

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Influencia De La Concentración De La Solución Nutritiva Y La Humedad Relativa
En El Rendimiento y Crecimiento De Pepino (*Cucumis sativus* L.) En Invernadero.

Por:

RODIMIRO HERNÁNDEZ GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Influencia De La Concentración De La Solución Nutritiva Y La Humedad Relativa
En El Rendimiento y Crecimiento De Pepino (*Cucumis sativus* L.) En Invernadero.

Por:

RODIMIRO HERNÁNDEZ GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

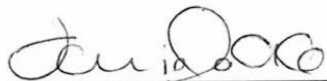
Aprobada por el Comité de Asesoría:



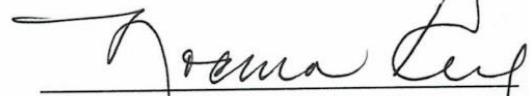
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal Interno



Dr. Rosendo Hernández Martínez
Asesor Principal Externo



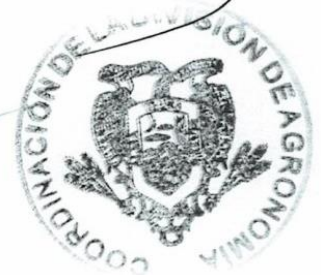
Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor



Dra. Norma Angélica Ruiz Torres
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2022.

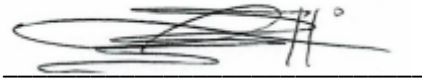
Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



RODIMIRO HERNÁNDEZ GARCÍA

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por regalarme la vida, la salud, su amor y sus infinitas bendiciones, por darme las fuerzas suficientes durante el transcurso de mi carrera profesional donde a pesar de las dificultades que se me presentaron pude salir adelante.

A mi Alma Mater, la gloriosa Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme permitido formarme en sus aulas, que durante 5 años fue como mi segunda casa. Con mucho orgullo y dignidad la representare donde quiera que vaya.

A mis asesores:

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por aceptar trabajar con él y así llevar a cabo este proyecto de tesis, por sus conocimientos impartidos, esfuerzo, tiempo, paciencia y dedicación brindada.

Dra. Daniela Alvarado Camarillo por su colaboración y conocimientos impartidos, por su tiempo y dedicación brindada.

Dr. Rosendo Hernández Martínez por formar parte de este proyecto de investigación, por su tiempo y orientación.

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

A mis profesores por el conocimiento que compartieron conmigo y que gracias a ello pude concluir de manera satisfactoria este trabajo.

A mis primos y amigos (Yoni, Ismael, Osiel, Eyman, Vary, Darwin, Esaú, Blady, Linda, Rosy, Librado, Dani, Isaías, Sandra, Holga, Nancy, Mary, Fabiola, Lizet, Mónica, Deu, Güero, Beker, Edy, Luis, Hugo, etc.) por compartir momentos de alegría y felicidad.

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis está dedicado especialmente:

A mis padres: **Higinio Hernández Santizo y América García Velázquez** que los admiro, quiero y respeto, que siempre me han enseñado excelentes valores como el estar unidos en familia, luchar por nuestros sueños, anhelos y metas. Gracias padres por su interminable paciencia, por sus consejos, amor y apoyo.

A mis hermanos y hermanas (**Ronal, Elmer, Lucas, Ariel, Noé, Brenditha, Eliz**), por compartir momentos de alegría desde la infancia hasta la actualidad, por la confianza y tanto apoyo que me han brindado.

A **Joselyn Pérez Díaz** por ser una persona muy especial en mi vida y haber compartido momentos de felicidad pero sobre todo por su gran apoyo incondicional hacia mi persona.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivo general.....	4
1.1.1	Objetivos específicos.....	4
1.2	Hipótesis	4
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1	Botánica del pepino.....	5
2.1.1	Origen.....	5
2.1.2	Taxonomía.....	5
2.1.3	Morfología de la planta	6
2.1.4	Clasificación	7
2.2	Cultivo de pepino en México.....	8
2.2.1	Importancia.....	8
2.2.2	Estados productores	9
2.2.3	Exportación.....	10
2.3	Manejo del cultivo.....	11
2.3.1	Fechas de siembra.....	11
2.3.2	Clima	11
2.3.3	Suelo	11
2.3.4	Etapas fenológicas.....	12
2.3.5	Riego	12
2.3.6	Poda	12
2.3.7	Tutorado.....	13
2.3.8	Fisiopatías	13
2.3.9	Cosecha.....	14
2.4	Agricultura protegida en México.....	14
2.5	Solución nutritiva	15
2.5.1	Concentración de nutrientes.....	16
2.5.2	Función de los elementos nutritivos en la planta	17
2.6	Potencial de hidrogeno (pH).....	19
2.7	Conductividad eléctrica (CE)	19

2.8	Efecto del ambiente en el cultivo de pepino.....	19
2.8.1	Radiación.....	19
2.8.2	Fotoperiodo	20
2.8.3	Temperatura.....	20
2.8.4	Humedad relativa (HR).....	21
2.8.5	Dióxido de carbono (CO ₂)	21
2.9	Relación entre la HR Y DPV.....	22
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1	Sitio experimental.....	24
3.2	Material vegetal	24
3.3	Acondicionamiento del microclima	24
3.4	Manejo del cultivo.....	25
3.4.1	Siembra y trasplante	25
3.4.2	Riego	25
3.4.3	Poda	25
3.4.4	Tutoreo.....	26
3.4.5	Cosecha.....	26
3.5	Tratamientos	26
3.6	Diseño experimental	28
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1	Rendimiento y características de fruto.....	29
4.2	Rendimiento total.....	31
4.3	Biomasa y análisis del sustrato.....	32
4.4	Estatus nutrimental en el peciolo	36
4.5	Concentración de Ca ⁺⁺ en el peciolo	37
4.6	Concentración de K ⁺ en peciolo.....	38
4.7	Evaluación semanal del rendimiento y calidad de fruto	39
V.	CONCLUSIONES	45
VI.	BIBLIOGRAFÍA	46

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Principales estados productores en México, ordenados de acuerdo al Ranking que ocupa.....	10
Cuadro 2.	Etapas fenológicas del cultivo de pepino.....	12
Cuadro 3.	Tratamientos aplicados para el cultivo de pepino en diferentes HR.....	27
Cuadro 4.	Variables en estudio.....	27
Cuadro 5.	Efecto de la humedad relativa y concentración de la solución nutritiva en parámetros de rendimiento.....	31
Cuadro 6.	Efecto de la humedad relativa y concentración de la solución nutritiva en la producción de biomasa y análisis del sustrato.....	34
Cuadro 7.	Efecto de la humedad relativa y concentración de la solución nutritiva en la concentración nutrimental del peciolo de la hoja del pepino.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento total de las plantas de pepino desarrolladas en cámaras de diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.....	32
Figura 2. Peso seco del tallo de las plantas de pepino desarrolladas en cámaras de diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.....	35
Figura 3. Concentración de calcio en peciolo de las plantas desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.....	38
Figura 4. Concentración de potasio en peciolo de las plantas desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.....	39
Figura 5. Rendimiento semanal de frutos de las plantas de pepino desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.....	41
Figura 6. Longitud semanal de frutos de las plantas de pepino desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.....	42
Figura 7. Diámetro ecuatorial semanal de frutos de las plantas de pepino desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.....	43
Figura 8. Curvatura semanal de frutos de las plantas de pepino desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.....	44

RESUMEN

Cucumis sativus L. es una hortaliza cultivada bajo condiciones tropicales y subtropicales. Sin embargo, la producción del cultivo de pepino requiere condiciones factibles para expresar su máximo potencial de rendimiento. El presente trabajo de investigación fue desarrollado en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Se utilizó semillas del híbrido Centauro, bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en tres diferentes humedades relativas (HR): 35, 50, 65 % y tres concentraciones de soluciones nutritivas (SN): 75, 100, 125 %. Las variables evaluadas fueron: Rendimiento de fruto, Longitud (LG), Diámetro ecuatorial (DE), Curvatura (CV), Numero de hojas (NH), Peso seco del tallo (PST), Peso seco de hojas (PSH), pH zona baja (PHB), media (PHM), alta (PHA), Conductividad eléctrica zona baja (CEB), media (CEM), alta (CEA), y Concentración de NO_3^- , Ca^{++} , y K^+ en el peciolo de la hoja. Los resultados mostraron diferencia altamente significativa para HR en rendimiento de fruto, LG, DE, PST, NO_3^- , Ca^{++} , K^+ , pero no para CV, PSH, pH y CE en las tres zonas. Para SN se encontró diferencias altamente significativas para rendimiento, PST, todo el contrario, sucedió para LG, DE, CV, PSH, Ca^{++} , K^+ , pH y CE en general. En cuanto a la interacción HR*SN, existió significancia en rendimiento, PST, Ca^{++} y K^+ . La HR y SN influyeron en gran manera en los parámetros de rendimiento, en la producción de biomasa y en la concentración nutrimental de las hojas. El híbrido Centauro tuvo mayor expresión a una HR al 65 % a una concentración de 75 % de SN. Por lo tanto a un 65 % de HR y 75 % de SN es una forma ideal para producir pepino híbrido Centauro, así mismo para obtener frutos de buena calidad.

Palabras clave: Pepino, Humedad relativa, Concentración nutritiva, Rendimiento.

I. INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis Sativus* L.), es una planta de la familia Cucurbitaceae, originaria del norte de la India, es una hortaliza cultivada bajo condiciones tropicales y subtropicales (Chacón *et al.*, 2020). La producción de pepino a nivel mundial se ha incrementado al tener a China como el principal productor en el año 2020. Así mismo, México ocupó el quinto lugar en el ranking mundial con 826,485 t equivalente al 1.4 % del volumen de producción (SIAP, 2020).

En México existen diferentes sistemas de producción para el cultivo del pepino entre las que destacan: campo o cielo abierto, malla sombra, macro túneles e invernadero. Considerando todos los sistemas de producción en el año agrícola de 2020 se registró una superficie en siembra de 15,897.36 ha con un promedio de 73.68 t ha⁻¹. Sin embargo, del total establecido a nivel nacional 11,352.58 ha son a campo abierto con rendimiento promedio de 40.31 t ha⁻¹. Así mismo, en malla sombra se establecieron 3,082.02 ha con un promedio de 140.07 t ha⁻¹. En cuanto a macro túneles fueron 46 ha con 55.04 ha⁻¹. Para el caso de invernaderos se registraron un total de 1,416.76 ha, teniendo a los estados de Sinaloa, Morelos, Baja California, Sonora y Coahuila como los principales productores con un rendimiento promedio de 193.61 t ha⁻¹ (SIAP, 2020).

El pepino es un cultivo de gran facilidad, se adapta un sin número de suelos pudiéndose sembrar directamente, aunque en suelo con alto contenido de materia orgánica sus rendimientos incrementan. La fertilización ha sido en muchos casos limitantes dentro de la producción del cultivo ya que se han originado fracasos en las aplicaciones por su mal manejo o por sus dosis reducidas que no estimulan a la planta a rendir su potencial agronómico (Hidalgo, 2020).

El desarrollo de la agricultura en cualquier espacio geográfico implica el uso de los recursos naturales y por consiguiente el deterioro del medio natural siendo uno de los motivos por las cuales se ha venido abandonando el campo en México, sin embargo, la producción de hortalizas bajo condiciones protegidas ha permitido incrementar el

rendimiento aunque implican elevados costos de inversión. La agricultura protegida en México está teniendo gran importancia ya que el propósito ha sido vigilar parcial o totalmente el microclima que rodea a una planta adecuándolas a las necesidades de las mismas, utilizando técnicas que permiten ofrecerle los requerimientos necesarios para que la planta ofrezca sus mejores rendimientos, estas condiciones permite tener un mejor control sobre los suelos, la luz solar, el viento, las lluvias, plagas, enfermedades y sobre todo las malezas, todas estas condiciones permiten aumentar considerablemente los niveles de rentabilidad de los productores en el campo que producen bajo estas condiciones (Abarca *et al.*, 2021).

La creciente demanda por alimentos y recursos naturales se debe al constante crecimiento de la sociedad actual. La agricultura es sin duda la base de la alimentación donde los recursos más demandados son: agua, suelo y fertilizantes, en la actualidad se encuentran en escasez y con disminución considerable presionando la seguridad alimentaria. La hidroponía ha cambiado el uso del suelo por sustrato donde se aplica un riego puntual para obtener mayor rendimiento y control del cultivo. En la actualidad existen una gran cantidad de sustratos hidropónicos con las cuales se buscan mantener o incrementar la producción (Ortega *et al.*, 2020).

Por otro lado, Ramírez (2019) menciona que la hidroponía es un medio de nutrición para las plantas empleadas durante todo su ciclo, sin embargo, la preparación y manejo de la solución nutritiva ha sido un tema de mucha investigación, ya que se busca satisfacer a cada cultivo de acuerdo con sus requerimientos nutricionales. Se han formulado muchas soluciones nutritivas y además se han ajustado variando su concentración, Steiner, creo una solución nutritiva universal que se basa en el concepto de relación mutua que existe entre la concentración iónica total y la composición vegetal (Ramírez, 2019).

La solución nutritiva es un compuesto acuoso donde se encuentran diluidos macro y micro nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas siendo una vía principal de nutrición de cultivos en hidroponía y también en sustrato, por lo tanto,

se necesita tener conocimientos acerca de ello ya que al hacerlo se le estaría dando un uso y manejo adecuado al agua reduciendo pérdidas por lixiviación, además se estaría reduciendo el impacto sobre el medio ambiente (Santos *et al.*, 2016).

