

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Relación entre la Concentración de Potasio y Sólidos Solubles Totales en el
Extracto Celular del Peciolo con el Rendimiento y Crecimiento
en Pepino (*Cucumis sativus* L.).

Por:

ARMANDO ALONSO MARTINEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Relación entre la Concentración de Potasio y Sólidos Solubles Totales en el
Extracto Celular del Peciolo con el Rendimiento y Crecimiento
en Pepino (*Cucumis sativus* L.).

Por:

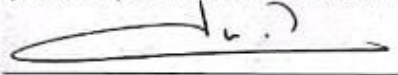
ARMANDO ALONSO MARTINEZ

TESIS

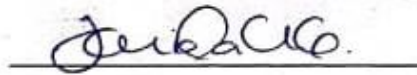
Presentada como requisito parcial para obtener el título

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

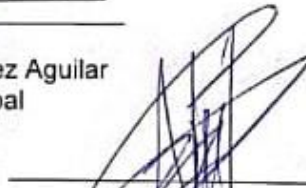
Aprobada por el Comité de Asesoría:



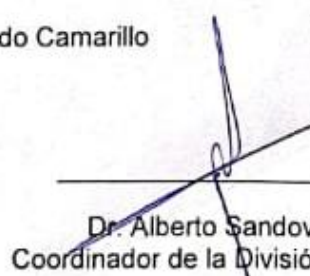
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor



Dr. José Alfredo Hernández Maruri
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 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



Armando Alonso Martinez

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Gracias señor por permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida y acompañarme en cada en cada uno de mis días buenos y malos, permitiéndome alcanzar una meta más en mi vida llena de experiencias y anécdotas que me has dejado vivir, gracias

A Mis Padres

Por su apoyo durante varios años para poder alcanzar mis sueños y ser la gran persona que actualmente soy, por todos aquellos esfuerzos que hicieron día con día para poder estudiar lo que un día de pequeño les conté, por ser mi motivación para esforzarme cada vez más, por todas aquellas conversaciones de inspiración a pesar de la situación, gracias por todo.

A Mis Asesores

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, Dra. Daniela Alvarado Camarillo y Dr. José Alfredo Hernández Maruri les agradezco por brindarme la oportunidad de trabajar con ustedes y compartirme de su sabiduría, conocimiento y experiencia de cada uno de ustedes, hubo días difíciles y días buenos, pero cada día fue de nuevas experiencias y aprendizaje

A Mi Alma Mater

Gracias infinitas a mi Alma Mater que me brindo todas las herramientas necesarias para poder formarme como profesionista, por cada enseñanza y experiencia aprendida y vivida dentro de tus instalaciones, por todas las grandes amistades que conocí, gracias esto no es un adiós sino un hasta pronto

DEDICATORIA

A Mis Padres Antonio Alonso Yáñez y Maura Martínez Anzures

A mis padres que los admiro, quiero y respeto, este gran logro se los dedico a ustedes, por haberme formado desde pequeños con excelentes valores, principalmente querer a la familia y siempre luchar por nuestros sueños y no rendirnos a pesar de las circunstancias, el camino no ha sido fácil para ustedes ni para mí, pero gracias al apoyo incondicional en cada momento, gracias de todo corazón por estar siempre a mi lado en cada logro y meta cumplida.

A Mis Hermanos Mirian Alonso Martínez, Alfredo Alonso Martínez y Mayra Alonso Martínez

A mi hermano y hermanas, gracias por el apoyo incondicional, me separe un tiempo de ustedes por buscar mis sueños, pero a pesar de la distancia todo el tiempo estuvieron a mi lado de la mejor manera el cariño de hermanos, y siempre diciéndome las mismas palabras motivacionales, si se puede, gracias lo amos.

A Mi Sobrino Sebastián Alonso

Gracias por traer unión y felicidad en mi familia, eres una gran motivación a seguir adelante.

A Mis Primos Angélica, Nancy y Cristino

Gracias primos desde niños nuestra convivencia ha sido como hermanos, hemos pasado muchos momentos felices, entre bromas y charlas siempre me motivaban a seguir adelante lo que un día empecé, gracias por su apoyo y cariño sincero.

A Mis Amigos

Gerardo y Ponciano

Gracias por todos los momentos felices y anécdotas que pasamos desde primer semestre hasta el último día de la carrera, por aquellas experiencias y apoyo durante nuestro experimento de tesis, nunca faltaron las risas cuando no reuníamos, se volvieron como mi familia durante mi estancia en la universidad, les deseo mucho éxito en sus proyectos y metas.

Juan, Jesús y Jaime

Gracias amigos por la amistad y el apoyo que me brindaron todo el tiempo, por compartir ideas, momentos y por la confianza que hubo entre nosotros, fue un gusto haber coincidido con ustedes en esta etapa de nuestras vidas, nos llevamos buenos recuerdos y espero un día volvernos a encontrar, les deseo éxito en la vida.

Francisco, Alejandro, Imanol y Noel

Gracias amigos, nuestra convivencia fue más limitada pero siempre me apoyaron en cada momento o situación que se presentara, siempre sobraron las risas en nuestras pláticas, cuando ocupaba ayuda siempre estuvieron, les agradezco de corazón.

Lizbeth, Diana y Yazmin

Gracias amigas, su amistad no se compara con nada, siempre me invitaron a convivir y dándome ánimos diciéndome si se puede, sacándome sonrisas entre pláticas, las aprecio mucho me llevo recuerdos que no olvidare nunca

INDICE

INDICE DE CUADROS	X
INDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
I. INTRODUCCION	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
Importancia del Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	5
Clasificación Taxonómica	5
Zonas de Producción	5
Sistemas de Producción	6
Aspectos Botánicos y Fisiológicos	7
Requerimientos Edafoclimáticos	8
Temperatura	8
Humedad	8
Suelo	9
Nutrición de Cultivos	10
Macronutrientes	10
Nitrógeno	10
Potasio	11
Azufre	11
Calcio	11
Magnesio	12
Fosforo	12
Micronutrientes	13
Nutrición en Pepino	14
Potasio	14

Balance nutrimental	14
Solidos Solubles Totales	15
Monitoreo Nutrimental	16
Descripción	16
Objetivo del monitoreo	17
Métodos existentes	17
Análisis de suelo	17
Análisis foliar	17
Análisis de solución del suelo	18
Análisis de extracto celular de peciolo	18
Monitoreo en hortalizas	19
Monitoreo en frutales	19
Monitoreo en ornamentales	19
Monitoreo en cultivos básicos	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
Ubicación del Experimento	21
Material Vegetal	21
Manejo del Cultivo	21
Siembra	21
Formación de la planta y poda de hojas	21
Riego y fertilización	22
Tutorado	22
Manejo de plagas	22
Cosecha	22
Tratamientos y Obtención del Extracto Celular del Peciolo	22
Variables de Respuesta	25
Rendimiento total	25
Diámetro distal de fruto	25
Curvatura del fruto	26
Peso seco de hoja	26

Peso seco de tallo.....	26
Diámetro de tallo	26
Potasio (K ⁺) en el extracto celular del peciolo	26
Sólidos solubles totales en el extracto celular del peciolo	26
Diseño Estadístico	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
Rendimiento	28
Diámetro Distal del Fruto	30
Curvatura de Fruto	31
Peso Seco de Hoja	33
Peso Seco de Tallo	34
Diámetro Basal de Tallo.....	35
Diámetro Medio de Tallo.....	36
Contenido de Potasio en Extracto Celular de Peciolo.....	37
Contenido de Sólidos Solubles Totales en Extracto Celular de Peciolo.....	40
Contenido de Potasio en Peciolo en Relación con el Rendimiento Acumulado .	42
Contenido de Sólidos Solubles Totales en Extracto Celular de Peciolo en Relación con Rendimiento Acumulado.....	49
V. CONCLUSIONES	55
VI. LITERATURA CITADA	56

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del pepino	5
Cuadro 2. Principales entidades productoras de pepino (SIAP, 2019)	6
Cuadro 3. Función de los micronutrientes (Azcón-Bieto y Talón, 2000)	13
Cuadro 4. Balance de aniones y cationes de las soluciones nutritivas evaluadas en el estudio. Las soluciones fueron ajustadas a un pH de 5.8.	24
Cuadro 5. Ajustes a las respectivas soluciones nutritivas en función del resultado del extracto celular del peciolo con el objetivo de igualar la concentración del ion en las plantas que recibieron la solución nutritiva constantemente durante el estudio. Un signo positivo o negativo indica que se elevó o disminuyó la concentración en los miliequivalentes indicados.....	24
Cuadro 6. Soluciones resultantes después del ajuste a las mismas en función del resultado del extracto celular del peciolo con el objetivo de igualar la concentración del ion en las plantas que recibieron la solución nutritiva constantemente durante el estudio.	25

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. En la gráfica se observa cual es el efecto de concentración de potasio (K) sobre la concentración de sólidos solubles totales en las variedades utilizadas de pepino Reehan (a) y Khassib (b) bajo condiciones de invernadero (Moreno <i>et al.</i> , 2013).....	16
Figura 2. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en el rendimiento de fruto en pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K ⁺ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05.....	29
Figura 3. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en diámetro distal de fruto en pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K ⁺ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05.....	31
Figura 4. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en curvatura de fruto en pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K ⁺ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05.	32
Figura 5. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en peso seco de hoja en pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K ⁺ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05.	33
Figura 6. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en peso seco de tallo en pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Las soluciones	

se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$ 34

Figura 7. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en diámetro basal de tallo en pepino (*Cucumis sativus* L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$ 36

Figura 8. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en diámetro medio de tallo en pepino (*Cucumis sativus* L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$ 37

Figura 9. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100%, y 125%) sobre la concentración del ion K^+ en el extracto celular del peciolo en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) y su relación con el rendimiento de fruto. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD). 40

Figura 10. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100%, y 125%) sobre el contenido de sólidos solubles total en el extracto celular del peciolo en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). 41

Figura 11. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes de fruto y la concentración de K^+ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Quinto muestreo. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD). 44

Figura 12. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes de fruto y la concentración de K^+ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino

(<i>Cucumis sativus</i> L.). Cuarto muestreo. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K ⁺ extracto celular del peciolo (MOD).	45
Figura 13. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes de fruto y la concentración de K ⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Tercer muestreo. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K ⁺ extracto celular del peciolo (MOD).	46
Figura 14. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes de fruto y la concentración de K ⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Segundo muestreo. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K ⁺ extracto celular del peciolo (MOD).	47
Figura 15. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes de fruto y la concentración de K ⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Primer muestreo. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K ⁺ extracto celular del peciolo (MOD).	48
Figura 16. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes y la concentración de solidos solubles totales (°Brix) en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Cuarto muestreo.	51
Figura 17. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes y la concentración de solidos solubles totales (°Brix) en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Tercer muestreo.	52
Figura 18. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes y la concentración de solidos solubles totales (°Brix) en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Segundo muestreo.	53
Figura 19. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes y la concentración de solidos solubles totales (°Brix) en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.). Primer muestreo.	54

RESUMEN

El monitoreo nutrimental es una práctica con el objetivo de conocer el estado nutrimental del cultivo y para tomar acciones encaminadas a obtener programas de nutrición más eficientes y económicas. En este estudio se evaluó la respuesta de plantas de pepino a tres concentraciones de la solución nutritiva Steiner (75%, 100% y 125%). Se observó que las soluciones al 75% y 100% fueron las que mostraron mejores resultados, principalmente en rendimiento. Tomando en cuenta el monitoreo mediante el extracto celular de peciolo, si se maneja la solución nutritiva con un 75% de concentración, se puede utilizar constante y no es necesario hacer un ajuste en función del contenido de K^+ en el extracto ya que el resultado es similar. Sin embargo, si se utiliza la solución al 100%, lo ideal es realizar monitoreo de extracto celular de peciolo para hacer los ajustes adecuados en la nutrición durante el ciclo de cultivo y así obtener las mejores respuestas. En caso de emplearse la solución nutritiva al 125% se esperaría que hubiera un aumento positivo, sin embargo, ocurrió lo contrario ya que esta tiende a disminuir el rendimiento, sin tomar en cuenta el desperdicio de fertilizantes y el aumento en los costos de producción. Los sólidos solubles totales es una manera de evaluar el estado nutricional de la planta y poder realizar ajustes en la nutrición en base a ellos. En el presente estudio no se detectó una relación entre los sólidos solubles totales y el rendimiento de fruto en pepino. Se demostró que no importa si se modifica la solución a la etapa fenológica del cultivo o si es utilizada con una concentración constante desde inicio hasta el final ciclo, siempre y cuando la concentración de K^+ en el peciolo de la planta se encuentre en el rango de 1525 a 1600 ppm, siendo el óptimo para obtener el mayor rendimiento acumulado de fruto. Los mejores resultados se obtuvieron con la solución nutritiva al 75% y 100% aunque en términos de calidad de fruto y crecimiento vegetativo no hubo efectos significativos.

Palabras clave: Nutrición mineral, potasio, sólidos solubles totales, monitoreo, solución nutritiva

ABSTRACT

Nutritional monitoring is a practice with the objective of knowing the nutritional status of the crop and to take actions aimed at obtaining more efficient and economical nutrition programs. In this study, the response of cucumber plants to three concentrations of the Steiner nutrient solution (75%, 100% and 125%) were assessed. It was observed that solutions at 75% and 100% showed the best results. Considering the monitoring through the cellular extract of the petiole, if the nutrient solution is managed with a 75% concentration, it may be used consistently and there is no need to make an adjustment based on K^+ content in the extract as the result is identical. However, if the solution is used at 100%, it is desirable to monitor the cellular extract of the petiole in order to make appropriate adjustments in nutrition during the cultivation cycle to achieve the best responses. If the nutrient solution is used at 125%, one would expect a positive increase, however, the opposite occurred as it tends to decrease the performance of plants, without considering the waste of fertilizers and the increase in production costs. A higher total soluble solids concentration corresponds to a greater concentration of nutrients in the plant. No relationship was found between total soluble solids and fruit yield in cucumber in the present study. It was demonstrated that it does not matter whether the solution is modified according to the phenological stage of the crop or if it is used with a constant concentration throughout the entire cycle, as long as the K^+ concentration in the plant's petiole is within the range of 1525 to 1600 ppm. This range is optimal for achieving the highest cumulative fruit yield. The best results were obtained with the 75% and 100% nutrient solution, while there were no significant effects on fruit quality and vegetative growth.

Key words: Mineral nutrition, potassium, total soluble solids, monitoring, nutrient solution

I. INTRODUCCION

El cultivo de pepino es muy importante ya que es una de las especies de mayor relevancia de acuerdo al consumo per capital principalmente como hortaliza fresca; en México, el cultivo el pepino es la cuarta hortaliza de mayor importancia siendo el segundo país exportador a nivel mundial y el primer proveedor de mercado de los Estados Unidos (Figueroa y Espinosa, 2020)

El cultivo de pepino se trabaja bajo sistemas tradicionales tanto en campo abierto como bajo condiciones de agricultura protegida con malla sombra o invernaderos, utilizando sistemas de riego presurizado para suministrar las necesidades hídricas y nutrimentales, teniendo mayor precocidad en las cosechas y aumento en el rendimiento; en invernaderos se utiliza un sistema de cultivo sin suelo o hidropónico, en el cual se proporciona el agua y requerimientos nutricionales a través de una solución nutritiva (Díaz-Méndez *et al.*, 2018).

La hidroponía es la ciencia de cultivar plantas sin el uso del suelo pero utilizando otros medios como agua, arena, perlita, cascarilla de arroz, y aserrín, entre otros, a la que se suministra una solución nutritiva con todos los elementos esenciales requeridos por las plantas para un crecimiento y desarrollo adecuado, reduciendo los costos de producción y permitiendo producir cosechas fuera de tiempo en menor espacio, y ahorrar agua y fertilizantes, además de mayor precocidad y rendimientos (Rosado, 2013).

En la actualidad esta tecnología es trascendental para aumentar la producción y la productividad en el campo mexicano, la cual está sujeta a ciertas condiciones de normatividad que se debe cumplir cuando se trata de producción para exportación, lo cual también tiene los incentivos económicos para los productores para que puedan atender el mercado internacional. Toda inversión en la agricultura protegida puede generar beneficios ambientales y sociales sobresalientes de alta prioridad de acuerdo con lo que se plantea en un plan nacional de desarrollo lo que debe promover como inversiones sostenibles (Olin, 2021).

Una producción de 35 t/ha de pepino extrae aproximadamente 128 kg/ha de N, 24 kg/ha de P, 99 kg/ha de K, 28 kg/ha de Ca y 6.3 kg/ha de Mg. Un desbalance en cualquier de los nutrientes repercute en la calidad y no en el rendimiento total (Muñoz, 2015).

Según Buelna (2018), la solución nutritiva de Steiner produce plántulas de pepino largas, mayor peso seco de raíz, tallos cortos y hojas de tamaño promedio, debido a que hay un equilibrio en los nutrimentos que estimulan la relación entre tamaño de raíz-hoja y tallo. El ion potasio (K^+) es el catión más abundante en la mayoría de las plantas, es bastante móvil, Y es un elemento esencial que está estrechamente ligado al mecanismo de regulación del estado hídrico de la planta, lo que podría ser de importancia en condiciones de clima cálido-seco (Osuna-Canizalez *et al.*, 2007).

Haz-Villamar (2021), concluyó que el K^+ participa en funciones esenciales, principalmente en síntesis de proteínas, actividades enzimáticas, fotosíntesis, transferencia de energía, transporte en el floema, en la osmorregulación además de participar en el proceso de apertura y cierre estomático, equilibrio anion-cation y resistencia al estrés biótico y abiótico, beneficia la productividad y calidad del pepino, aumentando el número de frutos, peso de frutos, diámetro y longitud de frutos, mayor demanda nutricional en las etapas fenológicas de fructificación y cosecha.

Los sólidos solubles totales (SST), medidos en unidades de grados ($^{\circ}$ Brix), indican el nivel de equilibrio de absorción de nutrientes y de complejos en azúcares o proteínas que la planta está fabricando tras la fotosíntesis foliar, si los SST son bajos, incluso con buenas tasas de iluminación, es evidente que algo está pasando porque la planta no está sintetizando eficientemente sus azúcares y proteínas, en el que el K^+ actúa como un activador en el metabolismo de las proteínas y carbohidratos (Escalante, 2017).

Unos de los principales problemas que enfrentan los profesionistas de la agronomía, los productores y todos aquellos que se encuentran relacionados con la producción de cultivos básicos, hortícolas, ornamentales y plantas forrajeras, son las constantes reducciones de rendimiento y calidad debido a la alteración nutrimental que se

presenta a lo largo del desarrollo y crecimiento de las plantas. Una solución es el monitoreo nutrimental basado en el análisis de extracto celular de peciolo que actualmente se realizan sobre el ion nitrato y el K^+ ; esta técnica consiste en medir la concentración de estos iones en etapas fenológicas importantes del cultivo o bien en intervalos regulares. Se ha demostrado que el análisis de extracto celular de peciolo es una alternativa viable que permite ajustar la dosis de fertilización originalmente planteada en función de las necesidades de las plantas en el momento oportuno (Núñez-Ramírez *et al.*, 2020). Por esta razón, el presente estudio fue realizado para determinar si en pepino de invernadero es posible realizar ajustes a la concentración de K^+ en la solución nutritiva durante el desarrollo de las plantas y como su efecto en la concentración de SST con el objetivo de mantener un adecuado estatus nutrimental y mayor producción y calidad del fruto en pepino de invernadero.

Objetivo general

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

Objetivos específicos

Determinar si es posible modificar la concentración de K^+ en 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 K^+ en la solución nutritiva durante la fase de producción de fruto sin efectos negativos en el rendimiento y calidad del fruto.

