

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de la Concentración de la Solución Nutritiva en el Contenido de Nitratos y Calcio en el Extracto Celular del Peciolo en Pepino (*Cucumis sativus* L.).

Por:

GERARDO ÁNGEL RIVERA GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de la Concentración de la Solución Nutritiva en el Contenido de Nitratos y Calcio en el Extracto Celular del Peciolo en Pepino (*Cucumis sativus* L.).

Por:

GERARDO ÁNGEL RIVERA GONZÁLEZ

TESIS

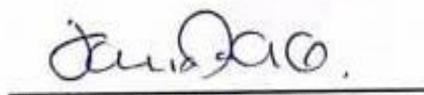
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

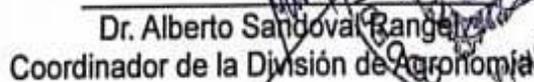
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal


M.C. Adolfo Baylón Palomino
Asesor Principal Externo


Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Bangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Marzo de 2024

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo el 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 (cortar y pegar); 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, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conociendo 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 me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Pasante



Gerardo Ángel Rivera González

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Gracias Divino Niño Jesús por protegerme hoy y por estar a mi lado en cada momento de mi vida, permitiéndome terminar este gran logro tan anhelado y por tener la dicha de estar viviéndolo con mi mamá, mi papá, mis hermanas y hermano, con mis sobrinitas y sobrinitos que son lo que más quiero en la vida, te agradezco también, por haberme permitido vivir en esta etapa de mi vida experiencias inimaginables e inolvidables, por todo ello, Gracias.

A Mis padres

Son mi admiración, mis fuerzas para seguir los quiero y respeto porque siempre me han fomentado valores, me han enseñado la importancia de ser una familia unida, de hacerme saber que todo sacrificio tiene su recompensa. Gracias papá y mamá por confiar en mí, por su apoyo, por sus consejos y por su amor.

A Mis Asesores de Tesis

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, MC. Adolfo Baylón Palomino, Dra. Daniela Alvarado Camarillo y Dr. José Antonio González Fuentes, gracias por permitirme la oportunidad de trabajar con ustedes, de compartir sus conocimientos, de fomentar y fortalecer en mí el gusto por la agronomía especialmente en nutrición vegetal, fue un honor y un ejemplo a seguir.

A Mi Alma Terra Mater

Gracias de todo corazón a mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme permitido formarme como un gran profesional en sus aulas de clase, que durante mi estancia fue como mi segundo hogar. Gracias Alma Terra Mater con mucho orgullo y seguridad te representaré donde quiera que vaya.

DEDICATORIA

A Mis padres Rosa María González Pacheco y Ángel Rivera Rojas

A Mis hermanos Irma Dalia, Sindy, Patricia, América Guadalupe † Oscar Daniel

A mis sobrinas y sobrinos Sinaí Scarlett, Kaeli Karina, Jair, José Mahel y Jaled

A quienes jamás encontraré la forma de agradecer su apoyo y confianza esperando que comprendan que mis logros son también suyos e inspirados en ustedes porque son mi principal motivación, hago de este un triunfo y quiero compartirlo con ustedes. Con amor y respeto infinito. Gerardo Ángel.

A Mis amigos

A mis amigos y amigas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, así por el tiempo compartido y por el apoyo que recibí de su parte, me da gusto haber coincidido con personas únicas como ustedes, por todas las aventuras que pasamos juntos recuerdos que siempre estarán presentes en mi mente. Les deseo el mejor de los éxitos en la vida esperando que algún día podamos coincidir.

Amigos, amigas; gracias por ser partícipes de esta vida.

A **Madai Mendiola Hernández** por ser mi mejor amiga, sabes que eres una persona muy especial en mi vida, te agradezco por tu gran apoyo incondicional hacia mi persona y por haber compartido momentos de felicidad y uno que otro berrinche bonitos recuerdos por ello esta dedicatoria, cuentas conmigo.

A **Ponciano Solórzano Martínez** eres mi mejor compi, agradecido por haberte conocido, en verdad siempre estarán presentes en mi esos recuerdos, anécdotas y experiencias vividas que deseo algún día las podamos platicar y recordar aquellos tiempos, ahí estamos compi.

INDICE

RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Generalidades del cultivo de pepino	4
Situación mundial	4
Situación nacional.....	5
Importancia del pepino	6
Aspectos botánicos del pepino.....	6
Origen del cultivo	6
Clasificación taxonómica.....	6
Descripción morfológica	7
Raíz.....	7
Tallo.....	7
Hojas.....	7
Flor	7
Fruto.....	8
Semillas.....	8
Fenología del cultivo	8
Principales cultivares de pepino.....	9
Pepinos largos tipo holandés, europeo, continental, inglés o Almería.....	9
Pepinos medianos tipo americano conocidos como Slicer y francés.....	10
Pepinos pequeños tipo Beit Alpha, mini, o pepinillo.....	10
Requerimientos edafoclimáticos	10
Suelo y pH.....	10
Temperatura.....	11
Humedad relativa.....	12
Luminosidad y fotoperiodo	12
Dióxido de carbono.....	12

Viento.....	12
Establecimiento del cultivo	13
Preparación del suelo	13
Siembra	13
Trasplante.....	14
Manejo del cultivo	14
Tutorado.....	14
Poda	14
Deshoje	15
Requerimiento hídrico	15
Cosecha	15
Tratamiento postcosecha.....	16
Empaque y selección	16
Requerimientos nutricionales del pepino.....	16
Nitrógeno.....	17
Calcio.....	18
Diagnóstico nutrimental de los cultivos	18
Análisis de planta o de tejido vegetal	19
Análisis extracto celular de pecíolo	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
Ubicación de la investigación.....	21
Material vegetal.....	21
Acondicionamiento del microclima.....	21
Manejo del cultivo	21
Siembra	21
Fertirriego.....	22
Poda	22
Tutoreo	22
Control de plagas	22
Cosecha	22
Tratamientos a evaluar	23
Diseño experimental.....	25
VARIABLES DE RESPUESTA	27

Rendimiento	27
Diámetro ecuatorial del fruto	27
Diámetro proximal del fruto	27
Curvatura del fruto	27
Peso fresco de las hojas	27
Peso fresco de los tallos	27
Altura de la planta	27
Contenido de nitratos y calcio en el extracto celular de peciolo	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
Rendimiento de fruto	29
Diámetro ecuatorial del fruto	31
Diámetro proximal	33
Curvatura del fruto	35
Peso fresco de hojas	36
Peso fresco de tallo	38
Altura de la planta	39
Concentración de NO₃⁻ en el extracto celular del peciolo	42
Concentración de Ca⁺⁺ en el extracto celular del peciolo	47
Contenido de NO₃⁻ en el peciolo con relación al rendimiento acumulado	50
Contenido de Ca⁺⁺ en el peciolo con relación al rendimiento acumulado	57
V. CONCLUSIONES	63
VI. LITERATURA CITADA	64

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales países productores de pepino.	4
Cuadro 2. Principales estados productores en México.....	5
Cuadro 3. Clasificación taxonómica del cultivo de pepino.....	6
Cuadro 4. Ciclo fenológico del cultivo del pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.).....	9
Cuadro 5. Rangos de temperaturas críticas para el cultivo del pepino.....	11
Cuadro 6. Soluciones nutritivas evaluadas en el estudio.	24
Cuadro 7. Cambios en la composición iónica de las soluciones en base a los resultados obtenidos en el extracto celular del peciolo.	24
Cuadro 8. Soluciones nutritivas (SN) generadas del del ajuste en función de los resultados del extracto celular del peciolo, tratando de igualar la concentración de los iones en las plantas que recibieron la solución nutritiva contantemente durante el experimento.....	25
Cuadro 9. Diseño de bloques completamente al azar.	26

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Volumen de la producción nacional 2013-2022 (miles de toneladas).....	5
Figura 2. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en el rendimiento del fruto. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO_3^- y Ca^{++} en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$	31
Figura 3. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en el diámetro ecuatorial. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO_3^- y	

Ca⁺⁺ en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05. 33

Figura 4. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO₃⁻ y Ca⁺⁺ en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05. barra presenta el promedio en cada uno de los tratamientos. 34

Figura 5. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en la curvatura del fruto. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO₃⁻ y Ca⁺⁺ en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05. 36

Figura 6. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en el peso fresco de hojas. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO₃⁻ y Ca⁺⁺ en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05. 37

Figura 7. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en el peso fresco de tallos. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO₃⁻ y Ca⁺⁺ en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05. 39

Figura 8. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en la altura de la planta. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO ₃ ⁻ y Ca ⁺⁺ en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05.	41
Figura 9. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) sobre la concentración de NO ₃ ⁻ en el extracto celular del peciolo y su relación en el rendimiento.....	46
Figura 10. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en la concentración de Ca ⁺⁺ en el extracto celular del peciolo y su relación con el rendimiento.....	49
Figura 11. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de NO ₃ ⁻ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Primer muestreo.	52
Figura 12. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de NO ₃ ⁻ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Segundo muestreo.....	53
Figura 13. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de NO ₃ ⁻ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Tercer muestreo.	54
Figura 14. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de NO ₃ ⁻ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Cuarto muestreo.	55
Figura 15. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de NO ₃ ⁻ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Quinto muestreo.	56
Figura 16. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de Ca ⁺⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Primer muestreo.	58

Figura 17. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de Ca ⁺⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Segundo muestreo.....	59
Figura 18. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de Ca ⁺⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Tercer muestreo.	60
Figura 19. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de Ca ⁺⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Cuarto muestreo.	61
Figura 20. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de Ca ⁺⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Quinto muestreo.	62

RESUMEN

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia económica en el mundo. Para que México pueda mantener la posición como principales productores de esta hortaliza, es necesario hacer uso de fertilizantes sintéticos, aunque pueden ser un riesgo para el medio ambiente si se utilizan en exceso ya que los nutrientes no absorbidos por las plantas pueden contaminar las aguas superficiales o subterráneas. Estos problemas podrían disminuir haciendo un uso eficiente de los fertilizantes aportando la dosis óptima en el momento adecuado con base a monitoreos y mediciones de los nutrimentos en el extracto celular del peciolo (ECP) mediante equipos portátiles.

El presente experimento se realizó con el fin de determinar si es posible reducir o aumentar la concentración de NO_3^- y Ca^{++} con base en el ECP durante la fase de producción de fruto sin efectos negativos en el rendimiento del cultivo de pepino. Para ello se emplearon soluciones nutritivas al 75%, 100% y 125% de concentración ya sea aplicadas de manera constante (CTE) durante todo el experimento o bien modificando (MOD) esa concentración basándose en el contenido de NO_3^- y Ca^{++} en el ECP. Determinar el efecto del ajuste de la solución nutritiva en función de los resultados del análisis del extracto celular del peciolo de hojas de pepino bajo condiciones de invernadero.

Los resultados indican que, para el primer corte, el mayor rendimiento se obtuvo con la solución nutritiva al 100%MOD con 5817 ppm de NO_3^- y un rendimiento acumulado de 276 g/planta; cuando se aplicó la solución nutritiva al 100%CTE el ECP reportó 6850 ppm de NO_3^- con un rendimiento acumulado de 241 g/planta. Para el segundo muestreo el mayor rendimiento se presentó cuando se emplearon las soluciones CTE y MOD, correspondiendo una concentración de NO_3^- de 2800 a 3000 ppm. En el caso del tercer muestreo, con el uso de soluciones CTE y MOD, el mayor rendimiento fue cuando el ECP contenía alrededor de 6500 ppm de NO_3^- y en el cuarto muestreo con las soluciones nutritivas MOD, la concentración de NO_3^- fue de 7000 ppm asociadas con el mayor rendimiento, en tanto que con soluciones CTE

no existe una diferencia muy marcada. En el quinto muestreo no se observó una tendencia clara.

El valor óptimo para el Ca^{++} se dio con la solución nutritiva al 100%MOD reportando 100 ppm en el ECP mientras que para el segundo corte no hay una tendencia clara; esta fue de 310 ppm de Ca^{++} para el tercer muestreo y de y 110-150 ppm de Ca^{++} para el cuarto y quinto muestreo.

Palabras clave: Pepino, nitrato, calcio, Extracto Celular de Peciolo (ECP)

ABSTRACT

The cucumber (*Cucumis sativus* L.) is one of the most economically significant vegetables in the world. In order for Mexico to maintain our position as the leading producers of this vegetable, it is necessary to utilize synthetic fertilizers, although they can pose a risk to the environment if used excessively, as the unabsorbed nutrients by the plants can contaminate surface or groundwater. These issues could be reduced by efficiently using fertilizers and applying the optimal dosage at the right time, based on monitoring and measuring nutrient levels in the petiole's cellular extract (ECP) using portable equipment.

The current experiment was conducted to ascertain the feasibility of altering the concentration of NO_3^- and Ca^{++} based on the ECP during the fruit production phase without any detrimental effects on cucumber crop yield. In order to do this, nutrient solutions (NS) of 75%, 100%, and 125% concentration were used, either applied constantly (CTE) during the experiment or modified (MOD) based on the content of NO_3^- and Ca^{++} in the ECP.

The results indicate that, during the first cut, the highest yield was obtained with 100%MOD NS with 5817 ppm of NO_3^- and an accumulated yield of 276 g/plant; when 100%CTE NS was applied, the ECP reported 6850 ppm of NO_3^- with an accumulated yield of 241 g/plant. For the second sampling, the highest performance was seen while using the CTE and MOD solutions, with a NO_3^- concentration ranging from 2800 to 3000 ppm. In the case of the third sampling, the highest performance was achieved when the ECP contained approximately 6500 ppm of NO_3^- using CTE and MOD solutions. In the fourth sampling, with MOD NS, the NO_3^- concentration was 7000 ppm, which was associated with the highest performance, while with CTE solutions, there was not a significant difference.

the optimal value for Ca^{++} was found with 100% MOD, resulting in 100 ppm in the ECP. However, for the second cut, there is no clear trend. The third sampling reported 310 ppm of Ca^{++} , while the fourth and fifth samplings reported 110-150 ppm.

Key words: Cucumber, nitrate, calcium, Petiole Cell Extract (CPE).

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) es de gran importancia debido a su alto consumo tanto como alimento fresco o industrial. En algunas partes del mundo, se considera una especie con valor agronómico para la producción estacional y, por lo tanto, debe cultivarse principalmente bajo invernaderos. Esta hortaliza ocupa una superficie estable en todo el mundo, y su producción y exportación han aumentado a nivel mundial (González et al., 2018).

Como expresa Rebollar et al. (2023), en México la producción de esta hortaliza es muy rentable ya que es una de las que aportan divisas al país, pues más del 90% de la producción nacional se exporta a Estados Unidos, lo que tiene un amplio impacto económico para la generación de empleos del país en zonas en donde más se demandan.

Una de las regiones más productoras de pepino en México es el Valle de Culiacán, donde tradicionalmente se cultivan hortalizas como tomates, calabacitas y pepinos en el mercado de exportación. Sin embargo, se destaca que el desarrollo de la agricultura en cualquier espacio geográfico conlleva el aprovechamiento de los recursos naturales y, en consecuencia, el deterioro del medio natural. En México existe un abandono hacia la agricultura combinado con una baja rentabilidad por el incremento de los insumos agrícolas (Ramírez et al., 2020).

Sin embargo, la producción de hortalizas en sistemas de cultivos protegidos permite tener mejores condiciones para una alta productividad y se reduce el riesgo en la producción y aumenta las ganancias en el sector primario; por supuesto, esto está en combinación con unos altos costos de inversión, ya que solo unos pocos productores tienen los recursos económicos que les permiten producir bajo condiciones controladas (Ramírez et al., 2020).

De acuerdo con Pratt (2019), la agricultura protegida tiene trascendencia ya que la producción bajo condiciones controladas es posible monitorear y controlar parcial o totalmente el microclima de acuerdo con las necesidades del cultivo.

Para incrementar la producción y calidad de las hortalizas en México, se deben utilizar las tecnologías modernas disponibles. La agricultura protegida en invernaderos es una tecnología que ofrece al horticultor la ventaja de controlar con precisión la temperatura, ventilación, humedad, luminosidad, disponibilidad de CO₂, e incidencia de insectos plaga y de enfermedades, y también permite tener un mejor manejo del agua y la nutrición (Olin, 2021). De esta manera, es necesario impulsar la implementación de la agricultura protegida en todo el territorio mexicano, pues se ha demostrado que aumenta el rendimiento de la producción, el valor en el campo e incentiva las exportaciones, además de responder satisfactoriamente a las tendencias de consumo global que exigen productos sustentables, frescos, saludables y ecológicos (Soza, 2023).

Otro componente importante para aumentar el rendimiento y la calidad en pepino es la nutrición a través de la hidroponía, en la que se utiliza el riego por goteo para aplicar fertilizantes altamente solubles y así mantener niveles óptimos de nutrientes según el estado fenológico de la planta. Teniendo en cuenta que los precios de los fertilizantes tienden a ser más caros y que tienen un impacto negativo en el medio ambiente y la salud de los consumidores si se utilizan en cantidades inadecuadas. Actualmente se busca que los sistemas hidropónicos basados en fertirrigación sean más eficientes en el uso de agua y fertilizantes (Barraza, 2017).

Para ser más eficientes en el uso de los fertilizantes se tiene la necesidad de un diagnóstico rápido y fiable del estatus nutrimental que guardan los cultivos intensivos en un momento determinado para partiendo de ahí realizar cambios en el aporte de nutrientes que satisfagan los requerimientos de las plantas, reduciendo la pérdida excesiva de estos al aplicarlos indiscriminadamente. Actualmente se están evaluando alternativas que tengan aplicación práctica y los resultados reflejen el estado nutricional de la planta lo más rápido posible. Una de esas herramientas es el análisis de la nutrición en el extracto celular del pecíolo (ECP) y los tallos, donde se ubican los sistemas conductores, y por donde fluye el agua y los minerales (savia cruda) que la planta absorbe del medio nutritivo (Janeiro, 2014). Una vez conocidos los requerimientos de nutrientes de un cultivo, se puede mantener la

cantidad de minerales en la planta en proporciones óptimas y suministrarlos a través de una solución nutritiva basada en una adecuada planificación de fertilización (Anjanappa et al., 2012). Por lo anteriormente señalado, se planteó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos.

Objetivo general

Determinar el efecto del ajuste de la solución nutritiva en función de los resultados del análisis del extracto celular del peciolo de hojas de pepino bajo condiciones de invernadero

Objetivos específicos

Determinar si es posible modifica la concentración de la solución nutritiva durante la fase de crecimiento vegetativo sin efectos negativos en el desarrollo de las plantas

Determinar si es posible modificar la concentración de la solución nutritiva durante la fase de producción de fruto sin efectos negativos en el rendimiento

Determinar si es posible modificar la concentración de la solución nutritiva sin efectos negativos en la calidad del fruto

Hipótesis

El ajuste de la solución nutritiva de acuerdo al análisis del extracto celular del peciolo permite mantener el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de pepino, pero aumentando la eficiencia en el uso de los nutrientes

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del cultivo de pepino

Situación mundial

La producción de pepino a nivel mundial ha ido en aumento en los últimos años. En el 2022, el principal productor de esta hortaliza fue China, Turquía, Federación de Rusia, México, seguido por Uzbekistán, Ucrania, España, Estados Unidos de América y Kazajstán (Cuadro 1) (FAO, 2023).

Cuadro 1. Principales países productores de pepino.

	PAÍS	PRODUCCIÓN (t)
1	China	154,565,554.83
2	Turquía	1,938,545
3	Federación de Rusia	1,635,903.13
4	México	1078210.46
5	Uzbekistán	904,390
6	Ucrania	825,590
7	España	769,970
8	Estados Unidos	595,630
9	Kazajstán	568,748.11
	Resto del mundo	9,711,901.92
	TOTAL	172,594,443.5

Fuente: (FAO, 2023).

Los datos más recientes dan a conocer los principales países exportadores de dicho producto, siendo España el número uno con (US\$846 M) y una participación del 27,8%; México se posiciona en el segundo lugar con (US\$708M) y una participación del 23.3%, mientras que los Países Bajos (US\$490M) tienen una participación del 16,1%. En el mismo año, los principales países importadores de pepinos frescos o refrigerados fueron Estados Unidos de América (US\$1,038M), el cual es el cliente principal de México, Alemania (US\$748M) y Reino Unido (US\$207M) (Secretaría de Economía, 2021).

Situación nacional

En 2022, en México se lograron producir 1 millón 29 mil toneladas de la hortaliza, cifra 1.0% menor en comparación con el año anterior, resultado de menores rendimientos por afectaciones climatológicas (Figura 1) (SIAP, 2023).



Figura 1: Volumen de la producción nacional 2013-2022 (miles de toneladas).
Fuente: Panorama agroalimentario (2023).