La humedad relativa (HR) en porcentajes altos favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas de pepino permitiendo un buen desarrollo en un ambiente con HR de 65 - 85 %, por otra parte, las plantas son susceptibles a baja humedad (Zamora, 2017). La radiación solar, temperatura y HR son factores climáticos que influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta; dichos factores se logran controlar con la tecnología de invernadero, así mismo, es importante en el control de tiempo de riego, solución nutritiva, CE y pH (Moreno *et al.*, 2017). Por otro lado, Silva *et al.* (2017) mencionan que la HR en interacción con la temperatura influye de gran manera en el desarrollo de la planta ya que con altas temperaturas aumenta la capacidad de contener vapor de agua, por lo tanto la HR es baja; sin embargo, al tener bajas temperaturas la HR se eleva; las plantas reducen la transpiración cuando la HR es mayor, provocando que disminuya el crecimiento de la planta, así mismo, cuando la HR es menor, las plantas empiezan a transpirar excesivamente, provocando una deshidratación.

En pepino existen pocos estudios que consideran la interacción entre la HR y la concentración de la SN óptimos para obtener la máxima producción y calidad de frutos, así como el efecto de ambos en el crecimiento de las plantas. Por esta razón se planteó el presente estudio con los siguientes objetivos.

1.1 Objetivo general

Estimar el desempeño del cultivo de pepino con diferentes condiciones de humedad relativa (HR) y concentraciones de solución nutritiva (SN).

1.1.1 Objetivos específicos

Identificar la HR adecuada para el desarrollo eficiente de la planta de pepino híbrido Centauro.

Determinar una concentración de SN para la obtención de frutos de buena calidad en el cultivo de pepino.

Comparar el efecto de las distintas combinaciones de SN y HR y su relación con el comportamiento de las variables de rendimiento y calidad del cultivo del pepino.

1.2 Hipótesis

La calidad y rendimiento del cultivo de pepino se verá beneficiada con base a la HR y SN.

Al menos una SN respecto a las demás obtendrá frutos de mayor calidad.

Al menos una combinación de tratamientos será la más adecuada para producir pepino en invernadero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Botánica del pepino

2.1.1 Origen

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es originario de las regiones tropicales del sur de Asia siendo cultivada en la India desde hace más de 3,000 años, el cultivo se extendió a Grecia y de Grecia a Roma y posteriormente se introdujo a China. En algunos lugares el cultivo de pepino fue introducido por los Romanos, en Francia este cultivo aparece en el siglo IX, en Inglaterra en el siglo XIV y a mediados del siglo XVI en Norteamérica, se cree que Cristóbal Colón llevó semillas a América, en 1872 apareció el primer híbrido (Roa, 2015).

2.1.2 Taxonomía

Santillán (2016), menciona que de acuerdo con Infoagro, el pepino tiene la siguiente taxonomía.

REINO: Plantae

DIVISIÓN: Magnoliophyta

CLASE: Magnoliopsida

ORDEN: Cucurbitales

FAMILIA: Cucurbitaceae

GÉNERO: *Cucumis*

ESPECIE: *C. sativus*

NOMBRE CIENTÍFICO: *Cucumis sativus* L.

2.1.3 Morfología de la planta

Raíz

La planta posee una raíz principal capaz de ramificarse rápidamente dando origen a raíces secundarias con abundante cantidad de pelos absorbentes finos, alargados y de color blanco (Méndez, 2016).

Tallo

Está constituido por un tallo principal leñoso que puede dar origen a varios tallos secundarios entre cada nudo, principalmente en la base, así mismo, son de color verde, flexibles y además tiene zarcillos que hace que la planta sea trepadora alcanzando una longitud aproximada de 3.5 metros en condiciones normales aunque puede variar según el híbrido (Beltrán, 2021).

Hoja

Se caracteriza por tener el peciolo largo, limbo acorazonado con tres lóbulos, con el central terminado en punta, de color verde oscuro y cubierto de un bello muy fino (Ormaza y Anchundía, 2016).

Flor

Las flores son de pedúnculo corto y pétalos amarillos, se desarrollan en las axilas de las hojas siendo hermafroditas o unisexuales, se cree que los primeros cultivares eran monoicos donde solo presentaban flores masculinas y femeninas, actualmente se han venido cultivando variedades de plantas que solo poseen flores femeninas (ginoicas) que portan un ovario ínfero (Masaquiza, 2016).

Fruto

Los frutos son pepónides que pueden ser ásperos o lisos según la variedad, presenta colores desde tonalidades verde claro, verde oscuro y hasta un color amarillo cuando

llega a su etapa de madurez, un fruto de pepino criollo puede llegar a obtener un peso máximo de 508 g (Galván, 2007).

Semillas

Según Ormaza y Anchundia (2016), las semillas son ovaladas poco aplastadas y de color blanco amarillento, la cantidad y peso de las semillas difiere según la variedad, se considera que va de 30 a 40 semillas por gramo, siendo que un fruto puede proporcionar más de 250 g de semilla. La capacidad de germinación de las semillas está basada en las condiciones de preservación que se les proporcione por lo general pueden durar hasta 5 años.

2.1.4 Clasificación

El fruto de pepino puede ser clasificado de distintas maneras, por su fisiología (color, forma, tamaño, etc.) o de acuerdo con los diferentes grupos varietales. Las empresas semilleras y mejoradores los clasifican: según el origen, forma de consumo (conserva o fresco) y tamaño, el más común y utilizada es por su tamaño ya que es más fácil de aplicar (INTAGRI, 2021). De acuerdo a la clasificación por el tamaño se tienen pepinos largos más conocidos como pepino tipo Holandés, Europeo, Continental, Inglés, o Almería, pepinos medianos, se conocen también como francés, americano o slicer, pepinos pequeños o cortos, conocidos como tipo persa, español, mini pepinos, pepinillos, libanes o Beit Alpha (INTAGRI, 2021).

Pepinos tipo Beit Alpha

Son delgados, carece de espinas, su cascara es lisa y delgada por lo que se debe de proteger de los insectos y de la deshidratación, su color es verde claro uniforme y se cosechan cuando el fruto alcanza una longitud de 8 a 13 cm, este híbrido puede producir varios frutos por nudo implicando un aumento en el rendimiento de la planta, por lo general son utilizados para invernadero (Cruz *et al.*, 2020).

Pepinos tipo Holandés

Posee un sabor muy suave, carece de semillas y son cosechados cuando alcanzan una longitud de 30 a 36 cm; tiene una cascara delgada, lisa y sin espinas por lo que no es necesario pelarlo para su consumo, principalmente son cultivadas en invernaderos (Cruz *et al.*, 2020).

Pepinos tipo Americano (slicer)

Contiene una cascara gruesa de color verde oscuro, con capacidad para tener una vida larga de anaquel, se cosechan de 18 a 23 cm de longitud, aunque sus tamaños oscilan entre los 22 a 25 cm destinados a mercados de exportación y nacional (Cruz *et al.*, 2020).

2.2 Cultivo de pepino en México

2.2.1 Importancia

El pepino se encuentra entre uno de los cultivos más importantes de la producción agrícola, este cultivo se extendió hace muchos años desde las regiones tropicales de Asia a diferentes regiones del mundo debido a su alto nivel de adaptabilidad. El pepino ha tenido una alta demanda en el mercado nacional e internacional, esto ha hecho que la producción de esta planta sea muy importante en México al producir más de 700 mil toneladas al año, teniendo a los principales estados productores que son: Sinaloa, Michoacán, Baja California, Morelos y Veracruz. A nivel mundial México ocupa el onceavo lugar entre los países con mayor producción de pepino con aproximadamente 16 mil hectáreas sembradas, así mismo, se encuentra entre los primeros exportadores, seguido de España y Holanda, del cual Estados Unidos es el principal consumidor con 83 % del total de las importaciones, el resto (83.0 %) se exporta a Canadá (Figueroa y Espinosa, 2020).

El cultivo intensivo de las plantas hortícolas son una fuente de ocupación y de mano de obra que de alguna manera esta subutilizada, contribuye a la alimentación de familias de bajos recursos por medio del empleo, ayuda a mantener buenos niveles nutricionales al suelo, produce ingresos monetarios a corto plazo al proporcionar productos para el mercado nacional e internacional y materia prima para industrias procesadoras de alimento. El pepino es uno de los cultivos hortícolas de gran importancia debido a su alto índice de consumo tanto en fresco como industrializado (Marcano *et al.*, 2012). Por otro lado (Sosa y Ruiz, 2017), mencionan que el mayor reto de la agricultura es asegurar el abasto de alimentos para los próximos años en México donde los productores se deben enfocar en mejorar el rendimiento por unidad de superficie.

2.2.2 Estados productores

La producción de pepino en México ha sido de relevancia productiva y además económica a nivel nacional e internacional, el valle de Culiacán es una de las regiones productivas más excelentes donde además del pepino también producen hortalizas como el jitomate, calabacita, chile campana o bell, normalmente dirigidos a exportación. Esta hortaliza ha tomado relevancia en entidades como Sinaloa, Sonora y Michoacán siendo entidades muy reconocidas en el sector agrícola.

Cabe mencionar que los que impulsaron la producción de pepino en México fueron inversionistas americanos escogiendo al estado de Yucatán para dicho cultivo, debido a factores como la HR, sin embargo, las temperaturas elevadas entre otros factores fueron las limitantes del establecimiento de dicho cultivo en tal estado, por lo anterior, los inversionistas buscaron nuevas opciones optando por el estado de Sinaloa al encontrar condiciones adecuadas para el desarrollo de la hortaliza. Una vez que este cultivo se adaptó fue extendiéndose hacia los estados de Michoacán, Morelos, Veracruz, Baja California, Guanajuato, y Jalisco, entre los más importantes (Ramírez *et al.*, 2020).

Cuadro 1. Principales estados productores en México, ordenados de acuerdo al Ranking que ocupa.

Entidad federativa	Volumen (toneladas)
Sinaloa	268,878
Sonora	152,457
Michoacán	67,653
Morelos	52,103
Guanajuato	43,539
Yucatán	36,062
Baja california	29,622
San Luis Potosí	27,530
Zacatecas	22,679
Jalisco	20,454

Fuente: (SIAP 2020).

2.2.3 Exportación

Valdez (2017), indican que el principal país exportador de pepino a nivel mundial es México, esto es gracias a la calidad reconocida a nivel mundial, al clima privilegiado y a la variedad de regiones del país ya que cuenta con la capacidad de producir todo el año. Sin embargo, la producción del estado de Sinaloa está dirigida al mercado de exportación ya que solo el 30 % se queda en el mercado nacional mientras que el resto va hacia el mercado exterior. El estado de Sinaloa cuenta con tres tipos de financiamiento con el fin de garantizar la producción asegurando que el producto sea entregado en tiempo y forma, a continuación, se mencionan:

1. Financiamiento que otorgan distribuidoras norteamericanas de productos hortofrutícolas.
2. Financiamiento a través de cadenas comerciales.
3. Financiamiento con capital nacional.

Debido a la certeza de capacidad para satisfacer la demanda de pepino en el mercado extranjero, se han sumado más países a la lista de clientes de pepino mexicano, entre ellos Chile (Valdez, 2017).

2.3 Manejo del cultivo

2.3.1 Fechas de siembra

El pepino se siembra en lomillos, montículos o directamente en el suelo, la distancia entre surcos varía de 1.20 a 1.50 m y la distancia entre plantas es de 20 cm, la siembra se realiza de 2 a 3 cm de profundidad en los que se colocan de tres a cuatro semillas por golpe, posteriormente, se ralea dejando solo uno o dos plantas. En México las fechas de siembra varían dependiendo de la región donde se cultive y de la variedad a utilizar, durante la temporada primavera-verano se siembra de abril a septiembre y durante la temporada otoño-invierno de octubre a marzo (Bravo, 2013).

2.3.2 Clima

El pepino exige un clima cálido, por lo que se considera una hortaliza de verano, aunque en algunos lugares la siembra puede hacerse durante todo el año, el pepino requiere ciertas condiciones de calor, aunque no es tan exigente como los cultivos de melón y sandía. Se puede cultivar con éxito en un rango de temperatura de 15 a 25 °C, aunque la semilla germina normalmente de 15 ° a 30 °C (Navarrete, 2005).

2.3.3 Suelo

Los suelos francos que poseen abundante materia orgánica son los más ideales para el desarrollo de este cultivo, aunque también se pueden cultivar en una amplia gama de suelos fértiles y bien drenados; desde los arenosos hasta el franco arcilloso. Los suelos deben de 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. El cultivo se adapta a un pH de 5.5 a 6.8, incluso puede llegar a soportar pH hasta de 7.5 pero no suelos ácidos con pH menor a 5.5 (Casaca, 2005).

2.3.4 Etapas fenológicas

El ciclo del pepino es relativamente corto y varía según el lugar dependiendo de las condiciones edafoclimáticas y del manejo agronómico que reciba durante su desarrollo, a continuación, se muestran en el cuadro 2:

Cuadro 2. Etapas fenológicas del cultivo de pepino.

Estado fenológico	Días después de la siembra
Emergencia	4-5
Inicio de formación de guías	15-24
Floración	27-34
Cosecha	43-50
Fin de cosecha	75-90

Fuente: (Fuentes, 2015).

2.3.5 Riego

El pepino es una planta que necesita una buena disponibilidad de agua a nivel radicular para conseguir altas producciones, el cultivo puede requerir de 6 a 8 riegos durante todo su ciclo agrícola, de 1 y 2 pulgadas de agua por semana, la técnica del riego localizado es el adecuado para este cultivo (Mejía, 2010).

2.3.6 Poda

La poda se refiere a la eliminación parcial de órganos de la planta, es una actividad muy importante ya que permite el desarrollo óptimo de las plantas en producción. Al

respecto, Cedillo *et al.* (2018) mencionan tres tipos de podas principales, los cuales varían de acuerdo con la etapa fenológica que se encuentre la planta.

