relacionado con la fotosíntesis (Azcon-Bieto y Talón, 2000). Su pérdida se produce a través de estructuras anatómicas como los estomas, lenticelas o cutícula siendo de esta manera un determinante primario del balance energético de la hoja y del estado hídrico de la planta. (Squeo y León, 2007).

5.2 La Fotosíntesis y Transpiración Procesos Inseparables

La cantidad de CO_2 asimilada por la hoja por unidad de tiempo y superficie de hoja se define como la tasa de fotosíntesis, mientras que la cantidad de vapor de agua que la planta libera al medio por unidad de tiempo y superficie de hoja es la tasa de transpiración. Tanto la entrada de CO_2 como la salida de agua se produce a través de los estomas. Se podría decir que la pérdida de agua es una consecuencia irremediable ligada a la necesidad de captar CO_2 (Yu *et al.*, 2001).

IV MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

La presente investigación se llevó a cabo a finales de verano y en la primavera del 2018 en un invernadero tipo dos aguas dentro de las instalaciones del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México, ubicado a 25°21'20.2" N 101°02'08.5" W.

Materia vegetal

Se utilizaron semillas de Pepino híbrido SV2516CP partenocárpico slicer, cuyas características de las plantas es precoz con follaje vigoroso y excelente capacidad de amarre de frutos, alta productividad durante todo el ciclo y los frutos son de alta calidad de tamaños selectos y súper selectos, color verde oscuro, casi sin espinas, sin formación de estrella, de pulpa firme y vida de anaquel prolongada.

Instalación del experimento

Se emplearon contenedores de polietileno negro con un volumen de 10 L, los cuales se llenaron con sustrato compuesto de 70% peat moss y 30% de perlite (v/v) y para evitar el contacto con el suelo se colocaron los contenedores sobre bloques de unicel y la distancia entre contenedores fueron de 30 cm y 1.2 m entre surcos.

Siembra

Esta actividad se realizó el 27 de febrero del 2018, se sembró 2 semillas en cada contenedor, cubriendo completamente las semillas con el sustrato, a los 5 días después siembra hubo una emergencia de 90%, y 9 días después de la

emergencia se procedió a eliminar una plántula por contenedor, dejando las más vigorosas.

Tratamientos

Se evaluaron 3 soluciones nutritivas (SN) de diferentes concentraciones de calcio (7, 9 y 11 meq L⁻¹), fueron preparadas con agua de pozo, la cual se contempló los parámetros químicos para el ajuste de la misma. Las concentraciones de los iones en el agua son: NO₃⁻: 0, H₂PO₄⁻: 0, SO₄²⁻: 3.5, K⁺: 0.11, Ca²⁺: 3.4, Mg²⁺: 2.5 y HCO₃⁻= 5.5 en meq L⁻¹. Las SN se basó principalmente en la modificación de la solución Steiner 1984. La concentración original de Ca es de 9 meq L⁻¹, por lo que la variación se trató en disminuir y aumentar 2 meq L⁻¹ de esta concentración original, manteniendo igual la suma de cationes y aniones (Cuadro 4). Los micronutrientes empleados para la solución nutritiva en el experimento fueron (mg·L⁻¹): Fe: 5, Cu: 0.02, Zn: 0.11, Mo: 0.05, Mn: 0.65 y B: 0.5. El Fe se aportó como Fe-EDTA.

Cuadro 4. Soluciones nutritivas evaluadas en las plantas de pepino híbrido SV2516CP.

NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	ΣA	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	ΣC
meq L ⁻¹							
12	1	5	=18	7	7	4	=18
12	1	7	=20	7	9	4	=20
12	1	9	=22	7	11	4	=22

NO₃⁻ =nitrato, H₂PO₄⁻ = di-ácido fosfato, SO₄²⁻= sulfato, K⁺= potasio, Ca²⁺=calcio, Mg²⁺= magnesio, ΣA= suma de aniones, ΣC= suma de cationes.

Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones por cada tratamiento. Con tres plantas por repetición, teniendo un total de 36 plantas.

Condiciones ambientales

Durante experimento se registraron temperaturas mínimas y máximas en promedio 30°C, mientras que la humedad relativa se registró en un promedio de 65%. Los registros se midieron mediante un equipo marca HOBO tem/RH logger, Modelo: UX100-003 que realizaba las dos funciones.

Preparación de Soluciones Nutritivas

Las soluciones nutritivas que corresponden a cada tratamiento se prepararon en contenedores de 200 L de capacidad, disolviendo cuidadosamente cada uno de los fertilizantes para evitar precipitaciones de los iones, agregando primero los ácidos, seguido de los sulfatos y fosfatos, posteriormente los cloruros, en seguida los nitratos y al final los micronutrientes. Los contenedores con solución se colocaron a la sombra y se taparon con plástico negro, con el fin de evitar el contacto con la luz.

Manejo del Cultivo

Riego

Los riegos se realizaron de manera manual, aplicando una cantidad de la solución nutritiva suficiente para la planta y para mantener un 25 % de drenaje para evitar la acumulación de sales en el medio de desarrollo radicular. Al inicio se aplicaba un 50% de la solución original de Stienner, , después de dos semanas que se efectuó la siembra se iniciaron los riegos con la solución nutritiva correspondiente a cada tratamiento, durante el ciclo de desarrollo vegetativo de las plantas se les suministraba 1000 ml en la mañana cada tercer día, después se empezó a irrigar de acuerdo a las necesidades hídricas de las plantas, pues, la frecuencia de riego se aumentaron en la etapa reproductiva, dando riegos de 1000 ml por la mañana y 1000 ml por la tarde, todos los días.

Tutoreo

El tutoreo se realizó cuando las plantas alcanzaron una altura de aproximadamente 15 cm, con hilos de rafia que se colgaron de los alambres

colocados longitudinalmente sobre las hileras de las plantas, sujetando la punta de la rafia en la base de cada planta e ir enrollándola conforme el crecimiento de esta.