En cuanto a producción nacional, los principales estados productores de pepino en México, en orden de importancia son: Sinaloa, Sonora, Michoacán, Morelos y Guanajuato. Sinaloa representa el 30.1% de la producción nacional (Cuadro 2) (SIAP, 2023).

Cuadro 2. Principales estados productores en México.

Rank	Entidad Federativa	Volumen (Toneladas)
	Total, nacional	1,026,568
1	Sinaloa	308,487
2	Sonora	178,460
3	Michoacán	111,922
4	Morelos	63,075
5	Guanajuato	62,998
	Resto	303,624

Importancia del pepino

Debido a la gran diversidad y adaptabilidad climática, el pepino ha adquirido gran importancia; esta hortaliza se cultiva en 29 estados de México. En México es un cultivo sumamente productivo, ya que su importancia ha aumentado en la última década, principalmente debido a las exportaciones a los Estados Unidos de América, y ocupa el segundo lugar entre las hortalizas exportadas, superado por el jitomate (Diédhiou, 2017).

Utilizado para consumo en fresco, para obtener aceite de las semillas y hoy en día, para uso en productos de belleza como jabones y cremas corporales porque es rico en agua, vitamina E y aceites naturales, es una de las mejores soluciones para el cuidado de la piel exterior (SIAP, 2012).

Aspectos botánicos del pepino

Origen del cultivo

El pepino es probablemente originario de África tropical, aunque otros autores creen que el pepino es originario de la India, ya que en esa región se ha encontrado en estado silvestre. Los egipcios ya lo conocían en la antigüedad, y posteriormente los griegos y romanos empezaron a cultivarlo (Bravo et al., 2011).

Clasificación taxonómica

En el Cuadro 3 se presenta la clasificación taxonómica del pepino.

Cuadro 3. Clasificación taxonómica del cultivo de pepino.

Filo	Magnoliophyta
Clase	Angiospermas
Orden	Cucurbitales
Familia	Cucurbitaceas
Género	Cucumis
Especies	Cucumis sativus

Fuente: (EPPO, 1996) Código EPPO: CUMSA

Descripción morfológica

Raíz

Los pepinos tienen un extenso sistema radicular con una raíz pivotante que alcanza una profundidad de más de 1 m en suelos profundos y sueltos. Esta raíz se ramifica en numerosas raíces secundarias muy finas que se extienden superficialmente. La mayor proporción de raíces se encuentra entre 30 y 40 cm de profundidad (Flores y Jazmín, 2017).

Tallo

Los tallos de pepino suelen ser de crecimiento indeterminado, muy ramificados, de color verde, de sección cuadrangular o cilíndrica en plantas jóvenes y en tallos próximos a los brotes apicales, endurecidos y cubiertos de tricomas toscos. Estos pelos pequeños resultan desagradables al tacto. También se arrastra si se le permite crecer libremente, o trepa si se le da el tutor adecuado, utilizando zarcillos simples que surgen de los nudos del tallo opuestos a las hojas. Estos zarcillos pueden alcanzar longitudes de 15 a 25 cm y pueden enrollarse fácilmente alrededor de hilos o cualquier otro material que encuentren en el camino (Díaz, 2017).

Hojas

Tal como señalan Bojacá et al. (2012), el pepino tiene hojas en forma palmeada, peciolada larga, fuertemente cordadas en la parte superior, con ápice puntiagudo, en la lámina foliar se pueden observar de 3 a 5 lóbulos angulares, triangulares con bordes dentados y con vellosidades blancas.

Flor

Según Silva (2015) en los primeros cultivos, los pepinos eran plantas monoicas, de polinización cruzada masculina o femenina. Luego se obtuvieron híbridos comerciales con plantas que tenían flores masculinas y femeninas que requerían polinización por insectos. Actualmente, los pepinos híbridos comerciales utilizados en plantaciones intensivas bajo plástico son del tipo "ginoicos", es decir, plantas que siempre producen flores femeninas (con ovarios inferiores, frutos pequeños de

pepino) y frutos partenocárpicos. Si la polinización la realizan insectos aparecerán frutos deformados no comerciales.

Uno o más botones florales aparecen en las axilas de cada hoja del tallo principal. Por lo general, los brotes de los nudos inferiores producen flores masculinas y luego aparecen las flores femeninas (Zurita, 2016).

Fruto

El fruto es una pepónide rugosa, liso y, dependiendo de la variedad, su color cambia de verde claro a verde oscuro hasta llegar a un amarillo claro cuando está completamente maduro. Los frutos varían en tamaño y son cilíndricos u oblongos; la pulpa (mesocarpo) es rica y carnosa, de color blanco a verde pálido cuando no está madura, de color amarillo acuoso cuando está madura y de sabor ligeramente dulce. Esta especie tiene un tiempo de fructificación diferente según la región y variedad. En México, durante la temporada primavera-verano inician de septiembre a octubre y en temporada otoño-invierno a partir de febrero. Se ha informado que el número de frutos por planta está entre 5 y 41, dependiendo del cultivar y del uso de reguladores hormonales (Olin, 2021).

Semillas

Las semillas son ovaladas, planas y largas de color amarillo pálido, de 8 a 10 mm. Aunque el peso de las semillas varía mucho, el promedio es de 30 a 40 semillas/gramo. La duración media en la que permanecen viables las semillas es de aproximadamente cinco años (Maroto, 2011).

Fenología del cultivo

El ciclo del pepino es corto y varía dependiendo del sitio de siembra, lo cual está relacionado con las condiciones edáficas y climáticas de la variedad y el manejo agronómico del ciclo fenológico, el cual se muestra en el Cuadro 4. (Sandí-Mendoza, 2016).

Cuadro 4. Ciclo fenológico del cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.).

Etapa fenológica	Días después de la siembra
Emergencia	4 – 5
Inicio de emisión de guías	15 – 24
Inicio de floración	27 – 34
Inicio de cosecha	43 – 50
Fin de cosecha	75 – 90

Fuente: (Soza, 2023).

Principales cultivares de pepino

Los cultivares de pepino ginoicas (100% de flores femeninas) suelen producir mayores rendimientos. Producen frutos con piel más suave que las variedades monoicas (flores masculinas y femeninas). Los pepinos partenocárpicos no producen semillas porque sus frutos no requieren polinización. Además, suelen dar frutos antes, en un cuaje más concentrado y con mayores rendimientos (Padilla y Pérez, 2017).

Según su uso, los pepinos se pueden clasificar en: pepino para de procesamiento, pepino de mesa o de consumo fresco, variedades de invernadero, armenio, oriental (japonés o asiático), Beit Alfa (persa) y europeo. De la misma manera, otra de las clasificaciones utiliza como criterio el origen, es el caso de los tipos holandés y francés (también llamados europeos) y el tipo asiático. Un criterio adicional es el tamaño del fruto: largo (tipo holandés), mediano (tipo americano o “Slicer”, y francés), también el pequeño tipo Beit Alpha, mini, o pepinillo (Cruz-Coronado y Monje, 2021).

Pepinos largos tipo holandés, europeo, continental, inglés o Almería

Se trata de frutos que superan los 25 cm de longitud y alcanzando los 40 cm. Su peso medio oscila entre 400 y 500 g y su diámetro es de 4 cm. Tienen una cascara fina, lisa o rugosa que no tienen espinas y se pueden comer sin pelarlos. Son frutos de color verde claro, oscuro y de sabor dulce. Su forma es casi cilíndrica, caracterizada por un extremo del fruto puntiagudo. Casi todas estas variedades de

pepinos son plantas ginoicas que tienen frutos sin semillas. Suelen ser plantas vigorosas que producen de 1 a 2 frutos por nudo (Intagri, 2021).

Pepinos medianos tipo americano conocidos como Slicer y francés

Con base a Zamora (2017) estos pepinos tienen frutos sin semillas y son también conocidos como partenocárpicos. En los invernaderos se producen muchos tipos de pepinos partenocárpicos, el más notable es el pepino americano. En Sonora, el pepino Slicer es el tipo de pepino más conocido y producido. La planta de pepino americano es una planta anual que produce flores masculinas y femeninas (planta ginóica) que produce un fruto por nudo. Los frutos de los pepinos americanos son muy similares a los pepinos de campo, con una piel más rugosa y uniforme que hay que retirar antes de comerlos, y con pequeñas espinas y protuberancias que los hacen más resistentes a la manipulación en el campo y transporte a los centros de consumo comparándolos con las cultivares europeos y persas.

Pepinos pequeños tipo Beit Alpha, mini, o pepinillo

El pepino persa es también conocido como mini pepino debido a su corta longitud, mientras que el pepino Libanes y Beit Alpha, produce frutos sin semillas o partenocárpicos. Los frutos son cortos en longitud, de color verde oscuro, sabor dulce y tienen una piel delgada que no requiere pelarse para ser consumidos. Este tipo de pepino produce frutos de alta calidad y son dos o tres veces más rendidores que los del tipo europeo y ha estado ganando popularidad en consumo en Estados Unidos (Piña, 2021).

Requerimientos edafoclimáticos

Los pepinos son una hortaliza que se cultivan en el ciclo primavera-verano, pero gracias a la producción bajo invernadero, ahora están disponibles durante todo el año (Noriega, 2014).

Suelo y pH

El pepino se puede producir en cualquier suelo, pero responde mejor en suelos arcillo-arenosos a francos bien drenados. Si el terreno no es el ideal, hay que proveer las condiciones adecuadas para prevenir el encharcamiento de agua que

en cualquier cultivo es un gran problema. La planta de pepino no tolera la salinidad (Soza, 2023).

Masaquiza (2016), señala que esta cucurbitácea se puede cultivar en una amplia gama de suelos fértiles y bien drenados; desde los arenosos hasta los franco-arcillosos, aunque los suelos francos que poseen abundante materia orgánica son los ideales para su desarrollo. Se debe contar con una profundidad mayor de 60 cm. que facilite la retención del agua y el crecimiento del sistema radicular para lograr un buen desarrollo y excelentes rendimientos. En cuanto al pH, el cultivo se adapta a un rango de 5.5 - 6.8, soportando incluso pH hasta de 7.5; se deben evitar los suelos ácidos con pH menores de 5.5.

Temperatura

Las temperaturas entre 25 y 30°C se consideran óptimas para la germinación, crecimiento, floración y fructificación. Bajo tales condiciones la germinación ocurre a los 2 – 3 días de sembradas las semillas, la floración a los 28 días después de la germinación y la primera recolección de frutos verdes suaves, un poco antes que la maduración comercial, a los 32 – 38 días (Cuadro 5) (Masaquiza, 2016).

Cuadro 5. Rangos de temperaturas críticas para el cultivo del pepino.

ETAPA FENOLOGICA	TEMPERATURA (°C)		
	MINIMO	ÓPTIMA	MÁXIMA
Germinación	12	30	35
Desarrollo del cultivo en el día	20	-	25
Desarrollo del cultivo en la noche	18	-	22
Se hiela la planta	-	-1	-

Fuente: (Soza, 2023).

Humedad relativa

Debido a la gran superficie foliar, el pepino es una planta con un alto requerimiento de humedad relativa, siendo lo óptimo 60-80% durante el día (Callizaya, 2015). Sin embargo, una excesiva humedad puede disminuir la producción al reducir la transpiración y por tanto la fotosíntesis.

Luminosidad y fotoperiodo

El pepino es una planta que crece, florece y da frutos con normalidad incluso con días cortos de menos de 12 horas de luz, aunque también soporta una alta intensidad lumínica. A mayor radiación solar, mayor será la producción. Tiene altos requerimientos, por lo que se recomienda plantar el cultivo en lugares muy soleados, porque una alta intensidad estimula la fecundación de las flores, mientras que una baja intensidad de luz la reduce (Diédhiou, 2017).

Esta planta es afectada por la cantidad de horas luz recibidas, cuando los días son cortos se induce a la formación de mayor número de flores femeninas y días largos favorecen la formación de flores masculinas, por lo que es un cultivo influenciado por el fotoperiodo (Saldaña, 2021).

Dióxido de carbono

Hernández (2020) menciona que numerosas pruebas demuestran que niveles de CO₂ cercanos a las 500 ppm aumentan la absorción de dicho gas por parte de la planta del pepino e influye en el crecimiento y producción.

Viento

La presencia del viento acelera la pérdida de agua de planta ya que provoca una disminución de la humedad relativa, por lo que aumenta la necesidad de absorber agua a fin de recuperar el agua transpirada (Saldaña, 2021).

Establecimiento del cultivo

Preparación del suelo

Se requiere una adecuada preparación del suelo, de forma que este se quede perfectamente mullido, pudiéndose dar en primer lugar una labor profunda en la que se incorpora el abono de fondo y a continuación tantas labores superficiales como sean necesarias para dejar un suelo fino (Silva, 2015).

Una buena remoción del suelo a una profundidad de 30 cm, garantiza aireación, elimina las malezas que puedan existir en él, favorece a que el sistema radicular se desarrolle sin problema. Se debe abonar con estiércol y humedecer el suelo antes de la siembra para garantizar una buena germinación (Callizaya, 2015).

Siembra

La siembra puede ser directa o realizarse en un semillero. En la siembra directa, las semillas se depositan directamente sobre el terreno de forma manual, siguiendo el marco de plantación establecido. La siembra en semillero es el método más utilizado en actualidad ya que se efectúa en charolas de poliestireno de diferentes tamaños y número de cavidades. Cada charola se rellena de un sustrato generalmente a base de turba, y se coloca una semilla en cada orificio. Si las condiciones son las adecuadas, las semillas germinan en 3 - 4 días. A los 15 - 20 días de la germinación, cuando las plantas tengan 2 - 3 hojas verdaderas, estarán listas para el trasplante. La germinación tarda un poco más en siembra directa (Hernández, 2020).

En pepinos cultivados en primavera se utilizan marcos de plantación más pequeños para obtener una mayor densidad al cultivo ya que la luminosidad es alta. En cambio, para plantaciones de otoño que se realizan a finales de agosto o principios de septiembre se establecen marcos más amplios para reducir la densidad, evitar competencia por la luz en condiciones de días cortos y mejorar la ventilación del cultivo.

Trasplante

Como afirma Mendoza y Hernández (2023), el trasplante es cuando se colocan las plántulas en el suelo o en contenedores como bolsas. Al momento de realizar el trasplante es necesario aplicar fungicidas químicos o biológicos para evitar ataques de hongos en la raíz. Después del trasplante, una vez adaptada la planta en el medio, se recomienda iniciar la aplicación de macro y microelementos, aminoácidos y ácidos fúlvicos. Se sugiere proseguir con un enraizador para generar un mayor sistema radicular para que la planta tenga mayor capacidad de mover agua y nutrientes que el productor aplica en el suelo o mediante fertirriego.

Manejo del cultivo

Tutorado

Se recomienda colocar la planta de pepino en un ambiente protegido con espaldera, o tutorado. Su uso da como resultado una mejor disposición de las hojas para utilizar la energía luminosa y una mejor ventilación, facilita la cosecha y permite mayores densidades de siembra para obtener frutos de mayor calidad. La fijación o tutorado se suele realizar con hilo de polipropileno (rafia) atado a un extremo de la parte principal de la planta y el otro a un hilo ubicado a cierta altura (Olalde et al., 2014).

Poda

Podar es una de las actividades que se realizan a los pocos días de la plantación, retirando tallos secundarios, hojas dañadas y frutos deformes, la idea es dejar el tallo principal limpio de brotes, pero con un fruto por axila, en algunas variedades dos frutos por axila (Flores y Jazmín, 2017).

En el caso del pepino tipo Almería u holandés se deben quitar todos los brotes laterales de la planta para que quede en un solo tallo, y para las demás variedades de pepino la poda es similar sin ningún otro particular, en algunos casos se les debe

dejar los brotes laterales, solo se práctica la técnica del despunte a partir de la segunda hoja (López, 2009).

Deshoje

Se retiran las hojas viejas, enfermas o amarillas, esta actividad se lleva a cabo cuando la humedad es demasiado alta y se realiza con el fin de que haya más ingreso de luz en toda la planta (Callizaya, 2015).

Requerimiento hídrico

El pepino es uno de las hortalizas con mayor requerimiento de agua que en los cereales (Rivera et al., 2018). El cultivo de pepino necesita un riego constante a capacidad de campo. No deben de humedecerse la parte de las hojas y los frutos, por lo que el riego por aspersion no es recomendado, siendo más adecuado el riego por goteo (Litardo, 2022).

Meza (2023) menciona que las plantas necesitan la misma cantidad de agua de lo que transpiran y de lo que el suelo se evapora donde el ambiente, Cuando el contenido de humedad requerido fluctúa, en la planta se producen cambios en los procesos moleculares, bioquímicos y fisiológicos para sobrevivir, porque reaccionan y se adaptan a la falta de agua. El cierre estomático es una de las primeras reacciones fisiológicas que tiene lugar en la planta ante el déficit hídrico lo cual provoca una disminución en la concentración de CO_2 dentro de la célula, lo que inhibe la fotosíntesis y produce daño al aparato fotosintético, también produce una rápida inhibición del crecimiento de las raíces. Incluso se puede interrumpir el desarrollo reproductivo, ocasionar senescencia foliar, marchitamiento, desecación y caída de hojas (Moreno y Patricia, 2009).

Cosecha

Martínez (2021) agrega que de acuerdo a ciertos estudios la calidad que exige el mercado extranjero va desde el peso (200 a 400 gr.), la forma (Largo y liso), cascara (verde y fina), diámetro (que no pase de los 4 cm), largo (va a depender del tipo de

pepino), variedad, etc., además debe de cumplir con un peso, una firmeza y un pH óptimos para el consumo humano.

La cosecha da inicio de los 44 a los 53 días después del trasplante. Los frutos deben de ser de un verde oscuro. El crecimiento de los frutos en el cultivo de pepino es por set o periodo crecen 4 o 5 frutos en los entrenudos de forma consecutiva y los siguientes abortan y luego vuelven a crecer otros 4 o 5 frutos (Cedillo et al., 2018).

Tratamiento postcosecha

Para alargar la vida del pepino, tanto a nivel de logística de transporte como de vida de anaquel, se le tiene que dar un tratamiento postcosecha, el ser una hortaliza vulnerable y de alto carácter perecedera, se tienen que utilizar tecnologías de acondicionamiento y almacenamiento adecuadas y si dicho proceso no es presentado de una manera efectiva para el proceso, provoca grandes pérdidas en la calidad de la producción exportada o transportada (Martínez, 2021).

Empaque y selección

Los frutos de pepino americano a diferencia de los pepinos europeos no se emplean previo al empaque, pero si pudieran recibir un tratamiento con cera que los hace más atractivos ante los consumidores y menos propensos a la pérdida de agua (Zamora, 2017).

Requerimientos nutricionales del pepino

Como componente tecnológico para mejorar el rendimiento y la calidad del cultivo de pepino, el riego por goteo permite esparcir fertilizantes altamente solubles y mantener un contenido óptimo de nutrientes en la rizosfera. Se debe tener en cuenta que estos fertilizantes tienden al subir sus precios, provocan impactos negativos en el ambiente y en la salud de los consumidores, cuando son utilizados en cantidades inadecuadas. En la actualidad se busca que los sistemas basados en fertiirrigación sean más eficientes en cuanto al uso del agua y fertilizantes (Barraza, 2017).

Cedillo et al. (2018) recomiendan que para poder llevar a cabo la nutrición del pepino es indispensable contar un estudio de calidad del agua o análisis de suelo ya que es muy importante conocer la cantidad de nutrientes con los que se cuentan y

únicamente complementar los que se requieren. Para ello se utiliza un cuadro de doble entrada, donde se calcula la cantidad de nutrientes necesarios y los fertilizantes que aportan dichos nutrientes. Sin embargo, así como en el riego, también es importante la etapa fenológica en la que se encuentre la planta para conocer los requerimientos de fertilizantes.

Los fertilizantes son sales con diferentes elementos químicos que realizan diferentes funciones en las plantas. Por la cantidad que de éstos requieren se dividen en macroelementos y microelementos. Los macroelementos incluyen el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), en tanto que los microelementos, son el hierro o fierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y boro (B). (Zárate, 2014).

En los cultivos de pepino bajo cubierta el aporte de agua y gran parte de los nutrientes se realiza de forma generalizada mediante riego por goteo y va ser función del estado fenológico de la planta, así como del ambiente en que ésta se desarrolla como tipo de suelo, condiciones climáticas, y calidad del agua de riego (Álava, 2020).

Nitrógeno

El N es uno de los elementos más abundantes del planeta, el nutriente más limitante en la producción agrícola y el que más se aplica como fertilizante. Lo anterior se debe a que las plantas solo pueden absorber N en dos formas químicas, como nitrato y amonio (Intagri, 2017b).