La poda de frutos se deben de eliminar los primeros 4 o 5 frutos que brotan del tallo principal ayudando a estimular el crecimiento vegetativo de la planta, la poda de yemas laterales vegetativas o chupones que crecen en las axilas de las hojas con el objetivo de tener un solo tallo principal más productivo y frutos más grandes, esta poda se realiza cuando las yemas vegetativas tienen menos de 5 cm ya que es más fácil de eliminar usando solo la presión de los dedos de la mano, la poda de hojas, se elimina las dos primeras hojas de cada planta (hoja viejas) y también las que se encuentren enfermas con el objetivo de ventilar a la planta, acelerar el proceso de maduración de los frutos y estimular la fructificación de la parte más alta de la planta, también se puede llevar a cabo la poda de sarcillos pero solo cuando pueda lastimar al fruto o se enrede sobre él. Esta actividad se realiza con una tijera de podar (Cedillo *et al.*, 2018).

2.3.7 Tutorado

Esta práctica mantiene a la planta erguida, mejora la aireación general favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y facilita la realización de las labores culturales, el tutorado suele realizarse con un extremo sujeto a la zona basal de la planta y el otro extremo a un alambre situado a determinada altura por encima de la planta, conforme la planta va creciendo se va sujetando al hilo tutor mediante anillas, hasta que la planta alcance el alambre, posteriormente se deja colgar la guía y uno o varios brotes secundarios (SIOVM, 2011).

2.3.8 Fisiopatías

En el cultivo de pepino bajo invernadero o casa sombra, al igual que en tomate, pimiento y berenjena, se presentan fisiopatías que afectan el rendimiento entre las que destacan: Quemados del brote terminal del pepino, rayado de frutos o piel de lagarto, curvado y estrechamiento de la punta de los frutos, anieblado de frutos, amarilleo de fruto de pepino. Las fisiopatías son originadas comúnmente por factores ambientales adversas para el desarrollo de la planta ya sea por irregularidad de los riegos tanto en

cantidad o periodicidad, cuando el cultivo es sometido a una sequía con una gran carga de frutos, exceso de sales sobre el riego y altas temperaturas, generan un raquítrico sistema radicular o desbalance de nutrientes (Zamora, 2016).

2.3.9 Cosecha

Cedillo *et al.*, (2018) mencionan que la cosecha inicia de los 44 a los 53 días después del trasplante realizándolos de 2 o 3 días, por lo regular se tiene mayor precocidad en el ciclo agrícola de verano-otoño en comparación al ciclo de primavera-verano. Los frutos deben de tener un color verde oscuro, erecto, con un peso promedio de 450 a 550 g, 50 mm de diámetro y 25 a 27 cm de largo, también indican que el crecimiento de los frutos en el cultivo de pepino es por set o periodo (crecen de 4 a 5 fruto en los entrenudos de forma consecutiva y los siguientes abortan y así sucesivamente), cabe mencionar que entre set y set transcurren aproximadamente 5 días.

2.4 Agricultura protegida en México

La agricultura protegida (AP) es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras con la finalidad de proteger cultivos, mitigando las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos. La agricultura está ligada al riesgo, el sistema AP tiene como característica básica la protección contra los riesgos a esta actividad, ya sea climatológicos, económicos (mercado, rentabilidad), o limitaciones de recursos de producción (agua, superficie de tierras). Con el paso del tiempo la AP ha modificado las formas de producir alimentos generando múltiples ventajas para los productores tanto que ha permitido el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, enfrentando plagas y enfermedades y aun así obteniendo los mejores rendimientos en menor superficie, además obteniendo productos de buena calidad lo que hace que tengan un mejor precio en los mercados y un mejor ingreso para los productores (Moreno *et al.*, 2011).

La AP en México ha crecido rápidamente y se ha extendido geográficamente, en el año 2003 la superficie destinada a la AP fue de 132 ha que paso a 4,877 ha en el 2009, pero, para el 2017 ya se habían alcanzado 42,515 ha, respecto al año anterior hubo reducción de superficie sembrada en los años 2008, 2013 y 2015, pero aun así su tendencia siguió aumentando (Suarez, 2021). Del total de producción, aproximadamente el 80 % se destina a los mercados de exportación, en su mayor totalidad a los Estados Unidos. De una totalidad de 31 estados, nueve de ellos es donde se concentra casi toda la AP y más de la mitad solo se da en cuatro estados: Sinaloa, Jalisco, Baja California y Baja California Sur, además, la producción está muy concentrada en unos pocos productos: tomate, pimientos, pepinos y en menor cantidad bayas (Lawrence y Ortega, 2019).

Al respecto, Tapia (2017), se basa en datos de producción de jitomate, menciona que a cielo abierto los rendimientos promedios anuales son de 40 toneladas por hectárea, mientras que en sistemas con fertirrigación ese rendimiento se multiplica por tres, pero en invernaderos de mediana tecnología llega hasta cinco o seis veces más y hasta 15 veces más en invernaderos de alta tecnología, así mismo, se han obtenido rendimientos similares en cultivos como pimiento, pepino, lechuga, calabacita, ornamentales y frutilla.

Por otro lado, Pérez (2017), en su trabajo: Comportamiento fenológico y agronómico de la variedad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones en campo abierto y casa sombra, obtuvo rendimientos de 89.75 toneladas por hectárea bajo casa sombra, mientras que a cielo abierto el rendimiento fue de 51.79 toneladas por hectárea.

2.5 Solución nutritiva

La solución nutritiva es una disolución acuosa que contiene oxígeno y una parte o la totalidad de todos los nutrientes disponibles para la planta. Dentro de estos nutrientes se encuentran macroelementos (nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio, azufre), microelementos (hierro, manganeso, cobre, cinc, boro, molibdeno, cobalto, vanadio). El

silicio es considerado como un macroelemento, solo se suele añadir a las soluciones nutritivas en cultivos sin suelo cuando no hay fuentes de ese elemento. El cobalto y el vanadio son microelementos que normalmente no se aplican en las soluciones nutritivas, debido a que sus necesidades se completan con las propias impurezas de otros fertilizantes (Santos y Ríos, 2016). El uso de una solución nutritiva determinada influye en la cantidad total de fertilizantes utilizados, así como también en el cuidado de los recursos naturales. Existen diferentes formulaciones de soluciones nutritivas, como la universal de Steiner y la de Hoagland, donde la concentración de cada uno de ellos depende de varios factores ambientales (Cruz *et al.*, 2014).

2.5.1 Concentración de nutrientes

Uno de los factores más importantes que afectan a los cultivos es la interacción de los nutrientes en las plantas que puede ser medida durante el crecimiento del cultivo. La concentración de nutrientes en los diferentes tejidos de la planta, la producción de materia seca y las necesidades nutricionales del cultivo, según su etapa fenológica de la planta entregan la información básica que permite determinar la dosis y épocas apropiadas para la aplicación de fertilizantes. Es importante conocer el desarrollo del cultivo además de las etapas de mayor requerimiento de nutrientes ya que permite ofrecerle las condiciones óptimas y obtener rendimientos adecuados (Lata *et al.*, 2017). Por otro lado Moreno *et al.* (2017), indican que con altas concentración de sales (elementos minerales) en la rizósfera, se eleva el potencial osmótico de la solución nutritiva y aumenta la conductividad eléctrica en el sustrato, causando problemas en el desarrollo normal de los cultivos, además, como consecuencia de un incremento del potencial osmótico de las células en la rizósfera, se reduce el consumo de agua por la planta lo que eventualmente provoca un déficit hídrico y con ello una fuerte competencia por el agua entre la raíz y las sales, lo cual influye en un menor área foliar limitando para la producción de fotosintatos y en consecuencia en el crecimiento y desarrollo de los frutos.

2.5.2 Función de los elementos nutritivos en la planta

Nitrógeno (N)

El N_3^- favorece el desarrollo del tallo, el crecimiento del follaje y contribuye en la formación de frutos y granos, esto hace que tenga una acción directa sobre el incremento de la masa seca, pero un exceso de este elemento provoca: un crecimiento excesivo del follaje, un escaso desarrollo en el sistema radicular y un retardo en la formación de flores y frutos, por otro lado, la deficiencia de este elemento provoca una clorosis en las hojas inferiores y en caso de deficiencias agudas caen prematuramente y la clorosis se ve en toda la planta. En hortalizas se ha encontrado que a mayor intensidad lumínica hay mayor absorción de N_3^- , un exceso de N_3^- ocasiona maduración dispareja en los tomates, los cuales presentan tintes amarillos y verdes alrededor del cáliz, en pepino ocasiona quemazón de los bordes de las hojas (Rodríguez, 2004).

Fósforo (P)

El P se encuentra en mayor proporción en las hojas jóvenes, flores y semillas en desarrollo, este elemento juega un papel importante en el metabolismo energético de la planta, porque hace parte de las moléculas AMP, ADP y ATP, forma parte de los ácidos nucleicos ADN y ARN y, además, participa en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de almidón, también forma parte de otros compuestos como el ácido fítico, importante en la germinación de semillas y en el desarrollo de la raíz. La deficiencia de este elemento afecta el desarrollo de la planta debido a que la producción de proteínas es muy baja y la síntesis de almidón, celulosa y sacarosa se reducen, además puede ser causa de la presencia de enanismo, en el pepino uno de los problemas que se presentan por deficiencia de este elemento es la rigidez de la planta (Rodríguez, 2004).

Potasio (K)

El K^+ junto con el nitrógeno es absorbido en grandes cantidades por las plantas. La mayor parte del potasio absorbido depende de la difusión del elemento y de otros factores, como contenidos muy altos de calcio y magnesio, los cuales disminuyen la

absorción del K^+ . Por otra parte, contribuye a la economía del agua regulando la apertura estomatal, importante para la absorción de CO_2 y el control de la transpiración. La deficiencia de este nutriente produce: entrenudos de los tallos cortos, tallos débiles, y disminución en la producción de granos y frutos e inducción al deterioro (Rodríguez, 2004).

Magnesio (Mg)

El Mg es el constituyente central de la clorofila, por ello, del 15 al 20 % del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes, además participa en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta. La sintomatología de la deficiencia del Mg varía de planta a planta considerando que aparecen primero en las hojas más viejas y después eventualmente en aquellas más jóvenes, manifestándose amarillamientos o clorosis internerval y que en los casos graves de carencia se necrosan (Pereira *et al.*, 2011).

Azufre (S)

Este nutriente está involucrado en la formación de la clorofila y es un constituyente esencial de proteínas, es tan importante en el crecimiento de la planta como el P y el Mg, aunque su función ha sido subestimada debido a que sus deficiencias son raras ya que el suelo contiene suficientes cantidades de sulfatos. La deficiencia de azufre se caracteriza porque la lámina foliar se torna uniformemente amarilla o clorótica seguido de la defoliación (Pereira *et al.*, 2011).

Calcio (Ca)

El Ca^{++} es esencial para el crecimiento de las raíces, la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de este nutriente para las plantas, la deficiencia puede darse en los suelos tropicales muy pobres en Ca^{++} , desempeña una actividad antagónica al potasio, incrementando la transpiración y reduciendo la absorción del agua (Pereira *et al.*, 2011).

2.6 Potencial de hidrogeno (pH)

El valor del pH del suelo es la medida de la acidez o alcalinidad del suelo. El cultivo de pepino suele adaptarse a un rango de 5.5 a 6.8, incluso puede llegar a soportar pH de hasta 7.5, pero se deben de evitar los suelos ácidos con pH menores de 5.5 (Hernández, 2018).

2.7 Conductividad eléctrica (CE)

Sánchez *et al.* (2014), mencionan que la solución nutritiva debe de tener una CE entre 1.5 y 3 dS m⁻¹, para que las plantas de pepino crezcan sin limitaciones nutricionales.

2.8 Efecto del ambiente en el cultivo de pepino

2.8.1 Radiación

La radiación solar es considerada uno de los factores ambientales más importantes para los cultivos establecidos bajo invernadero, influye en procesos relacionados con la fotosíntesis, los balances de agua, energía, y el crecimiento y desarrollo del cultivo. Existe una relación directa entre la producción de materia seca y rendimiento con la cantidad de radiación interceptada por el cultivo, además es la fuente de energía utilizada por las plantas en el proceso de fotosíntesis, la eficiencia de su aprovechamiento por las plantas depende de la longitud de onda que esta presenta. México en su radiación solar acumulada (media diaria) mantiene una radiación óptima que va desde 15 a 23 MJ m²/día (millones de Joule) excepto los meses de abril y mayo que se encuentra catalogada como radiación elevada con 24 MJ m²/día, la radiación mínima requerida en el día para no tener pérdidas de rendimiento en el pepino dentro del invernadero es de 12 y 17 a campo abierto (INTAGRI, 2022).

2.8.2 Fotoperiodo

Según Hoyos *et al.* (2012), el fotoperiodo es el tiempo en que las plantas reciben luz, es uno de los factores climáticos que mayor influencia tiene sobre el crecimiento y el desarrollo de los cultivos. El pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad en periodos de días cortos, aunque también soporta elevadas intensidades de luz (días largos), se puede decir que su rendimiento está influenciado por la mayor cantidad de radiación solar (López, 2003).

2.8.3 Temperatura

La temperatura es una variable muy importante para considerar, influye de gran manera en el crecimiento y maduración de las plantas, la temperatura interna del aire de un invernadero depende del tipo de cultivo que se establezca en ella además del nivel de confort que se desea y de su estado de crecimiento, los cuales se clasifican de la siguiente manera:

- Temperatura mínima letal: Es aquella por debajo de la cual se producen daños severos a las plantas.
- Temperatura mínima y máxima biológica: Indican los valores por debajo o por encima respectivamente del cual, no es posible alcanzar una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.
- Temperatura óptima: Es la temperatura a la cual la planta obtiene un correcto desarrollo.