Poda de hoja y brotes

La poda se realizó cuando se observaba la presencia de brotes laterales, eliminando estos de manera manual con el fin de evitar el desgaste de la planta con el desarrollo de estos, las podas de las hojas se realizaron después de cada cosecha eliminando en estas las hojas viejas y las que no serían funcionales para las plantas.

Control de plagas y enfermedades

Durante el ciclo del cultivo se hicieron aplicaciones de fungicidas, insecticidas y bactericidas: tales como productos de ingrediente activo abamectina, para el control de mosquita blanca y trips, lo cual se tuvo más incidencia durante el desarrollo del cultivo, esta se aplicó a una concentración de 1.25ml por cada litro de agua, asperjando cuando se observaba la presencia de las primeras mosquitas blancas o trips, también se aplicó hidróxido de cobre al 10% a una dosis de 5ml por cada litro de agua, con el fin de evitar la presencia de enfermedades fungosas.

Control de malezas

La maleza que emergía dentro del invernadero se eliminaba manualmente puesto que esta solo se encontraba a las orillas de los surcos y las partes no transitadas del invernadero, con el fin de evitar tener hospederos de plagas y enfermedades en estas, y evitar daños a las plantas cultivadas.

Cosecha

El experimento finalizó después de los 100 días después de la siembra. Dando inicio la cosecha a los 59 días, las cuales se realizaban cada tercer día cuando los frutos se tornaban a un color verde oscuro, obteniendo un número de diez cosechas durante todo el ciclo.

VARIABLES EVALUADAS

Rendimiento

El peso de los frutos de cada cosecha por planta se registró por medio de una báscula digital marca Obi, modelo 207135 con una capacidad de 2000g, posteriormente el peso total de frutos cosechados se sumó para obtener el rendimiento total en gramos por planta.

Peso seco

Se muestreo cada planta separando los órganos de esta (tallo, hojas), se colocaron en bolsas de papel e introdujeron a un horno de secado a 65°C durante 72 horas con el fin de obtener el peso seco de cada órgano, posteriormente cuando las muestras estaban totalmente secas, se procedió a sacar los pesos de cada órgano con ayuda de una báscula digital. Al tener el registro los pesos secos de tallos y hoja se, sumó para sacar el peso seco total de la planta (PSTP).

Variables fisiológicas

La fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática se tomaron las lecturas en las horas de intensidad lumínica más fuerte (12:00 pm), en la epata de producción. La medición se hizo utilizando un aparato portátil de fotosíntesis LI-6800 (LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska, EU.). Aparato que registra los datos en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para la fotosíntesis, transpiración en $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y conductancia estomática en cm S^{-1} . Las lecturas fueron tomadas sobre hojas jóvenes completamente desarrolladas y que estuvieran en una posición perpendicular a la radiación solar, las mediciones se realizaron en una hoja por planta por unidad experimental.

Análisis estadístico

Los datos recabados del experimento se sometieron en un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) utilizado el programa SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.0.

V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El crecimiento, rendimiento y la actividad fisiológica de las plantas de pepino fueron afectadas por las diferentes concentraciones de calcio. El peso seco de tallo y el total aéreo no fueron afectados significativamente ($P \geq 0.05$) por las diferentes concentraciones de calcio, este mismo efecto presente en la longitud y diámetro de fruto, así como, el rendimiento por plantas (Cuadro 5).

El peso seco total de hoja fue afectado por las concentraciones de calcio, ya que aquellas plantas que fueron irrigadas con la solución nutritiva que contenía 7 meq L⁻¹ de Ca fue menor, pero cuando este se incrementó a 9 y 11 meq L⁻¹ aumento en un 4.7% y 3.9% respectivamente (Cuadro 5).

El peso seco de las hojas activas se ve afectado por las diferentes concentraciones de Ca en la solución nutritiva (Figura 2), teniendo que con 7 meq L⁻¹ de Ca este fue menor, pero las plantas que fueron irrigadas con 9 y 11 meq L⁻¹ de Ca tendió a aumentar (Figura 2), lo cual coincide con Álvarez *et al.* (2008) quienes señalan que con un bajo suministro de Ca (4.66 me L⁻¹) causó el menor peso seco (13.8 g planta⁻¹) y menor altura (81.4 cm), mientras que el mayor crecimiento (16.9 g planta⁻¹ y 92.7 cm de altura) fue con un alto suministro de Ca en de plantas de *Lilium asiático* cv. Vermeer. Por su parte, Nava *et al.* (2009) mencionan que el crecimiento de las plántulas de tomate sembradas en marzo, la acumulación de materia seca de hoja no fue estadísticamente diferente en aquellas nutridas con 9 y 15 me L⁻¹ de Ca; sin embargo, produjeron 23% más de materia seca que las plántulas nutridas con 6 y 12 me L⁻¹ de Ca. Asimismo, la siembra de mayo, la acumulación de materia seca de hojas con 6 y 9 me L⁻¹ no fueron diferentes, acumularon 25% más de materia seca comparado con 15 me L⁻¹ de Ca. En frijol se observa aumento de la materia seca con el incremento de las concentraciones de calcio en la solución nutritiva, pero, el peso seco de la parte aérea y de raíz solo se encontró diferencia entre el control con respecto a 150 y

300 mg L⁻¹ de Ca (Favaro *et al.*, 2007). El aumento en la materia seca por dosis alta de calcio en la solución está relacionado con un efecto mutuo en la absorción de otros nutrientes. Pues hay una correlación positiva entre la absorción de K y NH₄⁺ con el aumento de calcio disponible (Fenn *et al.*, 1987).

Cuadro 5.- Efecto de las concentraciones de calcio (Ca) en soluciones nutritivas sobre la biomasa seca y rendimiento de las plantas de pepino híbrido SV2516CP.