Rodríguez-Yzquierdo et al. (2020) afirman que el N tiene una función estructural, como parte de moléculas de aminoácidos y proteínas, además de ser un constituyente de bases nitrogenadas y ácidos nucleicos. Actúa en procesos tales como absorción iónica, fotosíntesis, respiración, multiplicación, diferenciación de células y fundamentalmente en el crecimiento, formación vegetativa de la planta y la producción, ya que estimula el desarrollo de yemas florales y fructíferas, aumentando también el contenido de proteína. Por lo tanto, en ausencia de este nutriente, el crecimiento se retrasa, el tamaño de la planta es reducido y desarrolla ramas delgadas.

El N entra en la composición de todas las proteínas simples y complejas, que forman la parte principal del citoplasma de las células vegetales, y en la composición de los ácidos nucleicos, es parte importante de la clorofila que tiene un papel en la fotosíntesis y así en la asimilación del carbono y la producción de azúcares. Las plantas necesitan este nutriente desde el inicio hasta el final del ciclo, los momentos críticos son: emergencia, crecimiento, floración, liberación de yemas y desarrollo de frutos (Rodríguez, 2010).

Calcio

El Ca^{++} participa en procesos de desarrollo y reacciones ante factores bióticos y abióticos (Geydan y Spinel, 2007). Las funciones más relevantes del Ca^{++} son el fortalecimiento de las paredes celulares y la regulación de la permeabilidad de la membrana, este elemento es un catión que tiene una limitada movilidad dentro de la planta. Entra por las raíces desde la solución del suelo y fluye hacia las partes aéreas por medio de la xilema. Las zonas de la planta que están respirando más activamente reciben la mayor parte del Ca^{++} porque es hacia donde se dirige en un principio la savia ya que el Ca^{++} no puede ser redistribuido vía floema a las partes aéreas para construir nuevos tejidos (Gómez, 2014).

El Ca^{++} ayuda a convertir el NO_3^- en formas necesarias para la formación de proteínas, activa un gran número de sistemas enzimáticos que regula el crecimiento de la planta, es necesario para la formación de la pared celular y para la división normal de la célula, junto con el Mg y el K, ayuda a neutralizar los ácidos orgánicos en la planta producidos por la respiración (Cardona, 2017).

El Ca^{++} también es importante como translocador de señales para desencadenar una respuesta por parte de la planta a la infección de patógenos además de intervenir en la elongación y crecimiento celular (Dios-Delgado et al., 2006).

Diagnóstico nutrimental de los cultivos

Actualmente, existen diversas herramientas de diagnóstico para monitorear el estado nutricional de los cultivos. Como alternativas están el análisis foliar, el

análisis de la solución del suelo a través de sondas de succión (chupatubos), monitoreo de la solución de drenaje, análisis de pecíolo en seco y análisis del ECP. El propósito de estas herramientas es proporcionar información para ayudar al técnico o al agricultor a tomar decisiones sobre el programa de nutrición de cultivos mediante la interpretación de resultados basándose en niveles de referencia (Intagri, 2020).

En cada nuevo ciclo productivo de frutales es importante evaluar el valor nutricional del sistema suelo-planta. Para ello es de gran utilidad el uso de herramientas como el análisis de suelos, análisis de hojas y análisis de frutos. Si queremos conseguir un excelente rendimiento en cada temporada, conocer el estado nutricional ayuda a planificar la fertilización, dando lo necesario en el momento adecuado (Zoppolo y Fasiolo, 2016).

Análisis de planta o de tejido vegetal

El análisis de tejidos generalmente se realiza para monitorear los niveles de nutrientes de las plantas para aumentar la precisión de un programa de fertilización, confirmar la naturaleza de los síntomas visibles o prevenir la detección de condiciones asintomáticas en las plantas. Aunque este tipo de análisis es muy útil para determinar cuántos nutrientes ha tomado la planta, hay que completarlo con un análisis del suelo. El análisis de tejido seco requiere la extracción de la muestra, su entrega a un laboratorio comercial y la interpretación de los resultados (Bentancur y Rivero, 2020).

Análisis extracto celular de pecíolo

Se refiere a la extracción de jugo del pecíolo, que consiste en una mezcla de fluidos citoplasmáticos, vacuolares y savia. A partir de este líquido se pueden determinar elementos minerales y orgánicos (Intagri, 2020).

Las mediciones de iones en el ECP, es ampliamente utilizada en sistemas intensivos de producción, debido a que presenta buena correlación con el rendimiento, en comparación con los diferentes métodos de diagnóstico de suelo y tejido en laboratorio. El análisis de ECP es una técnica de diagnóstico nutrimental de los

cultivos en campo, que sirve para establecer índices de referencia nutricional de los mismos, con los que se pueden establecer ajustes oportunos en el manejo de la nutrición (Flores-Bernal et al., 2021).

Castellanos (2009) considera que como órgano de diagnóstico el peciolo es de gran utilidad en cultivos de uso intensivo. El nitrógeno y el potasio son dos elementos que se pueden diagnosticar con mucha precisión en este órgano de muestra. Esta técnica es muy útil incluso cuando se analiza sólo estos dos elementos, porque son los más dinámicos y afectan con mayor frecuencia el rendimiento y la calidad de la cosecha. En cuanto al muestreo se deberá tomar la hoja más recientemente madura. En el caso de los pepinos, suele ser la quinta o sexta hoja (de arriba a abajo). A la hoja se le quitan las láminas foliares dejando solo nervaduras. La muestra de hoja se transfiere inmediatamente a una prensa manual para obtener su extracto y luego leer el contenido de nutrientes.

Almacenamiento de peciolo. Se realizaron estudios en Florida para probar las posibilidades de almacenar muestras de peciolo para determinar la flexibilidad de los métodos de monitoreo para quienes desean monitorear varios cultivos en diferentes huertas antes de realizar pruebas de savia. Los peciolo frescos enteros (sin cortar) se pueden almacenar en hielo hasta por 8 horas o congelar durante la noche sin cambios significativos en la concentración de N o K de la savia. Se deben quitar las hojas de los peciolo y colocarlos en una bolsa de plástico sobre hielo o en un refrigerador (Hochmuth y Kinslow, 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la investigación

El presente estudio se realizó en el periodo marzo a junio del 2023 en Buenavista, Saltillo, Coahuila, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en el área de invernaderos del Departamento de Horticultura, bajo las siguientes coordenadas: 25°21'23.55" latitud N, 101°25'16" longitud O y 1763 msnm.

Material vegetal

Como material vegetal se utilizaron semillas de pepino híbrido Centauro. La planta de pepino variedad Centauro es vigorosa, abierta, con hojas de color verde muy oscuro, con excelente adaptación a diferentes condiciones de cultivo. Los frutos cuentan con muy buena conservación postcosecha, muestran un color verde oscuro, buena adaptación a condiciones de calor y mucha luminosidad. La variedad es resistente a CVYV/Px.

Acondicionamiento del microclima

Se le realizó la técnica de encalado al invernadero tipo túnel en el cual se llevó a cabo el experimento, con la finalidad de bajar la temperatura y disminuir la radiación dentro del invernadero.

Manejo del cultivo

Siembra

Para realizar la siembra, primero procedimos a mezclar los sustratos a utilizar (peat moss y perlita) en una relación 80:20 v/v a la cual se le ajustó el pH con bicarbonato de sodio (1.0 g/L) llegando al pH óptimo 5.9. Después de esto, se rellenaron 72 contenedores negros de polietileno calibre 600 de 10 L cada uno, al terminar esta actividad se aplicó un riego pesado con la finalidad de bajar la CE del sustrato, y posterior a esto se dejaron drenar por tres días para reducir el exceso de humedad del sustrato y poder realizar la siembra. Transcurrido este tiempo se realizó la

siembra de forma directa el día 13 de marzo del 2023, colocando una semilla de pepino en cada contenedor a una profundidad de tres veces su tamaño.

Fertirriego

El riego se realizó de forma manual, durante los primeros 10 días a partir de la siembra se aplicó una solución nutritiva al 50% de la concentración de nutrientes de la solución base.

Poda

El cultivo de pepino se manejó a un solo tallo, para lograr esto, se eliminaron todos los brotes axilares que iban apareciendo dejando crecer solo el tallo principal, esta actividad se mantuvo durante todo el experimento. También se realizó la poda de hojas y consistió en retirar las más viejas y enfermas e ir dejando una hoja por debajo del fruto próximo a madurar. De igual manera se eliminaron zarcillos dejando unos cuantos por planta. Esto con la finalidad de evitar un crecimiento excesivo de hojas y tallos que generen una disminución en la calidad de los frutos.

Tutoreo

Se dio inicio con el tutoreo tipo holandés a los 20 días después de la emergencia, esto consistió en colocar un hilo para cada planta en los alambres de tutoreo y fijar un extremo de cada hilo en la parte basal de la planta con la ayuda de un anillo, después a como la planta se iba desarrollando se fue enredando en el hilo a como giran las manecillas del reloj.

Control de plagas

Durante el experimento se presentaron como insectos plaga mosquita blanca y trips. Para su control hicimos uso de MIP, en donde eliminamos malezas, se hicieron 2 aplicaciones de jabón potásico 1mL/L de agua y una aplicación de Derribe Total a una concentración de 2.5 ml/L de agua.

Cosecha

Se realizó de forma manual, marcando cada fruto para después identificarlos y tomar los datos correspondientes. La primera cosecha se realizó el 16 de mayo del

2023 y las siguientes una vez por semana dependiendo del estado de madurez del fruto. Para determinar la madurez fisiológica se tomaron como guía las siguientes características particulares: la formación de una estrella en la punta del fruto y cierta firmeza en el mismo.

Tratamientos a evaluar

En los primeros 10 días a partir de la siembra se aplicó una solución nutritiva al 50% de la concentración de nutrientes de la solución base, después de este lapso de tiempo se dio inicio con la aplicación de diferentes concentraciones en las soluciones nutritivas de acuerdo a los tratamientos a evaluar.

En el experimento se utilizaron 72 plantas, del total de estas se formaron dos grupos de 36 plantas cada uno y de cada grupo se formaron tres bloques de 12 plantas. A los tres bloques del primer grupo se les aplicó una solución base al 75%, 100% y 125% durante todo el experimento. A los tres bloques del segundo grupo inicialmente se les aplicaron los riegos con la misma solución base a los tres bloques de grupo uno (75%, 100%, 125% de la solución nutritiva base), pero a los 15 días de estar aplicando la solución base, y a partir de esa fecha cada 15 días, a los bloques del grupo dos se modificó la concentración de la solución nutritiva con base a los resultados obtenidos de la concentración de acuerdo al ECP, tratando de igualar la concentración de los iones que se reportan en la lectura de la solución nutritiva aplicada permanentemente en los tres bloques del grupo uno.

En este estudio cada tratamiento se constituyó de seis repeticiones y cada repetición constó de dos plantas. Las soluciones nutritivas evaluadas se muestran en el Cuadro 6. En cuanto a los cambios en la composición iónica de las soluciones en base a los resultados obtenidos en el ECP se señalan en el Cuadro 7 y 8.

Para obtener el extracto celular de los peciolo, primero se realizó el muestreo en el que se identificó la hoja más recientemente madura, esta muestra normalmente se encontró en la cuarta y quinta posición del ápice hacia la base de la planta. Teniendo identificada la hoja se procedió a tomarle la temperatura con un termómetro laser, cuando este marcó una temperatura de 25 °C, se cortó la hoja con su respectivo peciolo y se procedió a obtener el ECP. Teniendo el ECP de cada

muestra, se tomaron las lecturas con los ionómetros de Horiba® digital para NO₃⁻ y Ca⁺⁺.

Cuadro 6. Soluciones nutritivas evaluadas en el estudio.

Solución nutritiva	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Conductividad eléctrica
	-----meq/L-----						
75%	9.75	1.5	3.0825	4.725	7.71	2.5575	1.47
100%	13	1.5	4.83	6.3	10.28	3.41	1.97
125%	16.25	1.5	6.5775	7.875	12.85	4.2625	2.47

Cuadro 7. Cambios en la composición iónica de las soluciones en base a los resultados obtenidos en el extracto celular del peciolo.

DDS	Ajuste de la solución nutritiva			
	-----meq/L-----			
		NO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺
25		+0.5	-1	-2
40	75%	+2	+1	
55		+1		+1
70		-2		+1
25		+1	-1.5	+2
40	100%	-0.5		+1
55				
70		-2	-0.5	-0.5
25		+1	-1.5	+3
40	125%	-0.5	+1	+1
55		-0.5		
70		-2	-0.5	+2

DDS = días después de la siembra

Cuadro 8. Soluciones nutritivas (SN) generadas del del ajuste en función de los resultados del extracto celular del peciolo, tratando de igualar la concentración de los iones en las plantas que recibieron la solución nutritiva contantemente durante el experimento.

DDS	Solución nutritiva	NO ₃	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
		-----meq/L-----					
SN Inicial		9.75	1.5	3.08	4.73	7.71	2.56
25		8.57	1.50	1.27	3.73	5.71	2.56
40	75%	11.67	0	1.27	4.73	5.71	2.56
55		12.67	0	1.27	4.73	6.71	2.56
70		10.80	1.00	3.08	4.73	7.71	2.56
SN Inicial		13.00	1.50	4.83	6.30	10.28	3.41
25		14.00	1.50	4.33	4.80	12.28	3.41
40	100%	13.50	1.50	5.83	4.80	13.28	3.41
55		13.50	1.50	5.83	4.80	13.28	3.41
70		11.50	1.50	6.26	4.30	12.21	3.41
SN Inicial		16.25	1.50	6.58	7.88	12.85	4.26
25		17.25	1.50	7.08	6.38	15.85	4.26
40	125%	16.75	1.88	9.20	7.38	16.85	4.26
55		16.25	1.88	9.70	7.38	16.85	4.26
70		4.25	1.88	9.69	6.88	15.33	4.26

DDS = días después de la siembra

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, en el que se evaluaron seis tratamientos con seis repeticiones por tratamiento. Los datos colectados se analizaron y al detectarse significancia estadística de acuerdo al análisis de

varianza, los promedios fueron comparados con el procedimiento de Duncan al 0.05. El diseño se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Diseño de bloques completamente al azar.

BLOQUE	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
	T5	R5	T4	T6	T2	T4
	R6	T1	R4	R6	R2	R1
	T2	T6	T3	T3	T1	T5
	R6	R5	R4	R3	R2	R1
	T1	T3	T5	T4	T5	T2
	R6	R5	R4	R3	R2	R1
	T6	T4	T2	T1	T6	T3
	R6	R5	R4	R3	R2	R1
	T3	T2	T1	T5	T3	T6
	R6	R5	R4	R3	R2	R1
	T4	T5	T6	T2	T4	T1
	R6	R5	R4	R3	R2	R1

Variables de respuesta

Rendimiento

Se evaluó el peso de todos los frutos de cada planta con ayuda de una báscula digital y se calculó el promedio; $\text{Peso total de frutos (g)} / \text{Número de plantas}$.

Diámetro ecuatorial del fruto

Esta medida se obtuvo con el uso de un vernier digital el cual se colocaba en la parte media del pepino y se registraba el dato.

Diámetro proximal del fruto

El dato de esta variable se tomó utilizando un vernier digital una única medida en la parte proximal del fruto.

Curvatura del fruto

Este dato se obtuvo con ayuda de una mesa y una regla plástica, se colocaba el fruto sobre la mesa de manera horizontal y colocando la regla en el extremo distal del fruto se midió la distancia que había entre la base de la mesa y el ápice del fruto.

Peso fresco de las hojas

Para esta variable se utilizó una báscula digital y se tomó el peso total de las hojas en fresco que generó cada planta durante este estudio, después de pesarlas se colocaron ordenadamente y se dejaron expuestas al sol para deshidratarse.

Peso fresco de los tallos

Se utilizó una báscula digital y se tomó el peso del tallo fresco de cada planta, después se colocaron en bolsas de papel y se dejaron secar.

Altura de la planta

Para poder medir la altura de cada planta primero se cortaron desde su base, las desenredamos del hilo que les sirvió de apoyo y enseguida se deshojaron dejando solo el tallo, con la ayuda de una cinta métrica se empezó a medir la altura de cada planta, colocando la cinta métrica desde la base de la planta hasta su ápice.

Contenido de nitratos y calcio en el extracto celular de peciolo

Para obtener el contenido de NO_3^- y Ca^{++} del ECP, primero se realizó el muestreo que consistió en identificar la hoja más recientemente madura de cada planta de pepino, esta muestra normalmente fue la cuarta y quinta hoja de del ápice a la base de la planta. Al tener identificada la hoja se procedió a tomarle la temperatura con un termómetro laser infrarrojo tipo pistola, cuando este marcó una temperatura de $25\text{ }^\circ\text{C}$, se cortó la hoja con su respectivo peciolo.

Las muestras se fueron almacenando en una hielera y en seguida fueron trasladadas al laboratorio en donde los peciolos de cada una de las muestras se cortaron en pequeños fragmentos y con la ayuda de un mortero de laboratorio se procedió a extraer el jugo de los peciolos. Teniendo el ECP de cada muestra, se tomaron las lecturas con los ionómetros de Horiba[®] digital para NO_3^- y Ca^{++} .

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de fruto

La Figura 2 muestra el rendimiento de pepino obtenido durante el experimento. El rendimiento máximo se logró con la solución nutritiva al 75%CTE, la modificación de la concentración de la solución nutritiva con base en el monitoreo nutrimental cuando esta era del 75%MOD muestra una disminución de 476 g en el rendimiento de fruto comparado con la solución nutritiva al 75%CTE, aunque sin significancia estadística. Se observa también que al aumentar la solución nutritiva al 100%CTE el rendimiento tiende a disminuir, pero al compararla con la solución nutritiva al 100%MOD esta última tiene un aumento en el rendimiento de 123 g. De igual manera al ir aumentando la solución nutritiva al 125%CTE el rendimiento continuó decreciendo, aunque haciendo la comparación con la solución nutritiva al 125%MOD se muestra un rendimiento similar. Por lo descrito, se puede deducir que el rendimiento de fruto tendió a disminuir conforme se incrementa la concentración de la solución nutritiva cuando esta se suministró de manera constante, sin embargo, esta disminución no mostró un efecto significativo de acuerdo a lo estadístico.

Esto implica que una sobre-fertilización traerá como consecuencia una disminución de los rendimientos en el cultivo de pepino, probablemente con la utilización de dosis altas de capacidad de extracción se está provocando una condición de salinización en el sustrato, lo que está influyendo de manera negativa con la absorción de nutrientes (Estrada, 2021).

Con base a Intagri (2017a), se sabe que la concentración de nutrientes forma una curva de abastecimiento nutrimental en relación con el contenido del nutrimento en el tejido de la planta, influyendo directamente el rendimiento de frutos. Se debe hacer énfasis en el rango adecuado y consumo de lujo, dos puntos que se encuentran en dicha curva, en la cual en el rango adecuado la planta cuenta con el abastecimiento óptimo de nutrientes y por efecto se expresa el mayor rendimiento; sin embargo, una vez que se supera el rango adecuado el incremento en el rendimiento deja de existir, y aunque se puede seguir aportando más nutrientes el

rendimiento va a seguir en su mismo nivel (consumo de lujo), pero después tenderá a disminuir hasta llegar a una toxicidad. Esto concuerda con el presente trabajo ya que se confirma lo descrito por Intagri (2017a) en el sentido de que al aumentar la concentración de nutrientes el rendimiento se mantiene, pero después tiende a disminuir.

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran una similitud a lo reportado por Hernández (2022), quien evaluó el rendimiento de pepino con tratamientos a diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva y distintos porcentajes de humedad relativa, teniendo como resultado el mayor rendimiento en los tratamientos con solución nutritiva al 75% bajo una humedad relativa del 65%.

Galindo (2014) reportó que en su experimento utilizó la solución nutritiva Steiner como testigo y lo comparó con la mezcla de arena más suelo y vermicomposta (80:20), teniendo como resultado que el rendimiento de pepino fue mayor con la utilización de la solución nutritiva al 100% obteniéndose 9.87 kg m⁻² de rendimiento; la mezcla de arena más suelo y vermicompost obtuvo un rendimiento con un valor de 8.45 kg m⁻². Estos resultados evidencian la posibilidad de producir pepino en sustratos orgánicos bajo invernadero con las mezclas de 80:20 (arena más vermicompost), ya que se produjeron rendimientos estadísticamente similares al testigo.

Valenzuela et al. (2014) reportaron en su estudio que el rendimiento promedio de frutos presentó diferencia significativa por efecto de la solución nutritiva; por el contrario, el sustrato no lo influyó de manera significativa. Se puede observar que el rendimiento de frutos fue superior en 443.3% con la solución nutritiva al 25% de concentración, 535.1% con la solución nutritiva al 50% y 549.5% con la solución nutritiva al 100%, en comparación con el rendimiento obtenidos en plantas irrigadas solo con agua; en el estudio no se experimentó con solución nutritiva al 75% pero observando el porcentaje entre la solución nutritiva al 50 y 100% el rendimiento sería muy similar al de la concentración 100%, por lo que, coincidiría con el máximo rendimiento obtenido en nuestro experimento.