Así mismo, se indica que para el cultivo de pepino se debe de considerar los siguientes porcentajes de temperatura: óptima durante el día debe ser de 24 a 28, por la noche de 18 a 20, mínima biológica 10 a 13, mínima letal de 0, y máxima biológica de 28 a 32 (Castro, 2011).

2.8.4 Humedad relativa (HR)

La HR es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, el pepino es una planta que requiere de una elevada humedad debido a su gran superficie foliar, siendo la HR optima de 60 a 70 % durante el día y de 70 a 90 % en la noche (Cruz *et al.*, 2020). El pepino es una planta con mucha superficie foliar, esta característica toma importancia debido a la transpiración, ya que al tener una transpiración excesiva con humedades relativas bajas son la causa del asurado de frutos jóvenes y en algunos casos quemados de bordes o eliminación de superficie foliar. Las humedades relativas bajas no solo afectan a la planta si no también es un medio para la presencia en el desarrollo de araña roja e incluso de trips (Aguado, 2002).

2.8.5 Dióxido de carbono (CO₂)

La concentración de CO₂ en la atmósfera del invernadero es un factor determinante en la producción de cultivos protegidos. Para que se produzca la fotosíntesis es muy esencial el CO₂, ya que las plantas toman el CO₂ del aire, agua de las raíces, energía lumínica para luego ser transformados en azúcar (carbohidratos) y oxígeno. Para el desarrollo, vigor y tamaño de fruto de las plantas es necesario una concentración optima de CO₂. Las células que se encargan de permitir la entrada del CO₂ a las plantas se encuentran en el envés de las hojas, la apertura y cierre de estas células depende de la concentración de CO₂ que se encuentre en el ambiente, nivel de luminosidad, temperatura de la hoja y del ambiente, humedad relativa y estrés hídrico. Cuanto mayor sea la concentración en el ambiente, mayor será la toma de CO₂ por las plantas. Se recomienda reducir la concentración de CO₂ cuando la humedad en el invernadero es alta para evitar que las estomas se cierren y restrinjan el transporte de agua y de Ca en las plantas. Sea revelado en investigaciones que a niveles de CO₂ de 375, 450 y 525 ppm ha incrementado el rendimiento total en tomates y pepinos (Douglas, 2011).

Sin embargo, debido a las diferentes condiciones ambientales, las plantas han evolucionado y han desarrollado adaptaciones metabólicas y anatómicas haciendo un uso eficiente del agua y optimizando la velocidad de asimilación de CO_2 por medio de mecanismos, con el fin de lograr una eficiencia fotosintética. De acuerdo a los mecanismos de asimilación de CO_2 en la fotosíntesis existen plantas de metabolismo fotosintético C_3 , C_4 y plantas CAM. El pepino pertenece a una planta C_3 ya que el primer compuesto formado en la segunda etapa del proceso de fotosíntesis en las reacciones de carboxilación del ciclo de Calvin es el ácido fosfoglicérido (3-PGA) que está formado por 3 carbonos, esto se lleva a cabo mediante la enzima Rubisco que actúa como oxigenasa es decir; en presencia de luz, el oxígeno compite con el dióxido de carbono por los sitios activos de la enzima, provocando una pérdida de CO_2 (fotorespiración), lo cual reduce la capacidad fotosintética de la planta. La fotorrespiración es un fenómeno relacionado con el cierre estomático parcial o total de la planta en donde la Rubisco fija O_2 en lugar de CO_2 lo que implica un desperdicio de energía (ATP), por otro lado se ve favorecida cuando la planta se ve sometida a estrés por altas temperaturas, estrés hídrico, o estrés salino (INTAGRI, 2018).

2.9 Relación entre la HR y DPV

El déficit de presión de vapor (DVP) es una manera de expresar a la humedad atmosférica, el DVP es la diferencia entre la presión de vapor de saturación y la presión de vapor real en ese momento a una temperatura y humedad relativa conocidas, este suceso está directamente ligado con la transpiración. La regulación del DPV mantiene simultáneamente los intervalos óptimos de temperatura y HR por lo que mejora la fotosíntesis de la planta y la producción de cultivos en invernadero (Salas, 2019).

El déficit de presión de vapor del cultivo (DPVc), es la diferencia de presiones entre la P_{Vsat} (presión de vapor de saturación del cultivo) y P_V (presión de saturación actual del aire y del cultivo), para controlar el DPVc resulta muy útil el uso de sensores infrarrojos que se encargan de medir la temperatura de la hoja del cultivo, también sensores de temperatura y HR del aire. Debido al intercambio de aire seco del exterior

con el interior del invernadero en invierno el DPVc se puede controlar humidificando por el día, es una estrategia eficiente que permite regular el ambiente del invernadero y mejorar la producción del cultivo. En la mayoría de los cultivos en invernadero el proceso de fotosíntesis y la absorción de nutrientes son óptimos en un rango de 0.4-0.79 kPa, además mejora el intercambio de CO₂, por otro lado, a 1.6 kPa disminuye la tasa de pérdida de agua, por lo tanto, el estrés hídrico se mantiene en equilibrio reduciendo la transpiración del cultivo (Gutiérrez, 2020).

Por otra parte, Díaz (2022), menciona que el DPV surge de la relación entre la temperatura y la HR, el DPV se renombra en la industria de los invernaderos ya que se refleja de mejor manera el estado de una planta al combinar los efectos que producen estas dos variables. Cuando el DPV dentro de un invernadero es el adecuado para la planta, la HR de su interior se difundirá al exterior de manera adecuada por medio de los estomas, pero si es muy alto, el aire dentro del invernadero será demasiado seco lo cual incitará a la planta a transpirar agua excesivamente, sin embargo cuando la planta intenta reducir el daño producida por la transpiración excesiva la planta cerrará sus estomas para reducir la transpiración al mismo tiempo de esta acción el flujo de CO₂ se verá afectado lo cual significa una reducción en el crecimiento de la planta.

La humedad en los invernaderos es uno de los factores que influyen en el cultivo, el aire que se encuentra dentro del invernadero es enriquecido con vapor de agua por medio de la evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas, para transportar nutrientes, para refrigerarse y para regular su crecimiento las plantas necesitan transpirar agua. Sin embargo, la transpiración depende del déficit de saturación entre los estomas y el aire, cuando el déficit aumenta o disminuye considerablemente influye en la fisiología y desarrollo del cultivo (Huertas, 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Sitio experimental

El experimento se realizó en el periodo julio a noviembre del 2021 en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, en el área de invernaderos del Departamento de Horticultura, bajo las siguientes coordenadas: 25°21'23.55" latitud N, 101°25'16" longitud O y 1763 msnm. Presenta un clima seco con temperatura media anual de 18 a 22 °C siendo las más altas en meses de mayo a agosto y la más baja en enero con una precipitación total media anual alrededor de 400 mm.

3.2 Material vegetal

Se utilizaron semillas de pepino híbrido Centauro que posee características de; crecimiento indeterminado, planta vigorosa, abierta, hojas de color verde-oscuro. Se distingue por generar frutos de excelente conservación post cosecha, además soporta altas condiciones de calor y luminosidad.

3.3 Acondicionamiento del microclima

Se utilizó plástico transparente calibre 200 para construir tres cámaras de crecimiento dentro del invernadero, cada una en condiciones de HR relativa diferente. La primera cámara consistió en cubrir la parte de arriba y dos de sus lados, obteniéndose con ello una HR del 35 % en promedio, el cual se utilizó como cámara testigo. La segunda cámara se cubrió con plástico en todos sus lados y se le hicieron dos ventanas con medidas de 70 x 60 cm en la parte de central, obteniéndose con ello una HR del 50 % en promedio, misma que fue controlada con un humidificador de ocho cabezas. La tercera cámara solo tuvo una ventana de 60 x 60 cm, obteniéndose con ello una HR del 65 %, el cual fue controlado con dos humidificadores de ocho cabezas. Los humidificadores estuvieron conectados a un sensor de humedad donde indicaba la HR deseada, al marcar ± 5 de la HR indicada se apagarían los humidificadores, así mismo, se utilizaron

ventiladores que fueron instalados dentro de las cámaras para mantener una correcta distribución de la HR.

3.4 Manejo del cultivo

3.4.1 Siembra y trasplante

La siembra se realizó el día 24 de julio del 2021 en contenedores de unicel utilizando como sustrato de germinación peat moss y perlita en una proporción 80:20 volumen/volumen, por consiguiente, se realizó el trasplante el día 11 de agosto del 2021 en bolsas negras de polietileno con capacidad de 10 L, con el mismo sustrato, en ambos casos se utilizó bicarbonato de sodio para ajustar el pH a 5.9.

3.4.2 Riego

Durante la etapa de germinación se le estuvo proporcionando a las plantas 300 ml de solución nutritiva manualmente, de la misma manera, antes del trasplante se le aplicó una lámina de riego de 6 cm con agua previamente con el pH y la CE ajustado antes de cada riego, para ello se utilizó HNO₃ manteniéndolo en un rango de 5.5 a 6.5. Para un mejor provecho de los riegos se utilizaron tensiómetros de baja tensión de la marca IRROMETER LT, fueron instalados en algunas de las bolsas de cada cámara el cual nos permitía saber la humedad del sustrato, cuando el manómetro del tensiómetro marcaba 7 centibares los riegos se aplicaban dejándolo en 0 centibares, se le aplicó 4 L por planta con un 30 % de drenaje, esto permitía una humedad suficiente para el sustrato.

3.4.3 Poda

Se utilizó el método de poda a un solo tallo iniciando desde que la planta emitió sus primeros chupones (20 días después del trasplante) hasta el término del experimento, la poda de hojas se inició después del primer corte realizándolo dos veces por semana manteniendo una hoja bajo el siguiente fruto a cosechar.

3.4.4 Tutoreo

Esta actividad se realizó utilizando hilo de polipropileno con una punta sujetado a la parte basal de la planta con un anillo y la otra punta a un alambre a 2.5 m de altura, mientras la planta crecía se iba enredando al hilo colocando más anillos para facilitar su manejo.

3.4.5 Cosecha

La cosecha se realizó manualmente o con ayuda de tijeras, el día 27 de septiembre se realizó la primera cosecha y se mantuvo de uno a dos cosechas por semana según las características que presentaban los frutos. La última cosecha se realizó el día 30 de octubre, cabe mencionar que cada fruto fue identificado para su correcta toma de datos.

3.5 Tratamientos

Los tratamientos fueron tres cámaras con diferentes HR (35, 50, 65 %) y tres diferentes concentraciones de soluciones nutritivas: 75, 100 y 125 % respectivamente, preparadas según la concentración de la solución nutritiva de Steiner. En total resultaron nueve tratamientos mismos que se señalan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos aplicados para el cultivo de pepino en diferentes HR.

Tratamientos	HR %	% de concentración Steiner
1	35	75
2	50	75
3	65	75
4	35	100
5	50	100
6	65	100
7	35	125
8	50	125
9	65	125

Las variables de estudio se indican en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Variables en estudio

Variable	Material utilizado	Descripción de la actividad
Longitud de fruto (cm)	Cinta métrica	Se midió de un extremo al otro, por cada fruto.
Diámetro ecuatorial del fruto (cm)	Vernier manual calibre 0-130 mm	Se tomó un solo dato y fue la parte media del fruto.
Peso de fruto por semana (ton/ha)	Báscula digital, capacidad de 3000 g x0.1 g	Fue el promedio de la suma del peso de todos los frutos cosechados durante la semana.
Curvatura del fruto (cm)	Cinta métrica	Se midió la distancia de la base al índice distal, colocando el fruto horizontalmente sobre una superficie plana.
Rendimiento (ton/ha.)	Báscula digital, capacidad de 3000 g x	Se sumó el peso total de frutos (kg) / considerando

	0.1 g	una población de 30 mil plantas por hectárea.
Numero de hojas	No aplica	Se contaron las hojas desarrolladas desde la base hasta la punta.
Peso seco de hojas (g).	Báscula digital, capacidad de 3000 g x 0.1 g	Se colectaron las hojas y se colocaron en bolsas de papel en donde fueron expuestos al sol y después de 30 días se tomó la lectura.
Peso seco de tallo (g).	Báscula digital, capacidad de 3000 g x 0.1 g	Los tallos se cortaron en trozos pequeños y se colocaron en bolsas de papel en donde fueron expuestos al sol y después de 30 días se tomó la lectura.
pH del sustrato (medio, bajo, alto).	Potenciómetro	Se tomaron 3 lecturas (estrato bajo, medio y alto del sustrato).
Conductividad eléctrica (medio, bajo, alto).	Conductímetro	Consistió en 3 lecturas (bajo, medio y alto del sustrato).
Concentración de NO_3^- , Ca^{++} , y K^+ en el peciolo de la hoja (ppm).	Sensores de cada elemento de la marca HORIBA.	Se tomó la muestra en invernadero, se llevó a laboratorio se macero y con el extracto se tomaron las lecturas.

3.6 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, las unidades experimentales consistieron en dos plantas en cada uno de los tratamientos. Los datos colectados se analizaron con un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2011).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento y características de fruto.

Los resultados mostraron que las plantas desarrolladas en niveles con HR al 65 % obtuvieron mayor rendimiento de fruto, LG y DE (Cuadro 5); sin embargo, la CV del fruto no mostró diferencia significativa en los distintos niveles de HR. Con respecto a la SN, se encontró que a una concentración al 75 % el pepino tuvo mayor rendimiento total, caso contrario ocurrió en las variables LG, DE y CV al no reflejar diferencias significativas a las distintas concentraciones de la SN (Cuadro 5). En cuanto a la interacción HR*SN, si existió significancia en la variable rendimiento.