Ca (meq L ⁻¹)	Peso seco de tallo (g)	Peso seco total de hoja (g)	Peso seco total aéreo (g)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Rendimiento (g planta ⁻¹)
7	23.312a	123.417b	146.729a	24.385a	5.168a	7538.2a
9	21.562a	129.250a	150.813a	24.017a	5.077a	7344.2a
11	21.312a	128.187ab	149.499a	24.480a	5.143a	7206.6a
Anova <i>P</i> ≤	0.09	0.071	0.194	0.697	0.542	0.196
CV (%)	5.151	2.375	1.896	3.25	2.227	3.08

>0.05, ≤0.05, 0.01= No significativo y Significativo. Anova= análisis de varianza, CV= coeficiente de variación.

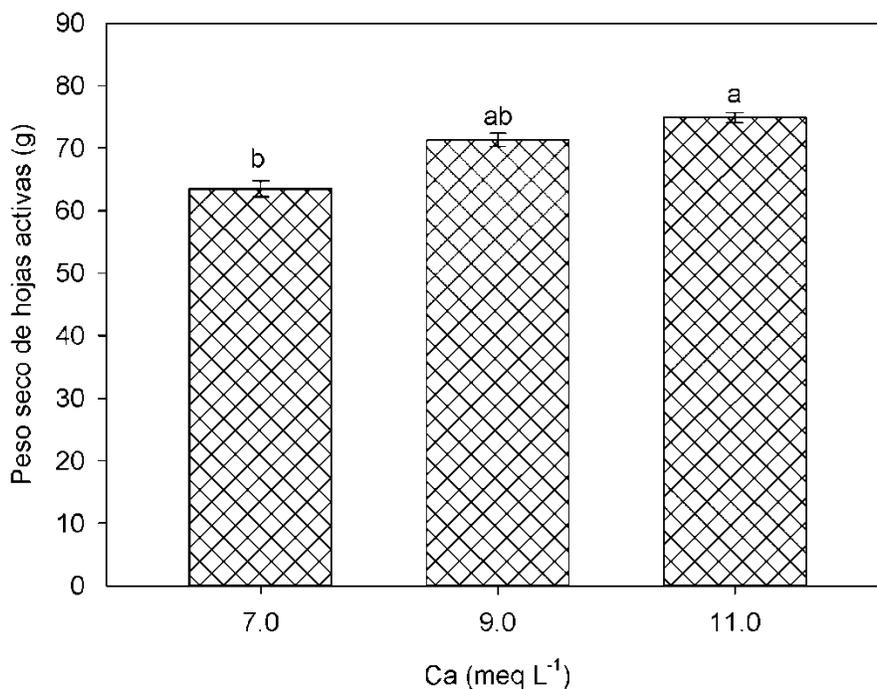


Figura 2.- Efecto de la concentración de calcio, en el peso seco de las hojas activas de las plantas de pepino híbrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media. ANOVA $P \leq 0.035$.

La transpiración las hojas fue influenciada por el calcio, ya que con la concentración de 7 meq L⁻¹ fue mayor comparado con 9 y 11 meq L⁻¹, pues bajo estas concentraciones registro menor transpiración (Figura 3). La conductancia estomática presenta el mismo efecto que la transpiración, pues a mayor concentración de Ca menor conductancia estomática (Figura 4). La disminución de la transpiración puede ser debido a un exceso de Ca en la pared celular lo que podría afectar la apertura de los estomas. Según Marhl *et al.* (2006) menciona que el cierre estable de los estomas a largo plazo no solo depende de la frecuencia y la amplitud de las oscilaciones de Ca²⁺, sino también en gran medida de la duración y el número de picos de la concentración de Ca²⁺. Asimismo, el aumento del Ca en el citosól ([Ca²⁺]cit) funciona como es un componente común en las vías de señalización que inducen el cierre de los estomas y/o la inhibición de la apertura de los mismos (Marhl *et al.*, 2006; Schroeder *et al.*, 2001). Por otra parte, el suministro de Ca es fuertemente relacionada a la transpiración, ya que este

nutriente se acumula en las vacuolas y se redistribuye, lo que resulta con altas tasas de transpiración cuando hay una mayor concentración de Ca en la vacuola (Gilliam, 2011). La interacción entre el ion calcio y la pared celular desempeñan un papel clave en la fisiología de las plantas, ya que está involucrado en muchos mecanismos: por ejemplo, la estabilización de las estructuras de la pared celular, el crecimiento, las propiedades de intercambio iónico, el control de las actividades de las enzimas (Demarty *et al.*, 1984).

La aplicación de Ca (8 meq L^{-1}) directamente a la hoja de plantas *C. communis*, ya sea en la superficie adaxial o al xilema, causó un rápido descenso en la conductancia estomática y la transpiración, cuya intensidad fue proporcional a la duración de la exposición (Atkinson, 1990), sin embargo, cuando el suministro fue a la rizosfera aparentemente no se observó ningún cambio en la conductancia estomática.