Moreno-Reséndez et al. (2019) experimentó el rendimiento de calabacita con diferentes mezclas de vermicompost, arena y solución Steiner, con la mezcla de vermicopost + arena + Solución de Steiner. La aplicación conjunta de fertilizantes sintéticos en la solución nutritiva, y el empleo del vermicompost, como parte del sustrato de crecimiento, provocó un rendimiento de 3.99 kg planta, estos rendimientos se asemejan en el presente experimento.

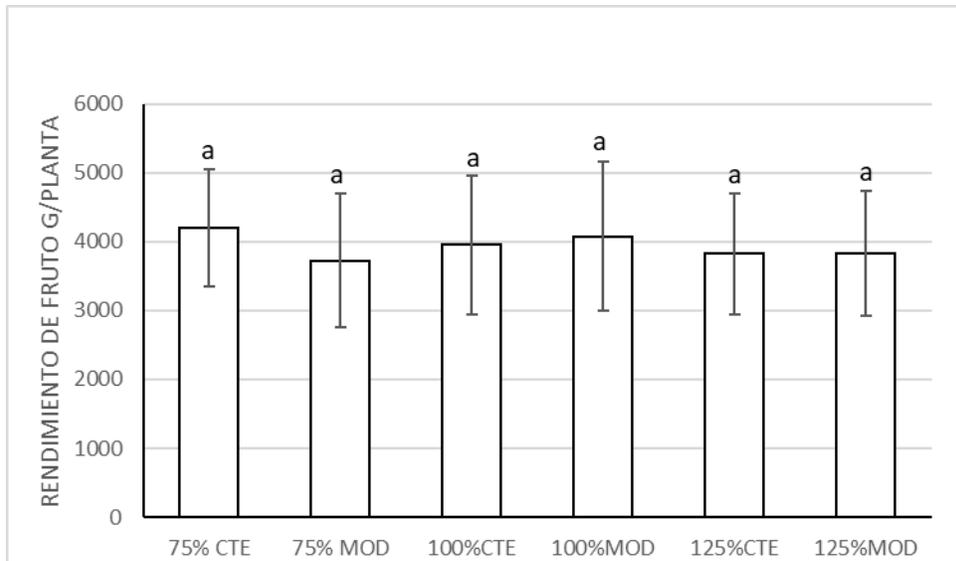


Figura 2. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en el rendimiento del fruto. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO_3^- y Ca^{++} en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Diámetro ecuatorial del fruto

En la Figura 3 se observa como influyeron las soluciones nutritivas sobre el diámetro ecuatorial de los frutos durante el experimento. Los frutos de mayor diámetro ecuatorial se obtuvieron con la solución nutritiva al 75%MOD, a la cual se le hicieron los ajustes necesarios de acuerdo a los resultados obtenidos en el ECP. También, se puede observar que los tratamientos al 75%CTE, 100%CTE Y 100%MOD cuentan con una similitud entre los diámetros de sus frutos. Los tratamientos al

125% ya sea CTE o MOD, reportan los menores diámetros ecuatoriales y entre ellos valores iguales, no obstante, al comparar los valores de la solución nutritiva al 75%MOD con las soluciones nutritivas al 125%CTE y MOD se muestra la tendencia significativa que solo ocurrió en esos tratamientos, mostrando una disminución en la que entre mayor sea la concentración de la solución nutritiva resulta en un menor diámetro ecuatorial.

Dependiendo del mercado al que será dirigido el producto, para la variable de diámetro ecuatorial es más recomendable la utilización de una fórmula de fertilización con influencia reproductiva ya que es favorable para esta variable (Estrada, 2021). Valenzuela et al. (2014) mencionan que con la concentración de soluciones nutritivas de 25%, 50% y 100% se incrementó el diámetro ecuatorial de frutos de tomate en el primer racimo en 39.3%, 34.3% y 36.9%, respectivamente, en comparación al que se observó en el testigo. En el segundo racimo el diámetro ecuatorial de frutos de plantas tratadas con las soluciones nutritivas mencionadas fue 55.8%, 60.2% y 58.1% mayor que el testigo, respectivamente, mientras que en el tercer racimo fue 360.4%, 412.6% y 386%. Por otra parte, Cruz (2023) menciona que en su experimento las plantas irrigadas con solución nutritiva al 75% tuvieron un diámetro ecuatorial de fruto de pepino aproximadamente de 2.2% mayor a los obtenidos a la solución nutritiva al 100% y 125%.

Galicia (2020) mencionan que en su investigación se trabajó con tomate cherry determinado, en el que se evaluó tres diferentes concentraciones: 50%, 75% y 100% de la solución nutritiva con base a la solución Steiner (Steiner, 1984). Los resultados indicaron que el mayor diámetro ecuatorial fue cuando las plantas fueron expuestas a una solución nutritiva del 50%, a esta misma concentración los frutos presentaron 3% mayor diámetro respecto a la concentración más concentrada al 100%, mientras que la solución nutritiva al 75% no mostró diferencias significativas respecto a la concentración baja y alta (50 y 100%). En relación a estos resultados, en el presente estudio logramos aumentar el diámetro ecuatorial de pepinos con la solución modificada al 75%MOD de acuerdo al ECP, si no se hubiera modificado la concentración los datos coincidirían con los reportados por Galicia (2020) en los que

al aplicar solución nutritiva al 75% no hubo diferencias significativas respecto a la solución nutritiva (50 y 100%).

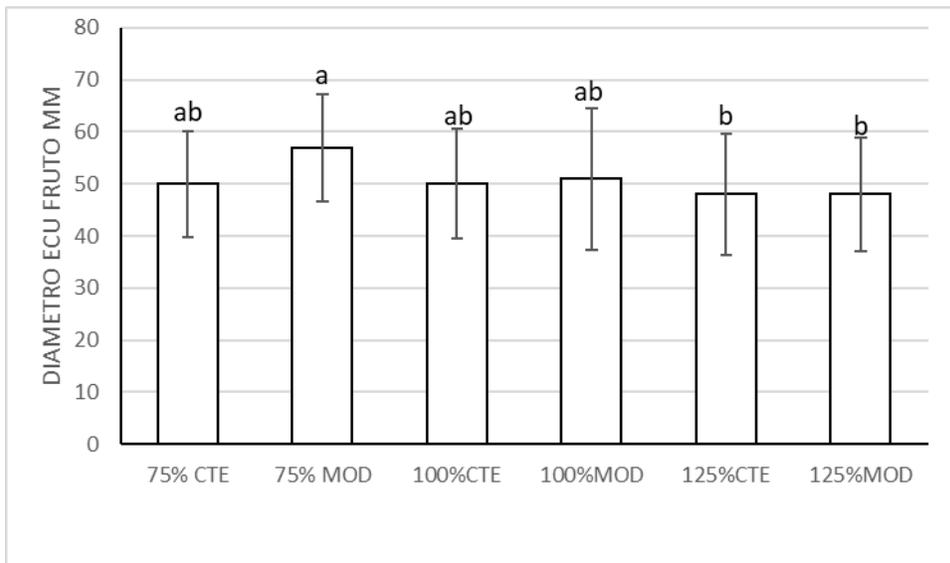


Figura 3. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en el diámetro ecuatorial. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO_3^- y Ca^{++} en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Diámetro proximal

De acuerdo a la Figura 4, el tratamiento con la solución nutritiva al 75%MOD favoreció el aumento del diámetro proximal del fruto, siendo superior por 1 mm a los diámetros proximales de los frutos del tratamiento con solución nutritiva al 75%CTE, 2 mm superior a los diámetros proximales de los tratamientos al 100%CTE y MOD. Estos tratamientos mostraron valores similares y también 3 mm de diferencia con los tratamientos al 125%CTE y MOD, siendo estos últimos los de menor diámetro proximal en fruto. Estos datos sugieren que para obtener frutos de mayor diámetro ecuatorial deben emplearse los tratamientos con solución nutritiva al 75%MOD.

Cruz-Coronado y Monje (2021), en su estudio reportó que cuando usó la solución nutritiva al 75% las plantas de pepino presentaron un diámetro proximal 3% mayor al obtenido con la solución nutritiva al 100% y un 5% más que la solución nutritiva al 125%; haciendo una comparación con el presente experimento se puede ver que los tratamientos al 75%, 100% y 125%CTE son similares a los resultados descritos por Cruz-Coronado y Monje (2021). Gracias a este experimento podemos tener los mayores diámetros proximales de pepinos con la solución nutritiva al 75%MOD haciendo los ajustes necesarios de acuerdo a los resultados obtenidos del monitoreo.

López-Elías et al. (2011) mencionan que el diámetro de los frutos de pepino se ven afectados de acuerdo a la variedad y al sistema de podas, en donde los mayores diámetros se dan en sistema de poda a un tallo y los menores diámetros en un sistema a dos tallos.

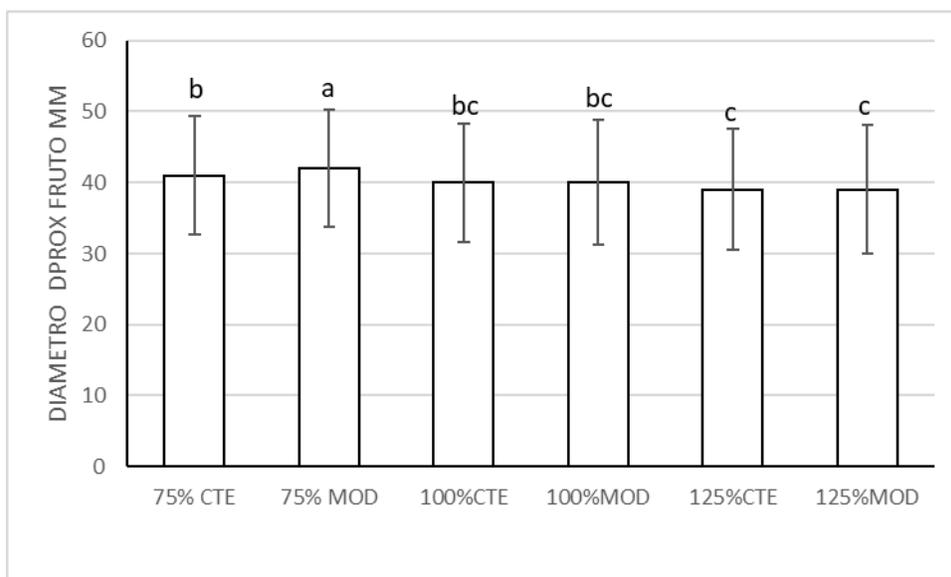


Figura 4. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO_3^- y Ca^{++} en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$. barra presenta el promedio en cada uno de los tratamientos.

Curvatura del fruto

En cuanto a la curvatura de fruto, los resultados obtenidos muestran que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas, como podemos ver en la Figura 5; sin embargo, se puede observar que los tratamientos al 75%CTE y 100%CTE son semejantes y es en ellos donde se obtuvo la mayor curvatura de frutos, mientras que el tratamiento al 75%MOD fue el que presentó la menor curvatura.

Calpulalpan (2023) destaca que la curvatura de los frutos de pepino, es uno de los factores de calidad más importantes, por lo que la disminución de la curvatura favorece su mercado. Hernández (2021) reportó que en los frutos de pepino muestran uniformidad a una HR del 65% y los frutos de mejor calidad (con menor curvatura) se dio en los tratamientos que se les aplicó solución nutritiva al 75% y 100%. En el estudio no se encontraron diferencias significativas en la evaluación de esta variable, pero se observa con la solución nutritiva al 75%MOD en base al monitoreo se pueden obtener frutos de mejor calidad.

El no encontrarse significancia estadística de acuerdo a los tratamientos aplicados, concuerda con lo reportado por Calpulalpan (2023) quien en su experimento encontró que a una concentración del 100% en la solución nutritiva y con aplicaciones de zinc ferrita mejoró la calidad de los frutos disminuyendo favorablemente la curvatura.

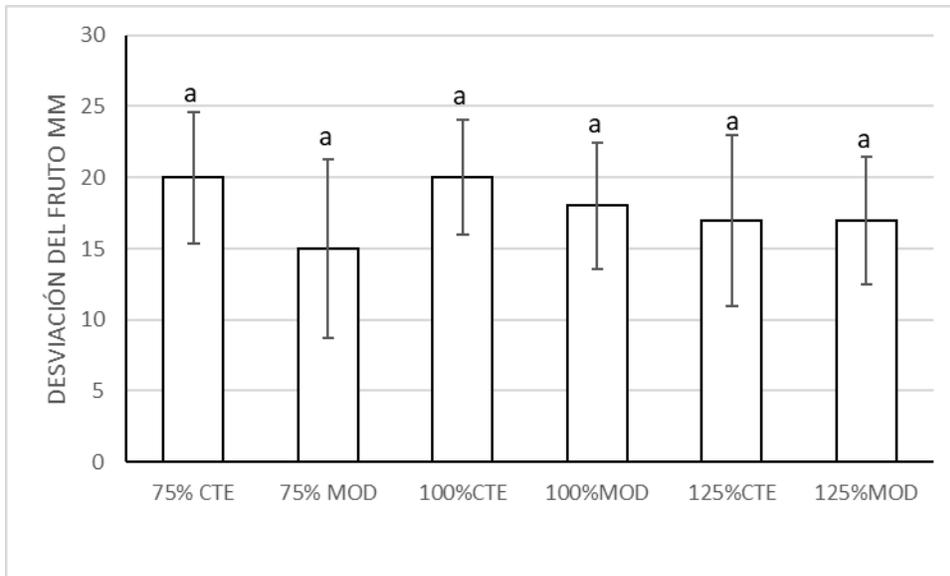


Figura 5. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en la curvatura del fruto. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO_3^- y Ca^{++} en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Peso fresco de hojas

La Figura 6 muestra que el peso fresco de las hojas de las plantas desarrolladas con la solución nutritiva al 100%MOD expresan la mayor biomasa, seguidas por las que fueron irrigadas con la solución nutritiva al 75% y 100% de manera constante. Estas dos últimas muestran un peso fresco similar, mientras que las plantas fertilizadas con la solución nutritiva al 75%MOD, 125%CTE Y 125%MOD mostraron el menor peso en esta variable. Haciendo la comparación entre el tratamiento de mayor y de menor peso de hojas en fresco (solución nutritiva al 100%MOD y solución nutritiva al 75%MOD) hay una diferencia de 23 g, a pesar de ello, esta variable no mostró diferencia significativa, pero se demuestra que la mayor biomasa foliar se obtiene con la solución nutritiva al 100%MOD haciendo los ajustes necesarios de acuerdo a los resultados obtenidos en el ECP.

De acuerdo a los resultados obtenidos en nuestro estudio podemos observar que se obtuvo el máximo peso de hojas en la solución nutritiva al 75%MOD de acuerdo a la modificación de la concentración de la solución nutritiva con base en el monitoreo nutrimental, si no se hubiera realizado la modificación a la solución nutritiva al 75%CTE los resultados coincidirían con los que menciona Cruz-Coronado y Monje (2021).

Hernández (2021) obtuvo en sus resultados que el mayor peso fresco de hojas se logró con la solución nutritiva al 75% y disminuye al elevar la solución nutritiva al 125% de concentración. En contraste nuestros resultados reportan que no se encuentra una diferencia significativa en la evaluación de esta variable por lo que al ver el tratamiento al 75%, 100% y 125%CTE, por lo que concuerda con lo descrito por Hernández (2021).

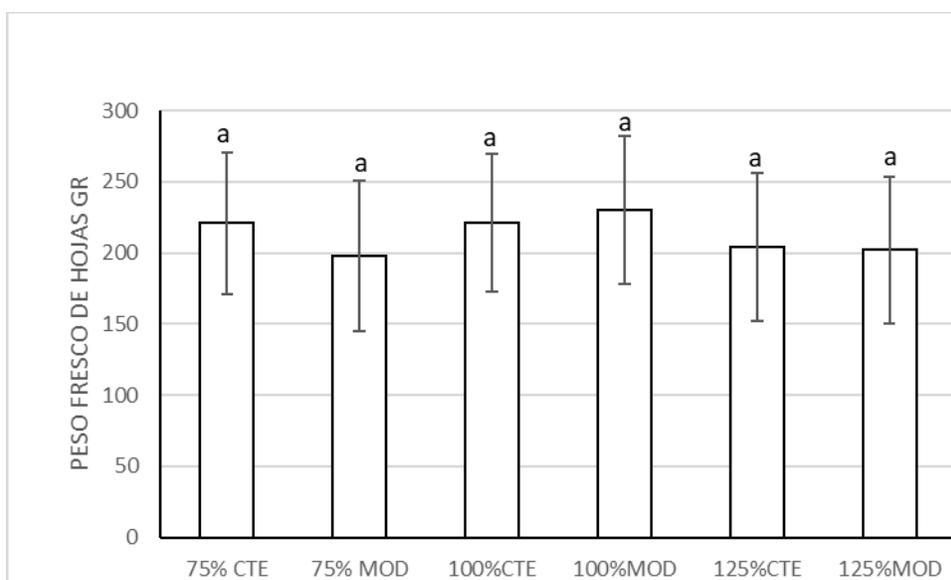


Figura 6. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en el peso fresco de hojas. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO_3^- y Ca^{++} en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Peso fresco de tallo

La Figura 7 muestra que hubo un incremento significativo en el peso fresco de tallo entre la concentración al 75%CTE comparado a la solución nutritiva al 75%MOD, siendo el mejor la solución nutritiva al 75%CTE con una diferencia de 7.03%; sin embargo, el incremento más importante se dio entre los tratamientos con la concentración 75%CTE y 125%MOD, continuando siendo el mejor el tratamiento con la solución nutritiva al 75%MOD con una diferencia de 12.06%. Los tratamientos 100%CTE y MOD se comportaron de manera similar en esta variable, encontrándose una diferencia considerable con los tratamientos concentrados al 125% CTE y MOD.

Al respecto, Cruz (2021) señala que, en su trabajo de investigación, en el cual evaluó tres concentraciones de la solución Steiner (75%, 100% y 125%) en combinación con dos mezclas de sustratos, el peso fresco del tallo no presentó algún efecto significativo por parte de los sustratos utilizados, pero si presentó efecto significativo de la solución nutritiva al 75% de un 17% mayor a la solución nutritiva al 100% y un 18% mayor a los resultados obtenidos con solución nutritiva del 125%. Nuestros resultados son similares a los de Hernández (2021), quien en su experimento evaluó la interacción entre tres cámaras con HR diferentes y la solución nutritiva Steiner en distintas concentraciones, teniendo como resultado los tallos frescos más pesados en los tratamientos fertilizados con solución nutritiva al 75% con una HR del 50%.

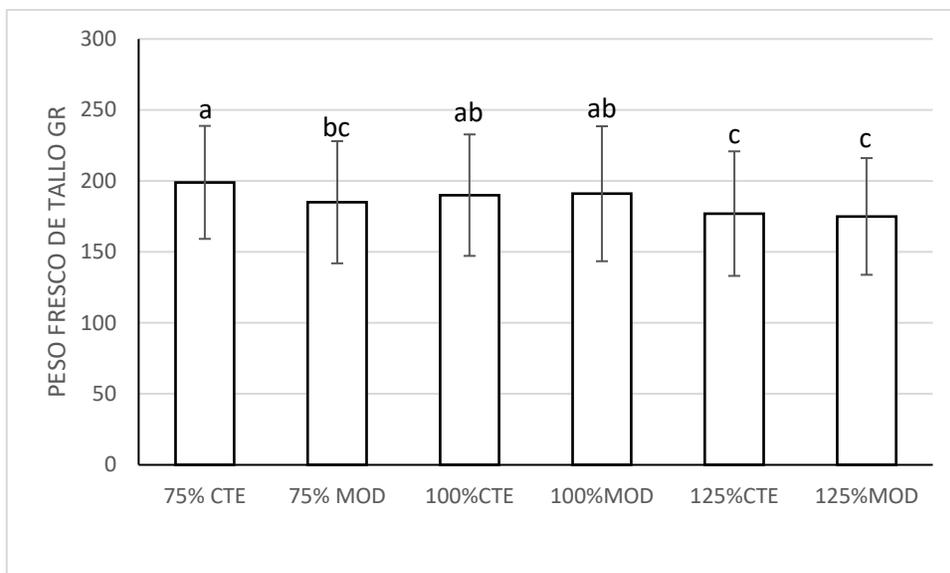


Figura 7. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en el peso fresco de tallos. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO_3^- y Ca^{++} en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Altura de la planta

Para la altura de las plantas no se obtuvo una diferencia significativa, sin embargo, se observa en la Figura 8 como la solución nutritiva al 75% CTE y la solución nutritiva al 125% MOD a la cual se le realizan los ajustes necesarios de acuerdo a las lecturas del ECP, una similitud en la altura de las plantas y una notable diferencia de 20 cm más altas que las plantas del tratamiento fertilizadas con la concentración al 75% CTE. Estas plantas fueron más pequeñas comparadas con todos los demás tratamientos. Se muestra también una similitud en la altura de las plantas de los tratamientos con solución nutritiva al 100% CTE, 100% MOD y 125% CTE siendo 10 cm más pequeñas que las plantas de las concentraciones al 75% CTE y 125% MOD.