Hipótesis

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

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia del Pepino (*Cucumis sativus* L.)

El pepino es una de las hortalizas más cosechadas y consumidas a nivel mundial, pertenece a la familia de las cucurbitáceas y está relacionado con el melón, la sandía y las calabazas. Es una hortaliza de verano, aunque en la actualidad se puede disfrutar durante todo el año gracias a las nuevas maneras de cultivar bajo nuevos sistemas. Es una planta de la familia *Cucurbitaceae* que posee varios cultivares en el mercado, con distinto tamaño, forma y coloración de los frutos, sabor y características vegetativas; se puede clasificar en cinco grupos: pepino para ensalada, tipo “caipira”, tipo japonés, tipo holandés, y tipo industrial (Sediyama *et al.*, 2014).

Clasificación Taxonómica

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

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del pepino

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Cucurbitales
Familia	Cucurbitaceae
Genero	Cucumis
Especie	<i>Sativus</i> L.
Nombre científico	<i>Cucumis sativus</i> L.
Nombre común	Pepino

Fuente: (Avalos, 2021)

Zonas de Producción

En 2021, La producción total de pepino en 2021 fue de más de 93.5 millones de toneladas a nivel mundial, lo que supone la cifra más alta que se registraba hasta esa fecha y un aumento de 3 millones de toneladas respecto al año anterior (Statistas, 2024). Esta hortaliza se cultiva en 29 estados del país, de los cuales Sinaloa y Sonora son los principales productores. En 2021 su producción a nivel

nacional fue de más de un millón de toneladas y se cosecharon poco más de 18 mil hectáreas, en el cual Sinaloa aportó el 32.2% al valor de la producción. México es el 5° productor y 3° exportador de pepino a nivel mundial. Estados Unidos, Canadá, Guatemala, Reino Unido y Países Bajos son de los principales importadores de pepino mexicano (SADER, 2023).

En México, casi 60% de su producción se concentró en tres entidades principalmente: Sinaloa, Sonora y Michoacán (Cuadro 2). Su mayor disponibilidad de producción es entre los meses de enero a mayo, De las entidades que cosechan pepino, seis tienen condiciones para cosecha la mayor parte del año y Sinaloa sólo entre enero y mayo. Una mayor cosecha permite un excedente para la exportación. De la producción nacional, 72.3% tiene por destino otro país, principal mercado los Estados Unidos, país que adquiere la mayor cantidad (SIAP, 2019).

Cuadro 2. Principales entidades productoras de pepino (SIAP, 2019)

Entidad	% de aportación nacional
Sinaloa	33.1
Sonora	18.3
Michoacán	7.8
Resto de entidades	40.7

Sistemas de Producción

El cultivo del pepino es muy importante ya que el índice de consumo es elevado, pues sirve de alimento tanto fresco como industrializado. Para varias regiones del mundo, es considerado una especie cuyo valor agronómico reside en su producción estacional, por lo cual necesita desarrollarse principalmente como cultivo protegido (Caraguay *et al.*, 2023). El cultivo en ambientes protegidos puede incrementar la productividad del pepino pues las plantas se mantienen en producción por mucho más tiempo, sin embargo, para la aplicación de estos sistemas es importante adaptar el tipo de cobertura, el manejo del cultivo y los genotipos a las condiciones ambientales que prevalecen mejor en cada zona (Ramírez *et al.*, 2010).

En un ensayo realizado en pepino cultivado bajo invernadero, un investigador en México, a 2250 msnm y a una densidad de 3.33 plantas/m², encontró un rango de rendimiento total entre 6.38 y 8.20 kg/planta (Barraza, 2012). En México, la producción comercial de pepino tipo europeo en invernadero ha sido un éxito, al obtener rendimientos entre 14.0 y 16.0 kg m⁻² (Grijalva *et al.*, 2011). En Venezuela, el cultivo de pepino se colocó entre las principales cucurbitáceas producidas, con una superficie cosechada de 1248 hectáreas, registrándose un rendimiento por hectáreas de 16.017 t ha⁻¹, y una producción de 19,989 toneladas (Fedeagro, 2017).

Aspectos Botánicos y Fisiológicos

La duración del estado fenológico en el cultivo de pepino es muy variable, dependiendo del tipo (caipira, aodai, japonés o de conserva) y del método en que se cultiva (campo abierto o invernadero, cultivo tutorado o rastro). En pepino, al contrario de lo que sucede con la mayoría de los cultivos anuales, las fases fenológicas se tienden a confundir, como lo es el desarrollo vegetal, la floración y el crecimiento, y en su madurez de los frutos ocurren simultáneamente después del inicio del florecimiento. La senescencia se presenta mientras el cultivo aún se encuentra en fase de producción y el final del ciclo se define por su reducción y no por la paralización de la producción (SQM, 2024).

De acuerdo con Constanza *et al.* (1997) el pepino se conoce como una planta perenne pero también cultivada como anual, de desarrollo rastro (si se deja crecer libremente), de crecimiento indeterminado. El tallo principalmente es herbáceo, pero luego se va lignificando hasta adquirir un aspecto leñoso, en general son verdes con pigmentaciones oscuras. Las hojas son simples o compuestas, con un número variado de folíolos, entre 3 y 7 y un tamaño entre 10 a 30 cm. Las flores son hermafroditas y de corola pentámera y rotada, se pueden presentar en racimos compuestos de 5 a 20 flores, en algunos casos llegan a haber más de 50 flores en un racimo. Los pétalos son de color blanco, con vetas moradas más o menos presentes. Normalmente presentan una excreción estigmática y dehiscencia apical. Los frutos de pepino corresponden a una baya con una cavidad central con semillas, aunque es muy frecuente que no haya semillas ya que muchos frutos son

partenocárpicos. Su forma es variada dependiendo la variedad, puede ser ovoide, acorazonados, alargados incluso hay frutos esféricos. Los frutos maduros presentan un color de fondo amarillo y surcado por una cantidad variable de vetas púrpuras.

Requerimientos Edafoclimáticos

Temperatura

La temperatura incide sobre la tasa de producción y desarrollo del área foliar que conforma el dosel vegetal, a través del cual los cultivos interceptan la radiación solar y se llevan a cabo los procesos metabólicos tendientes a la acumulación de fotoasimilados (García y López, 2002; García *et al.*, 2000). El pepino es una de las especies con un desarrollo rápido desde la siembra hasta la cosecha. Sin embargo, el número de días desde la siembra hasta la cosecha puede variar en función de la temperatura ambiental, lo que puede provocar una alteración en la estimación de la fecha de la cosecha (Wehner y Guner, 2004).

El cultivo de pepino es menos exigente en calor, la temperatura ideal durante el día oscila entre 20°C y 30°C apenas tiene incidencia reflejada sobre la producción, aunque a mayor temperatura durante el día, hasta 25°C, la producción es más precoz. Por encima de los 30°C se observan desequilibrios en las plantas que afectan directamente a los procesos de fotosíntesis y respiración. Las temperaturas nocturnas iguales o inferiores a 17°C pueden ocasionar malformaciones en algunas hojas y frutos (Maroto, 2000).

Humedad

Los cultivos hortícolas requieren una adecuada nutrición hídrica que garantice la expresión genética de las diferentes especies y/o variedades. Al realizar un aporte de agua al cultivo de forma inadecuada o desproporcionada influye desfavorablemente sobre los rendimientos y/o sobre la calidad de la cosecha. En algunos casos puede afectar y ocasionar retrasos indeseables en el ciclo productivo, el pepino, al igual que casi todas las hortalizas, presenta características muy particulares: crecimiento rápido, con un alto índice de acumulación de biomasa y

con un sistema radical poco profundo, por lo que para lograr altos rendimientos se deben utilizar sistemas de producción que garanticen un adecuado y oportuno aprovisionamiento de agua (Romero *et al.*, 2009). La mejor respuesta en producción y económica sobre el cultivo se obtiene cuando es regado sin déficit hídrico a lo largo de su ciclo vegetativo (Pérez *et al.*, 2014). Las plantas de pepino son exigentes en cuanto al balance adecuado de humedad del suelo, debido al sistema radical débil que presenta y a las características de la cutícula de sus hojas, lo cual es de gran importancia biológica. Para que se produzca un buen desarrollo de las plantas y así desarrolle la fructificación de manera normal, la humedad óptima del suelo debe ser oscilar entre 70-80% de la capacidad de campo (Maroto, 2000).

Suelo

El pepino se cultiva en una amplia gama de suelos fértiles y bien drenados; desde los arenosos hasta tolerar los franco-arcillosos, aunque idealmente se desarrollan en suelos francos que poseen abundante materia orgánica. Se debe contar con una profundidad efectiva mayor de 60 cm. que facilite la retención del agua y el crecimiento del sistema radicular para lograr un buen desarrollo y excelentes rendimientos. Es una planta poco tolerante a la salinidad (algo menos que el melón), de forma que si la concentración de sales en el suelo es demasiado elevada las plantas absorben con dificultad el agua de riego, el crecimiento se retrasa, el tallo se debilita, las hojas presentan un tamaño más pequeñas y de color oscuro y los frutos obtenidos serán torcidos. Si la concentración de sales es demasiado baja el resultado se invertirá, ocasionando plantas más frondosas, que presentan mayor sensibilidad a diversas enfermedades (Maroto, 2000).

En cuanto a pH, las plantas se adaptan a un rango de 5.5-6.8, soportando incluso pH hasta de 7.5; se debe evitar preferentemente los suelos ácidos con pH menores de 5.5. La preparación del suelo se debe realizar con el mayor tiempo de anticipación posible, para favorecer el control de malezas y permitir una adecuada incorporación y descomposición de los residuos vegetales que existen sobre el suelo. Se debe realizar de la mejor forma posible para contar con un suelo nivelado,

firme y de textura uniforme previo a la siembra para un desarrollo óptimo del cultivo (Casaca, 2005).

Nutrición de Cultivos

Macronutrientes

Las plantas necesitan un balance adecuado de nutrientes para vivir, crecer y reproducirse. Cuando sufren de malnutrición, muestran síntomas de falta de salud, tanto el exceso como la carencia de nutrientes puede ocasionar problemas. La materia mineral constituye la masa principal de los sólidos del suelo, está compuesta por casi todos los elementos químicos que existen en la naturaleza y estos elementos son los llamados nutrientes del suelo, los conocidos macronutrientes y los micronutrientes. Los macronutrientes son aquellos elementos que se necesitan mayormente en grandes cantidades. Entre ellos se incluye nitrógeno, potasio, azufre, calcio, magnesio y fósforo. El sistema radicular de las plantas requiere ciertas condiciones para obtener estos nutrientes del suelo. principalmente, el suelo debe estar suficientemente húmedo para permitir que las raíces absorban y transporten los nutrientes. En ocasiones, corregir una estrategia de riego incorrecta elimina los síntomas de deficiencia de nutrientes. En segundo lugar, el pH del suelo debe estar entre cierto rango para que los nutrientes sean liberables a partir de las partículas del suelo. Tercero, la temperatura del suelo debe ser el óptimo para que ocurra la ingesta de nutrientes (PROAIN, 2024d).

Nitrógeno

El nitrógeno (N) aportado por fertilizantes es el principal elemento mineral absorbido por las plantas ya que participa en procesos fisiológicos esenciales para su crecimiento y desarrollo. Algunas plantas pueden utilizar el nitrógeno atmosférico, a través de su asociación con microorganismos procariotes o diazotróficos, pero la mayoría de los cultivos requiere del suministro externo de N vía mineralización de la materia orgánica y aplicación de fertilizantes, para realizar su ciclo de crecimiento (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004). Las funciones del N son de tipo estructural y osmótico. Las primeras son específicas y están relacionan con la síntesis de moléculas esenciales para su crecimiento, como es ácidos nucleicos, aminoácidos,

proteínas, clorofilas y alcaloides. La función osmótica se asocia al efecto del ion nitrato y a otras formas reducidas del N, en la reducción del potencial hídrico de la vacuola, dentro del proceso de osmoregulación (Hopkins, 1995; Jones, 1998; Marschner, 1998; Taiz y Zeiger, 1998; Mengel y Kirkby, 2001).

Potasio

El K^+ está encargado de mantener el equilibrio iónico y el estatus hídrico dentro de la planta. Está involucrado en la producción y transporte de azúcares, activación enzimática, y síntesis de proteínas. El K^+ también es utilizado para la síntesis de pigmentos, sobre todo licopeno. Tiene una función importante en asegurar la calidad óptima del fruto determinando el nivel de azúcares, igual que características como la maduración y óptimo almacenaje. Un suministro escaso de K^+ puede resultar en una maduración desigual, según se muestra en ensayos realizados en el Reino Unido. Un nivel inadecuado de K^+ puede presentar una maduración con manchas y defectos de coloración, como, por ejemplo, el tejido interno blanco (YARA, 2024).

Azufre

El azufre (S) es importante al ser constituyente estructural de compuestos orgánicos, algunos de los cuales son únicamente sintetizados por las plantas, como son los aminoácidos cisteína, cistina y metionina, que se requieren para sintetizar proteínas. Es importante también para algunas vitaminas y coenzimas, y trabaja como grupo funcional directamente involucrado en reacciones metabólicas. Tiene funciones que sirven a la planta como un sistema de defensa y detoxificación. El S participa en la protección de las células, ya que evita la deshidratación por calor y sequía y también juega un papel en la protección de los daños de las células por frío (Fertilab, 2024).

Calcio

Las principales funciones del calcio (Ca) en las plantas están relacionadas directamente con el crecimiento de la raíz y la calidad de los frutos después del amarre, aunque es un nutriente que está involucrado en muchos de procesos. En la producción de cultivos un óptimo aporte nutricional contempla la adición de este elemento esencial, ya que al presentarse deficiencias de este nutriente provoca un

mal sistema radical, anormalidades en hojas y enrollamientos, deformación y falta de tamaño de frutos, pudrición apical o blossom end rot, depresión amarga o bitter pit, rajado de frutos, mala vida de anaquel y frutos aguados. Tanto en la planta como nutriente estructural y en el suelo es utilizado como mejorador, el Ca cumple funciones de gran importancia que no pueden ser remplazadas (INTAGRI, 2023).

Magnesio

El magnesio (Mg) es un nutriente secundario que participa en funciones esenciales para la planta. Según García (2008), es un constituyente de los ribosomas y es el principal átomo que constituye la clorofila, ayudando a la síntesis de proteína y forma parte de las reacciones de transferencia de energía. Este elemento es requerido en forma no específica por un gran número de enzimas involucradas en la transferencia de fosfatos, está involucrado en la fotosíntesis, en el metabolismo de los carbohidratos y en la síntesis de los ácidos nucleicos, como al estar relacionado con el movimiento de carbohidratos desde las hojas hacia las partes superiores (Haifa, 2014).

Fosforo

El fosforo (P) juega un papel vital en todos los procesos que se relaciona con la transferencia de energía en la planta. Los fosfatos de alta energía, que forman parte de la estructura química de la adenosina difosfato (ADF) y trifosfato (ATF), son la fuente de energía que empuja una multitud de reacciones químicas dentro de la planta. La transferencia de los fosfatos de alta energía del ADF y ATF a otras moléculas (proceso conocido como fosforilación), desencadena una gran número de procesos esenciales para la planta (IPNI, 2024).

El P es uno de los nutrientes esenciales que es utilizado para el crecimiento de las plantas. Las funciones que realiza no pueden ser ejecutadas por ningún otro nutriente y se requiere un adecuado suministro de P para que la planta crezca y se reproduzca de manera favorable. El P es clasificado como un nutriente primario, razón por la cual es comúnmente deficiente en la producción agrícola y es requerido en los cultivos en cantidades relativamente grandes. La concentración total de P en los cultivos varía de 0.1 a 0.5 % (IPNI, 2024).

Micronutrientes

Los micronutrientes del suelo forman parte de los nutrientes esenciales, los cuales son requeridos en cantidades muy pequeñas, pero son muy importantes como parte de diversos sistemas enzimáticos de las plantas. Los micronutrientes esenciales para las plantas son boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn). El inadecuado aporte de micronutrientes en el suelo puede ocasionar limitaciones en el crecimiento y rendimiento de cultivos y praderas, aunque todos los demás nutrientes esenciales estén en cantidades adecuadas (Vistoso y Martínez, 2019).

Todos los micronutrientes se encuentran en el suelo, sin embargo, su disponibilidad para las plantas va depender de las características del suelo como son: edad, textura, humedad y contenido de materia orgánica. Por general, los suelos que presentan un pH ácido estarán más disponibles, al contrario, en suelos de pH alcalino estarán menos disponibles para las plantas. La concentración de micronutrientes en suelo y en tejidos vegetales es determinado a través de análisis foliar o de suelo (Vistoso y Martínez, 2019). Las funciones de los micronutrientes se indican en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Función de los micronutrientes (Azcón-Bieto y Talón, 2000)

Micronutriente	Función
Boro	Germinación de granos de polen, formación de paredes celulares y proteínas.
Cobre	Formación de clorofila en plantas y catalizador de varios procesos en ellas
Hierro	Catalizador de la clorofila y portador de oxígeno.
Manganeso	Activa reacciones metabólicas, acelera la germinación y madurez en las plantas.
Molibdeno	Coenzima del nitrato reductasa que reduce el nitrato a amonio en la planta
Zinc	Esencial para las reacciones metabólicas en plantas, producir clorofila y formación de carbohidratos

Nutrición en Pepino

Potasio

Se ha documentado e investigado ampliamente el efecto del K^+ como respuesta en la calidad de fruto (Botella *et al.*, 2016; Mardanluo *et al.*, 2018; Roupael *et al.*, 2018) y especialmente hablando en el caso de pepino el K^+ se considera como el elemento de mayor importancia en calidad (Aghili *et al.*, 2009), de ahí la importancia de suministrar la necesidad del cultivo en cuanto a este elemento.

En el cultivo del pepino, el K^+ es el nutriente que absorbe en mayor cantidad. Aproximadamente 90% del K^+ es absorbido en los 36 días finales del ciclo de cultivo. El K^+ juega un papel importante que se refleja en la calidad de los frutos, aumentando la concentración de sólidos solubles totales y consecuentemente, la palatabilidad de los frutos, además de ser un importante activador enzimático y actuar en el proceso de transpiración de las plantas, al ser encargado de controlar apertura y cierre de las estomas (SQM, 2018).

La fuente más eficiente de absorción de K^+ es el Nitrato de Potasio. Este nutriente es caracterizado por tener una sinergia en la absorción del nitrógeno 100% nítrico en conjunto con el K^+ , teniendo una relación N/K de 1/3 respectivamente, relación ideal para el activo y mejor crecimiento del fruto. En el estado de desarrollo cercano a cosecha y cuando ya no es requerido el N, una fuente ideal de K^+ es el Sulfato de Potasio, que tiene un alto contenido de K^+ y también S, el cual favorece a nivel de activación de un importante número de actividades enzimáticas que ayudan a incrementar la madurez y el peso de la fruta en conjunto con el K^+ (SQM, 2018).

Balance nutrimental

El pepino, al igual que los demás cultivos, requieren de una serie de elementos químicos denominados elementos nutritivos, los cuales son indispensables para el desarrollo de su ciclo reproductivo. La solución nutritiva es considerada como una de las principales fuentes de suministro por medio de sistemas hidropónicos, dado que en ella están concentrados los nutrientes esenciales que el sustrato regularmente no aporta hacia las plantas (INTAGRI, 2010).

La disponibilidad de los micronutrientes es esencial para un adecuado crecimiento y óptimo desarrollo de las plantas y poder obtener rendimientos mayores. Cuando existe deficiencia de uno o varios elementos menores, éstos se convierten en factores limitantes del crecimiento y de la producción, aunque existan cantidades adecuadas de los otros nutrientes (SQM, 2018).