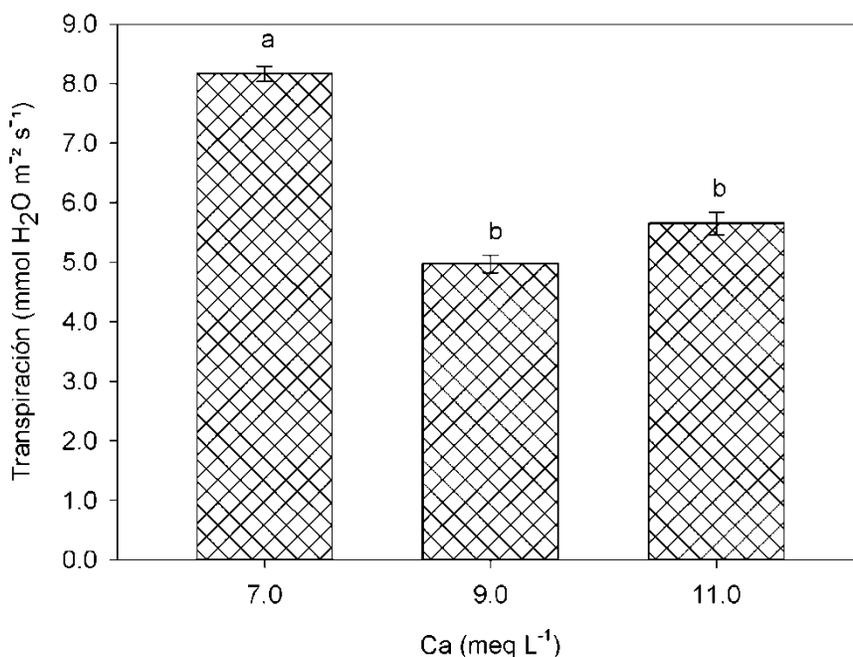


Figura 3.- Efecto de la concentración de calcio, en la transpiración de las plantas de pepino híbrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media. ANOVA $P \leq 0.001$.

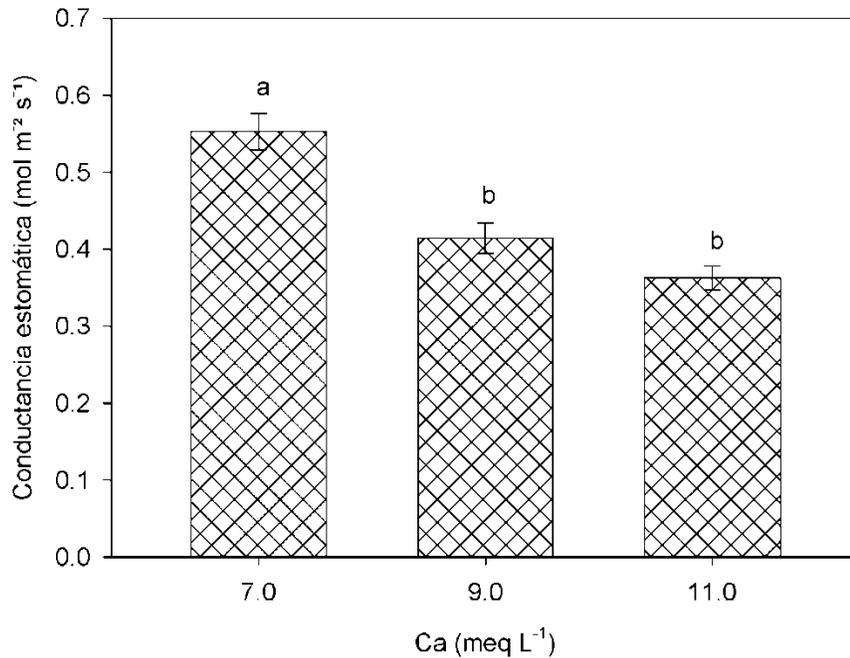


Figura 4.- Efecto de la concentración de calcio, en la conductancia estomática de las plantas de pepino híbrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media. ANOVA $P \leq 0.054$.

La fotosíntesis se incrementó en las plantas que fueron nutridas con 7 y 9 meq L⁻¹ de Ca en la solución nutritiva, mientras que con 11 meq L⁻¹ esta fue menor (Figura 5). La disminución de la fotosíntesis es debido a la baja conductancia estomática que se presentó a esta concentración de Ca. Pues entre la fotosíntesis y conductancia estomática tienen una relación lineal positiva; es decir, a mayor conductancia estomática se aumenta la fotosíntesis (Figura 6). En plántulas de tomate tratadas con CaCl₂ mostraron mayor fotosíntesis y mayor apertura estomática bajo estrés de baja temperatura nocturna (Yu-Feng *et al.*, 2015). Asimismo, en el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*), se observó una alta correlación entre la fotosíntesis y la conductancia estomática de las hojas; sin embargo, sigue sin estar claro si la conductancia estomática limita de forma dominante la tasa fotosintética (Kusumi *et al.*, 2012).

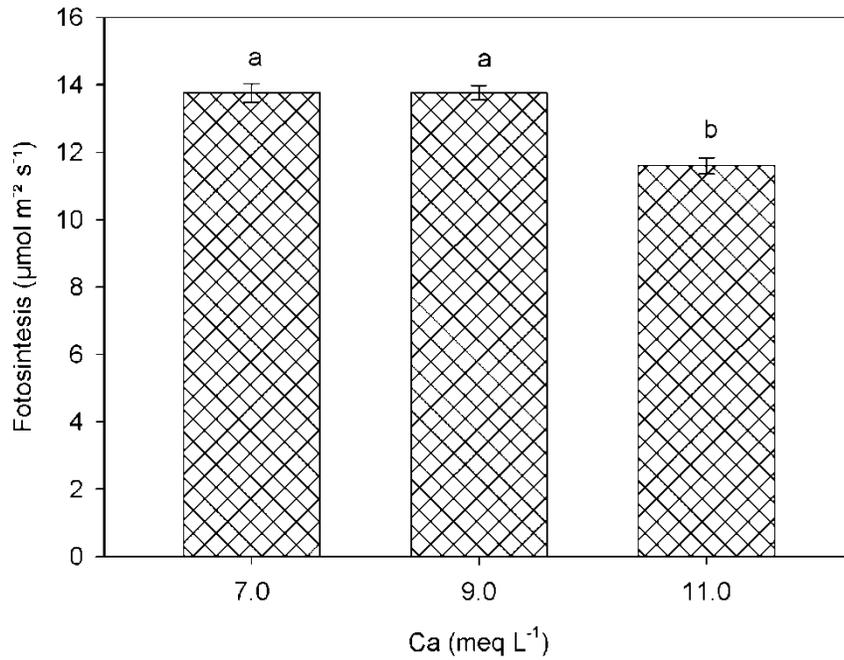


Figura 5.- Efecto de la concentración de calcio, en la fotosíntesis de las plantas de pepino híbrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media. ANOVA $P \leq 0.049$.