Los resultados obtenidos en este trabajo superan a lo reportado por Méndez (2016), el cual evaluó la producción de pepino con porcentajes de lixiviado (60, 80 y 100 %) de vermicompost en invernadero, reportó diferencias altamente significativas entre los tratamientos, sin embargo, obtuvo valores bajos en sus variables de rendimiento en kg por planta (1.065 kg), LG y DE (19.62 y 4.61 cm); lo anterior lo atribuyó al uso de fertilizante orgánico. Por otro lado, Villacreces y Andrade (2022), en su análisis de varianza en cuanto a LG y DE (cm), no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Estos resultados coinciden con lo obtenido en este trabajo en el factor SN, sin embargo, no con el factor HR. Además, menciona que el mayor promedio en LG y DE fue superior al de este experimento, esta diferencia se debió a la aplicación de fosfito de potasio que utilizaron.

Así mismo, los resultados de las variables de rendimiento y LG obtenidos durante este experimento difieren a lo reportado por Rodríguez y Giron (2021), donde obtuvieron medias de rendimientos de 100 t ha^{-1} y de longitud de la fruta en 28.5 cm, se aprecia con lo anterior, que el rendimiento fue menor y la LG fue mayor al presente trabajo, debido a que el cultivo se llevó a cabo a campo abierto y con una producción ecológica.

En un trabajo reportado por Vásquez (2016), evaluó variables agronómicas con el mismo genotipo al presente estudio y lo realizó bajo invernadero con una HR mínima

del 29.5 y máxima al 74.4 %, el cual obtuvo que la solución Steiner al 100 % fue el mejor en el diámetro ecuatorial y longitud de la fruta. Lo anterior pudo deberse a la inoculación de *Azospirillum sp.* que aplicó en los tratamientos, sin embargo, en rendimiento obtuvo datos similares a los de este experimento al 75 % de solución Steiner. Por otra parte, Adame (2020) evaluó el efecto de la SN en el cultivo de pepino y utilizó solución Steiner al 125, 100 y 75 % respectivamente, los resultados arrojaron datos contrastantes al de este experimento ya que encontró diferencias en diámetro ecuatorial y longitud, sin embargo, no observó diferencia significativa en cuanto a los tratamientos.

Haz (2021), evaluó la influencia de la fertilización potásica en el rendimiento y calidad del pepino donde concluyó que la aplicación de niveles altos de dicha fertilización influyó en la productividad y calidad de pepino, aumentando el número de frutos, peso de frutos, diámetro y longitud de frutos además menciona que la mayor demanda nutricional se concentró en las etapas fenológicas de fructificación y cosecha.

El hecho de incrementar la concentración de la SN no implicó un aumento en el rendimiento, esto se debió a la influencia de la HR donde a bajos porcentajes las plantas absorbieron mayor concentración de nutrientes destinando la mayor parte a suplir las pérdidas por transpiración de las plantas, en cambio las plantas que se desarrollaron en ambiente con HR al 65 % favorecieron a la planta ya que aprovecharon lo suficiente las bajas concentraciones de SN que se le atribuyeron.

Cuadro 5. Efecto de la humedad relativa y concentración de la solución nutritiva en parámetros de rendimiento.

Factor		Rendimiento ton/ha	Longitud cm	Diámetro Ecuatorial cm	Curvatura cm
Humedad relativa	35 %	116.4 c	22.30 b	5.12 b	3.47 a
	50 %	132.9 b	22.15 b	5.17 ab	3.55 a
	65 %	156.0 a	23.53 a	5.40 a	3.45 a
Solución nutritiva	75 %	151.2 a	22.90 a	5.24 a	3.55 a
	100 %	126.6 b	22.53 a	5.15 a	3.48 a
	125 %	127.8 b	22.55 a	5.30 a	3.45 a
Interacción		P=0.0004	P=0.284	P=0.104	P=0.666

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.2 Rendimiento total

La HR influyó en el rendimiento total de la planta (Figura 1). Las plantas desarrolladas en el nivel de HR al 35 y 65 % expresaron mayor rendimiento a una concentración de 75 % de SN, mientras que con un nivel de HR al 50 % el mayor rendimiento fue a una concentración de 125 %; cabe mencionar que el ambiente con HR al 65 % y SN al 75 % reflejó el mayor rendimiento respecto a los diferentes interacciones o combinaciones de los tratamientos. Por lo anterior, se demuestra que el aumento de la concentración de SN no significa mayor rendimiento si la HR del ambiente se mantiene en 65 %.

Los rendimientos obtenidos en este experimento superan a los obtenidos por Holguin (2021), quien encontró rendimientos muy bajos, de hasta 35.1 t ha^{-1} ; esto pudo deberse al uso de biorreguladores y fertilizantes foliares orgánicos evaluados en su experimento. Nuestros resultados indican que la SN debe de mantenerse baja en condiciones de HR al 65 %, pero se debe de incrementar la concentración de la SN cuando las plantas se establezcan en HR al 50 %. Esto puede ser debido a que a una alta HR la tasa de transpiración disminuye, haciendo que la mayor cantidad de SN sea negativa para la planta durante su desarrollo; en contraste, las plantas desarrolladas en un ambiente con HR más baja (50 %), la tasa de transpiración debe ser más alta, provocando mayor

absorción de agua y así con una mayor concentración de la SN destinando gran parte a suplementar la pérdida provocada por la transpiración de las hojas.

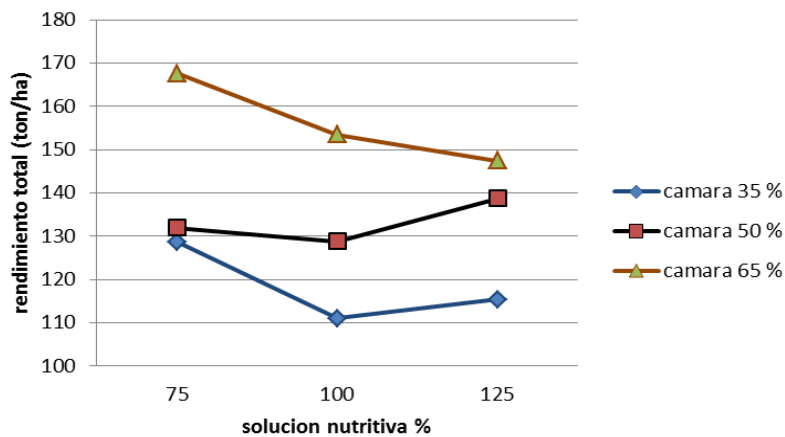


Figura 1. Rendimiento total de las plantas de pepino desarrolladas en cámaras de diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.

4.3 Biomasa y análisis del sustrato

Las plantas desarrolladas en niveles con HR al 50 % expresaron mayor PST de la planta, pero al mismo tiempo estas plantas resultaron con el menor número de hojas (Cuadro 6); en las variables PSH, PHB, PHM, PHA, CEB, CEM, CEA, no mostraron diferencia significativa en los distintos ambientes de HR. Así mismo, en la SN al 100 %, el PST reveló mayor potencial, y las variables restantes se mantuvieron iguales y por lo tanto no se detectó diferencia alguna en dichas variables. En cuanto al factor SN y la interacción de HR*SN existió significancia en el PST (Cuadro 6).

La capacidad que tiene el cultivo para acumular biomasa seca influye de gran manera en el rendimiento, por lo que el incremento de biomasa implica también un incremento en el rendimiento. Los carbohidratos son asimilados producidos por la fotosíntesis, principalmente en las hojas, por lo que es de importancia incrementar la superficie foliar en un cultivo. La acumulación y distribución de biomasa en las plantas son características genotípicas que son fácilmente afectadas por el ambiente y su interacción, la proporción de biomasa asignada a hojas, tallos y raíces en cada

momento del desarrollo depende de la cinética de crecimiento y de la tasa de distribución gobernados por el área foliar, clima y disponibilidad de nutrientes (Barrientos *et al.*, 2015).

Por otra parte, el pH y la CE del sustrato incrementó según la capa más altas del cepellón; esto puede ser debido a la cantidad de SN y a las características del sustrato. El sustrato empleado en este estudio es un abono natural y orgánico que ayuda a regular la circulación de la humedad alrededor de las raíces de las plantas, en este caso también intervino el proceso de filtración del agua en donde la mayor concentración de la SN se concentró en la primera y paulatinamente a las siguientes capas del sustrato, aunque también pudo deberse a la pérdida de sales acumulados en el fondo de la bolsa provocada por el riego. En la SN al 75 % el pH promedio fue de 6.04 y a una SN de 125 % fue de 6.19, por lo que el pH se incrementó en relación con las concentraciones de la SN. Según Hernández (2018), el rango de pH en el pepino es de 5.5 a 6.8, por lo tanto, las medidas están dentro del rango.

Munarriz (2000), en su trabajo realizado encontró que el CO₂ elevado estimulo la eficiencia asimilatoria de los tejidos en condiciones de baja HR y óptima disponibilidad hídrica, aumentando la fijación de carbono y como consecuencia la producción de biomasa. Sin embargo, dicho efecto positivo del CO₂ disminuyó en condiciones de alta temperatura y desapareció completamente en condiciones de alta HR. De acuerdo a esto se puede concluir que el NH y el PST se vieron favorecidas a la baja HR, aunque también la HR alta utilizada en este trabajo fue óptima para el cultivo al aumentar la fijación de carbono y por consiguiente la producción de biomasa. El NH no se vio afectado por la concentración de la SN lo que sugiere que la HR influyó en la fijación de carbono para la obtención de biomasa (Cuadro 6); por el otro lado, la SN y HR no influyeron en el PSH, cabe mencionar que el NH y el PST estuvieron relacionados entre sí, a menor número de hojas mayor peso seco del tallo respecto a la HR.

Cuadro 6. Efecto de la humedad relativa y concentración de la solución nutritiva en la producción de biomasa y análisis del sustrato.

Factor	Número de hojas	Peso seco (g)			pH			Conductividad eléctrica dS/m		
		Tallo	Hojas	zona baja	zona media	zona alta	zona baja	zona media	zona alta	
HR	35 %	43.58 ab	34.17 b	66.05 a	5.78 a	6.15 a	6.21 a	1021.8 a	1212.2 a	1289.0 a
	50 %	42.91 b	38.58 a	65.80 a	5.86 a	6.00 a	6.18 a	1000.2 a	1107.6 a	1240.6 a
	65 %	45.54 a	34.95 b	68.37 a	5.85 a	6.05 a	6.22 a	1013.7 a	1150.7 a	1293.2 a
SN	75 %	45.12 a	36.20 ab	68.86 a	5.85 a	6.09 a	6.25 a	1013.3 a	1178.2 a	1333.7 a
	100 %	43.75 a	36.75 a	66.79 a	5.79 a	6.03 a	6.15 a	926.8 a	1087.2 a	1223.5 a
	125 %	43.16 a	34.75 b	64.57 a	5.85 a	6.07 a	6.22 a	1095.5 a	1205.2 a	1265.6 a
Interacción		p=0.606	p=0.026	p=0.326	p=0.387	p=0.426	p=0.967	p=0.503	p=0.225	p=0.844
Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).										

Considerando la interacción entre los factores en estudio, las plantas desarrolladas en niveles de HR al 35 % expresaron mayor PST a una concentración del 100 % de SN (Figura 2), mientras que para los ambientes con HR de 50 y 65 % se expresó a una SN al 75 %. Los resultados demuestran que el PST a un ambiente con HR al 35 % disminuye a concentraciones bajas de SN, sucediendo lo mismo a concentraciones altas (Figura 2), sin embargo, a concentraciones de la SN de 100 %, el PST aumenta. Por otro lado, el PST disminuyó cuando la SN fue mayor en los ambientes con HR al 50 y 65 % (Figura 2).

Los datos aquí mostrados concuerdan con Zambrano y Pire (2002), quienes en un trabajo realizado utilizaron tres diferentes dosis de fertilización N, P, K (alto, medio, bajo) y encontraron que cuando la dosis fue alta y baja, la materia seca disminuyó, sin embargo, el peso de la materia seca aumentó cuando la dosis fue media. Los resultados contrastantes de este experimento en cuanto al parámetro de PST se le pueden atribuir a la HR contenida en el ambiente que fue diferente a la del testigo.

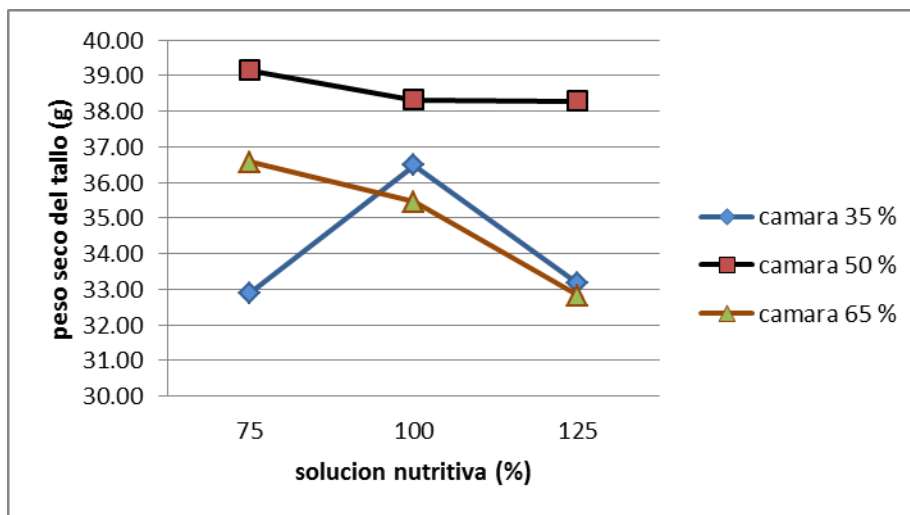


Figura 2. Peso seco del tallo de las plantas de pepino desarrolladas en cámaras de diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.