En el manejo agronómico del cultivo de pepino, la práctica de la fertilización es uno de los factores que más importancia tiene para mejora en el rendimiento de frutos cosechados. La dosis de fertilización de un cultivo en particular puede estimarse con base en el enfoque de balance y análisis nutrimental (Volke *et al.*, 1998), el cual incluye la relación cuantificada entre la demanda nutrimental, el suministro edáfico nutrimental y la eficiencia de la fertilización. En el cálculo de la demanda nutrimental para una meta de rendimiento determinada, se emplean los valores de la meta de rendimiento (Mg ha^{-1}) y el requerimiento interno nutrimental o índice de extracción nutrimental, expresado en kg de nutrimento por tonelada de producto cosechado (Rodríguez *et al.*, 2001). Los valores de requerimiento interno nutrimental permiten conocer las dosis de fertilización más precisa para los cultivos, ya que indican la cantidad de nutrimentos que la planta requiere de manera balanceada para la obtención de la mayor cantidad de producto económico, en forma de grano, fruta, flor o simplemente material vegetativo, sin permitir que el cultivo entre a la zona de consumo de lujo, con la consiguiente ventaja de ahorro en fertilizante y la no contaminación de mantos acuíferos, por una aplicación inadecuada de nutrimentos químicos (Kanter *et al.*, 2015).

Sólidos Solubles Totales

En el cultivo de pepino, el sabor de los frutos está determinado en gran medida por la relación que existe entre el contenido de sólidos solubles totales y la acidez titulable. Los pepinos no se caracterizan por presentar valores altos de sólidos solubles totales (Musmade y Desai, 1998). Para el caso de la variedad Reehan, en trabajos realizados de investigación (Moreno *et al.*, 2013) se ha encontrado una alta correlación ($r = 0.999$) entre la relación en la concentración de K^+ y los sólidos solubles que llegan a alcanzar los frutos, mientras que para el caso de la variedad

Khassib no se observó este efecto. En la Figura 1 se observa que a medida que se incrementa la concentración de K^+ en la solución nutritiva, aumenta el valor de °Brix para la variedad Reehan; mientras que en Khassib la tendencia fue a disminuir °Brix, con una asociación estadística de ($r = -0.6829$).

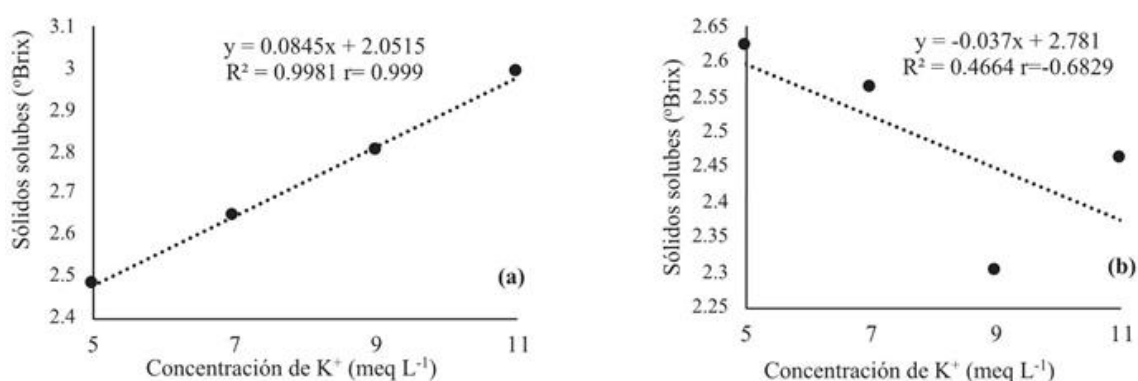


Figura 1. En la gráfica se observa cual es el efecto de concentración de potasio (K) sobre la concentración de sólidos solubles totales en las variedades utilizadas de pepino Reehan (a) y Khassib (b) bajo condiciones de invernadero (Moreno *et al.*, 2013).

Monitoreo Nutricional

Descripción

El manejo de nutrientes es la implementación de prácticas que permitan obtener un rendimiento mayor del cultivo y al mismo tiempo minimizar el impacto que se ocasiona al ambiente. El propósito del manejo de nutrientes favorece la disminución de aportación de nutrientes hacia las fuentes de agua; planificando y supliendo la cantidad necesaria de nutrientes para obtener un óptimo rendimiento y calidad en las plantas; y promover prácticas de manejo que mantengan las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo sin deteriorar. El manejo nutricional, en los sistemas agrícolas de producción intensiva está enfocado a la obtención de altos rendimientos en menor superficie tanto a cielo abierto como en los sistemas de agricultura protegida, con el objetivo de incrementar y proveer de alimentos a la población. El monitoreo nutricional es una práctica obligada con el objetivo de

conocer el estado nutrimental del cultivo y para tomar acciones encaminadas a obtener programas de nutrición más eficientes y económicas (Proain, 2024b).

Objetivo del monitoreo

El monitoreo nutrimental en los cultivos agrícolas es una herramienta de manejo que ayuda no solo a mantener en mejores condiciones los sistemas protegidos, también a cuidar el suelo y el ambiente, además contribuye a bajar los costos de producción ya que es posible reducir la cantidad de fertilizantes suministrados por cultivo (Monroy *et al.*, 2023). Debido a lo anterior, el monitoreo continuo del estado nutrimental de las plantas dentro de los cultivos nos permite diseñar y planificar estrategias para tomar las mejores decisiones en cuanto a dosis y frecuencia de fertilización y que se ajuste a las condiciones edafoclimáticas, para lo cual se debe disponer de suficiente información que permita dar seguimiento e identificar alteraciones del estado nutrimental a partir de su monitoreo y de aquellos factores del sistema agua-suelo-planta-atmósfera que lo afectan (Voogt *et al.*, 2006).

Métodos existentes

De acuerdo con PROAIN (2024b), a continuación, se describen las principales prácticas de monitoreo nutrimental.

Análisis de suelo

El análisis de suelo es una herramienta importante y el más utilizado en la agricultura rentable de todo el mundo. Utilizado conjuntamente con toda otra información disponible, es una guía para diseñar e implementar recomendaciones de fertilización y encalado que ayudan a producir rendimientos altos con una elevada rentabilidad. Indica los niveles nutricionales que proporciona el suelo y, por lo tanto, es el punto de partida para desarrollar un programa de fertilización. También puede utilizarse en forma regular para monitorizar los cambios nutricionales del suelo, manteniendo así la fertilidad global del sistema.

Análisis foliar

El análisis foliar hace referencia al análisis cuantitativo de los nutrientes esenciales en los tejidos de la planta. Se debe tener cuidado al diferenciar de la técnica de

análisis de extracto celular de peciolo. Los técnicos de laboratorio tienen a su alcance métodos analíticos y sofisticados equipos como espectrofotómetros de absorción atómica que pueden analizar 10 o más elementos en cuestión de minutos. El análisis foliar se utiliza para identificar problemas de hambre oculta cuando no aparecen síntomas aparentes de deficiencia en la planta, determinar si los nutrientes aplicados han sido absorbidos por la planta y conocer las interacciones que existe entre varios nutrientes, etc.

Análisis de solución del suelo

Este análisis se utiliza para determinar la solución intermedia entre el complejo absorbente del suelo y la planta. Su composición puede variar según el tipo de suelo, el contenido de elementos nutritivos (historial de fertilización), la estación y el contenido de humedad que presenta el suelo. El contenido de elementos minerales en la solución del suelo es importante puesto que la planta absorbe dichos elementos de ahí, dependiendo esto en gran parte de su concentración. Para realizar la medición de los nutrientes se utilizan equipos portátiles. Obtener estos datos ayuda a realizar modificaciones al programa de fertilización.

Análisis de extracto celular de peciolo

El análisis de extracto celular de peciolo, que es realizado en el propio campo, es una determinación del contenido de nutrientes concentrados en el extracto celular del peciolo de la planta. La presencia de una alta cantidad de nutriente en el extracto celular del peciolo indica que la planta está recibiendo suficiente cantidad del nutriente para un buen crecimiento y desarrollo, por el contrario, si la cantidad es baja, existe la posibilidad de que el nutriente se encuentre deficiente en el suelo, o no esté siendo absorbido por la planta debido a factores limitantes como falta de humedad, compactación del suelo o cambios climáticos. En la actualidad existe en el mercado equipos portátiles de medición que utilizan el método de Ion selectivo, lo que los convierte que son equipos confiables y precisos. Principalmente para los macronutrientes N, K, Ca, Na, y parámetros de pH y EC que son principales parámetros importantes para el monitoreo en suelo.

Monitoreo en hortalizas

Los cultivos de hortalizas bajo invernadero representan inversiones muy altas para el agricultor, por lo que elegir y utilizar nuevas herramientas para optimizar la nutrición de los mismos suele ser una de las mejores prácticas que son de inversión bastante rentable.

Al ser cultivos de producción muy intensiva, el análisis foliar tradicional y el análisis de fertilidad de suelos, son análisis completos de laboratorio que suelen usarse sólo como puntos de partida y referencia general. Es recomendable buscar estrategias que permitan tener datos en el menor tiempo posible (en campo), análisis que indiquen el estado nutricional en un momento preciso. Para ello se utiliza el análisis de extracto de pasta, el análisis de extracto de peciolo y el análisis de drenajes en caso de cultivos hidropónicos. Estos tres tipos de análisis tienen en común que se pueden realizar con equipos portátiles en campo, lo que permite tomar decisiones inmediatas para ajustar o corregir el manejo y la nutrición del cultivo (INTAGRI, 2022).

Monitoreo en frutales

El sector frutícola está inmerso en un contexto global de cambios dinámicos en cuanto a aspectos climáticos, biológicos, técnicos, comerciales, económicos y sociales. Por ello, las nuevas estrategias de manejo sanitario experimentan una evolución permanente, con una tendencia a abordajes más amplios que integren todas las herramientas posibles, buscando un equilibrio armónico entre productividad, calidad, inocuidad e impacto ambiental (Lago, 2022). Para esta actividad requiere de personal formado en identificación y métodos de monitoreo (Lago, 2016).

Monitoreo en ornamentales

El monitoreo manual de las diferentes variables tales como la humedad, la temperatura, la conductividad y el pH en invernaderos y campo abierto de plantas ornamentales no es eficiente ya que la cantidad de tiempo que se efectúa para ello es demasiado además de que la asignación de recursos para ello resulta muy elevado y aunque se cuenta con equipo para medir dichas variables, estos no están

integrados con tecnologías de información por lo cual la consulta y el procesamiento de los datos arrojados por dichos equipos resulta ser muy complicada y tediosa (Flores, 2017).

Por lo tanto, el desconocimiento del estado real de las variables de interés ocasiona pérdidas del producto ya que al estar las plantas en condiciones no aptas estas no tienen el rendimiento esperado por lo cual los tiempos y costos se elevan e incluso quedando inservibles totalmente en algunas ocasiones. Por lo mencionado anteriormente la implementación de un sistema de control para el monitoreo de temperatura, la humedad, el pH y la conductividad en invernaderos de plantas ornamentales para poder aumentar la producción en el cultivo de estas plantas además de evitar que se generen pérdidas por la falta de desconocimiento real del valor actual de dichos parámetros (Flores, 2017).

Monitoreo en cultivos básicos

Al estar monitoreando de manera CTE, las siembras de los cultivos básicos como lo son los de frutas y vegetales mediante la técnica de monitoreo es una actividad que ayuda a reducir las posibles pérdidas sobre los terrenos evitando que se dañen completamente por la presencia de lluvias, plagas y enfermedades (SADER, 2016). La productividad de los cultivos se puede incrementar al maximizar el potencial de dichas plantas. Para ello, la nutrición mineral es fundamental para un adecuado desarrollo y es necesario generar las condiciones ideales y óptimas para su nutrición. Un adecuado desarrollo de las raíces, es fundamental debido a que los nutrientes son absorbidos y aprovechados por el sistema radical, el desarrollo se ve afectado por las características físicas del suelo, al igual que la retención de humedad. El diagnóstico de las propiedades químicas del suelo tiene la finalidad de mostrar información sobre la disponibilidad nutrimental e identificar problemas que en un futuro pueda afectar su adecuado crecimiento y desarrollo, tales como toxicidad o deficiencia. El pH del suelo juega un papel bastante importante al inferir la disponibilidad de los nutrientes y en conjunto con los resultados del análisis nutrimental, tomar las mejores decisiones oportunas en la fertilización del cultivo (Proain, 2024d).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Experimento

El experimento fue realizado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Buenavista, Saltillo, Coahuila, en el área de invernaderos ubicada en el Departamento de Horticultura con las siguientes coordenadas 25°21'23.55" latitud N, 101°25'16" longitud O y 1763 msnm, dicha zona presenta un clima con una temperatura media que oscila de los 18 a 22 °C.

Material Vegetal

Para este experimento se utilizó semilla híbrida de la variedad Centauro, la cual se adapta adecuadamente a condiciones de calor y mucha luminosidad, las plantas muestran un porte vigoroso, abiertas, hojas de color verde-oscuro, fruto color oscuro con excelente conservación post-cosecha, la mejor temporada de siembra en el noreste de México es de abril a septiembre mientras que en el sur se puede cultivar todo el año.

Manejo del Cultivo

Siembra

Se realizó una siembra directa el día 13 de marzo del 2023 bajo condiciones de invernadero de baja tecnología en contenedores de color negro con una capacidad de 10 L y una mezcla de sustrato basado en peat moss y perlita a una relación 80:20 volumen/volumen, se requirió utilizar bicarbonato de sodio para ajustar el pH del sustrato, del cual se aplicó 1.0 g/L para lograr un pH óptimo de 5.9. Posteriormente se aplicó un riego pesado para bajar la CE y finalmente se colocó una semilla por contenedor siendo un total de 72 plantas en su respectivo contenedor.

Formación de la planta y poda de hojas

Se utilizó el método de cultivo a un solo tallo, el cual consiste en retirar cualquier brote lateral que genere la planta permitiendo el crecimiento solo del tallo principal; lo anterior con el objetivo de evitar que los laterales absorban nutrientes y agua y que estos sean aprovechados en su totalidad para el desarrollo del tallo principal.

La primera poda de hoja se realizó el día 31 de mayo, con la finalidad de retirar todas aquellas hojas senescentes presentes en la planta que puedan afectar el desarrollo de la misma. Esta poda se realizó cada 7 o 10 días conforme se cosechaban los frutos que se desarrollaban en las axilas de las hojas.

Riego y fertilización

Durante los primeros 10 días a partir de la siembra el riego se aplicó con una solución nutritiva al 50% de la concentración de nutrientes de la solución base.

Tutorado

Se manejó el tutorado tipo holandés, el cual consiste en sujetar un hilo de rafia capaz de soportar el peso de las plantas colgado de una base y es colocado con ayuda de un anillo para tutorado sobre la base del tallo donde la planta es guiada en su forma de crecimiento a un solo tallo. Esto favorece la aireación y un mejor aprovechamiento de la incidencia del sol en las plantas.

Manejo de plagas

Los principales problemas que se enfrentaron fue mosca blanca y trips; para el control de estas plagas se realizó un manejo integrado que consistió en retirar toda maleza hospedera, dos aplicaciones de producto químico a base de jabón potásico a una dosis 1mL/L agua y una aplicación de Exalt (químico) a dosis de 1mL/L agua.

Cosecha

La primera cosecha se realizó el día 16 de mayo de 2023, posteriormente las siguientes cosechas era una vez a la semana con el fin de lograr llegar a su estado de madurez fisiológico del fruto. Cuando la planta se encontraba por finalizar su ciclo reproductivo los últimos cortes fueron dos veces por semana siendo el día 19 de junio de 2023 la última cosecha.

Tratamientos y Obtención del Extracto Celular del Pecíolo

Después de los riegos iniciales durante los primeros 10 días posteriores a la siembra, y hasta el final de ciclo vegetativo, se utilizaron otras concentraciones de solución nutritiva correspondientes a los tratamientos bajo estudio como se indica a continuación.

La mitad de las plantas se dividió en tres grupos a los cuales se les aplicó la solución nutritiva con el balance de la solución base, pero al 75%, 100% y 125% durante toda la fase de producción de los frutos. A estos tratamientos se les asignó el acrónimo de “CTE”.

La otra mitad de las plantas también fue separada en tres grupos e inicialmente se les aplicó el riego con las mismas soluciones anteriormente señaladas (75%, 100% y 125% de la solución base), pero cada 15 días estas concentraciones fueron modificadas con base a los resultados obtenidos de la concentración de K^+ en el extracto celular del peciolo tratando de igual la concentración de los iones al de la respectiva solución aplicada de manera continua. A estos tratamientos se les asignó el acrónimo de “MOD”.

Cada tratamiento constó de seis repeticiones y cada repetición contenía dos plantas en su respectivo contenedor. La composición de las soluciones nutritivas evaluadas se muestra en el Cuadro 4, mientras que en el Cuadro 5 se señalan los cambios en la composición iónica de las soluciones con base en los resultados obtenidos en el extracto celular del peciolo. El extracto celular se obtuvo en el peciolo de una hoja joven pero completamente extendida, lo cual normalmente se ubicaba entre la tercer y cuarta hoja del ápice de la planta. Con ayuda de un termómetro laser se medía la temperatura en la hoja a muestrear y esta era cortada cuando la lectura fue de 25 °C. Con un mortero de laboratorio se trituró solamente el peciolo sin la lámina foliar con el objetivo de obtener el extracto celular del peciolo, la cual posteriormente se colocaba en un frasco para muestra y se guardaba en una hielera. Una vez terminado el muestreo los frascos con extracto celular del peciolo se llevaron al laboratorio y con los ionómetros específicos se colocaba el extracto sobre el sensor y se registraba la concentración en ppm. Asimismo, se utiliza un refractómetro donde se coloca una gota del extracto para obtener en contenido de sólidos solubles totales, una vez recabado los datos, son utilizados para hacer los ajustes necesarios.

Cuadro 4. Balance de aniones y cationes de las soluciones nutritivas evaluadas en el estudio. Las soluciones fueron ajustadas a un pH de 5.8.

Solución nutritiva	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄²⁻	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	Conductividad eléctrica dS/m
75%	9.75	1.5	3.08	4.73	7.71	2.56	1.47
100%	13	1.5	4.83	6.30	10.28	3.41	1.97
125%	16.25	1.5	6.58	7.88	12.85	4.26	2.47

Cuadro 5. Ajustes a las respectivas soluciones nutritivas en función del resultado del extracto celular del peciolo con el objetivo de igualar la concentración del ion en las plantas que recibieron la solución nutritiva constantemente durante el estudio. Un signo positivo o negativo indica que se elevó o disminuyó la concentración en los miliequivalentes indicados.

	Ajuste de la solución	NO₃⁻	K⁺	Ca²⁺
	Días después de la siembra	meq	meq	meq
75%	25	+0.5	-1	-2
	40	+2	+1	
	55	+1		+1
	70	-2		+1
100%	25	+1	-1.5	+2
	40	-0.5		+1
	55			
125%	70	-2	-0.5	-0.5
	25	+1	-1.5	+3
	40	-0.5	+1	+1
	55	-0.5		
	70	-2	-0.5	+2

En el Cuadro 6 se muestra como quedó la solución nutritiva real después de haber ajustado en cada una de las semanas.

Cuadro 6. Soluciones resultantes después del ajuste a las mismas en función del resultado del extracto celular del peciolo con el objetivo de igualar la concentración del ion en las plantas que recibieron la solución nutritiva constantemente durante el estudio.