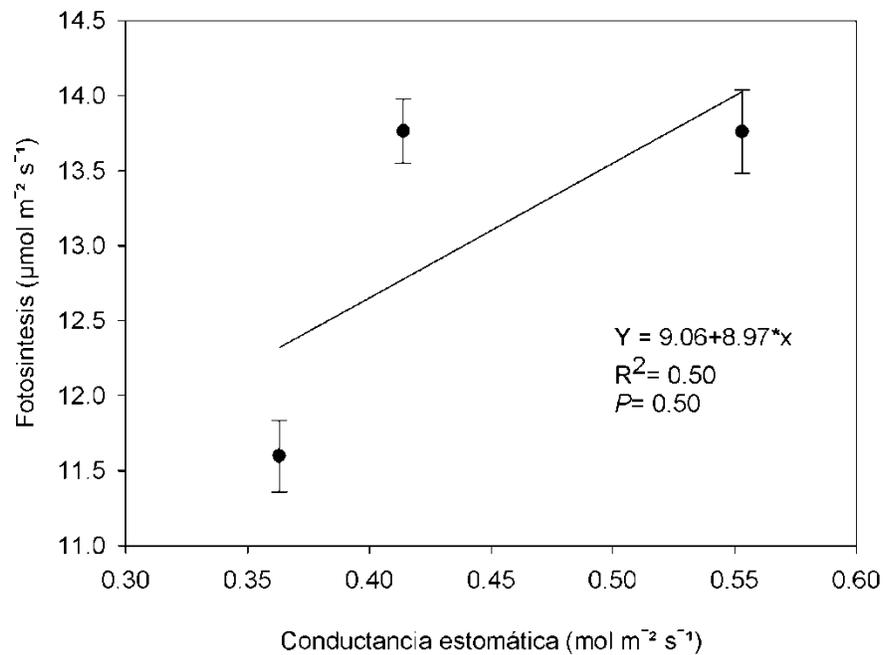


Figura 6.- Efecto de la relación entre Conductancia estomática, en la fotosíntesis de las plantas de pepino híbrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media.

El rendimiento de fruto se asocia linealmente con el peso seco de las hojas activas de las plantas; pues a mayor acumulación peso seco de la hoja disminuye el rendimiento (Figura 7). Este mismo comportamiento se observa entre la relación de rendimiento y la concentración de Ca en la solución nutritiva; las plantas irrigadas con una solución que contenía 7 meq L⁻¹ de Ca registraron mayor rendimiento, mientras que en las plantas que se le aplicaron 9 y 11 meq L⁻¹ el rendimiento tiende a disminuir (Figura 8). Lo anterior indica que al aplicar una adecuada concentración de calcio el rendimiento aumenta, pero concentraciones mayores al óptimo el rendimiento disminuye. Contrario a lo encontrado en la figura 7, fue señalado por Challa *et al.* (1995) quienes mencionan que el rendimiento de un cultivo está ligado a la capacidad de acumular biomasa (materia fresca y seca) y la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo. Asimismo, la acumulación de materia seca en maíz afectó el rendimiento del grano y puede ser medida de rendimiento relativo (Ibeawuchi *et al.*, 2007). En plantas de pepino fertilizadas orgánica e inorgánicamente, la acumulación de materia seca afectó el número de frutos por planta, longitud y circunferencia del fruto y el rendimiento por hectárea (Eifediyi *et al.*, 2011).

En frijol se encontró que el aumento concentración de calcio en la solución nutritiva, el número de vainas y granos por planta y el rendimiento de grano aumentan gradualmente, obteniendo mayores resultados con 3.30 mM L⁻¹ de Ca (Domingues *et al.*, 2016). En esta misma especie se valuó 0, 75, 150 y 300 mg L⁻¹ de Ca, el rendimiento se vio profundamente afectado por el suministro de calcio; el peso fresco fue 193% mayor cuando se añadió 75 mg L⁻¹ de calcio a la solución nutritiva comparación con el control, con 150 mg de L⁻¹ el peso fresco solo se incrementó un 47% y el rendimiento alcanzó el valor más alto (85%) con 300 mg de L⁻¹ (Favaro *et al.*, 2007).

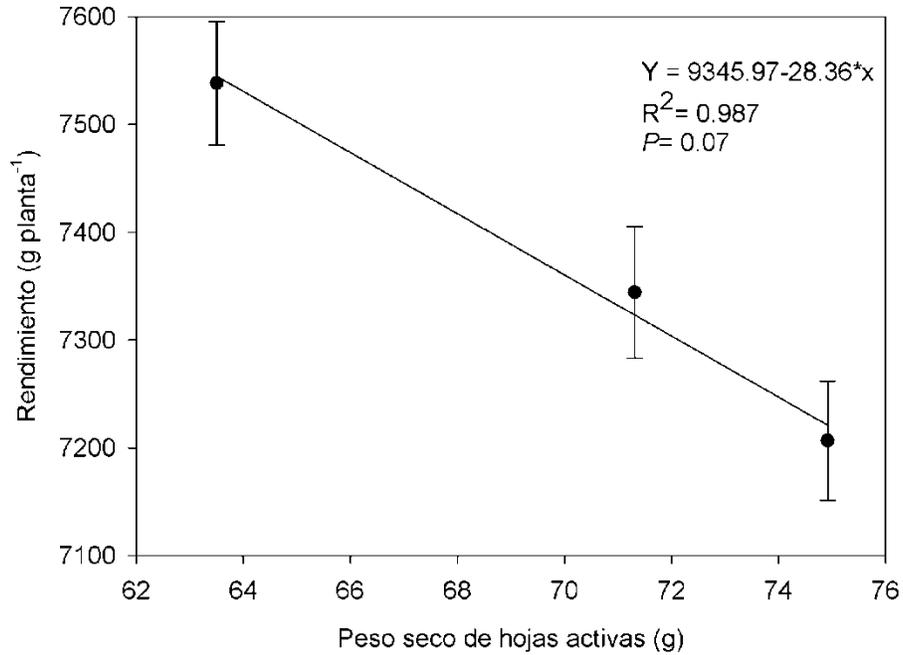


Figura 7.- Efecto de la relación entre el peso seco de las hojas activas y el rendimiento las plantas de pepino híbrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media.