4.4 Estatus nutrimental en el peciolo

En el Cuadro 7 se presentan las medias para el contenido de nutrimentos en el peciolo de la hoja; se observa que las plantas desarrolladas en un ambiente con HR al 35 % expresó mayor concentración de NO_3^- , Ca^{++} , K^+ , sin embargo, a la SN no se encontró diferencia significativa en Ca^{++} , K^+ , aunque el NO_3^- tendió a aumentar entre mayor fue la concentración de la SN. En cuanto a la interacción, existió significancia con relación a la concentración de Ca^{++} y K^+ . En general, las plantas desarrolladas en HR al 35 % tuvieron una mayor cantidad de NO_3^- , Ca^{++} , K^+ , probablemente debido a que dicho HR es muy baja en el ambiente lo que hace que no sea óptima para el desarrollo de las plantas provocando un alto déficit de humedad, lo que aumenta la tasa de transpiración y así la absorción de agua y de nutrientes. Sin embargo, la absorción de NO_3^- disminuyó cuando la concentración de la SN fue baja y aumentó cuando la concentración fue alta, lo cual pudo estar asociado a la baja concentración de nutrimentos en la SN.

Cardona (2015), menciona que la concentración NO_3^- , Ca^{++} , K^+ en el extracto celular de peciolos indica el estado nutrimental de la planta como respuestas a diferentes condiciones del medio de crecimiento, son un indicador de la disponibilidad de NO_3^- , Ca^{++} y K^+ a partir del peciolo. Según Rodríguez (2004), el K^+ y el NO_3^- son absorbidos en grandes cantidades por las plantas, sin embargo altos contenidos de Ca^{++} disminuyen la concentración de K^+ , caso similar a los datos obtenidos en este trabajo (Cuadro 7), además de eso, los datos no marcaron diferencia a HR de 50 y 65 % y tampoco en SN en base al Ca^{++} y K^+ esto pudo deberse a la contribución del K^+ ya que regula la apertura estomatal y controla la transpiración sin embargo la HR influyo de gran manera.

Cuadro 7. Efecto de la humedad relativa y concentración de la solución nutritiva en la concentración nutrimental del peciolo de la hoja del pepino.

Factor	Análisis en el peciolo de la hoja (ppm)			
		NO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	K ⁺
Humedad relativa (HR)	35 %	6262.5 a	612.50 a	4508.3 a
	50 %	4937.5 c	512.50 b	3958.3 b
	65 %	5533.3 b	585.42 ab	4183.3 b
Solución nutritiva (SN)	75 %	5179.2 b	558.33 a	4133.3 a
	100 %	5795.8 a	575.42 a	4379.2 a
	125 %	5758.3 a	576.67 a	4137.5 a
	Interacción	P=0.250	P=0.011	P=0.009

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4.5 Concentración de Ca⁺⁺ en el peciolo

La concentración de Ca⁺⁺ en hojas, para un ambiente con HR al 35 y 50 % se mantuvo de manera ascendente al aumentar la concentración de la SN ya que mientras mayor fue la concentración, también el contenido aumentó (Figura 3). Por otro lado, para el 65 % de HR, el contenido de Ca⁺⁺ disminuyó cuando la SN fue de 125 %. Por lo tanto, el contenido de Ca⁺⁺ en hojas aumento cuando la SN fue de 125 % en ambientes de baja HR (35 y 50 %), mientras que con alta HR (65 %) el contenido de Ca⁺⁺ tiene a disminuir con altas concentraciones de la SN.

Los resultados indican que cuando la HR es baja se deben emplear SN de alta concentración para elevar el contenido de Ca⁺⁺, mientras que cuando la HR es alta se debe utilizar SN de baja concentración. Lo anterior puede ser debido a que al tener una baja HR la tasa de transpiración aumenta por lo que aumenta la translocación del Ca⁺⁺ a través del sistema vascular cuando la SN es de alta concentración; en contraste, con una alta HR, la tasa de transpiración es reducida y los tejidos se mantienen hidratados absorbiendo agua para recuperar el estado hídrico, por lo que SN de baja concentración son suficientes para proveer el Ca⁺⁺ necesario.

Según Fuentes (2015), se menciona que en las membranas y la pared celular localizados extracelularmente (fuera de la célula) se absorben la mayor parte del Ca^{++} , lo anterior, ayudan a aumentar la resistencia mecánica de los frutos y estimula el desarrollo de las hojas y raíces. En su trabajo realizado encontró que uno de los órganos más demandante en Ca^{++} fueron las hojas absorbiendo 1 % en la etapa vegetativa, 5 % en la etapa de floración y un 94 % en la etapa de fructificación y cosecha. El Ca^{++} le brinda mayor firmeza al fruto y a los tallos de las plantas, además de eso incrementa la transpiración y reduce la absorción de agua (Pereira *et al.*, 2011).

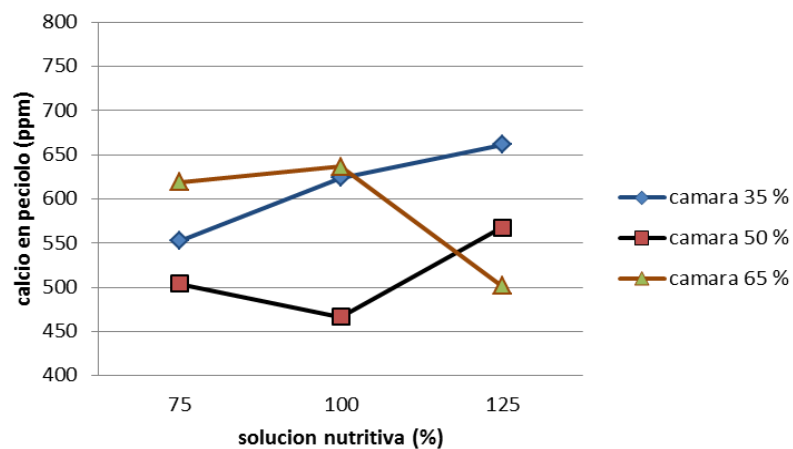


Figura 3. Concentración de calcio en peciolo de las plantas desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.

4.6 Concentración de K^+ en peciolo

El contenido de K^+ en peciolo de plantas tratadas con un nivel de HR al 35 y 65 % se obtuvo mayor contenido nutrimental con la SN al 125 %, mientras que para el nivel al 50 % de HR se dio a una SN al 100 % (Figura 4). A medida que la concentración de la SN fue mayor la concentración de K^+ en las hojas también aumentó para los niveles de 35 y 65 % de HR; lo mismo fue reportado en el trabajo realizado por Zambrano y Pire (2002), quienes determinaron que la planta de pepino realizó mayores extracciones de K^+ a medida que se incrementó la dosis de fertilizantes. Al respecto Fuentes (2015), de

acuerdo a su trabajo realizado, menciona que más del 51 % del K^+ absorbido por el cultivo de pepino fue utilizado por los frutos, 31 % por las hojas, 12 % por los tallos, 5 % por las flores y el 1 % por la raíz y los zarcillos.

Al observar las Figuras 3 y 4, se detecta que existe una relación inversa entre la acumulación de Ca^{++} y K^+ cuando la HR fue de 50 % pues mientras la concentración de Ca^{++} se eleva al subir la concentración de la SN, la de K^+ tiende a disminuir. Algo similar sucede cuando la HR fue de 65 % pues mientras el Ca^{++} disminuye con SN al 125 %, el K^+ tiende a aumentar. Estos datos sugieren que probablemente se estén presentando relaciones de antagonismos entre estos nutrientes, lo cual ha sido reportado con anterioridad (INTAGRI, 2016).

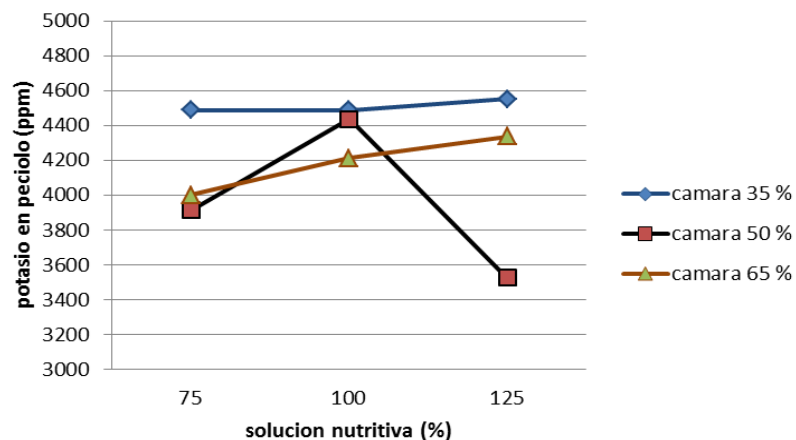


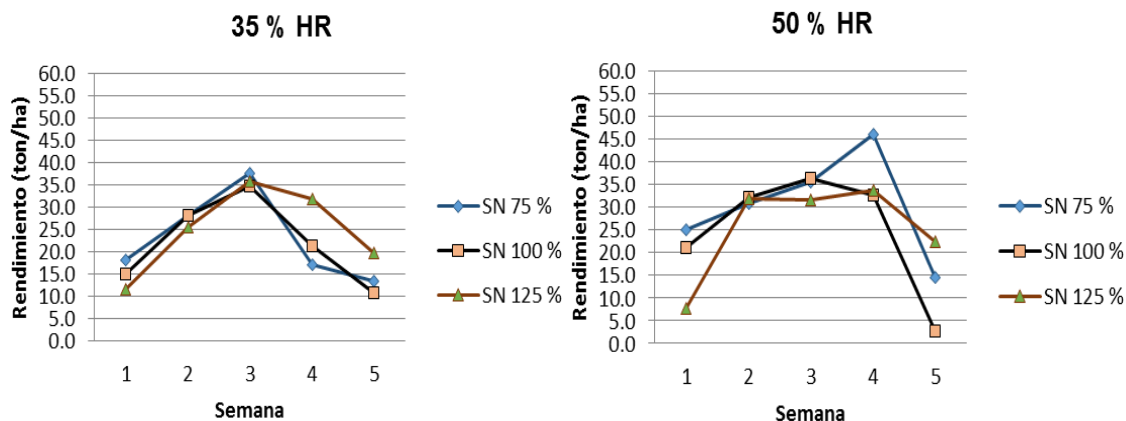
Figura 4. Concentración de potasio en peciolo de las plantas desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.

4.7 Evaluación semanal del rendimiento y calidad de fruto

En la Figura 5 se observa el comportamiento del rendimiento de fruto en relación con las 5 semanas de cosecha. Con una HR al 35 % el mayor rendimiento se dio en la tercera semana para las tres diferentes concentraciones de SN y posteriormente la producción disminuyó hacia la 5ª semana. Por otro lado, en los niveles con HR al 50 y

65 % a una concentración al 75 % de SN el mayor rendimiento se reflejó en la 4ª semana, mientras que a una concentración de 100 % de SN el mayor rendimiento se dio en la 3ª semana. Respecto a la SN al 125 %, con HR al 50 %, la segunda y 4ª semana mostraron el mayor rendimiento y para el nivel de 65 % de HR su mayor rendimiento se reflejó en la 3ª semana. En general, el mayor rendimiento se expresó a una concentración de SN al 75 % en las últimas tres semanas del estudio cuando la HR fue de 50 y 65 %; cabe mencionar que el nivel con HR al 65 % con dicha concentración de SN obtuvo el mayor rendimiento total.

Barraza, (2015), empleando cuatro concentraciones de SN, observó que en la SN de menor concentración las plantas tardaron más al entrar en producción con relación a las otras SN, lo cual explica que dicha concentración suministró nutrimentos en cantidad insuficiente afectando el índice de área foliar (Den Nijs, 1980), del cual depende el suministro de foto asimilados que se utilizan para crecimiento del fruto y metabolismo de componentes estructurales que dan firmeza a las células (Schapendonk y Brouwer, 1984). Nuestros resultados arrojan un comportamiento similar en la cámara con baja HR donde se retardó la entrada a cosecha y disminuyó más rápidamente, a diferencia de las demás cámaras.



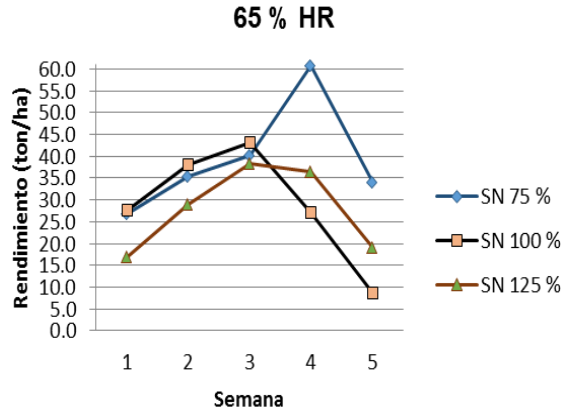


Figura 5. Rendimiento semanal de frutos de las plantas de pepino desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.

En la Figura 6 se observa el comportamiento de la longitud del fruto con base en las semanas de cosecha. Los datos obtenidos en los ambientes de 35 y 50 % de HR mostraron discrepancia entre semanas de cosecha y SN, en contraste con el ambiente de HR al 65 % las diferencias entre las SN evaluados fue menor y la longitud de los frutos se incrementó conforme pasaron las semanas, lo que significa que los frutos más largos se cosecharon en la quinta semana en las 3 diferentes concentraciones de SN.