Investigaciones realizadas por Moreno et al. (2017) reportaron que al realizar aplicaciones de solución nutritiva con concentraciones del 75% y 100% la altura de las plantas aumentó desde las primeras etapas de crecimiento, pero con los

tratamientos que se les aplicó la solución nutritiva al 50% la altura de la planta tendió a disminuir. Este efecto puede ser debido a que la reposición más frecuente de la solución nutritiva, en combinación con una mayor cantidad de nutrientes disueltos en la misma solución nutritiva ocasiona que en la zona de la rizosfera se mantengan niveles más elevados de nutrientes, quedando en una concentración óptima en la zona de la raíz capaz de promover el crecimiento.

Respecto a la altura de planta, Marcano et al. (2012) realizaron un ensayo que consistió en evaluar el efecto de diferentes localidades sobre la altura en las plantas de pepino; menciona que en las localidades estudiadas no se encontró diferencias significativas en la altura en las semanas 2, 4, 5, 6 y 7, aunque se encontraron diferencias significativas en la semana 3 debido a que la localidad contaba con un suelo mejor nutrido. También se mencionó que las plantas de pepino crecen lentamente cuando son tratadas con bajas dosis de fertilizantes nitrogenados, que aquellas que reciben altas dosis.

De acuerdo a los autores antes mencionados, se deduce que, a mayor concentración de nutrientes en el suelo o sustrato, la altura de las plantas de pepino será mayor. Haciendo la comparación de los resultados de nuestro trabajo de estudio sobre esta variable podemos ver que con la solución nutritiva al 75%CTE las plantas tuvieron mayor altura, siendo igualadas con las plantas fertilizadas al 125%MOD de acuerdo a la modificación de la concentración de la solución nutritiva con base en el monitoreo nutrimental.

El crecimiento en las plantas pepino de los cultivares Monalisa y Tropicuke mostró una disminución en la altura máxima (270,03 cm y 285,53 cm respectivamente) al usar una solución nutritiva ajustada correspondiente a 226.09 cm y 221.72 cm respectivamente (Sandi, 2016).

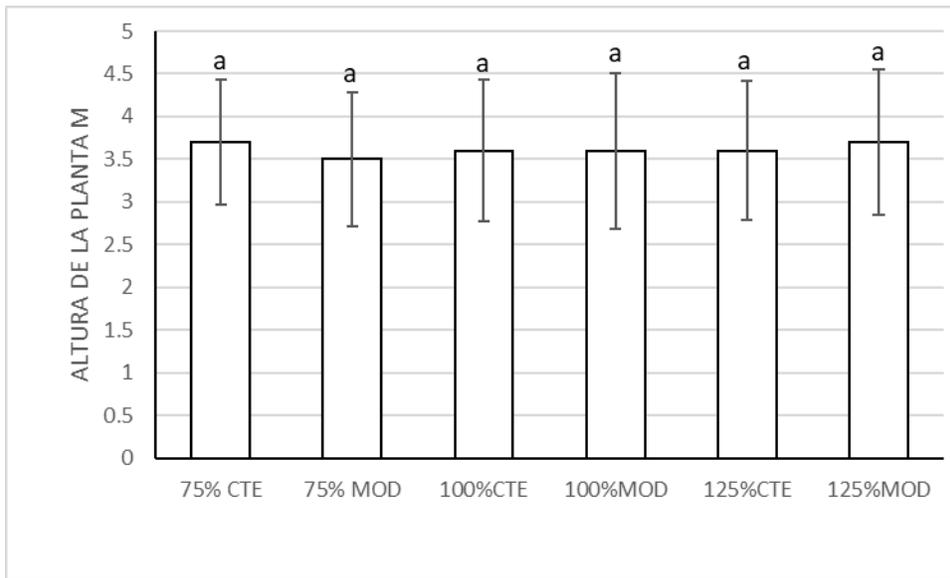


Figura 8. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en la altura de la planta. Las soluciones se mantuvieron a una concentración constante (CTE) durante el ciclo del experimento o bien fueron modificadas (MOD) para ajustar el contenido de NO_3^- y Ca^{++} en el extracto celular del peciolo. Cada barra presenta el total de cada uno de los tratamientos, barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Concentración de NO_3^- en el extracto celular del peciolo

La concentración de NO_3^- estuvo cercana a 6500 ppm antes del primer corte (Figura 9), sin embargo, para cuando se realizó el segundo corte esta concentración había bajado a 2000 (solución modificada) y 4000 (solución constante) ppm en las plantas con solución nutritiva al 75% modificada de acuerdo al contenido del ECP. Al subir la concentración de NO_3^- en la solución modificada (7500 ppm) tuvo un efecto positivo ya que esto se reflejó en el ECP y superó a aquella de las plantas con solución de concentración constante (6300 ppm). Este incremento en el nivel de NO_3^- en el ECP preparó a las plantas para un incremento importante en la producción de fruto en el cuarto y quinto corte. Para el sexto corte la producción fue baja, pero para el séptimo hubo otro incremento sustancial de aproximadamente 1 kg por planta; este incremento estuvo acompañado de una disminución en el NO_3^- del ECP cuando se aplicó la solución nutritiva de manera constante. Sin embargo, el manejo de la solución de acuerdo a los niveles resultantes en el ECP se presentó un incremento en el NO_3^- , lo cual favoreció el rendimiento. En general, las plantas que recibieron la solución nutritiva al 65% de manera constante tuvieron un rendimiento mayor al obtenido cuando se aplicó la solución modificada.

Con base a los resultados anteriores se deduce que la concentración de NO_3^- generados por la solución nutritiva al 75%MOD disminuye el rendimiento, por lo tanto, se recomienda utilizar la solución nutritiva al 75%CTE ya que esta mantiene mayor rendimiento.

Al aumentar la solución nutritiva al 100%CTE y MOD se observa una similitud en la concentración de NO_3^- en el ECP (Figura 10). La lectura del primer muestreo reportó 6850 ppm de NO_3^- , mientras que la solución nutritiva al 100%MOD mostró 1033 ppm menos que la solución nutritiva CTE. En el segundo muestreo, la solución nutritiva al 100%MOD aumentó 284 ppm el NO_3^- en comparación con la solución nutritiva al 100%CTE, mientras que en el tercer muestreo la solución nutritiva al 100%MOD disminuyó en 267 ppm. Haciendo la comparación con la solución nutritiva CTE, en el cuarto muestreo se observa un aumento de la concentración de NO_3^- de 854 ppm en la solución nutritiva al 100%MOD, en tanto que en el último

muestreo se reportó en el ECP para la solución nutritiva al 100%MOD la concentración de 206 ppm de NO_3^- más que en la solución nutritiva CTE. Estos resultados permiten deducir que cuando se utiliza la solución nutritiva al 100% lo más recomendable es hacer el monitoreo nutrimental y ajustar a los días después de la siembra o etapa fenológica en la que se encuentra el cultivo, con base a esto podemos reducir y aumentar las aportaciones de fertilizantes nitrogenados en el momento oportuno y aumentar los rendimientos, así como ser más eficiente en el uso de los fertilizantes.

En cuanto a la solución nutritiva concentrada al 125% de NO_3^- las lecturas del análisis del ECP reportan un comportamiento similar en la acumulación de NO_3^- entre la solución nutritiva al 125%CTE Y MOD y de igual manera mantuvieron un rendimiento de fruto semejante. Para concluir, se puede recomendar que con la solución nutritiva al 125% no es necesario hacer monitoreo ni un ajuste ya que se obtiene el mismo rendimiento en ambas soluciones. Otra razón por la cual se recomienda no modificar la solución nutritiva al 125% es que al hacer la sumatoria de NO_3^- encontrados en el peciolo durante todo el experimento en la solución nutritiva al 125%CTE se ocupó 1149 ppm de NO_3^- menos que en la solución nutritiva al 125%MOD, por lo tanto, se reduce el uso de fertilizantes.

Al respecto Leyva-Ruelas et al. (2005) afirman que las hortalizas retienen en sus tejidos mayor cantidad de NO_3^- que otras plantas. En tomate encontraron que la acumulación de N, P y K en frutos fue superior que, en las hojas a los 70 DDT, lo que demuestra que estas plantas demandan altas concentraciones de NO_3^- , durante la fructificación. La concentración de NO_3^- en el ECP es un indicador que refleja el estado nutrimental de la planta como respuesta a diferentes condiciones del medio de crecimiento, y en este caso en particular es un reflejo de la concentración de NO_3^- de la solución nutritiva aplicada (Cardona, 2015). Castellanos (1999) propone utilizar la curva de demanda de N para el cultivo de pepino en diferentes regiones. Estos datos habrá que modificarlos con estudios locales, pero son una buena ayuda en el inicio.

Díaz-Méndez et al. (2014) evaluó diferentes proporciones de vermicompost:arena buscando la que mejor influya en el rendimiento en frutos de pepino producidos en invernadero. Para ello se evaluó las siguientes relaciones 25:75, 30:70, 35:65, 40:60 y 45:55. En promedio, menores proporciones de vermicompost (25% y 30%) presentaron un rendimiento mayor (1883 g por planta) que con el uso de mayores relaciones. La mayor concentración de NO_3^- en base al ECP correspondió a los tratamientos con la relación de 25:75 reportando 947 mg L^{-1} de NO_3^- en el peciolo y 30:70 acumuló 818 mg L^{-1} de NO_3^- . Estos valores se encuentran dentro del rango indicado como adecuado para el cultivo de pepino (Sánchez, 2009). Proporciones mayores de vermicompost, incrementan la salinidad del medio radical, con lo que se disminuye la absorción de agua, nutrimentos y se afecta el metabolismo de la planta (Maathuis, 2009).

Se ha reportado que 96 % de hortalizas de hoja y el 29 % de las hortalizas de fruto, contienen elevadas concentraciones de NO_3^- debido principalmente a las malas prácticas de fertilización (Bres et al.,1991). Se ha encontrado que cuando el NO_3^- es la única fuente de N en la solución del suelo, las raíces de la mayoría de las plantas muestran preferencia por cationes como K^+ , Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} , además, se incrementa la actividad de la enzima nitrato reductasa en la raíz y si hay consumo excesivo de NO_3^- la enzima alcanza su máxima actividad de reducción de NO_3^- a nitritos hasta llegar a un estado de concentración estable, a partir de ese momento los NO_3^- en exceso se acumulan en las plantas (Leyva-Ruelas et al., 2005).

Desde el punto de vista de Sandi (2016) afirma que, para una explotación sostenible mediante la tecnología de ambiente protegido, debe adecuarse un plan de fertilización con los nutrientes esenciales que el cultivo de pepino necesita para su crecimiento y desarrollo. Por lo tanto, los análisis de tejidos son un método importante para determinar niveles de absorción de esos nutrimentos, ya que los niveles de extracción de nutrientes son muy variables, debido principalmente a factores propios de cada uno de los sistemas de cultivo, entre ellos el tipo y la

variedad de pepino, la densidad de plantación, época y duración de la plantación entre otros.

Castro-Brindis et al. (2000) trabajó con plantas de tomate cascara (*Physalis ixocarpa* Brot.), observó que la concentración de NO_3^- en el ECP se incrementó en función de diferentes grados de disponibilidad nutrimental en la zona de raíces y a través de las distintas fases de desarrollo. Se observó también que la producción promedio de fruto por planta aumentó con la disponibilidad nutrimental creciente, pero alcanza un valor máximo en las plantas establecidas con una solución nutritiva al 75%, a partir de ese punto el rendimiento disminuye.

Brizuela- Amador et al. (2005) trabajaron con concentraciones de NO_3^- (6, 9, 12, 15 me L^{-1}), en una relación 10.2 NO_3^- :1.8 NH_4^+ y cuatro tipos de chile (híbridos: jalapeño “Grande”, jalapeño “Tula”, pimiento “Camelot”, pimiento “Aladin”, y poblano cv. San Luis). Se observó, en general, que la concentración de NO_3^- en el ECP varió de manera logarítmica con relación a la concentración de NO_3^- en la solución y la ontogenia. La máxima concentración de NO_3^- en el ECP fue de 1050 ppm asociada con 12 meq/L NO_3^- de la solución Steiner; mientras que la concentración de 15 meq/L de NO_3^- en la solución no tuvo un efecto significativo en la concentración de NO_3^- en el ECP. La solución Steiner a 50% de NO_3^- (6.0 meq/L NO_3^-) fue 19% menor en la concentración de NO_3^- en el ECP. Las soluciones nutritivas con 9 y 12 meq/L NO_3^- fueron las que favorecieron la mayor concentración de NO_3^- en el ECP, en las etapas fenológicas comprendidas. En promedio, las mayores concentraciones de NO_3^- en el ECP para las etapas fenológicas fueron: 876 vegetativa-botón; 861 en flor abierta; 1020 en cuajado de fruto; y 1144 en llenado de fruto, lo cual corresponde a 3536 y 5083 ppm de NO_3^- , respectivamente.



Figura 9. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) sobre la concentración de NO_3^- en el extracto celular del peciolo y su relación en el rendimiento.

Concentración de Ca⁺⁺ en el extracto celular del peciolo

En la Figura 10 se muestra el comportamiento del Ca⁺⁺ y su relación con el rendimiento; se puede observar que con la solución nutritiva al 75%CTE la concentración de Ca⁺⁺ sigue una misma tendencia ya que cuando el Ca⁺⁺ en el peciolo aumenta el rendimiento también tiende a aumentar. A los 100 días después de la siembra se realizó el tercer análisis del ECP en el cual se reportó la máxima concentración del Ca⁺⁺, lo cual como consecuencia causó que el rendimiento haya aumentado; después de ese pico de concentración de Ca⁺⁺, en el cuarto monitoreo realizado a los 107 días después de la siembra se reporta la concentración más baja Ca⁺⁺ pero sin afectar el rendimiento ya que este continuó en aumento. Lo anterior implica que las plantas fueron más eficientes y por tal razón se diluye el Ca⁺⁺ y lo aprovecha mejor, concentrándose una menor cantidad en el peciolo. Con la solución nutritiva al 75%MOD se muestra un comportamiento similar al de la solución nutritiva al 75%CTE con la desventaja de que el rendimiento disminuye, lo que indica que en este grado de concentración de Ca⁺⁺ es mejor utilizar la solución nutritiva CTE.

Con la solución nutritiva concentrada al 100%, se observó una disminución del Ca⁺⁺ en el peciolo en el segundo monitoreo realizado a los 88 días después de la siembra, en consecuencia, el rendimiento se vio afectado. Por el contrario, con la solución nutritiva al 100%MOD mostró una concentración más alta de este ion, elevando así el rendimiento, lo mismo ocurrió en el cuarto monitoreo donde se encuentra la máxima concentración de Ca⁺⁺ y el rendimiento sigue aumentando en los tratamientos con solución nutritiva al 100%MOD. Podemos concluir que cuando se utilice la solución nutritiva al 100% lo mejor es hacer monitoreo nutrimental y ajustar a los días después de la siembra o a la etapa en etapa fenológica en la que se encuentra el cultivo, de esta manera se tendrán los mayores rendimientos haciendo uso eficiente de los fertilizantes a base de Ca⁺⁺.

Cuando se utilizó la solución nutritiva al 125% se observó un incremento importante, el cual se refleja en el cuarto muestreo a los 100 días después de la siembra en la que la solución nutritiva al 125%CTE la concentración en el peciolo fue de 69 ppm mientras que la los tratamientos con la solución nutritiva al 125%MOD mostraron

una concentración de 87 ppm. A pesar de esta notable diferencia el rendimiento se mostró similar en ambas soluciones nutritivas, por lo tanto, se recomienda utilizar la solución nutritiva al 125% sin monitorear y ajustar la solución nutritiva de esta manera.

Según Noh-Medina et al. (2010), el estado nutrimental de las plantas puede conocerse a través del análisis en tejido seco o del ECP. El primero es el más utilizado, sin embargo, el segundo es más rápido, permitiendo tomar decisiones con prontitud. En Chile habanero se desconoce si entre las dos formas analíticas existe relación alguna. Por tanto, el objetivo del estudio de Noh-Medina et al. (2010) fue conocer la posible correspondencia entre ambas formas analíticas. Los resultados mostraron una alta correlación en la biomasa y el extracto celular en nutrientes móviles en la planta (N, P y K) y los de movilidad intermedia (Zn), mientras que la correlación fue menor en nutrientes de baja movilidad (Ca^{++} y Mn). Para el Ca^{++} existe la posibilidad de que dada su movilidad limitada en la planta estos no son translocados de las hojas maduras a los sitios demandantes, como son ápices de crecimiento, raíz y frutos, y a ello se debe los valores bajos del coeficiente de correlación en la relación lineal entre el tejido y el ECP.

Saravia (2004) determinó las cantidades precisas de nutrientes absorbidas en cada etapa fenológica del cultivo, en donde para el caso del Ca^{++} se muestra una curva de absorción bajo condiciones de invernadero. La absorción de Ca^{++} se empezó a incrementar en la etapa de crecimiento y floración, pero su máxima absorción la tiene en la etapa de cosecha, presentando su mayor concentración en la etapa final de maduración. Se considera que esto es debido al alto contenido de nutrientes que se presenta en el fruto en esta etapa. Durante el estudio la planta absorbió 155 kg/ha de Ca^{++} hasta el día 110 después de siembra.

Guajardo (2017) experimentó con tres niveles de Ca^{++} y Mg^{++} probando ambos en invernadero y casa sombra; el autor señala que no encontró significancia estadística, lo que indica que independientemente de la dosis de Ca^{++} y Mg^{++} , el rendimiento de frutos será similar. Cruz (2023) reporta que en su experimento la solución nutritiva al 75% promovió la mayoría de las variables como es el fruto y su

calidad, sin embargo, el aumento estuvo asociado con una reducción en la concentración de NO_3^- , K^+ y Ca^{++} en el ECP.

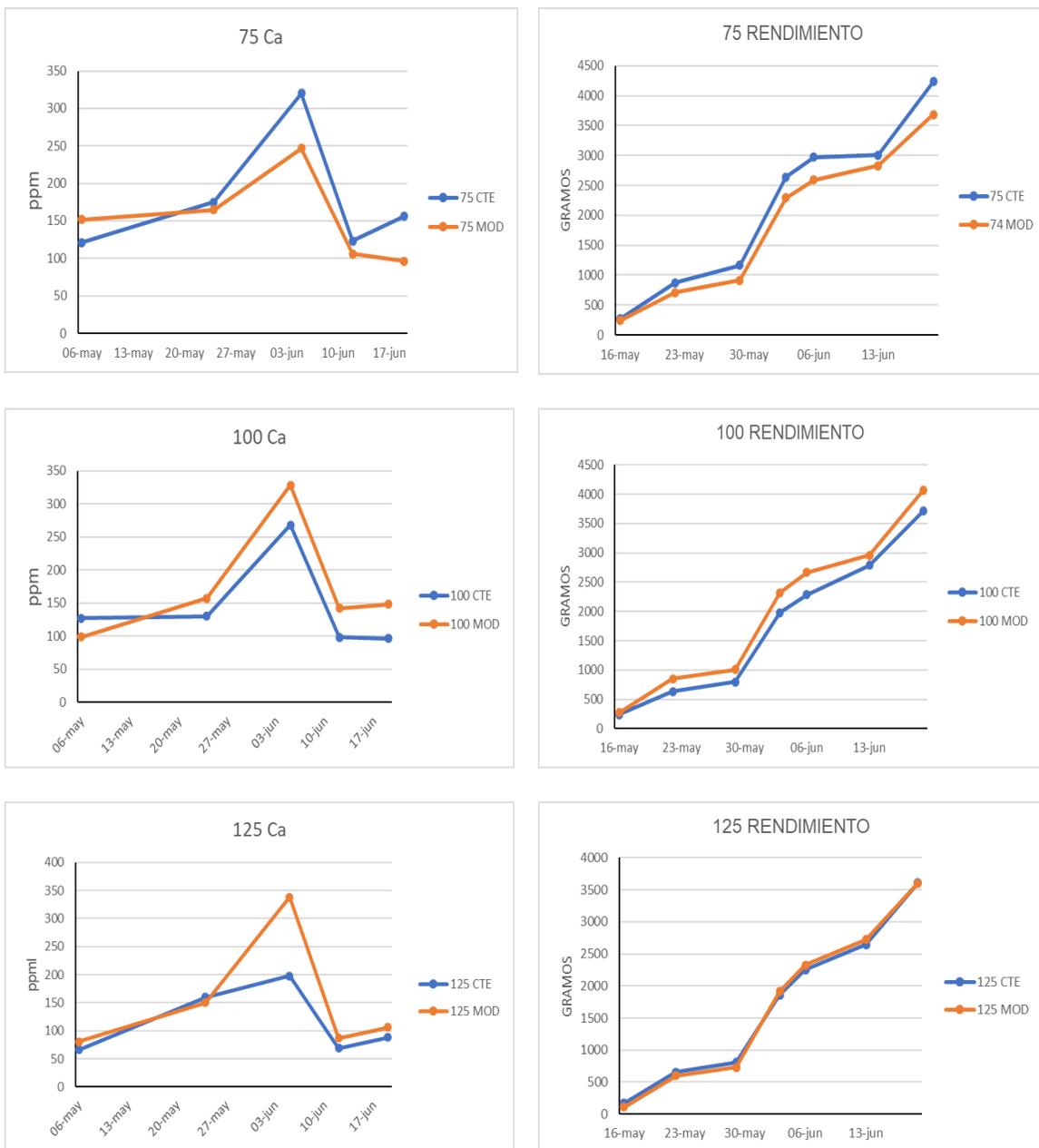


Figura 10. Efecto de la aplicación de solución nutritiva en diferentes concentraciones en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en la concentración de Ca^{++} en el extracto celular del peciolo y su relación con el rendimiento.