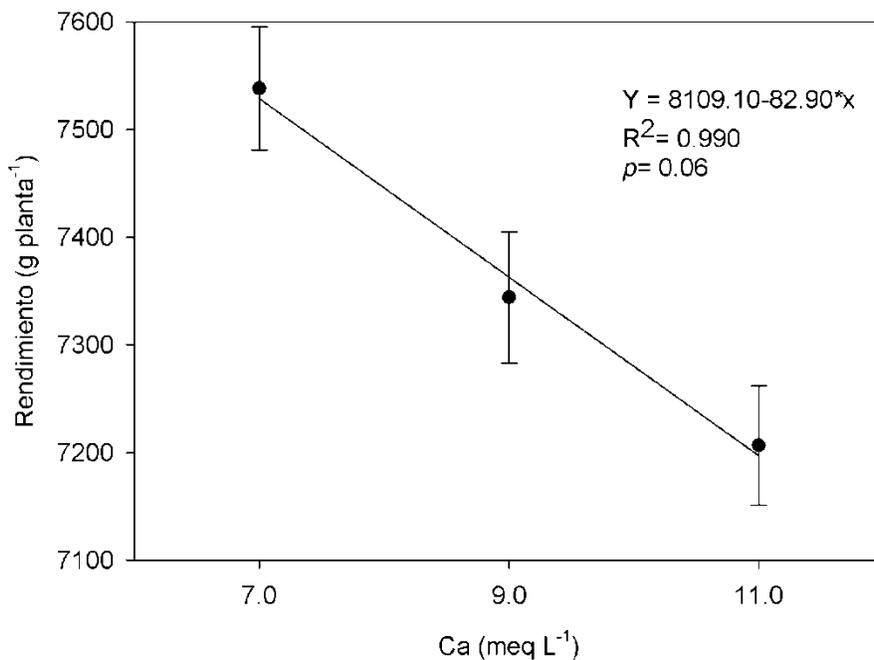


Figura 8.- Efecto de la concentración de Calcio, en el rendimiento de las plantas de pepino híbrido SV2516CP. Las barras indican el error estándar de la media.

VI CONCLUSION

De acuerdo con los resultados una concentración adecuada de calcio influye de manera positiva en la producción de biomasa y en los procesos fisiológicos de las plantas de pepino. Las plantas que fueron irrigadas con 11 meq L^{-1} el peso seco de hojas activas se incrementó, pero los procesos fisiológicos fueron mejores con 7 meq L^{-1} Ca. El rendimiento de fruto no fue influenciado por el calcio y la excesiva acumulación de biomasa de hoja disminuye el rendimiento.

VII LITERATURA CITADA

- Abu-Romman, S., Suwwan M. and Al-Ramamneh E.A.D., 2013. The influence of plant growth regulators on callus induction from hypocotyls of cucumber (*Cucumis sativus L.*). *Adv. Environ. Biol.* 7(2), 339-343.
- Adler, P.R., Cumming J.R. and Arora R., 2009. Nature of Mineral Nutrient Uptake by Plants. In book Lal R., encyclopedia of life support systems, agricultural sciences, Vol. 1, Oxford, United Kingdom, USA, pp: 1- 462.
- Aedo, P., 1994. Efecto de aspersiones de sales de calcio en precosecha sobre frutos de arándano alto c.v. Bluecrop. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad de La Frontera. Temuco. 83 p.
- Álvarez-Sánchez, M.E., Maldonado-Torres R., García-Mateos R., Almaguer-Vargas G., Rupit-Ayala J. y Zavala-Estrada F., 2008. Suministro de calcio en el desarrollo y nutrición de *Lilium asiático*. *Agrociencia*, 42(8): 881-889.
- Artes, F. y Artes-Hernández, F., 2004. Reducción de daños por el frío en la refrigeración hortofrutícola. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 186 (23), 56-54.
- Atkinson, C.J., Mansfield, T.A. and Davies, W.J., 1990. Does xylem sap calcium regulate stomatal conductance? *New Phytol.*, 116, 19-27.
- Azcon-Bieto, J. y Talón M. 2000. *Fisiología Vegetal*. 2ª Edición. Madrid. McGrawHill/Interamericana.
- Barraza, F.V., 2017. Absorción de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*) bajo sistema hidropónico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2): 343-350.
- Barraza, F., 2012. Acumulación de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*) en invernadero. Montería, CO. *Temas Agrarios*, 17(2):18-29.