Plantas tratadas con la SN al 75 % obtuvieron frutos de mayor longitud cuando crecieron en ambientes de HR de 35 y 50 % (Figura 6); en el nivel con HR al 65 % la SN más sobresaliente fue al 100 %. Padilla y Pérez (2017), evaluaron el rendimiento y calidad de cinco genotipos diferentes de pepino partenocarpico tipo americano bajo invernadero cuya HR se mantuvo entre 18 y 95 %, en la cual encontraron una amplia variabilidad en los promedios de la longitud del fruto que fueron desde 21.1 a 23.8 cm; dichos datos se asemejan a los obtenidos en este trabajo en los niveles de 35 y 50 % de HR, por otro lado difieren con la HR al 65 % al revelar datos de longitud que oscilan de 22 a 26 cm siendo superiores a la del trabajo. Lo anterior, puede deberse al rango de variación de la HR y por otra parte a los diferentes genotipos.

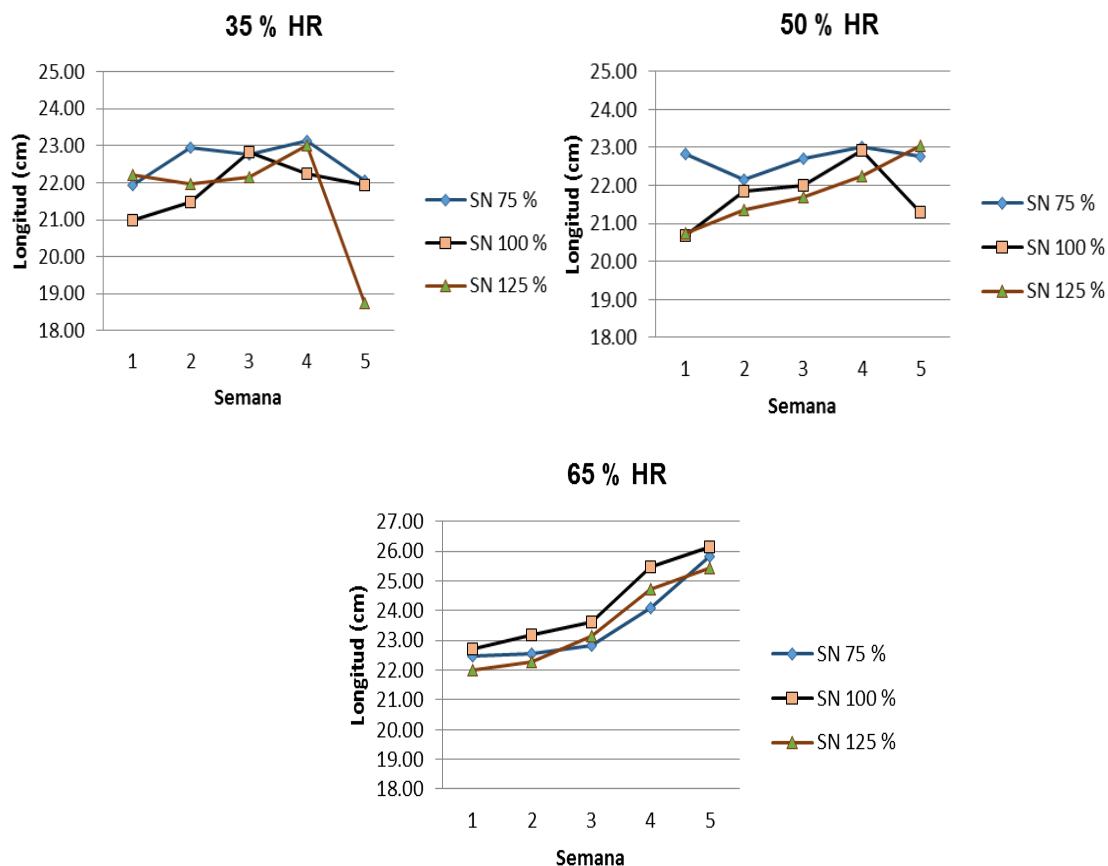


Figura 6. Longitud semanal de frutos de las plantas de pepino desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.

El diámetro ecuatorial del fruto fue reducido en plantas con un porcentaje de HR de 35 % (Figura 7), excepto cuando se aplicó la SN al 125 % ya que en la segunda semana se observaron datos sobresalientes. Por otro lado, con una HR al 50 %, el diámetro se mantuvo uniforme al lograr mayor potencial en la cuarta semana a concentraciones de 100 y 125 % de la SN. Con una SN de 75 % el mayor potencial se reflejó en la 2^a y 3^{er} semana. Finalmente, en ambiente con 65 % de HR el diámetro de los frutos fueron en aumento con el paso de las semanas, por otra parte, la SN al 100 % se incrementó hasta la 5^a semana y al 125 % el incremento se detuvo en la 4^a.

El mayor diámetro ecuatorial de los frutos fue en los niveles con HR al 50 y 65 % con una SN de 75 y 100 %. Estos resultados concuerdan con Padilla y Pérez (2017), en su trabajo al reportar promedios del diámetro ecuatorial con un rango de 4.8 a 4.9 cm en los niveles de 35 y 50 %, difiriendo únicamente en el nivel con HR al 65 % donde los resultados fueron mayores al alcanzar promedios de casi 6 cm. Así mismo, Holguin (2021), encontró un diámetro ecuatorial del fruto con un rango de 5.47 a 5.52 cm, dicho datos coinciden con los de este trabajo, pero solo en el nivel de HR al 65 %.

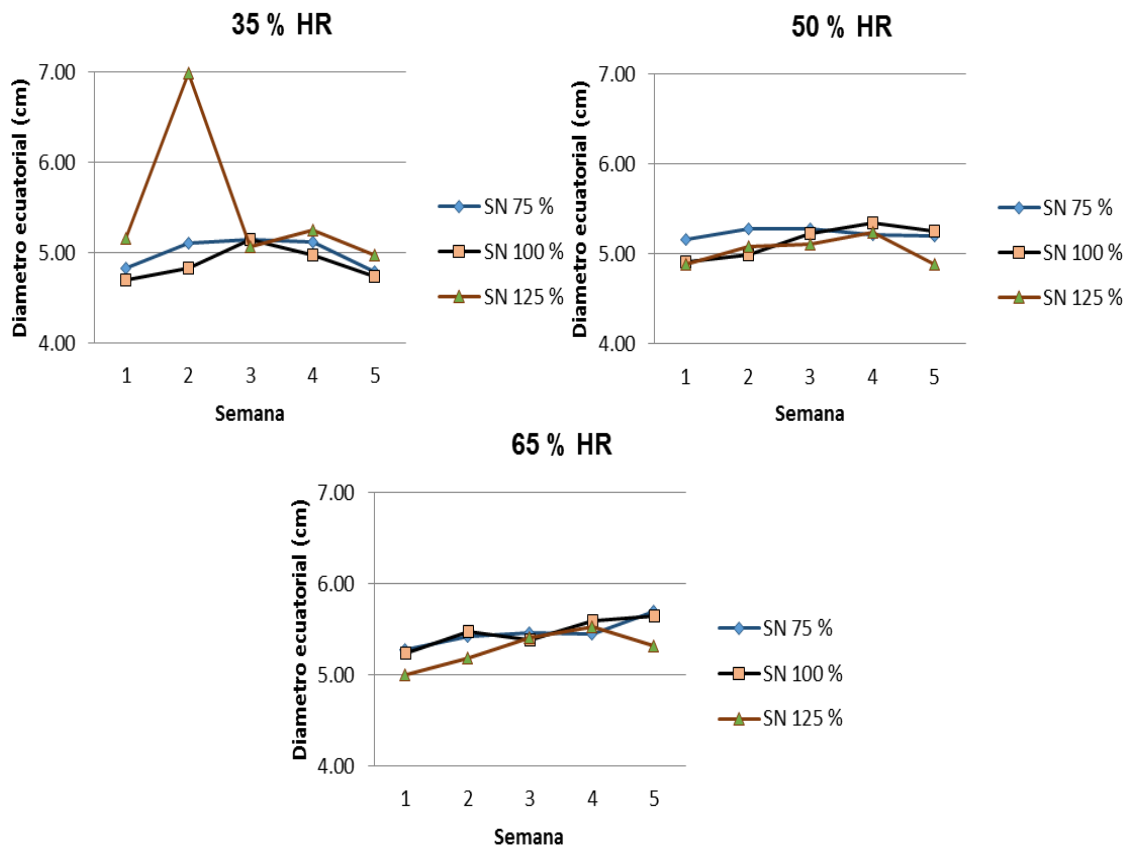


Figura 7. Diámetro ecuatorial semanal de frutos de las plantas de pepino desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.

En general, el grado de curvatura de los frutos tendió a aumentar ligeramente conforme pasaron las semanas de cosecha (Figura 8). Los frutos más curvos e irregulares se obtuvieron en el ambiente con HR al 35 %, a una SN del 75 y 100%, el cual se observó

frutos con mayor curvatura en la 4ª semana, sin embargo, en cuanto al 100 % de SN se observó en la quinta semana, mientras para la SN al 125 % fue en la segunda semana respectivamente. En cuanto al nivel de HR al 50 % a concentraciones de 75 y 100 % de SN el mayor valor encontrado fue en la 4ª semana. Con relación al nivel de HR al 65 % se observa que los frutos con curvatura mayores fueron con las SN al 75 y 100 %, el cual se reflejaron en la 5ª semana de cosecha, por otro lado, la SN al 125 % en la 4ª semana fue la que reflejó mayor curvatura.

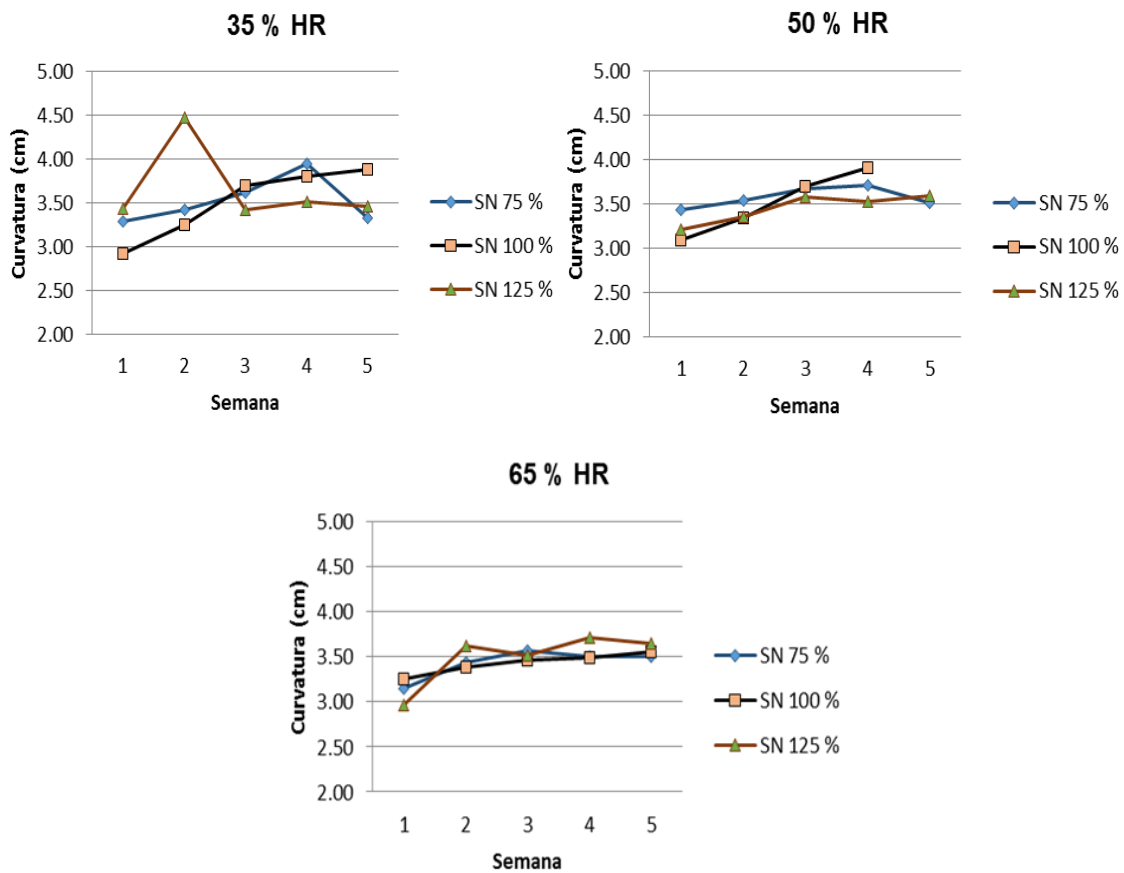


Figura 8. Curvatura semanal de frutos de las plantas de pepino desarrolladas bajo diferente humedad relativa (%) y concentración de la solución nutritiva.

V. CONCLUSIONES

La HR y SN influyeron en gran manera en los parámetros de rendimiento, en la producción de biomasa y en la concentración nutrimental de las hojas. Así mismo el híbrido Centauro tuvo mayor expresión a una HR al 65 % y una concentración del 75 % de SN.

El incremento de rendimiento implicó también un aumento en el número de hojas, por lo tanto, se comprueba que el aumento en la producción de biomasa está ligado a un mayor rendimiento en el cultivo. Por otra parte a un nivel bajo de HR la concentración nutrimental de NO_3^- , Ca^{++} , K^+ por parte, de las hojas aumentó, de lo contrario a un nivel alto de HR la concentración disminuyó probablemente porque la transpiración de las hojas depende de la HR en la que las plantas se desarrollan.

De acuerdo con este trabajo, la HR adecuada debe de mantenerse más alta para reducir la tasa de transpiración en las plantas, lo que a su vez provoca una mayor absorción de nutrientes.