Contenido de NO₃⁻ en el peciolo con relación al rendimiento acumulado

En este trabajo de investigación se determinaron los niveles de referencia para el ion NO₃⁻ contenido en el ECP de las hojas de pepino, observando en donde se mostró el mayor rendimiento acumulado relacionándolo con el contenido de NO₃⁻ en el peciolo. De acuerdo a la Figura 11, para el corte 1, los mayores rendimientos se muestran con la solución nutritiva al 100%MOD cuando las lecturas del ECP reportó 5817 ppm de NO₃⁻ por efecto un rendimiento acumulado de 276 g/planta, en el caso donde se aplicó la solución nutritiva al 100%CTE el ECP reportó 6850 ppm de NO₃⁻ con su respectivo rendimiento acumulado de 241 g/planta. La concentración de NO₃⁻ en el ECP se encuentra una diferencia de 1033 ppm de NO₃⁻, cantidad menor a cuando se hizo uso de la solución nutritiva al 100%MOD que la solución nutritiva al 100%CTE, por lo tanto, el rango óptimo es de 5800-5820 ppm de NO₃⁻, de esta manera obtenemos los mejores rendimientos haciendo usos eficientes de los fertilizantes y reduciendo costos de producción.

Para el segundo muestreo el mayor rendimiento se presentó cuando se emplearon las soluciones CTE y MOD, correspondiendo una concentración de NO₃⁻ de 2800 a 3000 ppm (Figura 12). En el caso del tercer muestreo (Figura 13) con el uso de soluciones CTE y MOD, el mayor rendimiento fue cuando el ECP contenía alrededor de 6500 ppm de NO₃⁻. En el caso de cuarto muestreo (Figura 14), en el caso de las soluciones MOD, la concentración de NO₃⁻ de 7000 ppm estuvieron asociadas con el mayor rendimiento, en tanto que con soluciones CTE no existe una diferencia muy marcada. En el quinto muestreo no se observa una tendencia clara (Figura 15).

Hochmuth (2015) menciona que el N se requiere en grandes cantidades. En su estudio propone los siguientes niveles de referencia para el cultivo de tomate: en el segundo racimo 1000-1200 ppm de NO₃⁻, en el quinto racimo 800-1000 ppm NO₃⁻ y 700-900 ppm de NO₃⁻ en cosechas. Él mencionado autor también señala que los NO₃⁻ en la savia se reducen durante el cultivo. Peña-Fleitas (2016) indica valores óptimos de referencia de NO₃⁻ en savia para Almería para el cultivo de tomate y recomienda de 1000-1200 ppm, para melón 1100-1300 ppm.

Los valores recomendados varían entre especies y con la etapa de crecimiento, por lo tanto, se recomienda consultar las fuentes de referencia más relevantes. Las concentraciones de NO_3^- en savia son mucho mayores que en la solución del suelo o en soluciones nutritivas; el rango de suficiencia para el tomate es aproximadamente 40-60 mmol/L de NO_3^- (Thompson et al., 2016).

La absorción de nutrientes está relacionada con la acumulación de materia seca, a mayor acumulación de ésta, se incrementa la absorción de elementos nutritivos. En el cultivo de sandía cv. Mickeylee, la absorción de N mostró el máximo pico de absorción total de N, la cual se dio durante las etapas de floración y llenado de frutos (40-51 días después de la siembra). Este elemento tiene una gran influencia fisiológica en estas etapas, en donde una deficiencia puede afectar el rendimiento de frutos. Posteriormente la absorción de N decrece rápidamente una vez que los frutos de sandía han alcanzado la madurez fisiológica, por lo tanto, no se justifican fertilizaciones después de esta época, como lo apuntan Vega y Salas (2012).

Las concentraciones de NO_3^- encontradas en el ECP en chile habanero en tres fechas evaluadas ($\approx 210-725$ ppm) resultaron ser muy inferiores a las encontradas por otros autores para otro tipo de chiles como el pimiento Bell, donde identificaron valores mayores a los 5000 ppm de NO_3^- en ECP cultivado en el estado de California USA, de ahí la importancia de generar investigación para cada cultivo y condiciones edafoclimáticas en particular (Núñez-Ramírez et al., 2020).

Berrueta et al. (2021) proponen valores de referencia de NO_3^- en jugo de peciolo de las hojas de tomate según el estado fenológico del cultivo; de 2 a 3 racimos por planta recomienda 4500 ppm, 5 racimos por planta 3500 ppm, 7 racimos por planta 2500 ppm, maduración del primer racimo 2000 ppm. Estos niveles de NO_3^- determinados en diferentes estados fenológicos, pueden considerarse como valores de referencia en el cultivo de tomate, para la obtención de buenos rendimientos en los ciclos de primavera y de otoño en nuestro país.

Bodal et al. (2012) la Comisión de Fresa de California reevaluaron los rangos de suficiencia de nutrientes de hoja y de peciolo. Los datos de este estudio sugieren que mantener NO_3^- de peciolo arriba de 1000 ppm antes del comienzo de cosecha

y arriba de 400 ppm durante el pico de la cosecha sea adecuado a mantener productividad alta.

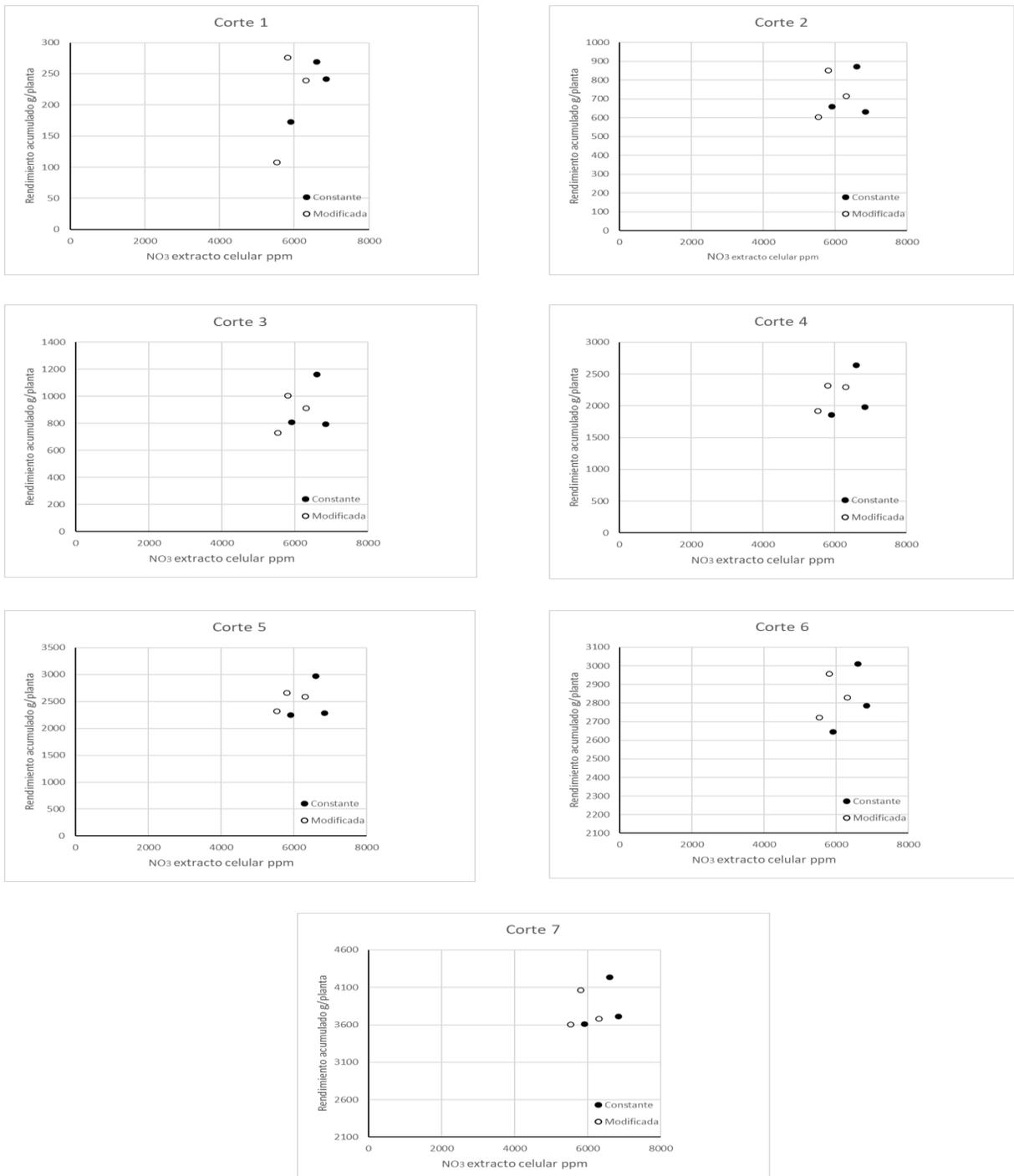


Figura 11. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Primer muestreo.

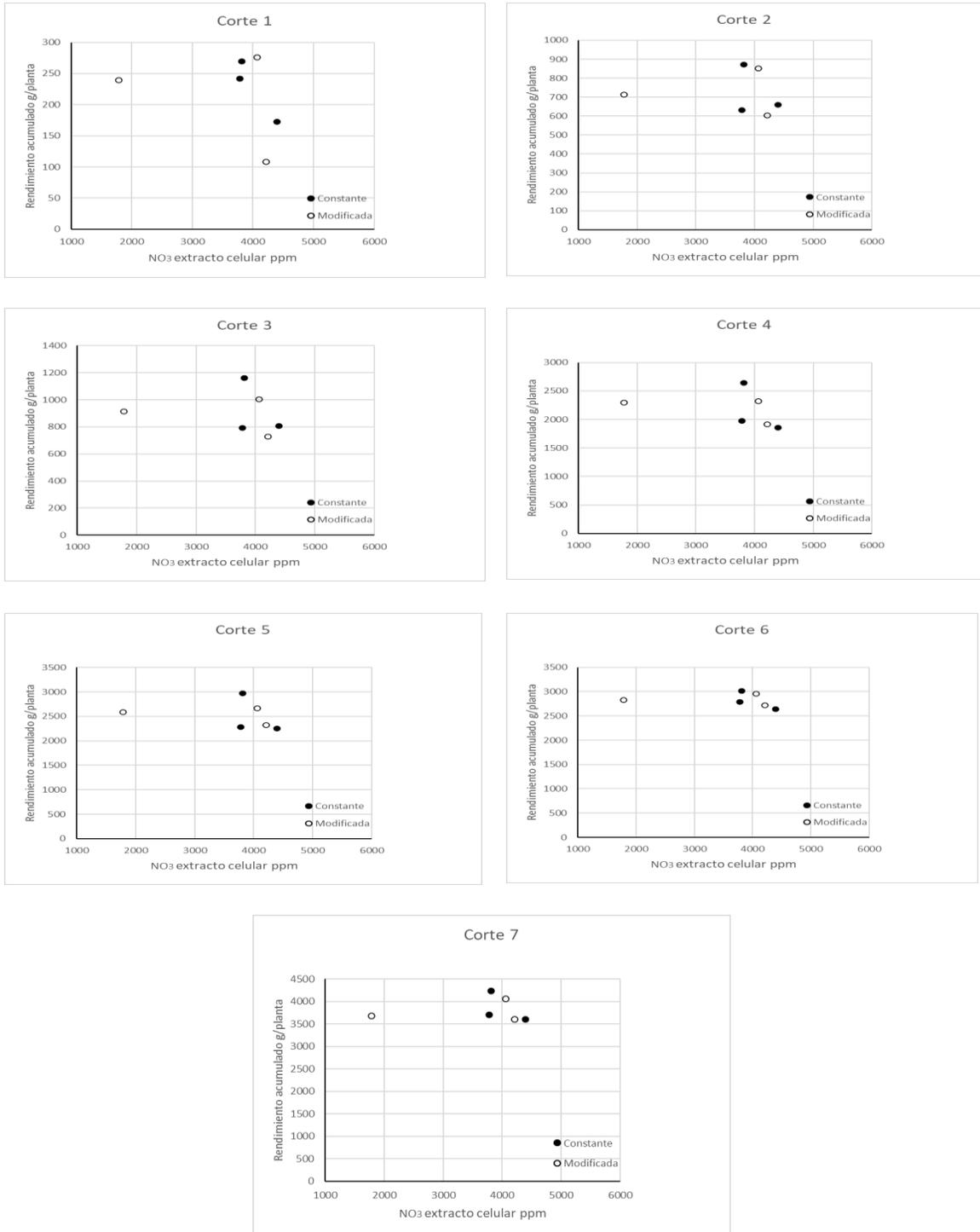


Figura 12. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Segundo muestreo.

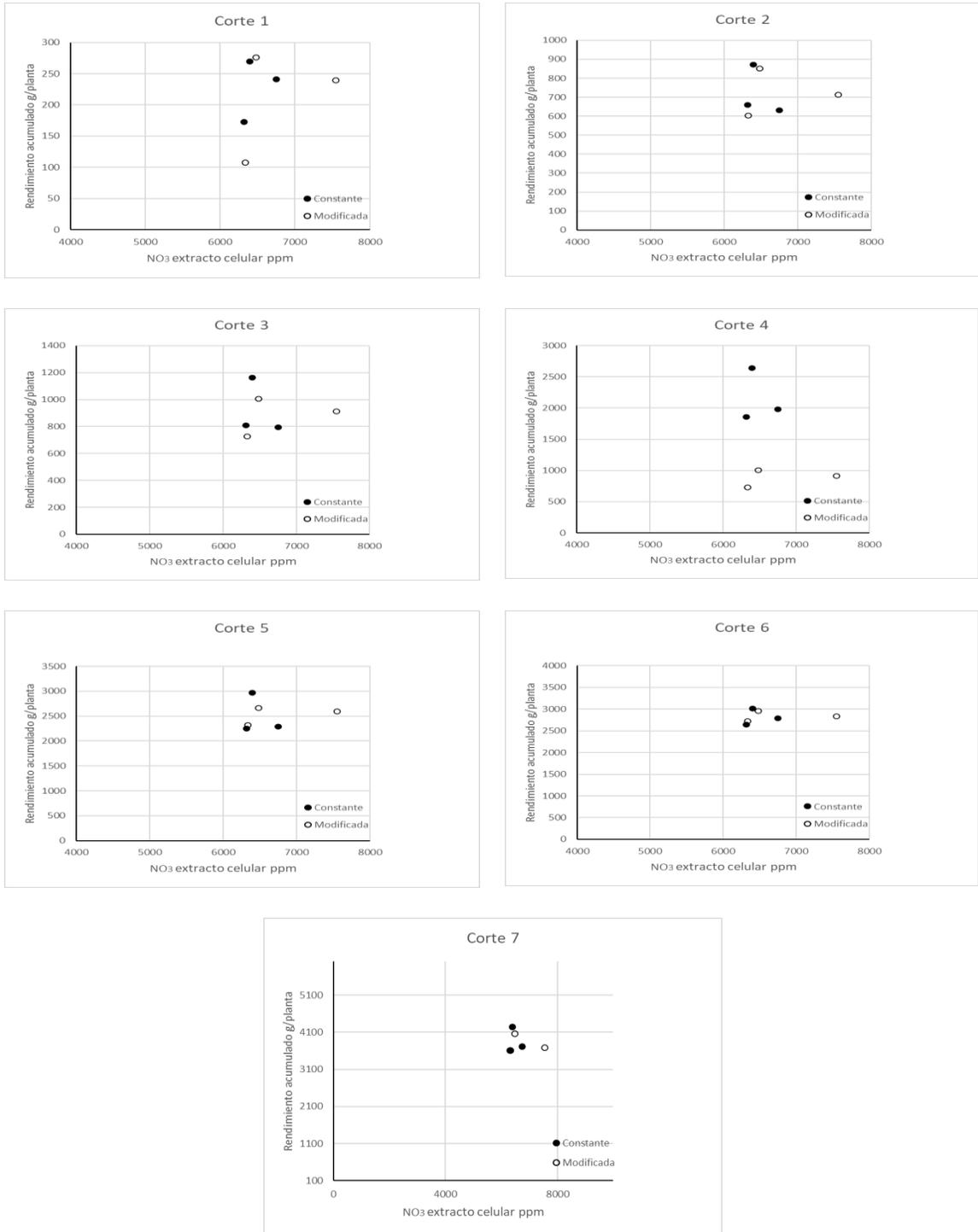


Figura 13. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Tercer muestreo.

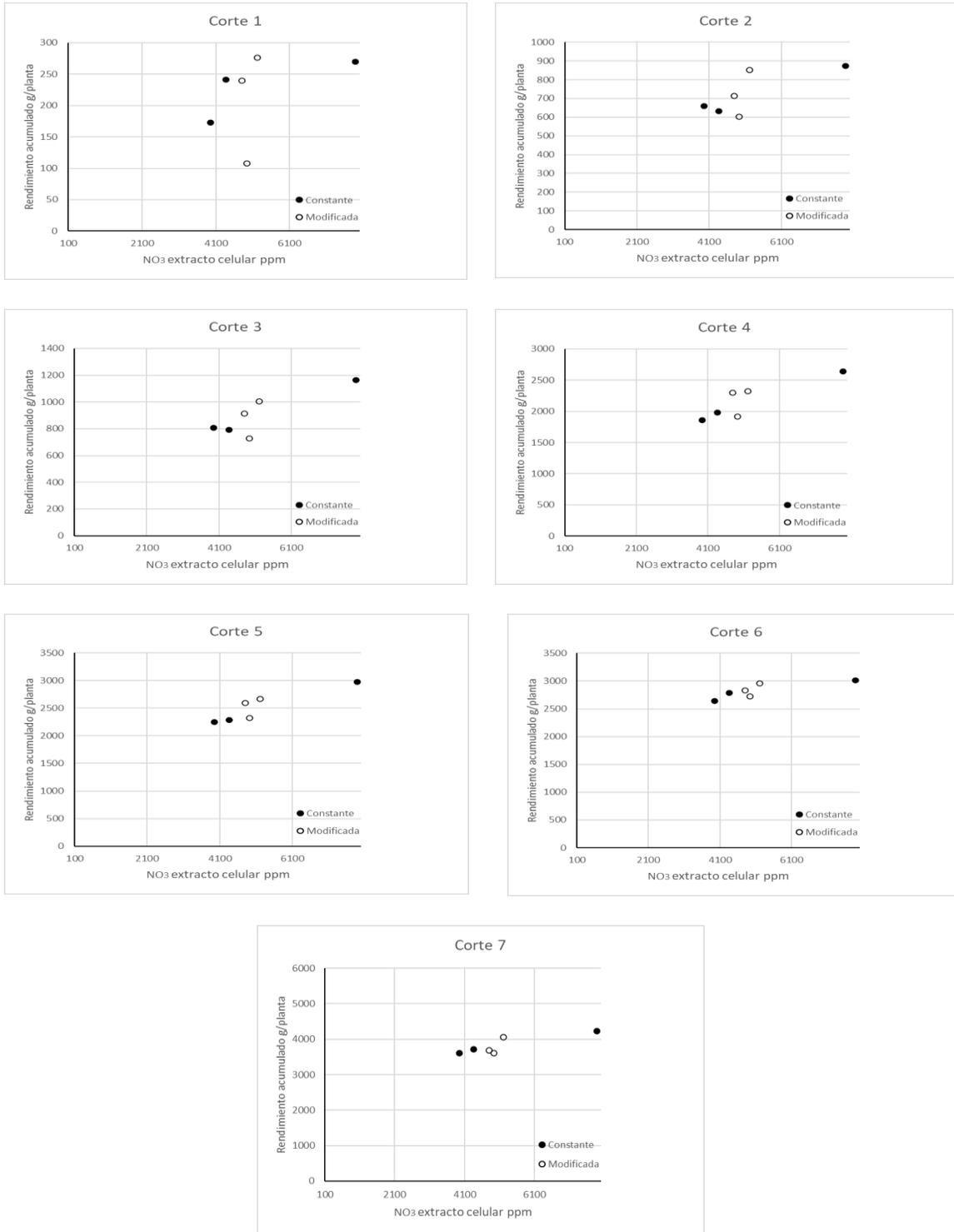


Figura 14. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Cuarto muestreo.