- Borrego, A.J., García-Doncel H.R., Granados G.S., Luna P.M., Pérez C.J.A., Portero C.R. y Siles A.M.C., 1994. Ciencias de la Naturaleza. Quinta Edición, Editorial A. Pinelo, Sevilla, España. pp 1-249.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1981. Síntomas de Deficiencia de Macronutrientes y Nutrientes Secundarios en Pastos Tropicales; Guía de Estudios para Ser Usada como Complemento de la Unidad Audiotutorial Sobre el Mismo Tema. Cali, Colombia. CIAT, 28p.
- Challa, H., Heuvelink, E., Van Meeteren, U., 1995. Crop growth and development. Longterm responses. Crop growth. In: Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, H., Van de Braak, N.J. Greenhouse climate control: an integrated approach. Wageningen: Wageningen Pers. p. 62-84.
- Chiu, T.E., Bould C., 1977. Sand-culture studies on the calcium nutrition of young apple trees with particular reference to bitter pit. J. Hort. Sci. .. 52: 19-28.
- Demarty, M., Morvan, C., & Thellier, M., 1984. Calcium and the cell wall. Plant, Cell and Environment, 7(6), 441–448.
- Demidchik, V., Maathuis F.J.M., 2007. Physiological roles of non-selective cation channels in plants: from salt stress to signalling and development. New Phytol., 175:387–40.
- Domingues, L.D.S., Ribeiro, N.D., Andriolo, J.L., Possobom, M.T.D.F., & Zemolin, A.E.M., 2016. Growth, grain yield and calcium, potassium and magnesium accumulation in common bean plants as related to calcium nutrition. Acta Scientiarum. Agronomy, 38(2), 207.
- Eifediyi, E.K., Remison S.U. and Okaka V.B., 2011. Relationship between morphological characters, dry matter yield and fruit yield of cucumber, African Journal of Plant Science Vol. 5(11), pp. 656-662.
- Favaro, S.P., Braga Neto, J.A., Takahashi, H.W., Miglioranza, É., and Ida, E.I., 2007. Rates of calcium, yield and quality of snap bean. Scientia Agricola, 64(6), 616–620.
- Fda., 1992. Cultivo de pepino. Boletín técnico No. 15. Fundación de Desarrollo Agropecuario. Santo Domingo, República Dominicana. 15 p.

- Fenn, L.B., Taylor, R.M. and Horst, G.L., 1987. *Phaseolus vulgaris* growth in an ammonium-based nutrient solution with variable calcium. *Agronomy Journal*, 79(1), p.89-91.
- Ferguson, I.B., 1979. The movement of calcium ion non vascular tissue of plant, *Soil Sci. and Plant Analysis* 10: 217-224.
- Foth HD, Ellis BG., 1997. *Soil Fertility*. 2nd Ed. CRC Press. Boca Raton, Florida, 290 p.
- Fumiaf, 2005. Cultivo de pepino europeo en invernaderos de alta tecnología en México. Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal, A.C. SAGARPA, México. P. 37.
- Gilliam, M., Dayod, M., Hocking, B.J., Xu, B., Conn, S.J., Kaiser, B.N., Leigh, R.A., Tyerman, S.D., 2011. Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow. *Journal of Experimental Botany*, 62: 2233-2250.
- Güenkov, G., 1974. *Fundamentos de la Horticultura Cubana*. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba, p355.
- Haifa., 2014. Nutritional recommendations for cucumber. Consultado en línea el día 12 de marzo de 2019.
- Haifa chemicals ltd, 2010. Nutritional recommendations for: cucumber in open fields, tunnels and greenhouse. Crop guide.
- Hepler, P.K., 2005. Calcium: a central regulator of plant growth and development. *Plant Cell*. 17, 2142-2155.
- Hernández, G., 2006. Manejo del pepino en invernadero. En: *Diplomado Internacional en Agricultura Protegida*. Módulo 5. Cd. Obregón, Sonora, México. p. 49.
- Hunt, R., 2003. Growth Analysis, Individual Plants, pp. 579-588. In: *Encyclopedia of applied plant science*. Thomas, B.; Murphy, D. J.; Murray, D. (eds.). Academic Press. London.
- Ibeawuchi, I.I., Opara, F.A., Tom, C.T., Obiefuna, J.C., 2007. Degraded replacement of inorganic fertilizer with organic manure for sustainable maize production in Owerri, Imo State, Nigeria. *Life Sci. J.*, 4(2): 82- 87.

- Intagri, 2018. Funciones del Calcio (Ca) en la Nutrición Vegetal. Serie Nutrición Vegetal, Núm. 122. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI), 2015. IPNI - Colección de Imágenes de Deficiencias Nutricionales de los Cultivos ©. IPNI.
- Karakas, B. and Yildiz, F., 2007. Peroxidation of membrane lipids in minimally processed cucumbers packaged under modified atmospheres. *Food Chemistry*, 100 (3), 1011- 1018.
- Kass, D., 1996. Fertilidad de Suelos. Editorial EUNED, San José, Costa Rica. 272 p.
- Kirkby, E.A. and Pilbean, D.J., 1984. Calcium a plant nutrient. *Plant, Cell and Environment* 7: 394-405.
- Kusumi, K., Hirotsuka, S., Kumamaru, T., & Iba, K., 2012. Increased leaf photosynthesis caused by elevated stomatal conductance in a rice mutant deficient in SLAC1, a guard cell anion channel protein. *Journal of Experimental Botany*, 63(15), 5635–5644.
- Leucorieux, D., Lamotte, O., Bourque, S., Wendehenne, D., Mazars, C., Ranjeva, R. and Pugin, A., 2006. Proteinaceous and oligosaccharidic elicitors induce different calcium signatures in the nucleus of tobacco cells. *Hort. Sci.*, volumen 38, pp 527-538.
- López, Z.C.M., 2003. Cultivo de Pepino, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, Guía técnica No. 17, pp. 1-44.
- Marhl, M., Perc, M. and Schuster, S., 2006. A minimal model for decoding of time-limited Ca^{2+} oscillations. *Biophys. Chem.* 120(3), 161-167.
- Maroto, J., Miguel, A. y Pomares, F., 2010. El cultivo de pepino. Fundación Caja Rural Valencia. Ediciones Mundi-prensa. Madrid. ES. 322 p.
- Marschner, P., 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition, Academic Press, London NW1 7BY, UK. pp 1-649.
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants (2nd Ed), Academic Press, London, 889 pp.
- Marschner, H., 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres. pp. 7-73, 285-299.