Solución nutritiva	Días después de la siembra	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄²⁻	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺
75%	Solución 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	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
100%	Solución 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	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
125%	Solución 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	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	14.25	1.88	9.69	6.88	15.33	4.26

Variables de Respuesta

Rendimiento total

Para esta variable se utiliza el peso fresco de los frutos, los datos se obtuvieron con ayuda de una báscula digital que da los valores en gramos, como se requieren en toneladas se realizó la siguiente operación al valor obtenido de cada tratamiento se divide entre 1000 y se multiplica por 30,000 y se obtiene los resultados de interés en tonelada.

Diámetro distal de fruto

Para poder medir este parámetro se tomó un fruto y a la mitad se colocaba el vernier digital y obtener los datos de interés. Esta labor se realizó en cada uno de los frutos cosechados.

Curvatura del fruto

Para determinar si los frutos se aproximaban a una forma cilíndrica, la curvatura de estos se midió colocándolo sobre una mesa de manera horizontal y con ayuda de una regla colocado en el extremo distal del fruto se midió cual es la distancia entre la base de la mesa y el ápice del fruto; con ese dato y considerando el diámetro ecuatorial del fruto se substraía la diferencia y este dato se consideraba el grado de curvatura del fruto.

Peso seco de hoja

Para esta variable se recolectó cada una de las hojas que generaron en la planta durante el experimento para posteriormente secarlas, posteriormente, con una báscula digital se registró el peso seco de las misma.

Peso seco de tallo

Una vez retiradas todas las hojas solo queda el tallo, para lo cual se retiró del tutor y se colocó por completo dentro de una bolsa de papel para secarlo y con ayuda de una báscula digital se registró el peso seco.

Diámetro de tallo

Al finalizar el estudio, se midió el diámetro del tallo en la parte basal y media con la ayuda de un vernier digital.

Potasio (K⁺) en el extracto celular del peciolo

Para realizar las mediciones del ion potasio en el extracto celular de peciolo se utilizó un ionometro de la marca (Horiba), en el cual se coloca una gota de savia cubriendo por completo el sensor, en cuestión de segundos este muestra la concentración de K⁺ en ppm en la savia.

Sólidos solubles totales en el extracto celular del peciolo

Con ayuda de un refractómetro y teniendo el extracto celular el peciolo de la planta de pepino obtenida del muestreo en el invernadero, se coloca una gota en el sensor e inmediatamente muestra la cantidad de solidos solubles totales (SST) concentrados en el extracto celular del peciolo.

Diseño Estadístico

Este experimento se realizó con un diseño de bloques al azar, donde se evaluaron seis tratamientos con seis repeticiones por tratamiento. En caso de detectarse significancia estadística de acuerdo al análisis de varianza, los promedios fueron comparados con el procedimiento de Duncan al 0.05.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

El rendimiento de fruto tendió a disminuir conforme se incrementa la concentración de la solución nutritiva cuando esta se suministró de manera CTE, sin embargo, esta disminución no fue significativa estadísticamente (Figura 2). Estos resultados indican que es posible modificar la concentración de la solución nutritiva sin detrimento en la producción de frutos. Lo anterior sugiere que las plantas de pepino podrían estar absorbiendo más nutrientes de la solución nutritiva más concentrada, pero sin que esto se manifieste en un incremento en el rendimiento; a este fenómeno se le conoce como consumo de lujo (INTAGRI, 2017).

La modificación de la concentración de la solución nutritiva con base en el monitoreo nutrimental cuando esta era del 75% muestra una reducción en 14.3 ton/ha en el rendimiento de fruto comparado con la misma solución aplicada de manera CTE. Sin embargo, cuando el monitoreo se hizo considerando a las plantas nutridas con la solución al 100% se presenta un ligero aumento en el rendimiento, muy similar al obtenido por las plantas tratadas con la solución nutritiva al 75% de manera CTE. Esto indica que siguiendo el monitoreo buscando la concentración de los nutrientes obtenida en el peciolo cuando se aplica la solución nutritiva al 100% el rendimiento se iguala al obtenido por las plantas del mejor tratamiento.

Mendoza (2022) observó que no existe un efecto de la concentración de la solución nutritiva sobre la producción de pepino, lo cual concuerda con los resultados obtenidos ya que el rendimiento no es afectado al reducir la concentración de la solución nutritiva hasta el 75%, con el consecuente ahorro de fertilizantes.

Almanza (2021), en un estudio realizado en pepino a diferentes concentraciones de soluciones nutritivas en un sistema de subirrigación, no detectó efectos significativos en respuesta a las soluciones, lo que sugiere que la producción de pepino no fue afectada por la concentración de la solución nutritiva.

En tomate, López-Acosta *et al.* (2020) mostraron que el rendimiento de fruto tampoco fue afectado por diferentes soluciones nutritivas con una relación de K/N

igual a 1.0 para la etapa de crecimiento y la relación K/N de 1.5 para la etapa de producción, y, aunque se pueden ver ligeros aumentos en algunos cortes estos aumentos no fueron significativos, pues en su mayoría todos siguen un mismo patrón.

Según Parra *et al.* (2008), cuando la presión osmótica de una solución nutritiva es menor a la óptima para un cultivo en una condición dada, los nutrientes como el K^+ y P, cuyo acceso a la raíz es principalmente por difusión, son absorbidos en menor proporción por la planta. Considerando que no hubo diferencias significativas en el rendimiento de tomate con las soluciones evaluados por los autores, posiblemente se generó un mayor gradiente de concentración y el K^+ se movilizó en mayor cantidad hacia la raíz, ocasionando un consumo de lujo y provocando mayor concentración de K^+ en el fruto sin afectar el rendimiento.

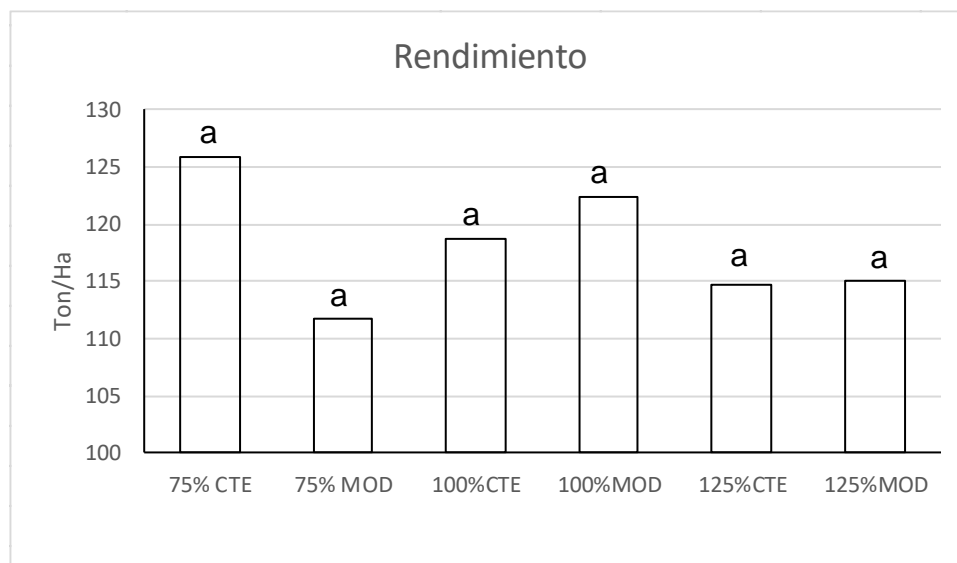


Figura 2. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en el rendimiento de fruto en pepino (*Cucumis sativus* L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Diámetro Distal del Fruto

El diámetro del ápice se midió de los frutos cosechados, como se observa en la Figura 3, los de mayor diámetro fueron aquellos obtenidos cuando las plantas se irrigaron con una solución nutritiva al 75% MOD de acuerdo al contenido de K^+ en el extracto celular del peciolo, superando estadísticamente a aquellos tratados con soluciones al 125%.

Los resultados obtenidos por Cruz (2023) sugieren que los frutos de pepino tienden a ser más puntiagudos en el ápice cuando se cultivan en peat moss o cuando se emplea una solución nutritiva de alta concentración, en contraste, los resultados del presente estudio sugieren que esta característica de calidad de los frutos puede mantenerse en rangos aceptables manejando la solución nutritiva a un 75% de concentración, por lo que también es un parámetro que podría estar relacionado con la mayor absorción de agua en solución nutritiva de alto potencial hídrico.

Loyola y Alberony (2020) señalan que por efecto de la concentración de la solución nutritiva el diámetro ecuatorial y polar de los frutos de tomate cherry fue mayor cuando las plantas fueron expuestas a una solución nutritiva del 50%, ya que el diámetro polar varió de 22.01 a 22.88 mm, mientras que con una solución nutritiva del 50% los frutos presentaron 3.8% mayor diámetro respecto al uso de la solución nutritiva al 75% de concentración.

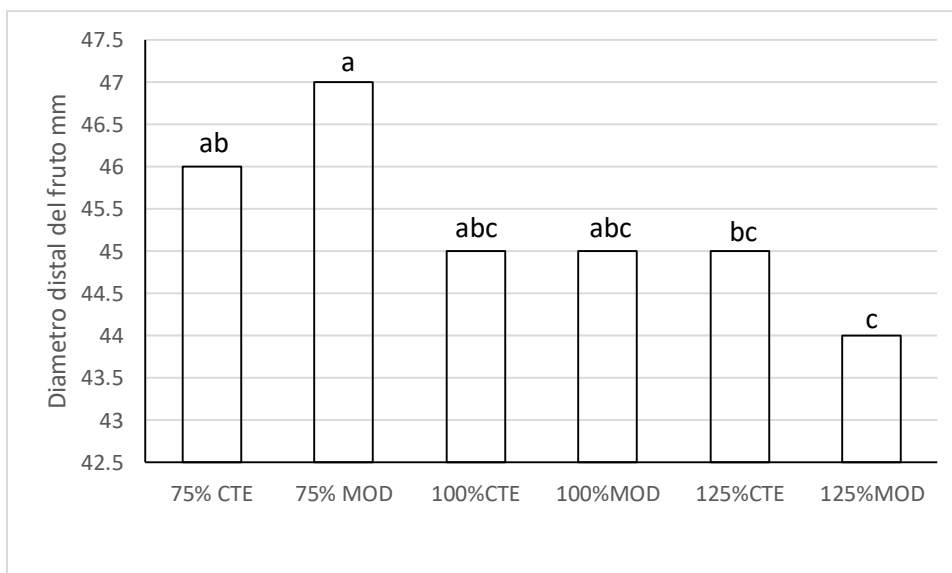


Figura 3. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en diámetro distal de fruto en pepino (*Cucumis sativus* L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Curvatura de Fruto

La curvatura del fruto no manifestó significancia estadística (Figura 4), aunque cabe destacar que cuando se usó la solución nutritiva de 75%CTE y 100%CTE es donde se obtuvo una mayor curvatura de los frutos; al ser comparado lo que sucedió con la solución de 75%MOD la curvatura tiende a disminuir 5 mm, indicando que cuando se modifica de acuerdo al monitoreo estos tienden a ser más rectos y de mejor calidad. Al observar el comportamiento de la solución nutritiva de 100%MOD se detecta que la curvatura fue mayor que la de 75%MOD, pero aún sigue siendo menor a la de 100% y 75% que fueron CTEs todo el tiempo.

Hernández (2021) señala que de acuerdo a la interacción de la HR con la forma del fruto de pepino (curvatura), se observa que en las cámaras de 35% y 50% de HR se obtuvieron frutos con características más irregulares con relación a la cámara con mayor HR, donde la forma de los frutos fue más uniforme, sin embargo con las soluciones de 75 y 100% fueron los de mejor calidad. Esto sugiere que la curvatura del fruto no siempre va a ser afectada por la concentración de la solución nutritiva

ya que también tiene que ver el ambiente donde se desarrolla el cultivo, como es el caso de la HR.

Almanza (2021) observó que a diferentes concentraciones de soluciones nutritivas no demuestra diferencias significativas por lo que se obtuvo frutos de pepino con forma uniforme, lo cual es importante en cuanto a parámetros de calidad ya que el mercado exige frutos rectos. Según Barreiro (2018), un fruto de pepino para que sea considerado de buena calidad debe tener una forma alargada y cilíndrica (pepónide) con diámetros uniformes o parecidos en la parte proximal, ecuatorial y distal del fruto.

Adame (2020) indica que bajo subirrigación con una solución nutritiva de 50% y 75% se generaron frutos con forma regular y cilíndrica, la cual es forma del fruto ideal según Barreiro (2018). Por lo anterior los frutos de pepino de mejor calidad en cuanto a la forma se obtuvieron en plantas subirrigadas con 50% o 75% de la solución nutritiva, aunque no hubo efectos significativos por las concentraciones.

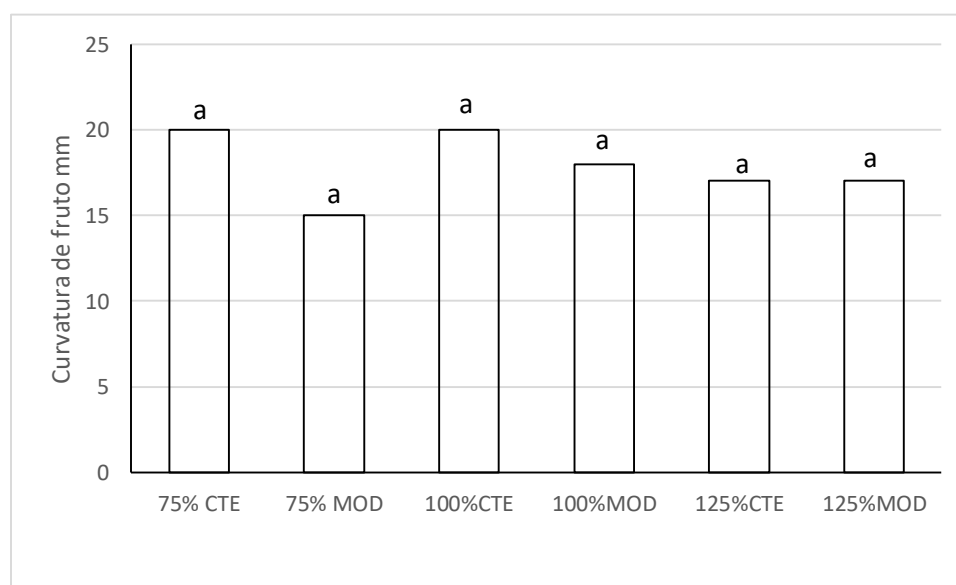


Figura 4. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en curvatura de fruto en pepino (*Cucumis sativus* L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K⁺ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con p<0.05.

Peso Seco de Hoja

En la Figura 5 se observa como la concentración de solución nutritiva no afecta la producción de biomasa seca de hoja con una tendencia clara, sin embargo, si hubo un incremento significativo entre la concentración 75%MOD comparado a la solución 100%MOD, siendo mayor con esta última con 19.6% mayor biomasa a la obtenida con la solución nutritiva 75%MOD. Cárdenas-Hidalgo *et al.* (2022) obtuvieron que el tipo de fertilización utilizada en el cultivo de Liliium, afectó el peso seco de la hoja debido a las aplicaciones de solución nutritiva con amonio con respecto a la solución sin amonio. Flores-Ruvalcaba *et al.* (2005), deduce que el peso seco total de la planta de crisantemo está dado principalmente por el peso seco del tallo, y en segundo lugar el peso seco de la hoja.

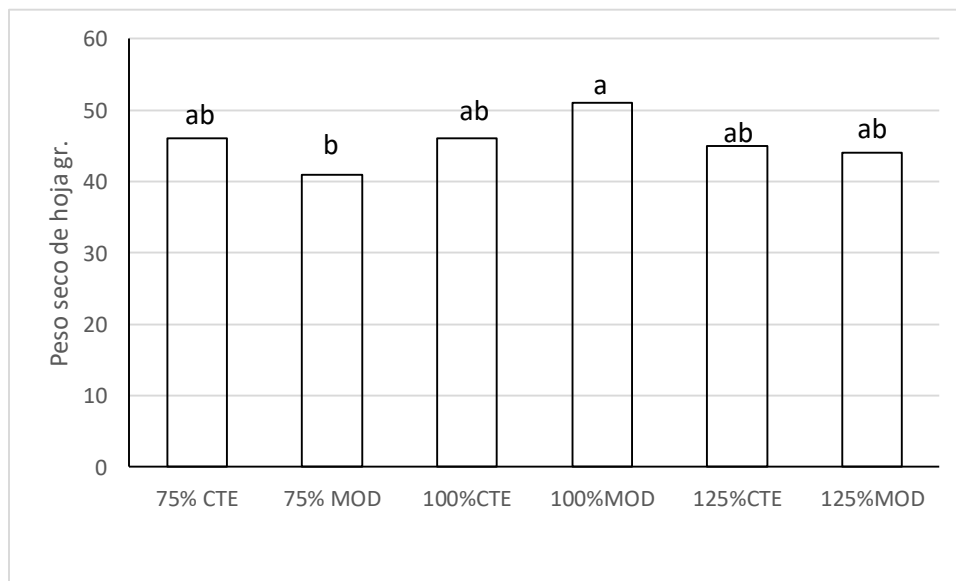


Figura 5. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en peso seco de hoja en pepino (*Cucumis sativus* L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Peso Seco de Tallo

Para el peso seco de tallo tampoco fue afectado significativamente por las soluciones nutritivas (Figura 6), sin embargo se puede observar que la solución nutritiva al 100%MOD muestra una pequeña tendencia a aumentar. Méndez (2020) menciona en su experimento que las plantas subirrigadas con una solución nutritiva al 100% presentaron una mayor producción de biomasa, ya que un mayor peso seco en tallo con respecto a las plantas subirrigadas con una solución nutritiva al 70%, igualmente expone que el peso seco es similar en todas las concentraciones para los sistemas de subirrigación. Álvarez (2012) mostró que la materia seca total en el cultivo de pepino, la solución universal Steiner con las concentraciones de 75%, 125% y 175% se observó estadísticamente igual.

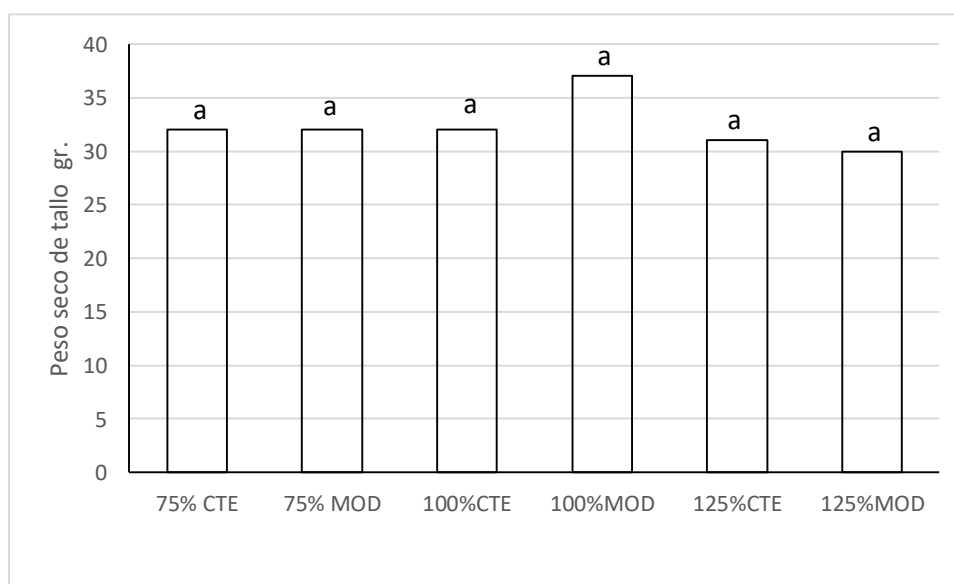


Figura 6. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en peso seco de tallo en pepino (*Cucumis sativus* L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K⁺ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Diámetro Basal de Tallo

En el diámetro basal de tallo tampoco se observa una diferencia significativa en cuanto los tratamientos realizados, pero si observamos la Figura 7 es posible observar una mejor respuesta con la solución nutritiva al 75%CTE con un diámetro 0.8 mm mayor comparado a la de 75%MOD. Posteriormente la solución nutritiva de 100%CTE mostró un aumento de 0.4 mm comparado con las plantas tratadas con la solución 100%MOD. El tratamiento de 125%CTE y MOD resultaron iguales, pero al ser comparado con las plantas con 75%CTE son menores por un 0.5 mm. Lo anterior indica que para tener una mejor respuesta en la base del tallo en la planta no es necesario aplicar soluciones demasiado concentradas.