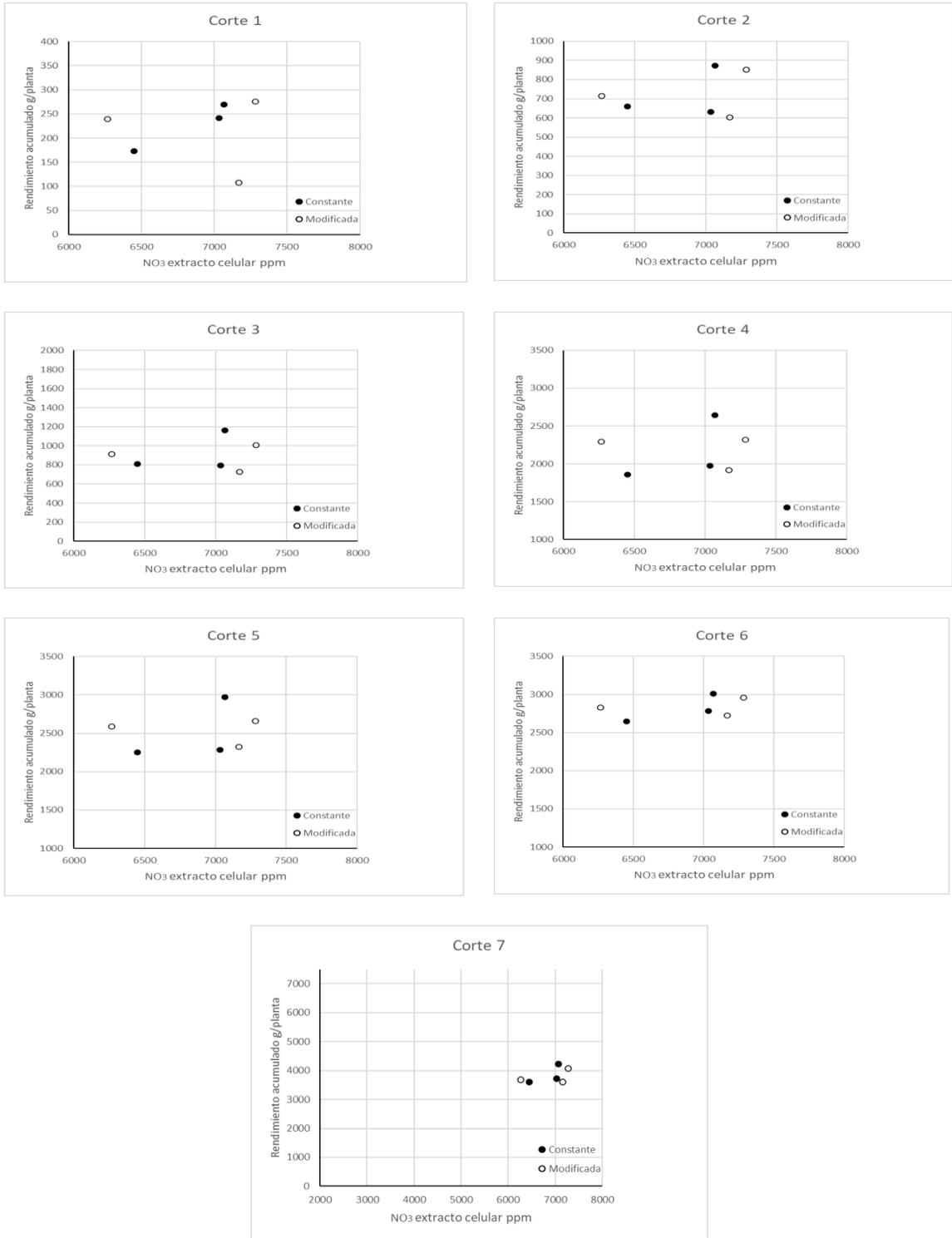


Figura 15. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de NO₃⁻ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Quinto muestreo.

Contenido de Ca⁺⁺ en el peciolo con relación al rendimiento acumulado

Se determinó el nivel de referencia para el ion Ca⁺⁺ contenido en el ECP de las hojas de pepino, esperando tener el mayor rendimiento con el menor contenido del ion Ca⁺⁺ en el ECP con la finalidad de ser amigables con el medioambiente y ser eficientes en el manejo de la nutrición del cultivo de pepino. Con base a lo anterior el valor óptimo se da con la solución nutritiva al 100%MOD reportando 100 ppm en el ECP siendo este el valor adecuado porque cumple con los propósitos los resultados se muestran en la Figura 16, mientras que para el segundo corte no hay una tendencia clara (Figura 17) y esta es de 310 ppm de Ca⁺⁺ para el tercer muestreo (Figura 18) y de y 110-150 ppm de Ca⁺⁺ para el cuarto (Figura 19) y quinto muestreo (Figura 20).

Hochmuth et al. (2012) afirman que para la mayoría de los cultivos y para muchos nutrientes, se deben tomar muestras de hojas maduras y fisiológicamente activas. La excepción a esta regla es el análisis de Ca⁺⁺, que es relativamente inmóvil en la planta. Por lo tanto, un análisis de las hojas maduras en este caso puede no revelar la deficiencia de Ca⁺⁺ en las hojas más jóvenes. Cuando se sospecha una deficiencia de nutrientes de esta naturaleza, se necesita para el análisis tejido de hojas jóvenes, no completamente expandidas.

Pereira et al. (2011) en su experimento en diferentes sistemas de producción vegetal encontró que uno de los órganos más demandantes de Ca⁺⁺ fueron las hojas, absorbiendo el 1% en la etapa vegetativa, 5% en la etapa de floración y un 94% en la etapa de fructificación y cosecha.

Berrueta et al. (2021) menciona que no hay un valor fijo de suficiencia para cada nutriente, sino que depende de la etapa fenológica en la cual se mida, para el cultivo de tomate se determinaron los valores de referencia para el Ca⁺⁺, de 2 a 3 racimos por planta se recomiendan de 240 ppm, 5 racimos por planta 150 ppm, 7 racimos por planta 125 ppm, maduración del primer racimo 120 ppm.

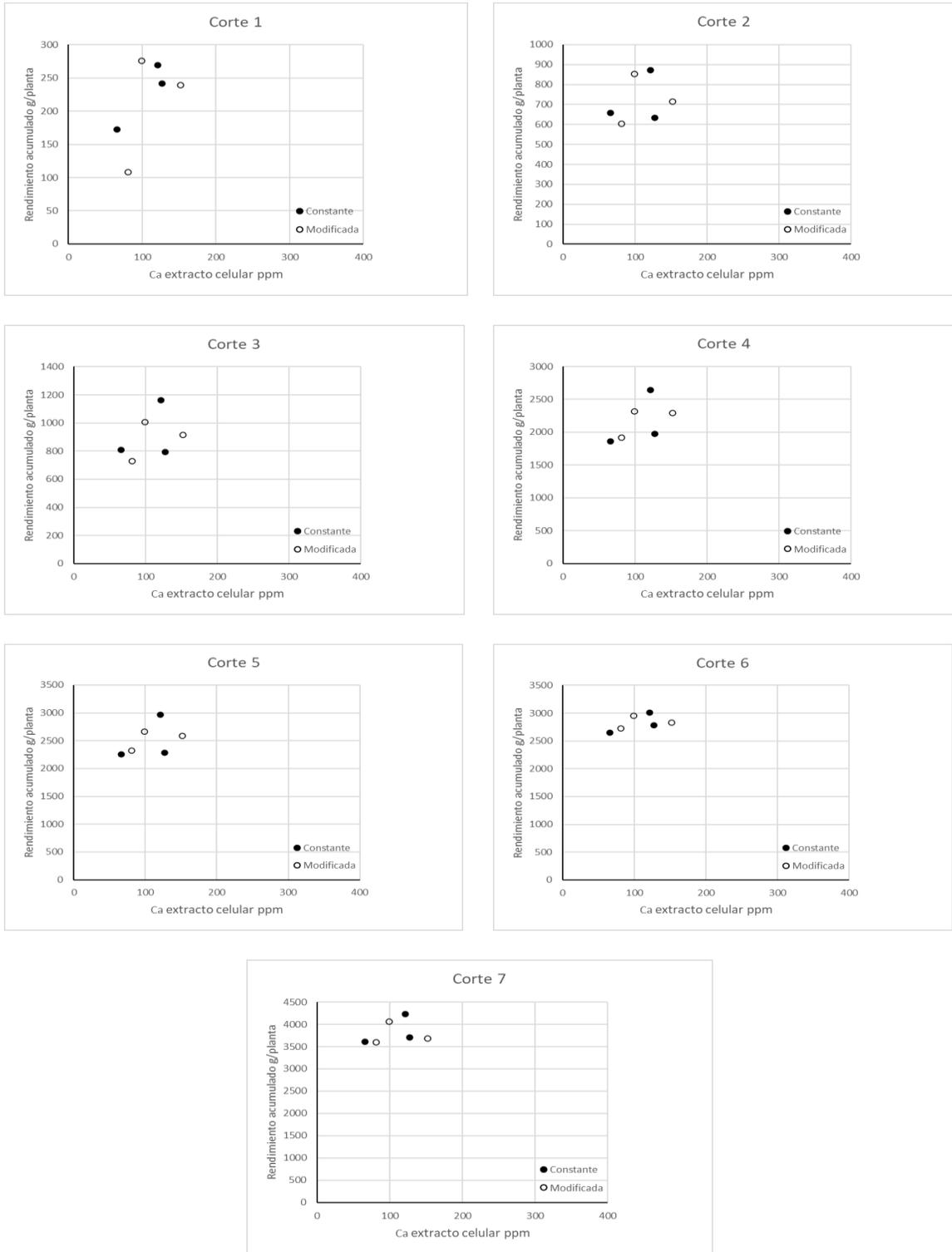


Figura 16. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de Ca^{++} en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Primer muestreo.

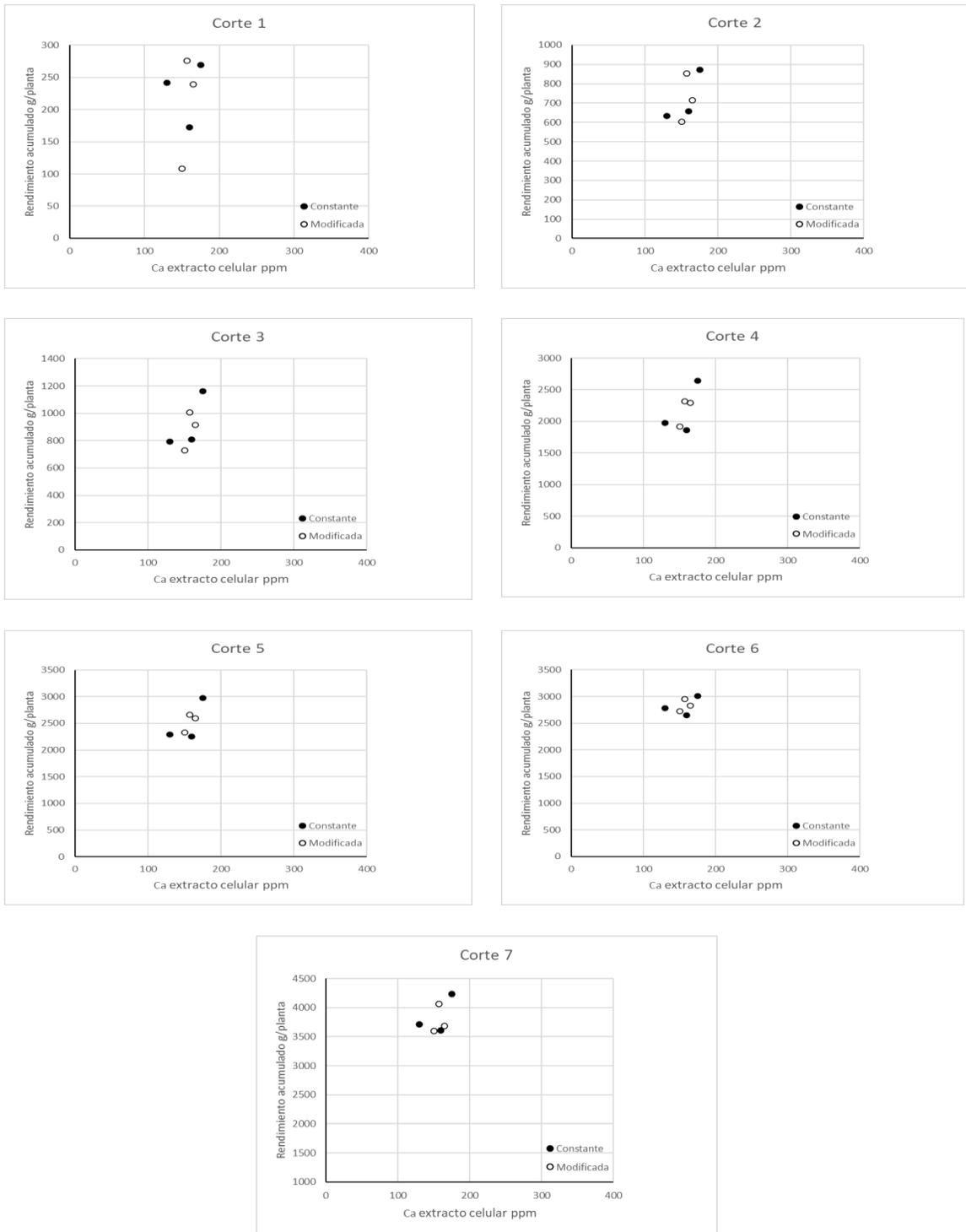


Figura 17. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de Ca^{++} en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Segundo muestreo.

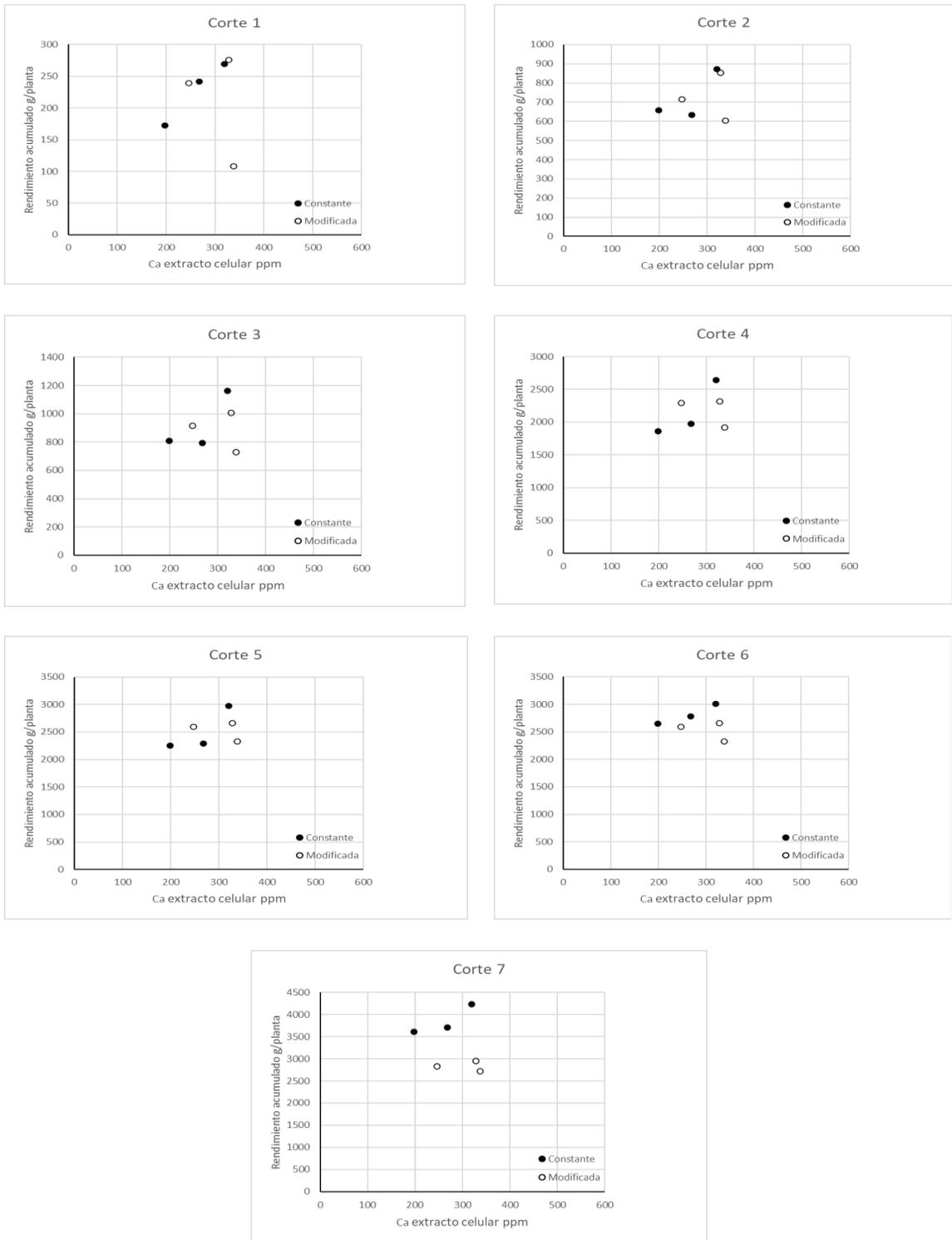


Figura 18. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de Ca^{++} en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Tercer muestreo.

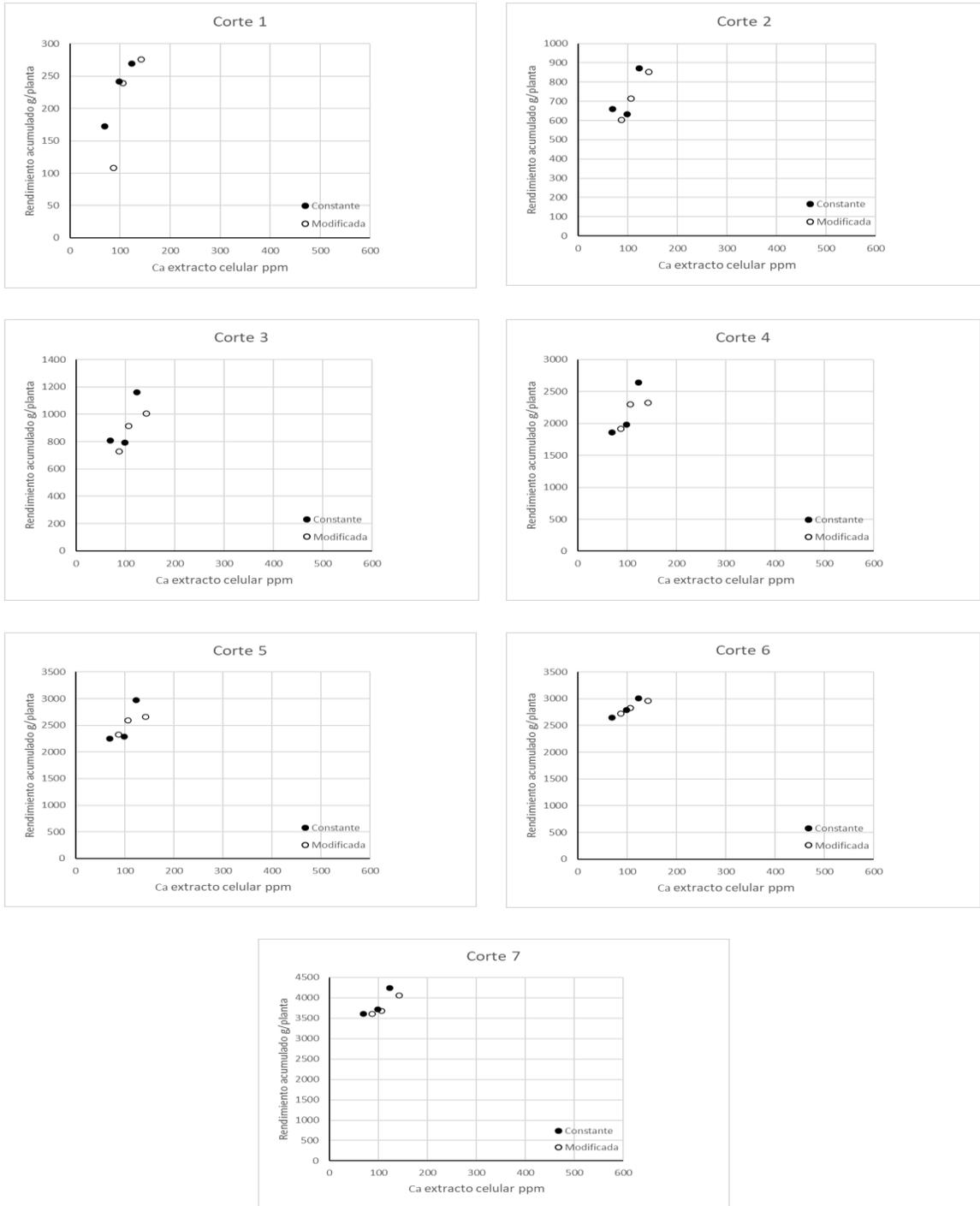


Figura 19. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de Ca⁺⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Cuarto muestreo.