- Mejía, R., 2010. Comparación del método de siembra del pepino (*Cucumis sativus* L.) con dos tipos de acolchado plástico y riego por goteo. Tesis Ing. Agrónomo en Irrigación. Universidad Autónoma Agraria. México.
- Melgarejo, L.M., 2010. Experimentos en fisiología vegetal, Primera edición, Charlie's impresores Ltda., Bogotá, D. C: Universidad Nacional de Colombia, pp. 66-68.
- Mengel, K., Kirkby E., 2001. Principles of Plant Nutrition. Third edition. International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Switzerland. 655 p.
- Nava-Martínez, E., Villegas-Torres, O.G., Alia-Tejacal, I., López-Martínez, V., Acosta-Duran, C.M., Andrade-Rodríguez, M. y Guillén-Sánchez, D., 2009. Crecimiento de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio.6:195-204.
- Paiva, E.A., Prlcto Martinez H., Dias Casali V.W. and Padilha L., 1998. Occurrence of blossom-end rot in tomato as a function of calcium dose in the nutrient solution and air relative humidity. J. Plant Nutr.. 21 (12): 2663-2670.
- Pandey, R., 2015. Mineral Nutrition of Plants. Plant Biology and Biotechnology, Springer India, New Delhi 110012, India. Pp:499–538.
- Reche, M.J., 2011. Cultivo de Pepino en Invernadero, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid España, pp. 1-50.
- Rodríguez, S.M. y Flórez R.V., 2004. Elementos esenciales y beneficiosos, fertiriego: tecnologías y programación en agroplasticultura (25-36).
- Sánchez F., González L., Moreno E., Pineda J. y Reyes C., 2014. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. Rev. Fitotec. Mex. 37(2): 261-269.
- Sánchez del, C.F., Escalante, R.E.R., 1988. Hidroponía. 3ª ed. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 194 p.
- Sánchez B, Dios G., 1976. Macronutrientes. En: Las tierras cultivadas del municipio de Pontevedra. Misión Biológica de Galicia (C.S.I.C.) pp: 184-190.
- Schroeder, J., Allen, G., Hugouvieux, V., Kwak, J.M. and Waner, D., 2001. Guard cell signal transduction. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 52, 627-646.

- Squeo, F.A. y León M.F., 2007. Transpiración. En Squeo F.A. y L. Cardemil (eds). Fisiología vegetal. Ediciones Universidad de La Serena, Chile.
- Qureshi, R., Raza, G. and Asma, R., 2010. Ethnomedical uses of herbs from northern part of Nara desert, Pakistan. Pak. J. Bot. 42 (2), 839-851.
- Taiz, L. y Zeiger, E., 2006. Fisiología vegetal, Vol. I, Universitat Jaume I. Castellón de la Plana, España. pp 1-576.
- Valadez, A., 1998. Producción de Hortalizas. Editorial uteha, d.f., México, p298.
- Watkins, C., 1995. Calcio: rol en la maduración y senescencia de fruta. Pp. 65-72. Universidad de Talca, Escuela de Agronomía. Calcio en fruticultura Symposium Internacional. Talca, 17-18 de octubre 1995. Talca, Chile.
- Watkins, C.B. and Ferguson, I.B., 1981. Ions relations of apple fruit tissue during development and ripening. Calcium uptake. Soil Sci. and Plant Anal. 7: 211-213.
- Wehner, T.C. and Guner, N., 2004. Growth stage, Flowering pattern, yield, and harvest date prediction of four types of cucumber tested at 10 planting dates. Acta Horticulturae 637: 223-229.
- White, P.J., 2000. Calcium channels in higher plants. Biochimica et Biophysica Acta 1465: 171-189.
- Yu, G.R., Zhuang, J. and Yu, Z.L., 2001. "An attempt to establish a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior for maize and soybean plants grown in field". Journal of Plant Physiology 158, pp. 861-874.

PAGINAS ELECTRÓNICAS

- Conoce hidroponía, 2017. Situación actual del cultivo de pepino en México. Citado el 01 de Abril, 2019, Disponible en: <http://hidroponia.mx/situacion-actual-del-cultivo-de-pepino-en-mexico/>
- De-Santiago, J., 2008. Sistemas productivos mediante el manejo de fertirrigación, Citado el 05 marzo, 2019, Disponible en: <https://www.hortalizas.com/miscelaneos/sistemas-productivos-mediante-el-manejo-de-fertirrigacion/>

- Fao, 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Disponible en <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S>
- Fao / Latinfoods, 2002. Tabla de Composición de Alimentos de América Latina", Disponible en: <http://www.fao.org/regional/lamerica/bases/alimento/>
- Higón N, 2002. El Cultivo de Pepino. www.horticom/pd/imagenes/52/578/52578.pdf
- Intagri, 2019. Producción de Pepino en Invernadero. Citado el 05 marzo, 2019, Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/produccion-de-pepino-en-invernadero>
- Intagri, 2019. Los Elementos Benéficos para las Plantas. Citado el 12 marzo, 2019, Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/los-elementos-beneficos-para-las-plantas>.
- Piedrahita, 2012. Calcio en las Plantas, Citado el 09 de Marzo, 2019, Disponible en: http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Calcio/Calcio%20en%20Plantas.pdf
- Reho, A.I., 2015. El pepino Sinaloense continúa escalando su exportación, Revista Hortalizas. Citado el 05 marzo, 2019, Disponible en: <https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/el-pepino-sinaloense-continua-escalando-su-exportacion/>
- Siap, 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA, México. Disponible en <http://www.campomexicano.gob.mx/boletinsiap/002-e.html>
- Siap, 2013. Agricultura protegida: Productos todo el año. Comparativo de rendimientos para algunos productos. <http://campomexicano.gob.mx/boletinsiap/002-e.html>
- Suslow, T.V. y Cantwell, M., 2013. Calidad Postcosecha en Pepino, Citado el 12 de Marzo, 2019, Disponible en: <http://www.tecnicoagricola.es/calidad-postcosecha-en-pepino/>