Según López (2023), para el diámetro de tallo del tomate, la solución nutritiva al 125% fue en la que se obtuvo los mejores resultados con 19.92 mm respecto a la solución nutritiva al 100%, con diámetro de 19.47 mm, y con la solución nutritiva al 75% con 19.22 mm, aunque los tres tratamientos fueron estadísticamente parecidos, por lo que las diferencias entre un tratamiento y otro no fueron muy marcadas.

Loyola y Alberony (2020), en la determinación de diámetro basal de tallo en tomate cherry por el efecto de la concentración de la solución nutritiva a los 14 días después del trasplante (ddt), no se encontró diferencia en la respuesta con la concentración de la solución nutritiva ya que el diámetro varió de 5.35 a 5.46 mm. Al final de experimento (138 ddt), al ocupar las soluciones nutritivas con mayor concentración (75% y 100%) se obtuvo el mayor diámetro, no encontrando diferencias significativas entre ellas (24.78 y 24.97 mm). Lo anterior sugiere que el crecimiento del tallo está en relación con el tipo de especie y hábito de crecimiento.

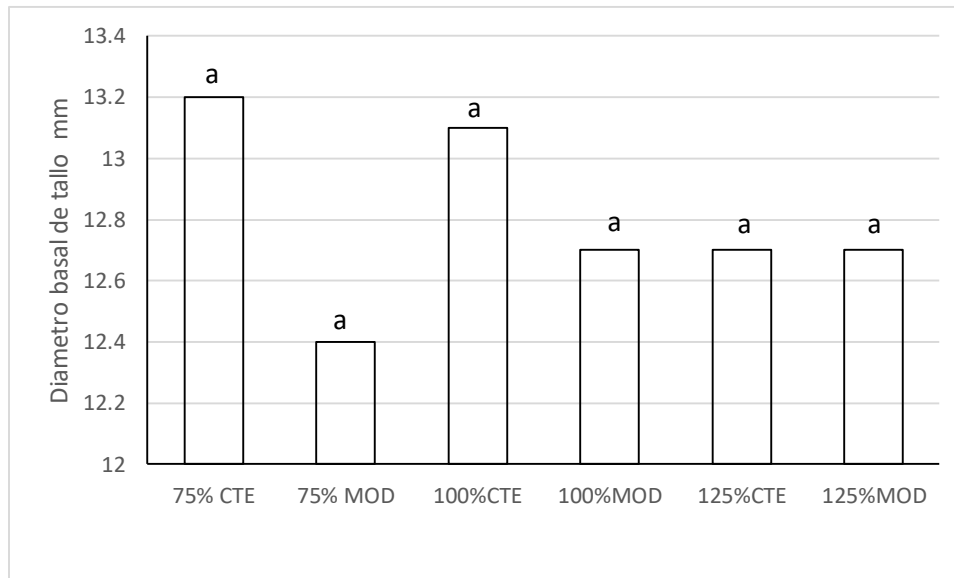


Figura 7. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en diámetro basal de tallo en pepino (*Cucumis sativus* L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Diámetro Medio de Tallo

En la Figura 8 se muestra que no hubo una tendencia significativa, sin embargo, se puede observar un mayor aumento en respuesta con la solución nutritiva al 75% CTE y MOD, pero entre ellas es prácticamente igual; posteriormente, la solución nutritiva al 100% CTE y MOD mostraron un aumento cuando se modifica la solución, pero por debajo de la concentración de 75%. Lo anterior es contrario a lo que sucedió con la solución nutritiva de 125% CTE y MOD ya que tienden a bajar cuando es MOD.

Los resultados sugieren que para obtener un mejor diámetro de tallo de la planta se puede lograr con concentraciones bajas de nutrientes. La eficiencia de los nutrientes puede ser en respuesta de la distancia que recorren, ya que no va hacer el mismo gasto energético para que estos sean translocados al ápice de la planta comparado con una translocación a la base o a la mitad del tallo.

Méndez (2019) analizó en tres momentos el diámetro de tallo en plantas de tomate: trasplante, plena floración y durante la cosecha del tercer racimo. Estos eventos corresponden los 3, 24 y 66 ddt. El efecto de las soluciones fertilizantes sobre el diámetro de tallo en distintos momentos indica que a los 3 y 66 ddt no mostraron diferencias significativas, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio con pepino.

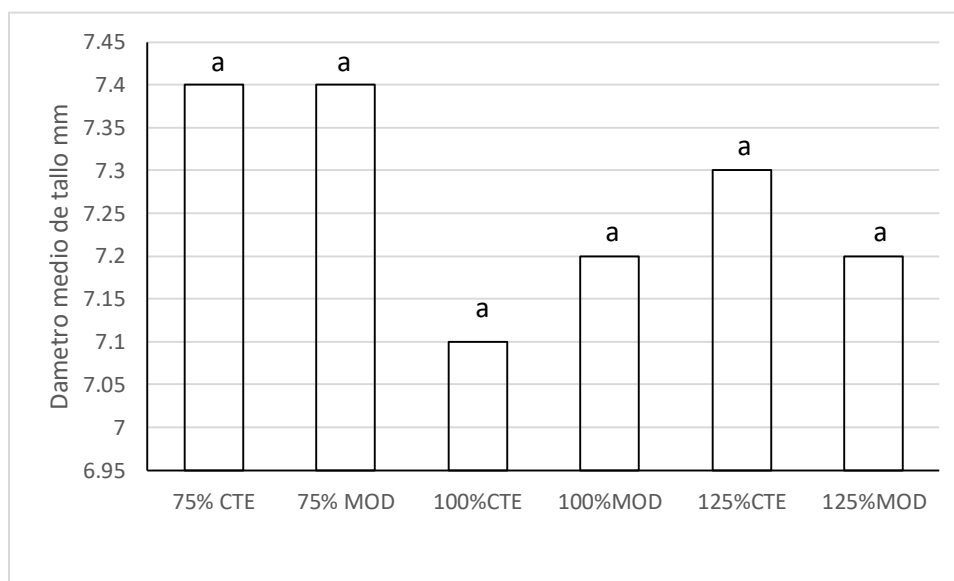


Figura 8. Efecto de la aplicación de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100% y 125%) en diámetro medio de tallo en pepino (*Cucumis sativus* L.). Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD). Barras seguidas de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Duncan con $p < 0.05$.

Contenido de Potasio en Extracto Celular de Peciolo

Con la solución nutritiva al 75%CTE, la concentración de K^+ tiende a bajar en los últimos dos muestreos, mientras que el rendimiento acumulado de fruto tiende a aumentar (Figura 9). Al comparar con la concentración de 75%MOD en cada etapa fenológica del cultivo se observa como el rendimiento muestra una tendencia similar al de la solución CTE, aunque tiende a ser menor, indicando que para este grado

de concentración de K^+ en la solución es mejor utilizar la solución nutritiva CTE ya que se obtienen mejores resultados.

Para el tratamiento manejado con una solución nutritiva al 100%CTE la concentración de K^+ en el extracto celular de peciolo tiende a bajar, pero el rendimiento en ningún momento se ve afectado por esta disminución (Figura 9). Para el caso de la solución nutritiva, al ser MOD se observa como el rendimiento se incrementa, siendo mayor que cuando se maneja CTE. Lo anterior indica que se puede definir que cuando se utiliza una solución nutritiva al 100% es mejor hacer monitoreo nutrimental y ajustar a la etapa que se encuentra el cultivo, nos genera más rendimiento y probablemente un mejor uso de agua y fertilizantes, obteniendo mejores resultados.

En la solución nutritiva concentrada con el 125%, el K^+ tiende a ser menor en el peciolo, pero el rendimiento no es afectado en ningún momento (Figura 9), al comparar la solución nutritiva CTE y MOD se observa una similitud, siendo el rendimiento igual en ambos casos. Se puede concluir que al utilizar una concentración de 125% no es necesario hacer monitoreo ni ajuste de la solución, ya que se obtiene el mismo rendimiento.

Cruz (2023), de acuerdo a los análisis de concentración de K^+ en el extracto celular del peciolo en pepino, indica que el contenido de K^+ aumenta de la misma forma que aumenta la concentración de la solución nutritiva aplicada en cada tratamiento. El K^+ se considera un ion en el que las plantas muestran un consumo de lujo, por lo que mayor disponibilidad exista en el medio de cultivo las plantas van a tender a acumularlo.

Según Valentín-Miguel *et al.* (2013), un aspecto que influye en la disminución de la concentración de K^+ en el tejido fue que se cosecharon frutos, esto implica pérdida de elementos en la planta, debido a que los procesos de formación y crecimiento de frutos llegan a constituir el principal órgano de demanda, con valores entre 70% y 80% de la cantidad total extraída por la planta, ya que este nutrimento favorece una mayor floración y cuajado de fruto

Núñez-Ramírez *et al.* (2020) señalan que el K^+ en extracto celular de peciolo no tiene efecto significativo por la concentración de este elemento en la solución nutritiva en hojas de chile Habanero, los valores en el extracto celular estuvieron en el orden de los 6000 a 8000 $mg L^{-1}$.

Tapia *et al.* (2003) indican que las concentraciones de $N-NO_3^-$ y K^+ en el extracto celular del peciolo tiene en todos los tratamientos con fertirriego una respuesta uniforme, no hay respuesta significativa al incremento en la dosis aplicada de N y K^+ en la concentración del extracto celular del peciolo en el cultivo de aguacate.

Tapia-Vargas *et al.* (2010), no detectaron efectos significativos en la concentración de K^+ en el extracto celular del peciolo en ninguna fase de desarrollo del cultivo de melón en los dos años estudiados. Esto puede ser debido a que, al avanzar el ciclo de desarrollo, la demanda de nutrientes por el fruto puede causar reducciones en la concentración nutrimental en hojas y tallos en los tratamientos con limitada disponibilidad nutricional.

Hernández (2014) señaló que la composición y concentración de los elementos minerales y solutos orgánicos en el extracto celular del peciolo, depende de factores como es la especie vegetal, el suministro de fertilizantes, la asimilación de nutrientes minerales por las raíces, el reciclaje de nutrientes y el riego, y que la concentración de solutos están influenciados por el grado de dilución con agua, siendo dependiente del suministro de esta para la absorción de nutrientes de la tasa de transpiración y la hora del día en que se toma la muestra. Los resultados de este autor no mostraron diferencias estadísticas significativas entre etapas fenológicas, ya que se observó un comportamiento lineal en el estudio nutrimental de arándano azul.

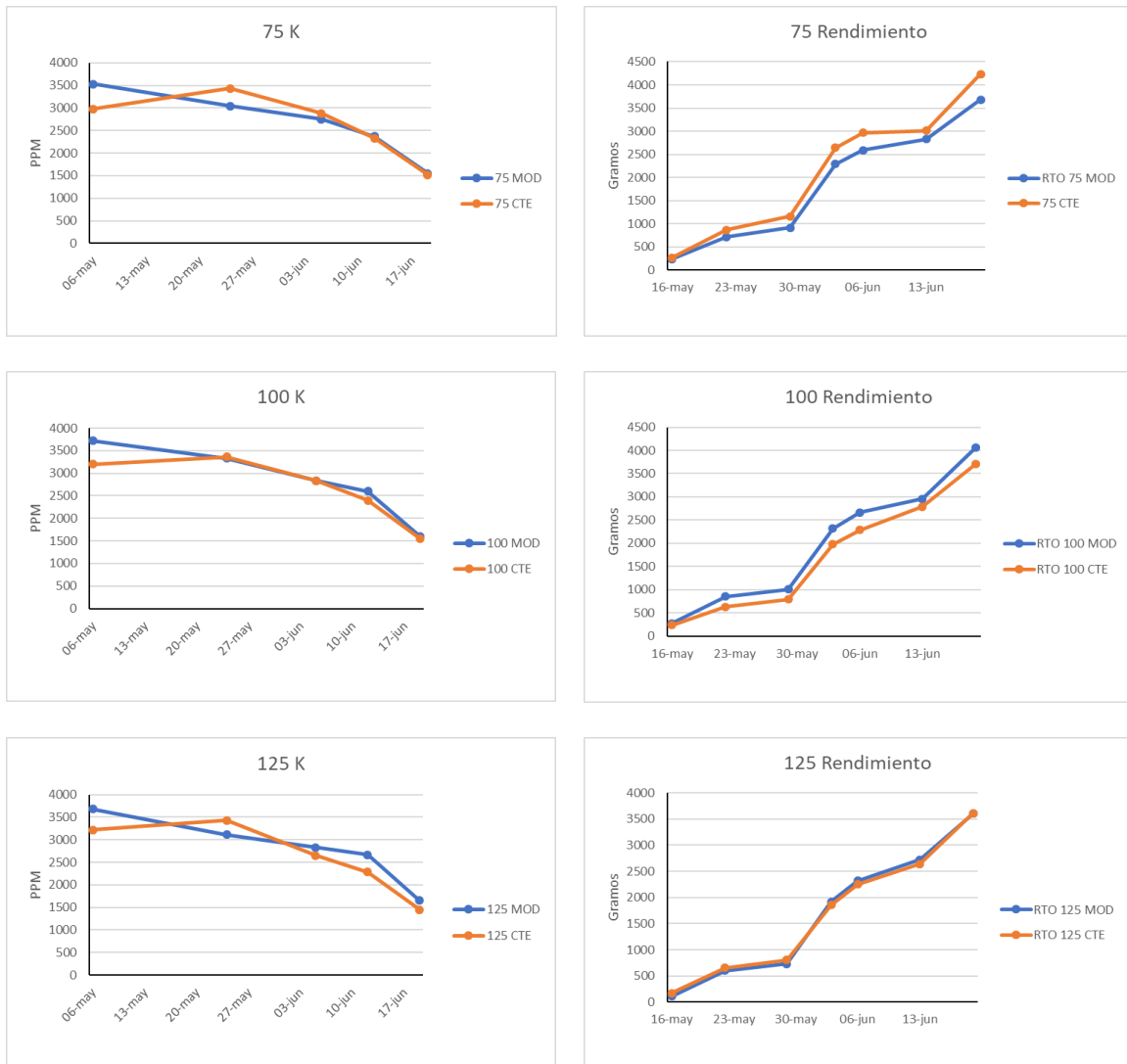


Figura 9. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100%, y 125%) sobre la concentración del ion K⁺ en el extracto celular del peciolo en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) y su relación con el rendimiento de fruto. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K⁺ extracto celular del peciolo (MOD).

Contenido de Sólidos Solubles Totales en Extracto Celular de Peciolo

Los sólidos solubles totales en el extracto celular de peciolo tendieron a aumentar en el segundo muestreo independientemente de la concentración de la solución nutritiva (Figura 10). En ambos casos, con las soluciones MOD y CTE, se presenta la mayor concentración de Sólidos solubles totales el día 5 de junio después de esa

fecha empieza a disminuir los SST. Los rangos finales fueron de 2 y 2.5 (°Brix) cuando la planta ya está grande.

Martínez (2021) señala el efecto del manejo de la solución nutritiva y de la condición de suelo sobre los SST encontrado en el extracto celular del peciolo en tres etapas fenológicas. A los 30 ddt, tanto el manejo de la solución nutritiva como condiciones de suelo, tuvieron un efecto significativo sobre los SST en el extracto celular del peciolo de las plantas. La condición inicial de la salinidad del suelo tuvo un efecto significativo en los SST a los 60 ddt pero a los 90 ddt no se encontró diferencias significativas. También indican que cuando existió el aumento de SST hubo una deficiencia de magnesio, se menciona que bajo una deficiencia de magnesio las plantas acumulan carbohidratos en las hojas.

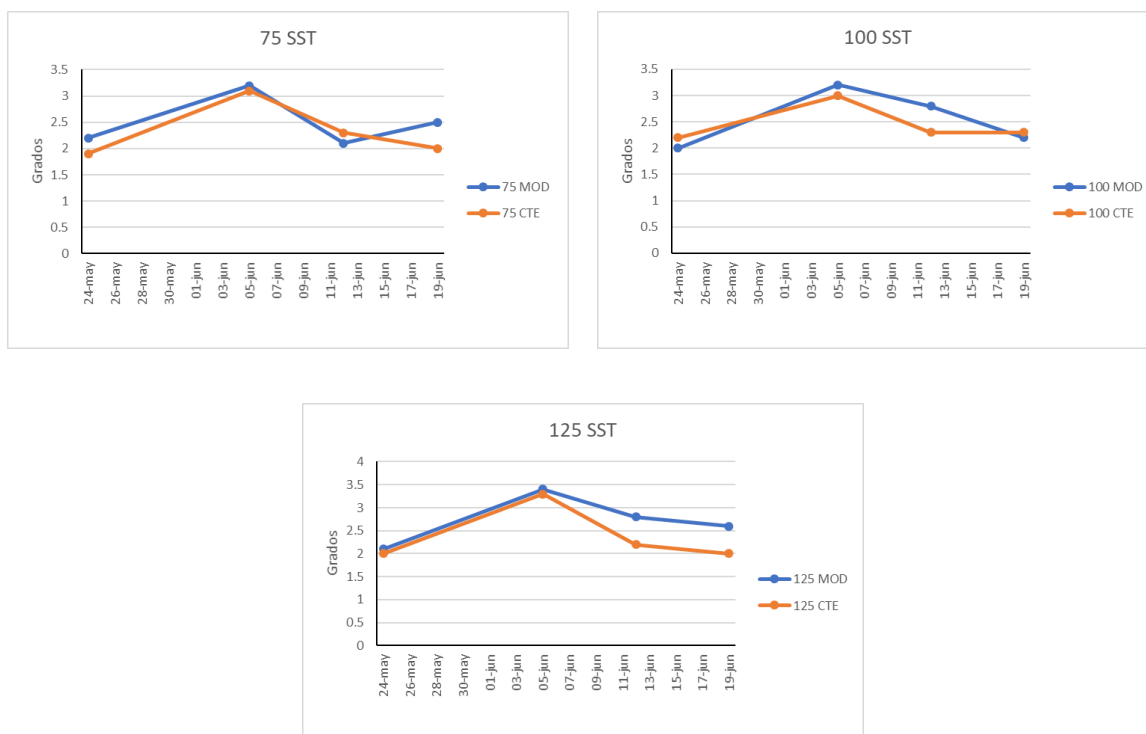


Figura 10. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (75%, 100%, y 125%) sobre el contenido de sólidos solubles total en el extracto celular del peciolo en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.).

Contenido de Potasio en Peciolo en Relación con el Rendimiento Acumulado

En la Figura 11 se muestra la relación entre la concentración de K^+ en el extracto celular del peciolo obtenido en el quinto muestreo y el rendimiento de fruto. En este experimento se mostró que para obtener el máximo rendimiento en el cultivo de pepino se logra con 1525 a 1600 ppm de K^+ en el extracto celular del peciolo, como se puede observar en la Figura 11, siendo este el rango óptimo. Con este rango se obtuvieron los rendimientos más altos en el corte 1 al 7. Si el extracto celular del peciolo tiene 1450 o 1650 ppm el rendimiento total se ve afectado ocasionando una disminución de un 11%, lo que sugiere que estos niveles ya son de deficiencia o toxicidad, respectivamente.