La HR al 65 % con una concentración de 75 % de SN es una forma ideal para producir pepino híbrido Centauro, así mismo para obtener frutos de buena calidad bajo condiciones de invernadero.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, O. R., Martínez, J. H., & Razo, F. D. J. G. 2021. Análisis económico del pepino persa en condiciones de invernadero en Guerrero y Estado de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 48, 678-689 p.
- 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. Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. 58 p.
- Aguado, G. 2002. Guía del pepino suelo en invernadero frío. Área de invernaderos, 8 p.
- Barraza, A, F, V. 2015. Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. *Revista Colombiana Ciencias Hortícolas*, 9:60-71 p.
- Barrientos, LL., Harold, C. G., Carmen, R. G. C. Magali. 2015. Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 76-86 p.
- Beltrán, G.C.I. 2021. Efecto de la fertilización orgánica en parámetros morfológicos y productivos del cultivo del pepino en la finca comuna el cambio. Universidad técnica de Machala (UTMACH). Facultad de Ciencias Agropecuarias Carrera de Ingeniería Agronómica, Tesis de licenciatura. 88 p.
- Bravo, S. J. A. 2013. Paquete Tecnológico del Pepino. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, 32 p.
- Casaca, A. D. 2005. El cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L). Guías Tecnológicas de Fruta y Vegetales. Documento Técnico, 13 p.
- Castro, L. H. P. 2011. Comportamiento energético de invernaderos agrícolas en el estado de Chihuahua, mediante simulación dinámica en trnsys y análisis paramétrico. Centro de investigación en materiales avanzados. Tesis de licenciatura. 69 p.

- Cedillo, P. E., Castro, C. P., Arontes, B. J., Contreras, R. F. E., Rivera, A. Z., Martínez, H. L. P. 2018. Manual de producción de pepino en bolis de fibra de coco en invernadero. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Aragón, 15 p.
- Chacón P. K., Monge, P. J. 2020. Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero: comparación entre tipos de pepino. Tecnología en Marcha, 33:17-35.
- Cruz, C. J. A., Monge, P. J. E., Loria C. M. 2020. Comparación agronómica entre tipos de pepino (*Cucumis sativus* L). Universidad de Costa Rica, San José Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED. Research Journal, 12 (1) 8.
- Cruz, C. E., Can, C. A., Bugarin, M. R., Pineda, T. J., Flores, C. R., Juárez, L. P., Alejo, S. G. 2014. Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. Revista Fitotecnia Mexicana 37(3):289 – 295.
- Díaz, Q. A. O. 2022. Control automático de déficit de presión de vapor (VPD) mediante nebulización para cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en invernadero. Universidad Técnica del Norte. Tesis de licenciatura. 116 p.
- Douglas M. 2011. Hortalizas. Aporte de CO₂ en un invernadero. Disponible en Web: <http://www.hortalizas.com/horticultura-prottegida/invernadero/aporte-de-co2-en-un-invernadero/>. (Consultado: 05/04/2016).
- Figueroa, H.E., Espinosa, T. L. E. 2020. Análisis de la producción de pepino y pepinillos en México. Academia Journals. Diseminación de conocimientos, Descubrimientos y Reflexiones. Libro Digital con ISBN online, 112-124.
- Fuentes, P. E. S. 2015. Descripción de la dinámica de absorción nutrimental en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L. *hibrido diomede*), bajo condiciones de invernadero en el Centro Experimental Docente de la Facultad de Agronomía (CEDA), Guatemala, C.A. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Agronomía Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales. Tesis de licenciatura 86 p.

- Galván, G, A. 2007. Producción de pepino con sustratos orgánicos e inorgánicos bajo condiciones de invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de licenciatura. Torreón, Coahuila, México. 71 p.
- Gómez, M. M., Baille, M. G., Mercader J. 2003. Análisis comparativo de la absorción de agua y nutrientes del pepino de invernadero cultivado en NFT y perlita. Acta Horticultura. 614:175-180.
- Gutiérrez, H. J. O. 2020. Control del déficit de presión de vapor (DPV) en cultivos de invernadero con sistemas de nebulización. Universidad Autónoma Chapingo. Tesis de licenciatura. 100 p.
- Haz, V. H. F. 2021. Influencia de la fertilización potásica en el rendimiento y calidad del pepino (*Cucumis sativus* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 38 p.
- Hernández, C. P. 2018. Producción y micromorfología de pepino injertado (*Cucumis sativus* L.) cultivado bajo nanopartículas de cobre. Universidad A autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de licenciatura. 73 p.
- Hidalgo, R. R. J. 2020. Evaluación del rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) ante la aplicación de bioestimulantes a base de algas marinas en la zona de Simón Bolívar provincia de Guaymas. Tesis de licenciatura.
- Holguín, C. R. V. 2021. Estudio de tres biorreguladores orgánicos en comparación con un fertilizante foliar comercial, en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*). Tesis de licenciatura. 63 p.
- Hoyos, D., Morales, J. G., Chavarría, H., Montoya, A. P., Correa, M., Jaramillo, S. 2012. Acumulación de Grados-Día en un Cultivo de Pepino (*Cucumis sativus* L.) en un Modelo de Producción Aeropónico. Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, 65 (1):6389-6398.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: Humedad relativa. Revista de la Industria Distribución Y Socioeconómica Horticultura. 205, 52-54.
- INTAGRI.2016. La compatibilidad de los fertilizantes en fertirrigacion. Artículos Técnicos de INTAGRI, México, 3 p. Fecha de consulta: 30/05/2022.

- INTAGRI. 2018. Plantas C3, C4 y CAM. Serie Nutrición Vegetal, Núm. 125. Artículos Técnicos de INTAGRI, México, 5 p.
- INTAGRI. 2021. Tipos de Pepino Cultivados bajo Invernadero. Serie Horticultura Protegida, Núm. 41. Artículos Técnicos de INTAGRI, México, 3 p.
- INTAGRI. 2022. Importancia de la Radiación Solar en la Producción Bajo Invernadero. Serie Horticultura Protegida, Núm. 41. Artículos Técnicos de INTAGRI, México, 3 p.
- Lata, T. L., Villaseñor, O. D., Chabla, C. J. 2017. Fraccionamiento de la absorción de nutrientes en cuatro etapas fenológicas del cultivo de fréjol. Universidad Técnica de Machala. República del Ecuador. 9 (1), 20-27.
- Lawrence, P., Ortega, J. M. 2019. Agricultura protegida en México. Elaboración de la metodología para el primer abono verde agrícola certificado. Sector de Instituciones para el Desarrollo División de Conectividad, Mercados y Finanzas. NOTA TÉCNICA N° IDB-TN-1668. 78 p.
- López, C. 2003. Guía Técnica Cultivo de pepino. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), 17 p.
- Marcano, C., Acevedo, I., Contreras, J., Jiménez, O., Escalona, A., Pérez, P. 2012. Crecimiento y desarrollo del cultivo pepino (*Cucumis sativus* L.) en la zona hortícola de Humocaro bajo, estado Lara, Venezuela. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3(8): 8.
- Masaquiza, C.P. A. 2016. Manejo de Población de Insectos en Pepino (*Cucumis sativus* L.), Bajo Principios de Producción Limpia en el Sector la Isla, Cantón Cumandá. Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ciencias Agropecuarias. Tesis de licenciatura. 96 p.
- Mejía, V. R. 2010. Comparación del Método de Siembra del Pepino (*Cucumis sativus* L.) con Dos Tipos de Acolchado Plástico y Riego por Goteo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de licenciatura. 89 p.
- Méndez, P. A. 2016. Evaluación de producción de pepino con porcentajes de lixiviado de vermicompost en invernadero. Tesis de licenciatura. 64 p.

- Moreno, P. E. C., Sánchez, C. F., Noriega, N. L. J. 2017. Concentraciones de solución nutritiva, volúmenes de sustrato y frecuencias de riego en pepino bajo invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. Artículo: COMELL-17040. 11 p.
- Moreno, R. A., Aguilar, D. J., Liévano, G. A. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista de Agronegocios. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A. C. Torreón, México. 29. 763-774.
- Munarriz, I. L. 2000. Efectos del aumento de la concentración de CO_2 atmosférico en plantas de alfalfa fijadoras de nitrógeno bajo condiciones de estrés. Tesis de licenciatura. 41 p.
- Navarrete, G. R. J. 2005. Curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de campo en Zamorano. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Tesis de licenciatura. 32 p.
- Ormaza, G. J. H., Anchundia, S. C. L. 2016. Influencia del Tutorado y Densidad Poblacional en el Rendimiento del Cultivo de Pepino H. Diamante. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Tesis de licenciatura, 49 p.
- Ortega, T. A. E., Flores, T. L. B., Guevara, G. R. G., Rico, G. E., Soto, Z. G. M. (2020). Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11(6), 1447-1455.
- Padilla, K. C., Pérez, J. E. M. 2017. Rendimiento y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) cultivado bajo invernadero. Revista Pensamiento Actual, 17 (29), 39-50.
- Pereira, M. C. A., Maycotte M. C. C., Restrepo, E. B., Mauro, F. Calle, M. A., Esther, V. M. J. 2011. Sistemas de producción vegetal II. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - Managua – Nicaragua. 148 p.
- Pérez, R. G. 2017. Comportamiento fenológico y agronómico de la variedad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Sahel bajo condiciones en campo abierto y casa sombra. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de licenciatura, 95 p.

- Ramírez, A. O., Hernández, M. J., Gonzales, R. F. J. 2020. Análisis Económico del Pepino Persa en Condiciones de Invernadero en Guerrero y Estado de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 48, 678-689.
- Ramírez, V. C. (2019). Extracción de nutrientes, crecimiento y producción del cultivo de pepino bajo sistema de cultivo protegido hidropónico. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(1):107-117.
- Roa, V. J. T. 2015. Densidades de siembra y dosis de Biol en la producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en esmeraldas. Universidad Técnica Estatal de Quevedo Unidad de Estudios a distancia modalidad Semipresencial Ingeniería Agropecuaria. Tesis de licenciatura. 71 p.
- Rodríguez, F. P. Girón, A. J. 2021. Producción ecológica de pepino (*Cucumis sativus* L.) en las condiciones edafoclimáticas del III Frente. *Artículo ciencia en su pc*. 1(2):71-81.
- Rodríguez, S. M. 2004. Elementos esenciales y beneficiosos. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Artículo Nociones Básicas del Ferti-riego. 25-36 p.
- Salas, R. R. 2019. El balance potasio: calcio y su relación con el déficit de presión de vapor y la radiación fotosintéticamente activa en tomate de invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de licenciatura. 54 p.
- Sánchez, C. F., González, M. L., Moreno, P. E. C., Pineda, P. J., Reyes, G. C. E. 2014. Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3):261-269.
- Santillán, R. J. A. 2016. Producción Urbana De Pepino (*Cucumis sativus* L.) Mediante Dos Sistemas de Cultivo Hidropónico. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Agrarias. Tesis de licenciatura. 88 p.
- Santos, C. B., Ríos, M. D. 2016. Calculo de soluciones nutritivas en suelo y sin suelo. Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural Área de Agricultura, Ganadería y Pesca. 1. 117 p.
- SAS Institute (2011) SAS/STAT® 9.3 guía de usuario. SAS Instituto Inc. Cary, NC, USA. 8640 p.

- Schapendonk, A. H. C., Brouwer, Y. 1984. Fruit Growth of cucumber in relation to assimilate supply and sink activity. *Scientia Horticulturae*. 23:21-33.
- SIAP, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2020. Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. Ciudad de México.
- SIAP, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. Ciudad de México <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Fecha de consulta abril, 2021).
- SIOVM.2011. Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados. México, D.F.: Proyecto GEF-CIBIOGEM/COABIO. Disponible en web: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/biosecuridad/doctos/consulta_SIOVM.html. (Consultado: 10/03/2022).
- Silva, M. D. A., Silva, C. F. J. (2017). Implementación de un sistema automático de fertilización en cultivos hidropónicos para mejorar el proceso de producción del cultivo. Proyecto de investigación, 20-23 p.
- Sosa, B. A., Ruíz, I. G. 2017. La disponibilidad de alimentos en México: un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. Nutrilite-Amway, México e Instituto Tecnológico Superior de Tamazula de Gordiano. 24 p.
- Suarez, J. L. H. 2021. La política pública hacia la agricultura protegida en el gobierno de López Obrador. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 12 (6):1071-1085.
- Tapia, B. A. 2017. Evolución y Situación Actual de la Agricultura Protegida en México. Sexto congreso internacional de investigación en ciencias básicas y agronómicas. 281-294.
- Valdez, L. A. L. 2017. Anteproyecto de exportación de pepino de Sinaloa, México, a la república de Chile, 2016. Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Economía. Tesina licenciatura. 136 p.

- Vásquez, S, E. 2016. Respuesta del pepino a la inoculación de *Azospirillum sp.*, *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en condiciones de invernadero. Tesis licenciatura, 38 p.
- Villacreces, L. A. J., Andrade, V. J. L. 2022. Efecto de inductores de resistencia en el cultivo de pepino. Tesis licenciatura, 49 p.
- Yáñez, J. M. G., López, O. C. A., Ayala, T. F., Partida, R. L., Velázquez, A. T. J., Medina, L. R. 2018. Los fosfitos como alternativa para el manejo de problemas fitopatológicos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36 (1):94.
- Zambrano, J. C., Pire, R. 2002. Crecimiento, producción y extracción de NPK en Plantas de Pepino (*Cucumis sativus* L.) ante diferentes dosis de fertilizante. *Sociedad Tropical Horticultura*, 46:88.
- Zamora, E. 2016. Algunas fisiopatías de frutos, tallos y hojas en cultivos protegidos. Universidad de Sonora Departamento de Agricultura y Ganadería. *Cultivos Protegidos*, 15 p.
- Zamora, E. (2017.). El cultivo de pepino tipo slicer - americano (*Cucumis sativus* L.) bajo cubiertas plásticas. Universidad de Sonora departamento de agricultura y ganadería Hermosillo Sonora México. *Cultivos Protegidos HORT-CP-008*, 1-8 p.