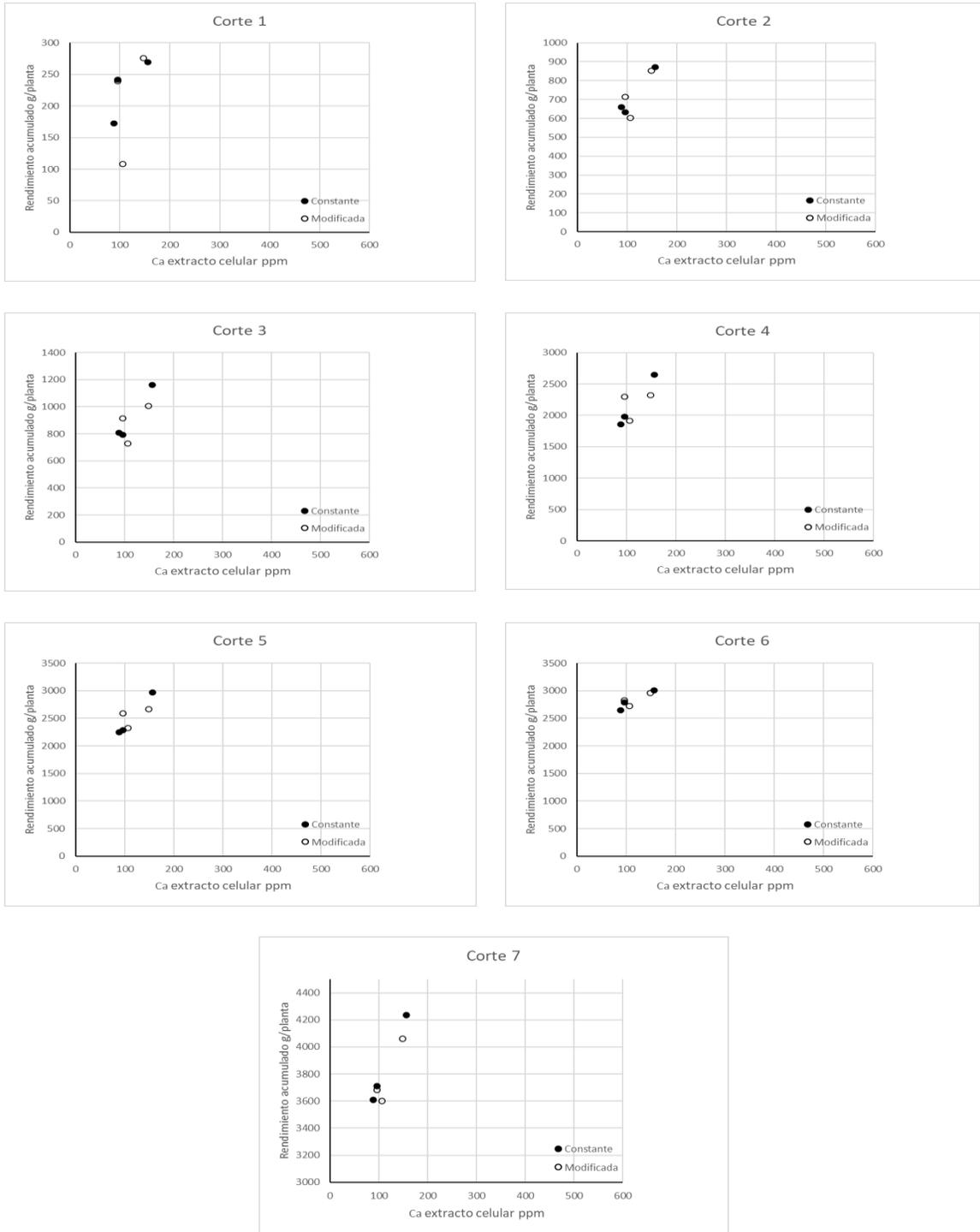


Figura 20. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto en diferentes cortes y la concentración de Ca^{++} en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Quinto muestreo.

V. CONCLUSIONES

En general, no se observaron efectos marcados sobre el rendimiento, calidad ni el crecimiento de las plantas de pepino tratadas con soluciones nutritivas de diferente concentración aplicadas de manera constante o bien modificada de acuerdo a las mediciones realizadas en el extracto celular del peciolo. Esto sugiere que el ajuste de la concentración de la solución nutritiva es una opción viable que permite modificar el aporte de nutrientes sin afectar el rendimiento ni la calidad de los frutos.

La concentración óptima de NO_3^- varió en función del número de cosecha de frutos; para el primer corte, el mayor rendimiento se obtuvo con 5817 ppm de NO_3^- con la que se obtuvo 276 g/planta; para el segundo muestreo el mayor rendimiento se presentó cuando la concentración de NO_3^- fue de 2800 a 3000 ppm, mientras que para el tercer muestreo con 6500 ppm. En el cuarto muestreo la concentración de NO_3^- óptima fue de 7000 ppm en tanto que en el quinto muestreo no se observó una tendencia clara. El valor óptimo para el Ca^{++} se dio con 100 ppm en el extracto celular del peciolo mientras que para el segundo corte no hay una tendencia clara; para el tercer muestreo esta fue de 310 ppm de Ca^{++} y de y 110-150 ppm de Ca^{++} para el cuarto y quinto muestreo.

VI. LITERATURA CITADA

Álava, E. (2021). Alternativas Tecnológicas para el incremento de la producción en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) Yaguachi-Guayas. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador. 67 p.

Anjanappa, M., Venkatesha, J., y Kumara, B. S. (2012). Atributos de crecimiento, rendimiento y calidad del pepino, influenciados por el manejo integrado de nutrientes cultivados en condiciones protegidas. *Ciencia Vegetal*, 39 (1), 47-50.

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.

Bojacá, C., Casilimas, H., Monsalve, O., Gil, R., Villagrán, E., Arias, L. A., y Fuentes, L. S. (2012). Manual de producción de pepino bajo invernadero. Editorial Tadeo Lozano. 196 p.

Bravo, B. P. J., Zambrano, J. F., Párraga, L. E., y Rivera, R. D. (2011). Influencia de la densidad de siembra y la poda en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). *EspamCiencia*. 2 (2). 50-53.

Bres, W. A., Komosa A. G., y Kozik, J. and Roszyk, T. W. (1991) Nitrate and nitrite contents in vegetables from markets in Poznan. *Prace-z-Zakresu-Nauk-Rolniczych*. 71, 3-9.

Brizuela-Amador. P., Alcántar-González, G., Sánchez-García, P., Tijerina-Chávez, L., Castellanos-Ramos, J. Z., y Maldonado-Torres, R. (2005). Nitratos en soluciones nutritivas en el extracto celular de pecíolo de chile. *Terra Latinoamericana*, 23(4), 469-476.

Callizaya, S. (2015). Efecto de la aplicación de biol sobre el comportamiento productivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de carpa solar. Tesina de grado. Universidad Mayor de San Andrés. 58 p.

Calpulalpan, S. E. (2023). Aplicación de nano partículas de zinc ferrita en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 50 p.

Cardona, B. (2015). Efecto del potasio sobre la calidad y el rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) desarrollo en un sistema hidropónico. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 79 p.

Cardona, W. A. (2017). Requerimientos nutricionales (nitrógeno, fósforo, potasio y calcio) en etapa vegetativa y reproductiva de un cultivo de mora (*Rubus glaucus Benth.*), ubicado en el municipio de Sylvania (Cundinamarca). Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. 431 p.

Castellanos, J. Z. (1999). Nutrición de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. Informaciones Agronómicas. INPOFOS, 35, 5-11.

Castellanos, J. Z. (2009). Manual de producción de tomate en invernadero. Editorial INTAGRI. México. 132-133. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/monitoreo-nutritional-de-cultivos-bajo-invernadero>

Cedillo, E. (2016). Desarrollo e innovación tecnológica de un sistema de producción intensiva e inteligente en agricultura protegida como herramienta de apoyo a la enseñanza. Proyecto PAPIME. Repositorio de Innovación Educativa.

Cedillo, P. E., Castro, C. P., Arontes, B. J., Contreras, F. E., Rivera, A. Z., y Martínez, L. P. (2018). Manual de producción de pepino en bolis de fibra de coco en invernadero. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón. 15 p.

Cedillo, E. (2016). Desarrollo e innovación tecnológica de un sistema de producción intensiva e inteligente en agricultura protegida como herramienta de apoyo a la enseñanza. Proyecto PAPIME. Repositorio de Innovación Educativa.

Cruz, J. (2023). Interacción entre el sustrato y la concentración de la solución nutritiva en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 47p.

Cruz-Coronado, J., y Monge, J. (2021). Evaluación de cuatro genotipos de pepino tipo largo cultivados bajo ambiente protegido. *Pensamiento Actual*, 21(36), 6-12.

Díaz, K. N. (2017). Producción de pepino (*Cucumis sativus*. L.) con dos sistemas de tutorado. Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). 60 p.

Díaz-Méndez, H. A., Preciado-Rangel, P., Álvarez-Reyna, V. P., Fortis-Hernández, M., García-Hernández, J. L., y Sánchez-Chávez, E. (2014). Producción orgánica y capacidad antioxidante de frutos de pepino. *ITEA*, volumen 10 (4), 335-342.

Diédhiou, I. (2017). Respuesta del cultivo de pepino (*Cucumis sativus*, L.) a la aplicación de abonos orgánicos en diferentes sistemas de producción. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 100 p.

Dios-Delgado, I., Sandoval-Villa, M., de las Nieves Rodríguez-Mendoza, M., y Cárdenas-Soriano, E. (2006). Aplicaciones foliares de calcio y silicio en la incidencia de mildiu en lechuga. *Terra Latinoamericana*, 24 (1), 91-98.

EPPO Global Database. (1996). *Cucumis sativus* L. (CUMSA). [Htt://gd.eppo.int/taxon/CUMSA](http://gd.eppo.int/taxon/CUMSA). Fecha de consulta: 26 de enero, 2024.

Estrada, D. D. J. (2021). Manejo de la nutrición completa suplementada con humatos, considerando densidad de población en pepino. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 77 p.

Flores, E., y Jazmín, G. (2017). Análisis económico de la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) Híbrido Thunder en el centro de prácticas Manglaralto provincia de Santa Elena. Tesis de licenciatura. Universidad Estatal Península de Santa Elena. 62 p.

Flores-Bernal, E. F., Sandoval-Villa, M., Guzmán-Martínez, M., Rodríguez, M. E., Vázquez-Villamar, M., y López, J. E. S. (2021). Estado nutrimental en el extracto celular de pecíolo y hojas de genotipos de Jamaica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), 24.

Gómez, V. B. (2014). El calcio y su asimilación por parte de las plantas. *Cannabis Magazine: La revista de los profesionales y amantes del cáñamo*, (125), 58-63.

González, L. G., Jiménez, M. C., Castillo, D., Paz, I., Cambara, A. Y. y Falcón R, A. (2018). Respuesta agronómica del pepino a la aplicación de QuitoMax en condiciones de organoponía. *Centro Agrícola*, 45(3), 27-31. Recuperado en 15 de enero de 2024.

Guajardo P, I. (2017). Efecto de la relación calcio-magnesio en la producción y calidad de pepino en invernadero y malla sombra. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 58 p.

Hernández, E. (2021). Efecto de la humedad relativa en interacción con la concentración de la solución nutritiva sobre el rendimiento y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 66 p.

Hernández, J. A. (2020). Evaluación de la calidad morfológica de pepinos cultivados en invernadero realizando dos tipos de aclareo de frutos. Trabajo Técnico-Experimental. Universidad de Almería. 49 p.

Hernández, R. (2022). Influencia de la concentración de la solución nutritiva y la humedad relativa en el rendimiento y crecimiento de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 63 p.

Hochmuth, G. (2015). Plant petiole sap-testing for vegetable crops. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/cv004>

Hochmuth, G., y Kinslow, M. P. (2020). Monitoreo de la savia del peciolo de vegetales: CIR1144s/HS1368, 4/2020. EDIS, 2020(4).

Intagri. (2017a). El análisis foliar y el dris. Serie Nutrición Vegetal Núm. 98. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.

Intagri. (2017b). Guía de fertilizantes nitrogenados para cultivos. Serie Nutrición Vegetal Núm. 106. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 8 p.

Intagri. (2020). Extracto celular de peciolo: herramienta de diagnóstico del estado nutrimental del cultivo. Serie Nutrición Vegetal, Núm. 143. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.

Intagri. (2021). Tipos de pepino cultivados bajo invernadero. Serie Horticultura Protegida, Núm. 41. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.

Janeiro, R. (2014). Análisis químico del extracto celular de peciolo en fresa mediante laboratorios portátiles. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. 58 p.

Leyva-Ruelas, G., Sánchez-García, P., Alcántar-González, G., Valenzuela-Ureta, J. G., Gavi-Reyes, F., y Martínez-Garza, Á. (2005). Contenido de nitratos en extractos celulares de peciolos y frutos de tomate. Revista Fitotecnia Mexicana, 28 (2), 145-145.

Litardo, J. N. C. (2022). Respuesta productiva del pepino (*cucumis sativus* L.) a la aplicación de tres bioestimulantes. Tesis de licenciatura. Universidad Agraria del Ecuador. 49 p.

López, M. (2009). Horticultura Revista ESSO, publicada en octubre. México - México.: 1era edición. Editorial Trillas.

López-Elías, J., Rodríguez, J. C., Huez, M. A., Garza, S., Jiménez, J., y Leyva, E. I. (2011). Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. Idesia (Arica), 29 (2), 21-27.

Galicia, E. A. (2020). Efecto de la concentración de la solución nutritiva, poda, tipo y volumen de sustratos en el rendimiento y calidad de tomate cherry determinado (*Solanum lycopersicum* cv. *cerasiforme*). Montecillo, Texcoco, Estado de México. Tesis Maestría. 37 p.

Maathuis, F. J. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. Current Opinion in Plant Biology 12: 250-258.

Marcano, C., Acevedo, I., Contreras, J., Odalis, J. Escalona, A., y Pérez, P. (2012). Crecimiento y desarrollo del cultivo pepino (*Cucumis sativus* L.) en la zona

hortícola de Humocaro bajo, estado Lara, Venezuela. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3(8), 1629-1636.

Maroto, J. (2011). HortiCultura Herbácea. Madrid - España.: 3era edición. Ediciones Mundiprensa.

Masaquiza, 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. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. 96 p.

Mendoza, C., y Hernández, B. (2023). Fitohormonas óptimo desarrollo y crecimiento de pepino. Technical Report.DOI: 10.13140/RG.2.2.20168.70408.

Meza, D. A. (2023). Requerimiento hídrico del pepino híbrido Diamante F1 y Marketmore 76 (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria La Molina. 106 p.

Moreno, F., y Patricia, L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. Agronomía colombiana, 27 (2), 179-191.

Moreno-Reséndez, A., Reyes-Carrillo, J. L., Preciado-Rangel, P., Ramírez-Aragón, M. G., y Moncayo-Luján, M. D. R. (2019). Desarrollo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) con diferentes fuentes de fertilización bajo condiciones de invernadero. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, volumen 6(16),145-151.

Noh-Medina, J., Borges-Gómez, L., y Soria-Fregoso, M. (2010). Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tropical and Subtropical Agroecosystems, 12(2), 219-228.

Noriega, J. L. (2014). Efecto de la concentración de la solución nutritiva, frecuencia de riego y volumen de sustrato en la producción de pepino. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Chapingo. 112 p.

Olalde, G., Mastache, L., Carreño, R., Martínez, S., y Ramírez, M. (2014). El sistema de tutorado y poda sobre el rendimiento de pepino en ambiente protegido. Revista Interciencia, 39 (10), 722-717.

Olin, J. O. (2021). El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), en condiciones de cielo abierto e invernadero. Tesina. Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Ciencias Agrícolas. 103 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO). FAOSTAT (2023). <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/> (Fecha de consulta: 17 de enero, 2024).

Padilla, K. C., y Pérez, J. E. M. (2017). Rendimiento y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado bajo invernadero. Pensamiento Actual, 17(29), 39-50.

Peña-Fleitas, M. T. (2016). Medida del estado nutritivo del cultivo por análisis de savia. Jornada de Sistemas de ayuda al manejo o seguimiento de la fertirrigación en los cultivos. Universidad de Almería. 19 p.

Piña, G. (2021). Rentabilidad de pepino persa (*Cucumis sativus* L.) en invernadero en los estados de Morelos, Guerrero y Estado de México, 2020. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. 68 p.

Pratt, L. (2019). Agricultura protegida en México: elaboración de la metodología para el primer bono de verde agrícola certificado. Nota técnica del BID; 1668.

Ramírez, O., Hernández, J., y González, F. (2020). Análisis económico del pepino persa en condiciones de invernadero en Guerrero y Estado de México, 2020. Revista Mexicana de Agronegocios (en línea). 2021, 48, 678-689 [fecha de consulta 15 de enero de 2024]. issn: 1405-9282.

Rebollar-Rebollar, S., Ramírez-Abarca, O., y Hernández-Martínez, J. (2022). Competitividad y valor agregado de pepino persa (*Cucumis sativus* L.) en agricultura por contrato: estudio de caso. Terra Latinoamericana, 40, e952. Publicado 03 de febrero de 2023. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.952>

Rivera, E., Sánchez, M., y Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. Revista de Iniciación Científica, volumen 4, (n. especial), 101-105.

Rodríguez, F. (2010). Manual de Nutrición Vegetal. U.T.A. F.I.A. Ambato. 162p.

Rodríguez-Yzquierdo, G. A., Pradenas-Aguila, H. E., Basso-de-Figuera, C. A., Barrios-García, M., León-Pacheco, R. I., y Pérez-Macias, M. (2020). Efecto de dosis de nitrógeno en la agronomía y fisiología de plantas de maracuyá. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1),117-128.

Saldaña, S. L. (2021). Fertilización de NPK y la influencia en las características agronómicas del pepino (*Cucumis sativus* L.) en el distrito de Yurimaguas. Tesis de licenciatura. Campo Universitario de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana.

Sánchez, G. P. (2009). Manejo integral de la nutrición en el cultivo de cucurbitáceas. [http://www. itson.mx/micrositios/nch/Documents/cucurbitaceas.pdf](http://www.itson.mx/micrositios/nch/Documents/cucurbitaceas.pdf). (20 enero de 2013).

Sandí-Mendoza (2016). Crecimiento, producción y absorción nutricional del cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) con dos soluciones nutritivas en ambiente protegido en la zona de San Carlos, Costa Rica. Tesis de licenciatura. Tecnológico de Costa Rica. 37 p

Saravia, F. M. (2004). Elaboración de curvas de absorción de nutrientes para la variedad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) Alboran bajo condiciones de invernadero en Zamorano, Honduras. Tesis doctoral. Escuela Agrícola Panamericana.

Secretaría de Economía | Gobierno | Gob.mx. (2021). Pepinos y pepinillos, frescos o refrigerados: Intercambio comercial, compras y ventas internacionales, mercado y especialización | Data México (economia.gob.mx).(Fecha de consulta: 19 de enero, 2024).

SIAP, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Panorama agroalimentario.gob.mx. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y>. (fecha de consulta: 22 de enero, 2024).

Silva Torres, J. R. (2015). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L), tutorado y sin tutorar con dos abonos orgánicos. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 144 p.

Soza Álvarez, E. N. (2023). Efecto de combinaciones de sustratos en la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 86 p.

Valenzuela López, M., Partida Ruvalcaba, L., Díaz Valdés, T., Velázquez Alcaraz, T. D. J., Bojórquez Bojórquez, G., y Enciso Osuna, T. (2014). Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5(5), 807-818.

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.

Zárate Aquino, M. A. (2014). Manual de hidroponía, Universidad Nacional Autónoma de México Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Distrito Federal.

Zoppolo, R., y Fasiolo, C. (2016). Análisis foliar en frutales: Herramienta de diagnóstico de alto retorno. Revista INIA, 27-28.

Zurita Castro, S. J. (2016). " Producción del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). aplicando diferentes láminas de riego por goteo bajo invernadero en la finca la María de la UTEQ 2015". Tesis de licenciatura. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 82 p.