Hernández (2021), en su experimento en el cultivo de pepino con relación a la concentración de K^+ en el fruto, las plantas irrigadas con la solución nutritiva 125% fueron las que presentaron más de 1300 ppm de K^+ , este ion presenta una mayor concentración en el tallo al aumentar relaciones de K/catión en la solución nutritiva. Lo encontrado por Berrueta *et al.* (2021) los valores de K^+ medidos en jugo de peciolo a lo largo del ciclo de tomate en tres ciclos evaluados, los niveles de potasio medidos ascienden durante el transcurso del cultivo, los valores mínimos medidos fueron de 2500 a un máximo de 4367 ppm de K^+ .

La relación entre el K^+ en el extracto celular del peciolo obtenido en el cuarto muestreo y el rendimiento de fruto se observa en la Figura 12. Como se observa, se presenta una tendencia similar al muestreo 5 (Figura 11), por el contrario, al observar la Figura 13, 14 y 15, correspondiente al tercer, segundo y primer muestreo, respectivamente, no hubo tendencia clara.

Cardona (2015), indica que a mayor concentración de K^+ en la solución nutritiva se eleva los niveles de K^+ en el peciolo en plantas de pepino mientras que a niveles bajos en la solución disminuye la concentración. Llanderal *et al.* (2018), indican que, en tomate, hubo una gran variabilidad los resultados de las concentraciones de K^+ debido a la selección del peciolo muestreado, por lo que es necesario tener cuidado con la selección de la muestra.

Lu *et al.* (2022) muestra que, en el cultivo de frambuesa, las diferentes tendencias de los efectos del tiempo de muestreo para las concentraciones de K^+ en el extracto celular del peciolo y K^+ en el tejido de la hoja indican que la etapa de crecimiento de la planta y el ambiente puede afectar la relación entre el K^+ en el extracto celular del peciolo y las concentraciones de K^+ en el tejido de la hoja.

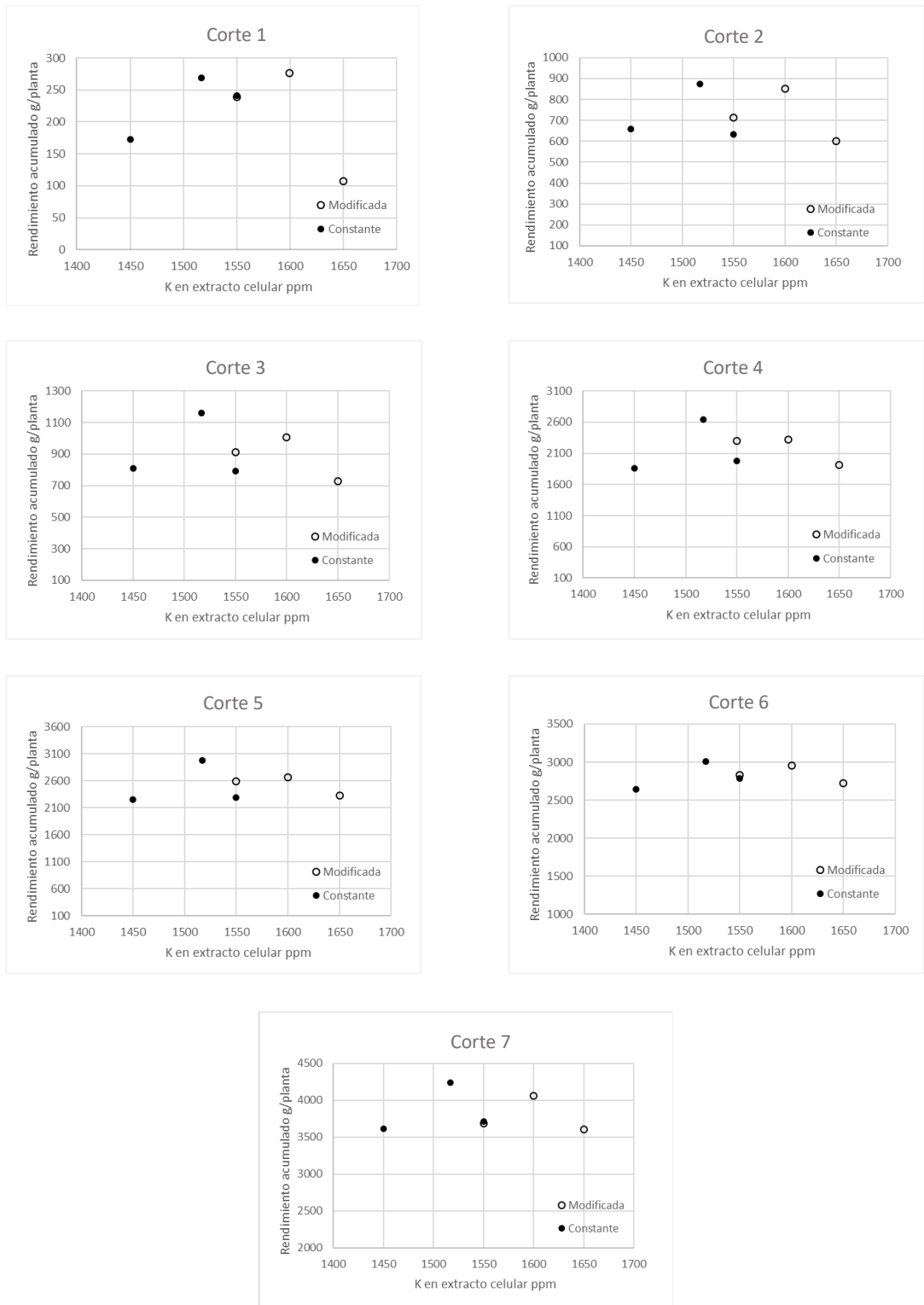


Figura 11. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes de fruto y la concentración de K⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Quinto muestreo. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K⁺ extracto celular del peciolo (MOD).

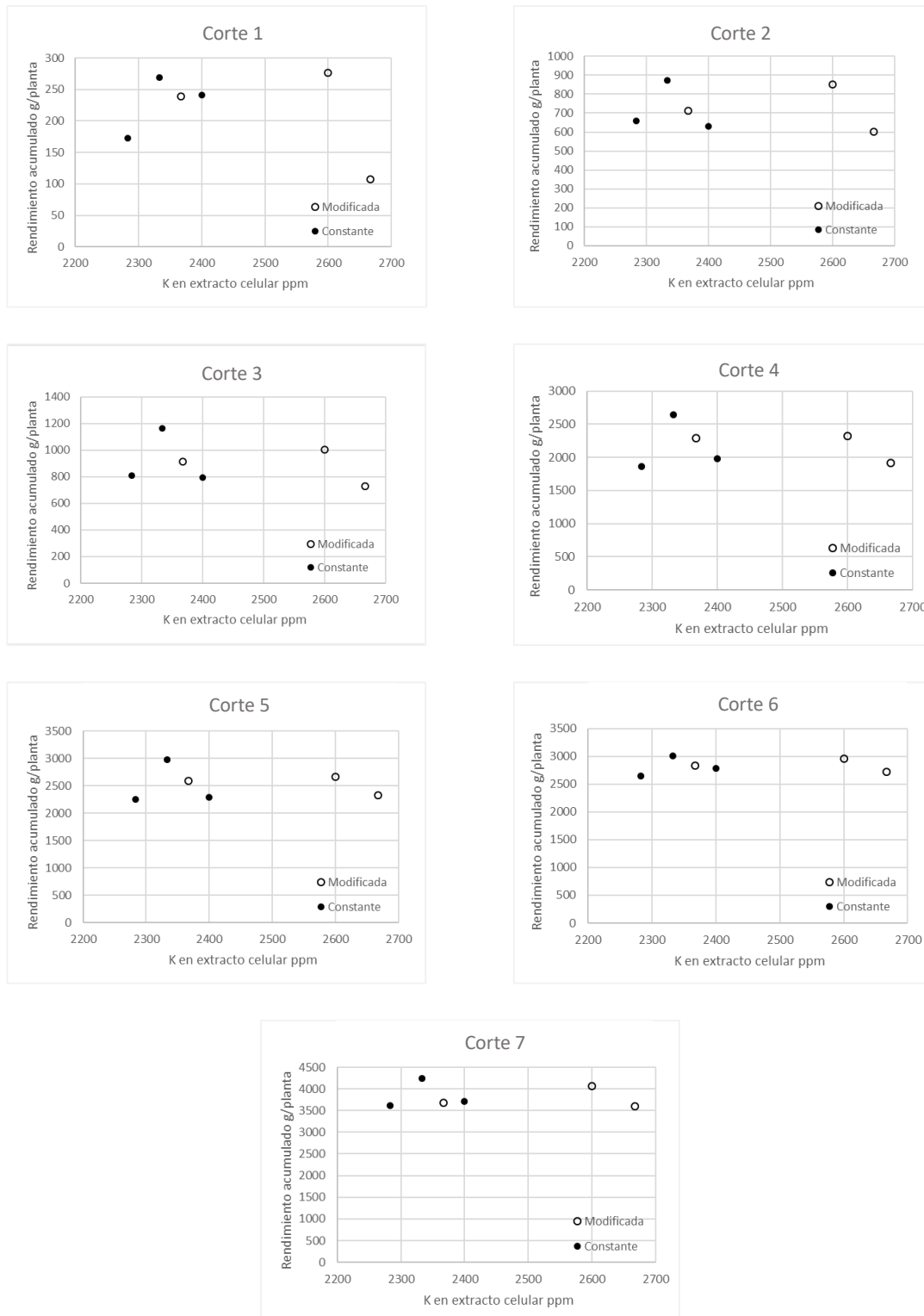


Figura 12. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes de fruto y la concentración de K^+ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Cuarto muestreo. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD).

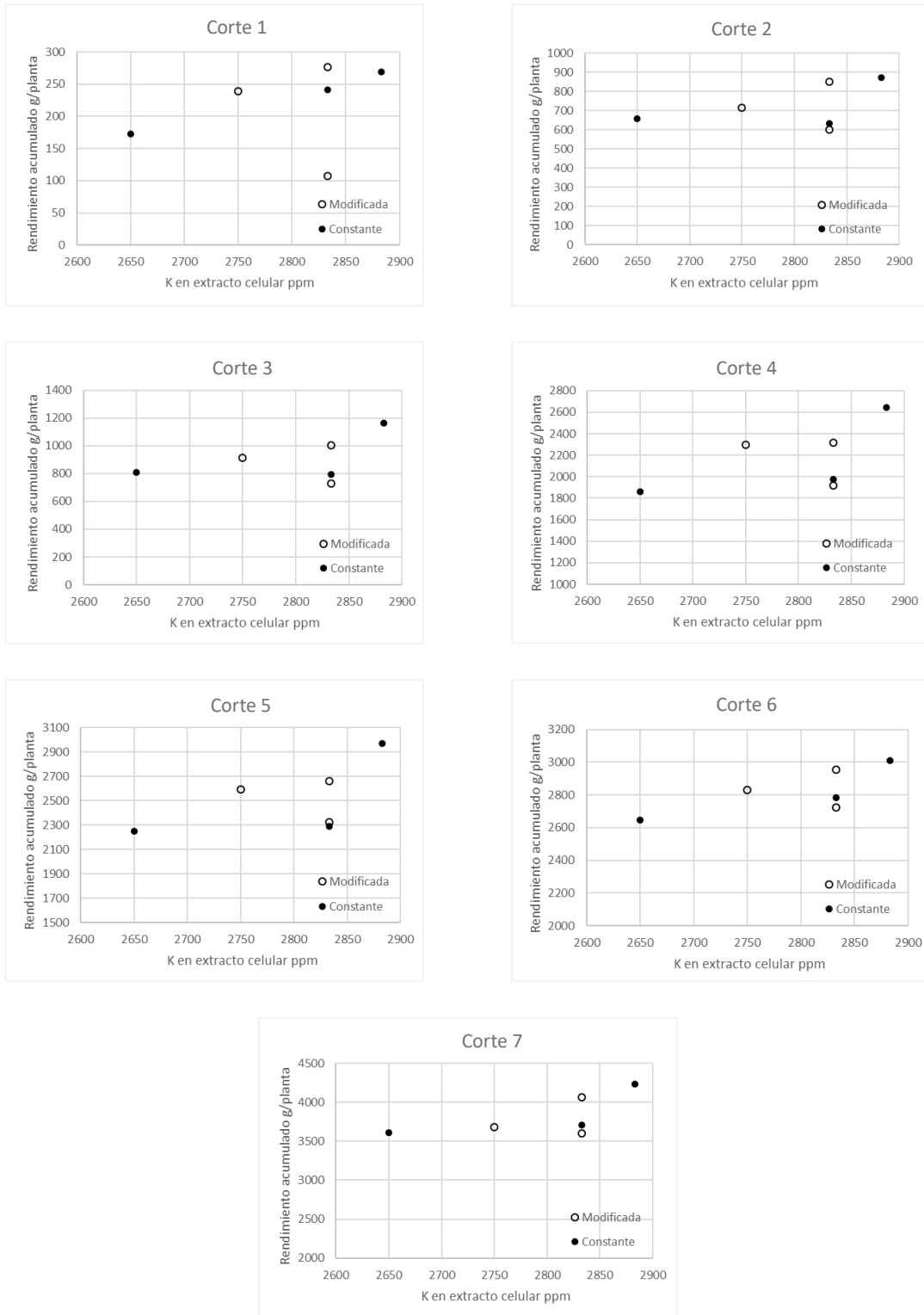


Figura 13. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes de fruto y la concentración de K⁺ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Tercer muestreo. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K⁺ extracto celular del peciolo (MOD).

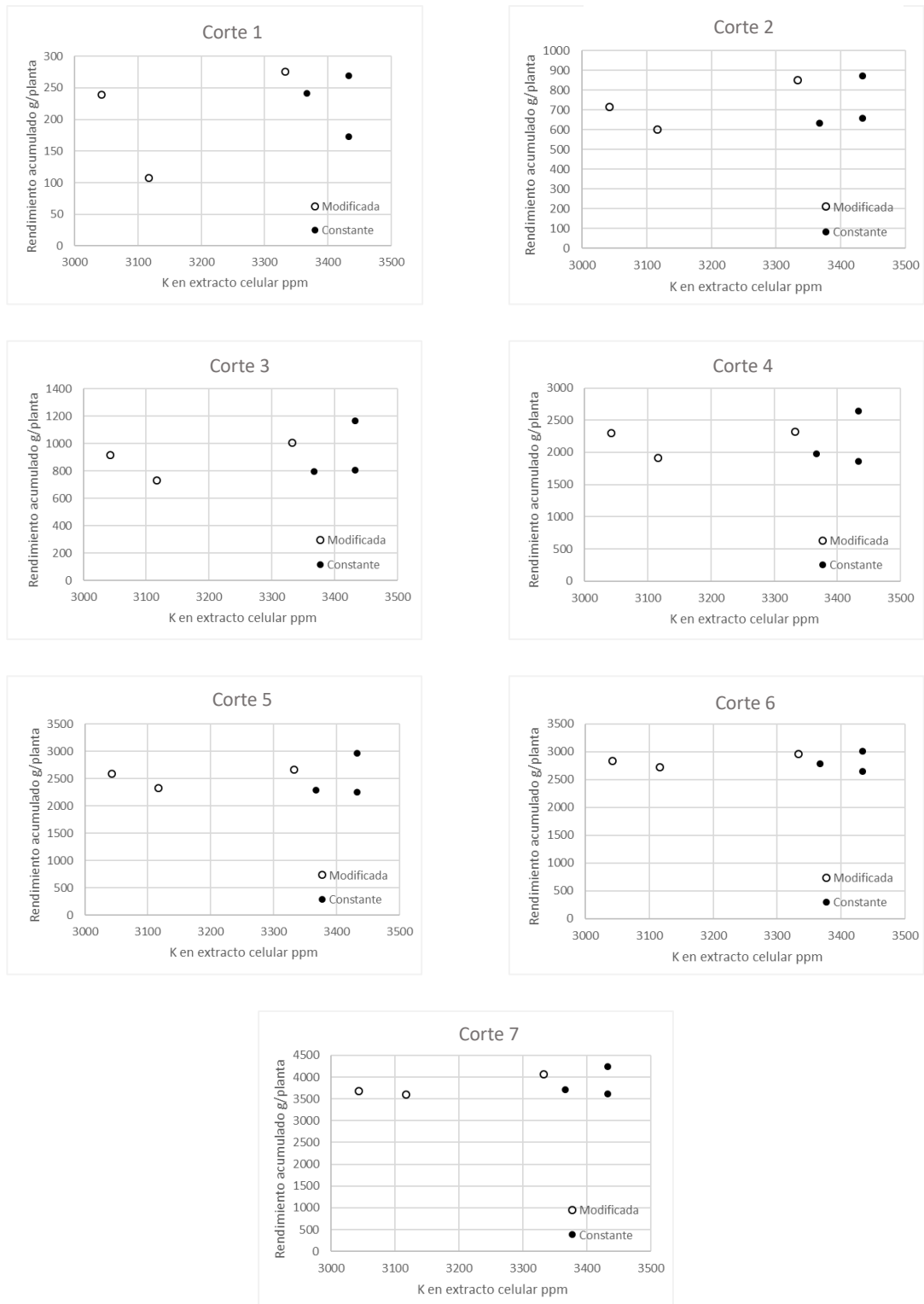


Figura 14. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes de fruto y la concentración de K^+ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Segundo muestreo. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD).

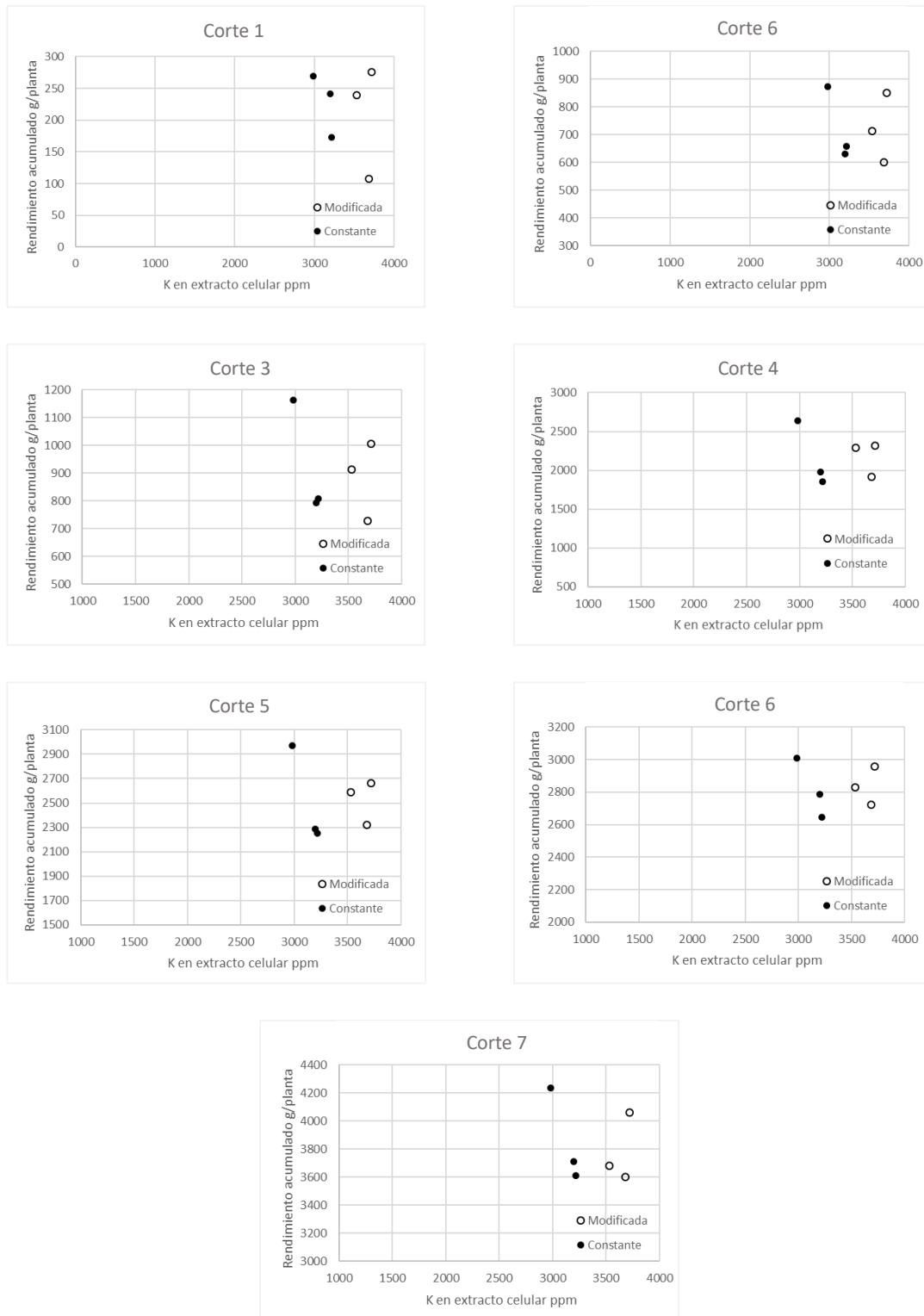


Figura 15. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes de fruto y la concentración de K^+ en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Primer muestreo. Las soluciones se aplicaron a una concentración constante (CTE) o bien la concentración fue modificada de acuerdo al análisis del K^+ extracto celular del peciolo (MOD).

Contenido de Sólidos Solubles Totales en Extracto Celular de Peciolo en Relación con Rendimiento Acumulado

La concentración de SST en el extracto celular de peciolo con relación al rendimiento estuvo en el rango entre 2 y 2.2 los más altos en cuarto muestreo (Figura 16), en el muestreo tres (Figura 17) los valores más altos fueron 2.8 y 2.3, para el caso del segundo muestreo (Figura 18) fueron de 3.3 y 3.2, al realizar el primer muestreo (Figura 19) los valores fueron 1.9 y 2.

Como se observó los efectos similares ocurrieron en el muestreo uno y cuatro, (Figura 19 y 16) teniendo una similitud en ambos casos sobre la concentración de SST en el peciolo con las diferentes soluciones nutritivas. Lo encontrado por Alejo-Santiago (2021) muestra que en la variedad Reehan 2.72 superó a Khassib 2.48, lo cual este efecto está relacionado con el número de frutos ya que Khassib fue mayor por un 40%, lo que evidentemente ocasiona un efecto de dilución en la concentración de los SST.

En un estudio realizado por Guato (2022), los niveles de SST evaluados con la técnica de extracto celular de peciolo en cultivo de banano, a las 19 semanas de edad tuvieron una similitud en todas las haciendas (campos) con un valor promedio de 2.4. Señalan que los valores bajos de sacarosa se pueden presentar por factores de textura del suelo, cantidad de materia orgánica y por la cantidad de fertilizantes aplicados, especialmente K^+ , que enmascaran los valores de SST en las hojas de banano.

Lo que se puede observar que al modificar la solución nutritiva y comparar con la solución nutritiva CTE se obtienen una concentración de SST similar, lo que nos indica que no hubo significancia en ninguno de los casos, sugiriendo que la concentración de la solución nutritiva no mostró efecto sobre la concentración de SST en el peciolo de las plantas.

PROAIN (2024a) señala que el valor de los SST en el extracto celular del peciolo proporciona información sobre la cantidad de nutrientes presentes en la planta, entre mayor sea el valor, mayor será la carga de iones y nutrientes en la planta. Para lograrlo se requiere de un equilibrio correcto de macro y micronutrientes es esencial para que los SST se mantengan en niveles óptimos, además de una buena iluminación, gestión adecuada de estrés hídrico factores que también influyen.

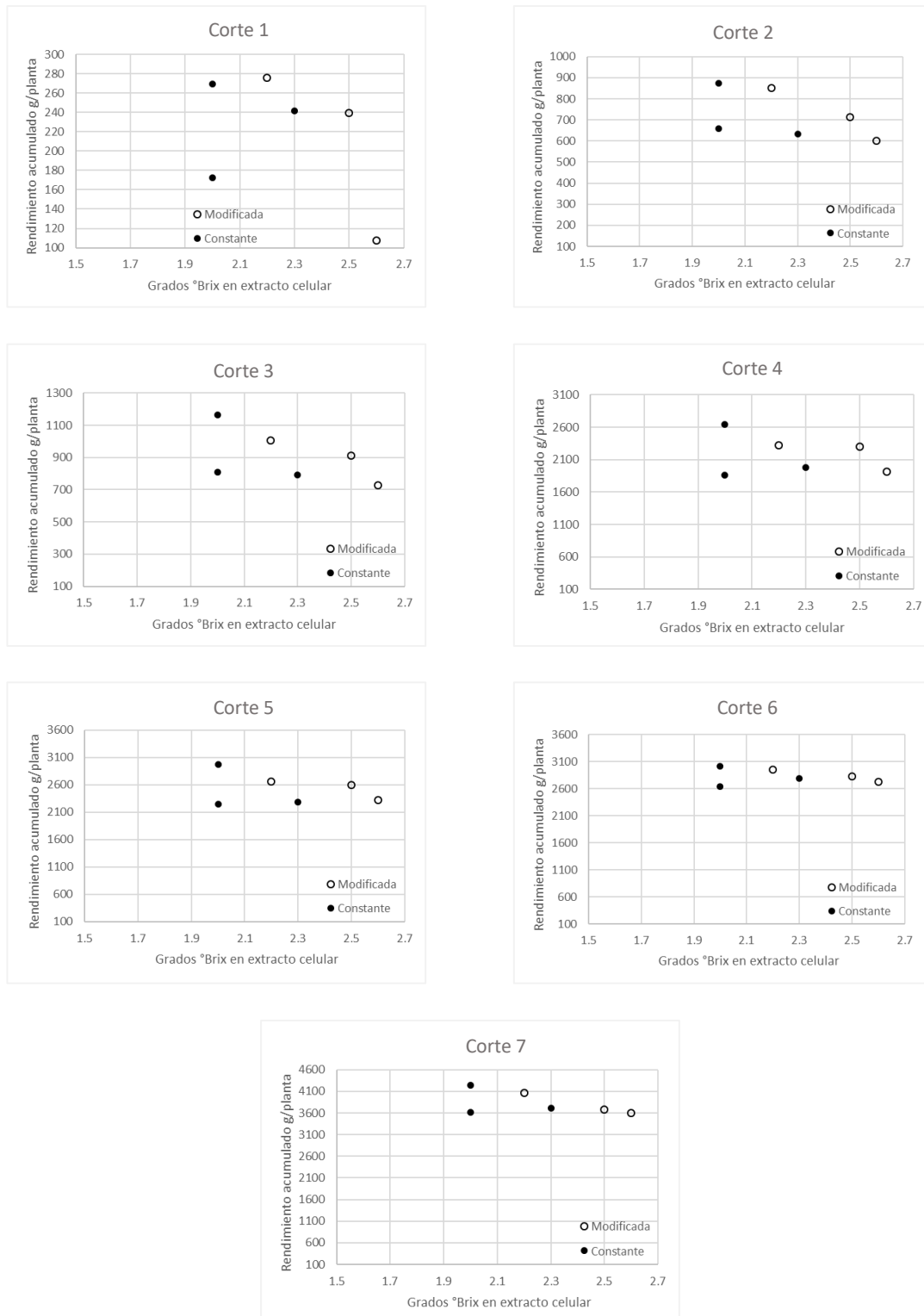


Figura 16. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes y la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Cuarto muestreo.

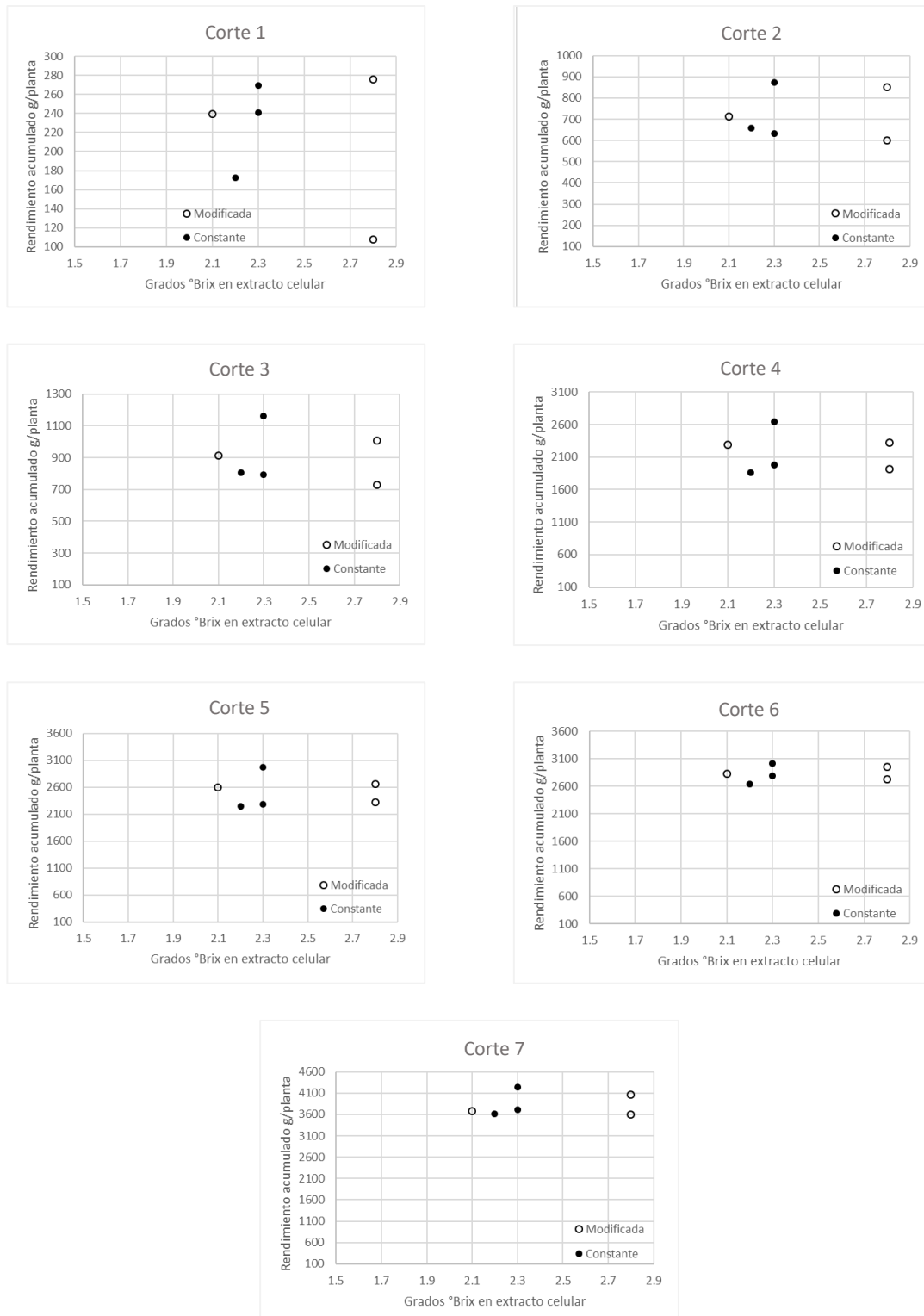


Figura 17. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes y la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) en el extracto celular de pepiolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Tercer muestreo.

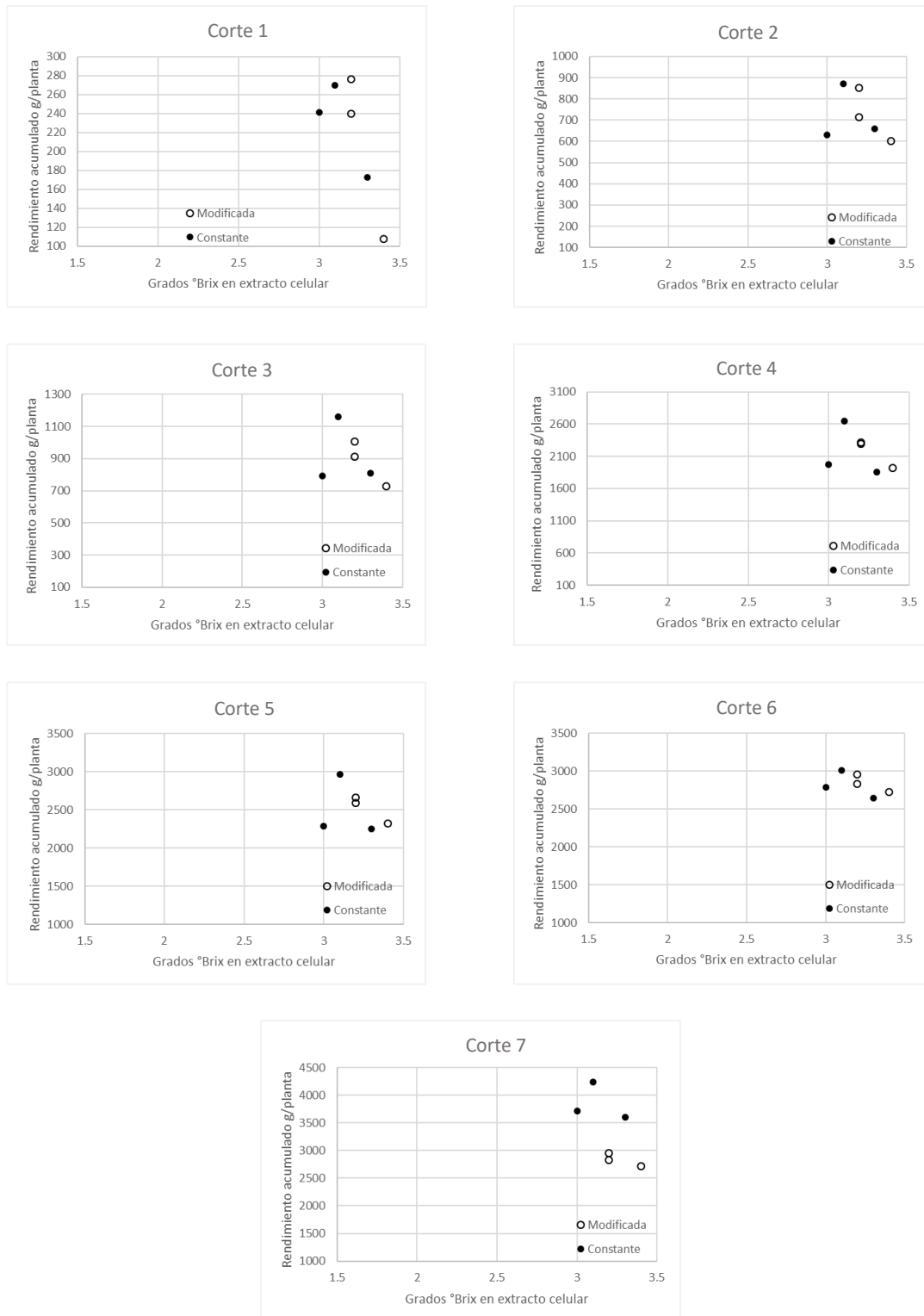


Figura 18. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes y la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Segundo muestreo.

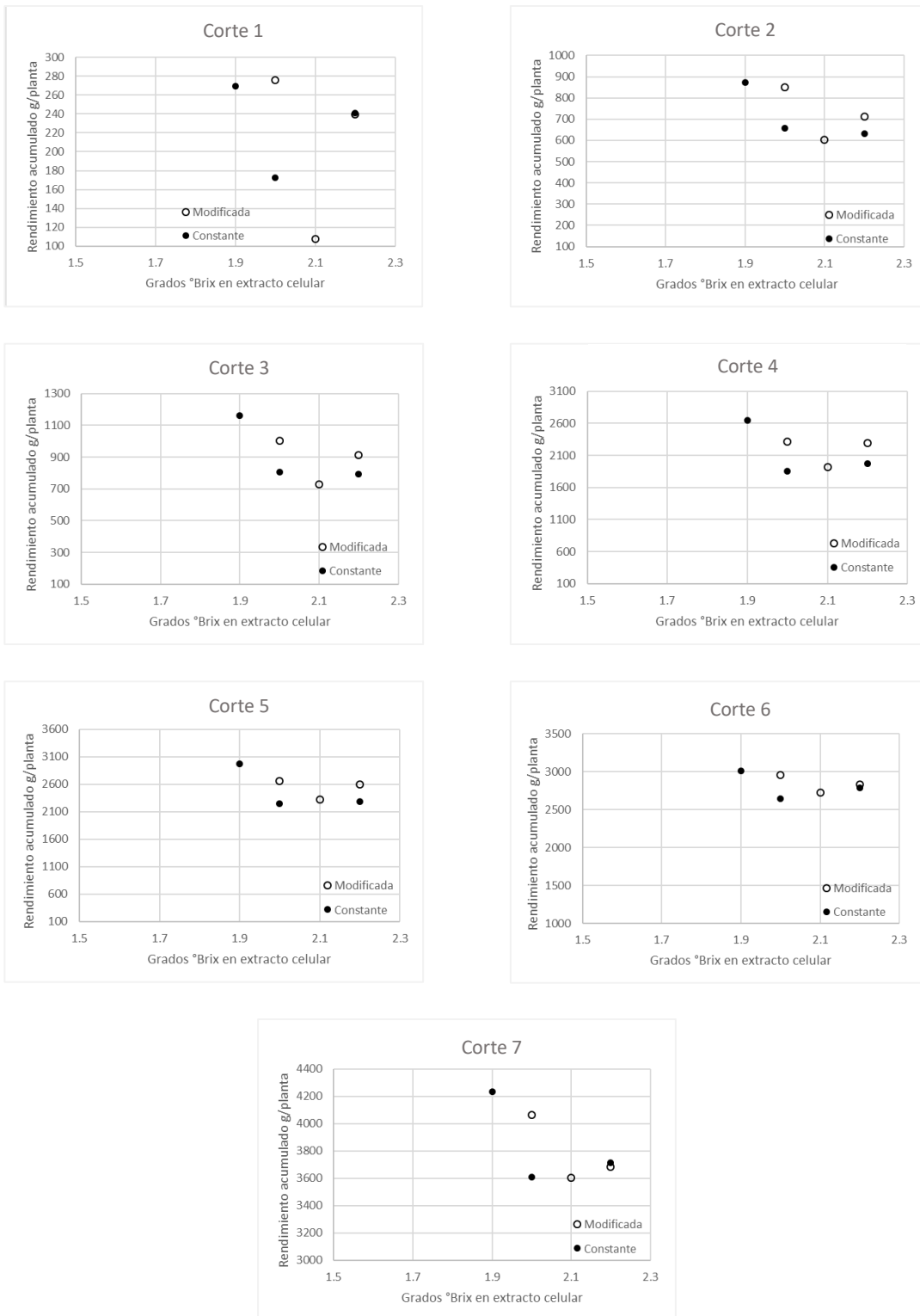


Figura 19. Relación entre el rendimiento acumulado de fruto a diferentes cortes y la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) en el extracto celular de peciolo en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Primer muestreo.

V. CONCLUSIONES

Para este experimento se mostró que no importa si se modifica la solución a la etapa fenológica del cultivo o si es utilizada con una concentración constante desde inicio hasta el final ciclo, siempre y cuando la concentración de K^+ en el peciolo de la planta se encuentre en el rango de 1525 a 1600 ppm, siendo el óptimo para obtener el mayor rendimiento acumulado de fruto, arriba de ese rango se puede generar una toxicidad, al contrario si es menor puede presentar una deficiencia. Los sólidos solubles totales no mostraron una relación con el rendimiento de fruto. Los mejores resultados se obtuvieron con la solución nutritiva al 75% y 100% aunque en términos de calidad de fruto y crecimiento vegetativo no hubo efectos significativos.

VI. LITERATURA CITADA

Adame, A., D. Y. (2020). Efecto de la concentración de la solución nutritiva en la producción del cultivo de pepino en un sistema de subirrigación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. 49 pp.

Aghili, F., Khoshgoftarmanesh, A. H., Afyuni, M., & Mobli, M. (2009). Relationships between fruit mineral nutrients concentrations and some fruit quality attributes in greenhouse cucumber. *Journal of Plant Nutrition*, 32(12), 1994-2007.

Alejo-Santiago, G., Becerra-Venegas, S. G., Bugarín-Montoya, R., Aburto-González, C. A., Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G., & Juárez-Rosete, C. R. (2021). Requerimiento nutrimental y nutrición potásica en pepino Persa con poda a un solo tallo. *Terra Latinoamericana*, vol. 39, 1-10.

Almanza Peres, A. P. (2021) Respuesta del pepino (*Cucumis sativus* L.) a diferentes concentraciones de la solución nutritiva en un sistema de subirrigación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. 50 pp.

Álvarez, F. V. B. (2012). Acumulación de materia seca del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en invernadero. *Temas Agrarios*, 17(2), 18-29.

Avalos Quinde, J. Z. (2021). Efecto de la aplicación de microorganismos mediante el método Jadam coreano (smj) en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus*). (Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil). Guayaquil, Ecuador. Trabajo de titulación. 53 pp.

Azcón-Bieto J., Talón M. (2000). Fundamentos de Fisiología Vegetal. Segunda edición. Departamento de Biología Vegetal Facultad de Biología Universitat de Barcelona. Centro de Genómica Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias Moncada, Valencia, 7-669.

Berrueta, C., Grasso R., Giménez, G., Bentancur, J., Rivero, D., & Falero, M. (2021). Análisis de savia para la determinación rápida del nivel de potasio, nitrato y calcio en el campo. *Revista INIA - N° 67*. 48-52.

Botella, M. Á., Arévalo, L., Mestre, T. C., Rubio, F., García-Sánchez, F., Rivero, R. M., & Martínez, V. (2016). Potassium fertilization enhances pepper fruit quality. *Journal of Plant Nutrition*, 40(2), 145-155.

Buelna, Tarín, S. (2018). Nutrición equilibrada de hortalizas en el norte de Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa. Maestría en Ciencias Agropecuarias 32 pp.

Caraguay, V. R. T., Sandoval, B. L. R., Jaramillo, L. G. M., & Bautista, S. E. A. (2023). Evaluación del rendimiento de pepino bajo dos sistemas de fertilización en invernadero. *RECIMUNDO*, 7(2), 19-32.

Cárdenas-Hidalgo, D., Urbina-Sánchez, E., Valdez-Aguilar, L. A., Alejo-Santiago, G., Vázquez-García, L. M., & Reyes-Alemán, J. C. (2022). La solución nutritiva, vermicomposta y micorrizas sobre el rendimiento y calidad de *Lilium hybrida* 'Indian Summerset'. *Biotecnia*, 24(3), 5-14.

Cárdenas-Navarro, R., Sánchez-Yáñez, J. M., Farías-Rodríguez, R., & Peña-Cabriales, J. J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10(2), 173-178.

Cardona Miranda, B. (2015). Efecto del potasio sobre la calidad y el rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) desarrollo en un sistema hidropónico. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. 68 pp.

Casaca, A. D. (2005). El cultivo del pepino, guías técnicas de frutas y vegetales, 13(2). Banco interamericano Desarrollo.

Constanza J. A., Cornelio C. S., Boris S. D., Víctor A. E., Rodrigo M. A. (1997). Origen, morfología, fisiología, tipos varietales de pepino dulce [en línea]. La Serena: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 410. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6827> (Consultado: 5 febrero 2024).

Cruz Torres, J. (2023). Interacción entre el sustrato y la concentración de la solución nutritiva en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. 37 pp.

Díaz-Méndez, H. A., Preciado-Rangel, P., Sánchez Chávez, E., Esparza Rivera, J. R., Fortis Hernández, M., & Álvarez-Reyna, V. D. P. (2018). El potasio en la calidad nutracéutica de frutos de pepino hidropónico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(SPE20), 4245-4250

Escalante, N. (2017). Evaluación de tres fuentes de potasio en tres híbridos de maíz dulce (*Zea mays*, Poaceae) en la concentración de sólidos solubles, (Tesis Doctoral, Universidad Rafael Landívar). Quetzaltenango, Guatemala. 96 pp.

Fedeagro. (2017). Estadísticas Agrícolas. Venezuela, VE. Filgueira, F. A. R. 2008. Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV. 421p.

Fertilab. (2024). Importancia del Azufre (S) en las Plantas. Notas técnicas. Disponible en línea en [https://www.fertilab.com.mx/blog/92-importancia-del-azufre-\(s\)-en-las-plantas/#notas](https://www.fertilab.com.mx/blog/92-importancia-del-azufre-(s)-en-las-plantas/#notas)

Figueroa Hernández, E., & Espinosa Torres, L. E. (2020). Análisis de la producción de pepino y pepinillos en México. Academia Journals. Oaxaca, Mexico. 124 pp. ISBN: 978-1-939982-59-9.

Flores Gallegos, E. (2017). Sistema De Control Difuso Para El Monitoreo De La Temperatura, La Humedad, El pH y La Conductividad Eléctrica en Invernaderos de Plantas Ornamentales (Tesis doctoral, Instituto Tecnológico de Colima). 83 pp.

Flores-Ruvalcaba, J. S., Becerril-Román, A. E., González-Hernández, V. A., Tijerina-Chávez, L., & Vásquez-Rojas, T. (2005). Crecimiento vegetativo y floral del crisantemo [*Dendranthema x grandiflorum* (Ramat) Kitamura] en respuesta a la presión osmótica de la solución nutritiva. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(2), 241-249.

García F. (2008). Dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta. Obtenido de IPNI.

[http://lacs.ipni.net/0/8C93069B3977D5D68525797D0054DC75/\\$FILE/Paraguay%20Curso%20Sept%202008%20-%20Dinamica%20Nutrientes.pdf](http://lacs.ipni.net/0/8C93069B3977D5D68525797D0054DC75/$FILE/Paraguay%20Curso%20Sept%202008%20-%20Dinamica%20Nutrientes.pdf)

García, A.D., C. López. (2002). Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. Revista Fitotecnia Mexicana, 25(4), 381-386.

García, H., C. Galán, M.T. Gómez and E. Domínguez. (2000). A comparative study of different temperature accumulation methods for predicting the start of the Quercus pollen season in Córdoba (South West Spain). Grana 39, 194-199.

Grijalva, R.L., R. Macías, S.A. Grijalva y F. Robles. (2011). Evaluación del efecto de la fecha de siembra en la productividad y calidad de híbridos de pepino europeo bajo condiciones de invernadero en el noroeste de Sonora. Biotecnia, 13(1), 29-36.

Guato Molina, AB (2022). Establecimiento de parámetros nutricionales con la técnica de extracto celular de peciolo (ECP) bajo influencia de fertilizantes en el cultivo de banano. Quevedo-Ecuador. Tesis de licenciatura. 63 pp.

Haifa. (2014). Recomendaciones Nutricionales para banana. Pg.72. consultado en línea. Disponible en https://www.haifa-group.com/sites/default/files/crop/Banana_Spanish.pdf

Haz-Villamar, H. F. (2021). Influencia de la fertilización potásica en el rendimiento y calidad del pepino (*Cucumis sativus* L.) una revisión al estado del arte Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Feliz López (ESPAM MFL) Calceta, Ecuador. Tesis licenciatura. 38 pp.

Hernández Hernández, D. (2014). Estudio nutrimental de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L) cv Biloxi en Los Reyes, Michoacán. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco Estado de México. Tesis Doctorado 97 pp.

Hernández Velázquez, 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.). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. 55 pp.

Hopkins, W. G. (1995). Introduction to Plant Physiology. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 464 p.

INTAGRI. (2010). Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. Las soluciones nutritivas para cultivos protegidos (en línea). Consultado 24 oct. 2016. <https://www.intagri.com/articulos/nutricionvegetal/soluciones-nutritivas-para-cultivos-protegidos>

INTAGRI. (2017). El Análisis Foliar y el DRIS. Serie Nutrición Vegetal Núm. 98. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 pp.

INTAGRI. (2022). Monitoreo Nutrimental de Cultivos bajo Invernadero. Categoría artículos. Consultado en línea. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/monitoreo-nutrimental-de-cultivos-bajo-invernadero#>:

INTAGRI. (2023). Funciones del Calcio en la nutrición de los cultivos. Categoría artículos. Consultado en línea. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/funciones-del-calcio-en-la-nutricion-de-los-cultivos#>:

IPNI. (2024). Funciones del fosforo en las plantas. Consultado el 18 de enero de 2024. Informaciones agronómicas. Nota técnica disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/542916612D123EFE852579A3007A3286/\\$FILE/Funciones%20del%20F%C3%B3sforo.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/542916612D123EFE852579A3007A3286/$FILE/Funciones%20del%20F%C3%B3sforo.pdf)

Jones, J.B. (1998). Plant Nutrition Manual. CRS Press. LLC. Boca Raton, USA. 149 pp.

Kanter, D. R., Zhang, X., & Mauzerall, D. L. (2015). Reducing nitrogen pollution while decreasing farmers' costs and increasing fertilizer industry profits. *Journal of Environmental Quality*, 44(2), 325-335.

Lago, J. (2022). SismoFrutal©: sistema de monitoreo en frutales. EEA Alto Valle, INTA.

Lago, J., Cichon, L., & Garrido, S. (2016). Desarrollo de una aplicación móvil (App) para el monitoreo de plagas en frutales. In VIII Congreso Argentino de AgroInformática (CAI-2016)-JAIIO 45 (Tres de Febrero, 2016).

Llenderal, A., García-Caparrós, P., Contreras, J. I., Segura, M. L., & Lao, M. T. (2018). Evaluation of the nutrients variability in sap of different petiole samples in tomato plant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(6), 745-750.

López Calderón, M. (2023). Respuesta del crecimiento y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la concentración de la solución nutritiva. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Licenciatura. 35 pp.

López-Acosta, P. P., Cano-Montes, A., Torres-Flores, N., Rodríguez-De la Rocha, G. S., Rodríguez-Rodríguez, S. M., & Rodríguez-Rodríguez, R. (2020). Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico: *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 5(2), 98-104.

Loyola, G., & Alberony, E. (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. 82 pp.

Lu, Q., Miles, C., Tao, H., & De Vetter, L. (2022). Evaluation of real-time nutrient analysis of fertilized raspberry using petiole sap. *Frontiers in Plant Science*, 13, 918021.

Mardanluo, S., Souri, M. K., & Ahmadi, M. (2018). Plant growth and fruit quality of two pepper cultivars under different potassium levels of nutrient solutions. *Journal of Plant Nutrition*, 41(12), 1604-1614.

Maroto, L. (2000). Manejo del cultivo de pepino. Ed. Madrid. ES. P. 87-90.

Marschner, H. (1998). Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press Inc. San Diego, USA. 889 p. ISBN: 978-0-12-384905-2

Martínez Morales, L. A. (2021). Niveles de referencia en la solución del suelo y su relación con el suministro en pimiento. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco Estado de México. Tesis Maestría. 54 pp.

Méndez Tomalá, H. A. (2019). Evaluación de fenología y rendimiento de tomate hidropónico *Lycopersicon esculentum* Mill, bajo distintas soluciones nutritivas en clima semiárido. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador. Tesis de Licenciatura. 66 pp.

Méndez, C. A. (2020). Evaluación de un sistema de subirrigación para cultivos hortícolas para optimizar el uso de agua y fertilizantes. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de Doctorado en Ciencias. 33 pp.

Mendoza Lugo, M. Á. (2022). Efecto de la solución nutritiva en pepino (*Cucumis sativus* L.) en cultivo sin suelo con recirculación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis Licenciatura. 53 pp.

Mengel, K.; Kirkby, A. (2001). Principles of Plant Nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 849 p.

Monroy, A. G., Díaz, J. M. B., Díaz, B. B., Medina, E. J., & Cruz, F. V. (2023). Monitoreo del estado nutrimental del cultivo de jitomate en invernadero. VIII Congreso nacional y I congreso internacional de riego, drenaje y biosistemas, Saltillo, Coahuila, México.

Moreno Velázquez, D., Cruz Romero, W., García Lara, E., Ibañez Martínez, A., Barrios Díaz, J. M., & Barrios Díaz, B. (2013). Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4(6), 909-920.

Muñoz Macías, N. M. (2015). Respuesta del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) a la nutrición química y orgánica bajo riego goteo (Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil). Manabí, Ecuador. Tesis de Licenciatura. 67 pp.

Musmade, A. M., & Desai, U. T. (1998). Cucumber and melon. In D. K. Salunke, & S. S. Kadam (Eds.). Handbook of vegetables science and technology: Production, Compostion, storage, and processing. (pp. 245-253). New York, NY, USA: CRC Press.

Núñez-Ramírez, F., González-Anguiano, L. A., Vázquez-Angulo, J. C., Samaniego-Gómez, B. Y., Mendoza-Gómez, A., Torres-Bojórquez, A. I., ... & Cárdenas-Salazar, V. A. (2020). Diagnóstico nutrimental para nitratos en el extracto celular en chile habanero. OmniaScience. Barcelona, España. 53 pp. ISBN: 978-84-122028-6-1.

Olin Valdes, J. O. (2021). El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), en condiciones de cielo abierto e invernadero. Universidad Autónoma el Estado de Morelos, facultad de ciencias agrarias. Toluca, Estado de Mexico. Tesis de Licenciatura. 103 pp.

Osuna-Canizalez De J., F., Sandoval-Villa, M., Trejo-López, C., Alcántar-González, G., Volke-Haller, V., & Ochoa-Martínez, D. L. (2007). Cubierta con polipropileno y fertilización potásica en fertirriego: implicaciones en crecimiento, rendimiento y nutrición del jitomate. Terra Latinoamericana, 25(1), 69-76.

Parra Terraza, S., Villarreal Romero, M., Sánchez Peña, P., Corrales Madrid, J. L., & Hernández Verdugo, S. (2008). Efecto del calcio y potencial osmótico de la solución nutritiva en la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate. Interciencia, 33(6), 449-456.

Pérez, M. Z., Figueredo, R. P., & Rondón, M. V. (2014). Respuesta del pepino a un manejo variable del riego. Centro Agrícola, 41(1), 5-11.

PROAIN. (2024a). Evaluación de la salud vegetal a través del análisis de grados brix. Consultado el 27 de febrero de 2024. <https://proain.com/>

PROAIN. (2024b). ¿Cómo realizar el monitoreo nutrimental completo de cultivos agrícolas? Consultado el 17 de enero de 2024. <https://proain.com/>

PROAIN. (2024c). Los macronutrientes y su relación en el suelo. Tecnología agrícola. Consultado el 17 de enero de 2024. <https://proain.com/>

Ramírez R., J. Aguilar y R. León. (2010). Introducción a los cultivos protegidos bajo cobertura plástica en Costa Rica, San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería. 129 pp. ISBN: 978-9968-877-43-5

Rodríguez, S., Pinochet, D., & Matus, F. (2001). Fertilización de los cultivos. Santiago de Chile: Lom ediciones.

Romero, E., Rodríguez, A., Rázuri, L. R., Suniaga, J., Montilla, E. (2009). Estimación de las necesidades hídricas del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) durante las diferentes etapas fenológicas, mediante la tina de evaporación. Agricultura Andina. 59-69 pp. ISBN: 1315-3919

Rosado Morán, M. E. (2013). Desarrollo morfológico y rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) mediante sistema hidropónico de sustrato sólido en el cantón Babahoyo. Universidad Técnica De Babahoyo Facultad De Ciencias Agropecuarias Escuela De Ingeniería Agronómica. Los Ríos, Ecuador. Tesis de licenciatura. 44 pp.

Rouphael, Y., Kyriacou, M. C., Petropoulos, S. A., De Pascale, S., & Colla, G. (2018). Improving vegetable quality in controlled environments. *Scientia Horticulturae*, 234, 275-289.

SADER (2023). Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Pepino mexicano, el favorito de muchos. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/pepino-mexicano-el-favorito-de-muchos>

SADER. (2016). Las cinco ventajas de monitorear cultivos. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/las-cinco-ventajas-de-monitorear-cultivos>

Sediyama M. A. N., J. L. M. Nascimento, I. P. C. Lopes, P. C. Lima y S. M. Vidigal. (2014). Tipos de poda em pepino dos grupos aodai, japonés e caipira. *Horticultura Brasileira*, 32, 491-496

SIAP. (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca. Panorama Agroalimentario 2019. Primera edición, 2019. Benjamín Franklin 146, Colonia Escandón, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11800, Ciudad de México.

SQM. (2018). Soluciones para el desarrollo humano. Información nutrimental del Pepino. Consultado en línea. Disponible en: <https://www.sqm.com/estudio/pepino/>

Statistas. (2024). Volumen de producción anual de pepinos en el mundo entre 2012 y 2021. <https://es.statista.com/estadisticas/529707/producciones-de-pepinos-en-el-mundo/>

Taiz, L.; Zeiger, E. (1998). *Plant Physiology*. Sinauer Associated, Inc. Sunderland, USA. 792 p.

Tapia, L. M., Aguilera, J. L., Rocha, J. L., Cruz, S., & Castellanos, J. Z. (2003). Índices de referencia nutrimental N, P y K en aguacate (*Persea americana*, Mill) var. "HASS" bajo fertirriego en Michoacán, México. In *Proceedings V World Avocado Congress* (pp. 401-407).

Tapia-Vargas, L. M., Rico-Ponce, H. R., Larios-Guzmán, A., Vidales-Fernández, I., & Pedraza-Santos, M. E. (2010). Manejo nutrimental en relación con la calidad de fruto y estado nutricional del melón cantaloupe. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(1), 49-55.

Valentín-Miguel, M. C., Castro-Brindis, R., Rodríguez-Pérez, J. E., & Pérez-Grajales, M. (2013). Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(4), 71-78.

Vistoso E. M., Martínez J. L. (2019). Los nutrientes del suelo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Inia Remehue.

Volke H., V., Etchevers B., J. D., Sanjuan R., A., & Silva P., T. (1998). Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 16(1), 79-91.

Voogt, W., Van Winkel, A., & Steinbuch, F. (2006). Evaluation of the fertigation model, a decision support system for water and nutrient supply for soil grown greenhouse crops. In III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation, 718, 531-538.

Wehner, T. C., & N. Guner. (2004). Growth stage, flowering pattern, yield, and harvest date prediction of four types of cucumber tested at 10 planting dates. *International Horticultural Congress: Advances in Vegetable Breeding*, 637, 223-230.

YARA. (2024). Función del potasio en la producción de tomate. YARA México. Consultado el 17 de enero de 2024. <https://www.yara.com.mx/>