



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DE UCHUVA (*Physalis peruvianum* L.) BAJO INVERNADERO ANTE LA APLICACIÓN DE CUATRO LÁMINAS DE RIEGO

FRANCISCO RAMÍREZ MARTÍNEZ

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Evaluación de la respuesta de uchuva (*Physalis peruvianum* L.) bajo invernadero ante la aplicación de cuatro láminas de riego**, realizada por el (la) estudiante: **Francisco Ramírez Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ADOLFO ANTENOR EXEBIO GARCÍA

ASESOR



DR. JUAN ENRIQUE RUBIÑOS PANTA

ASESOR



DR. MANUEL SANDOVAL VILLA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, julio de 2022

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DE UCHUVA (*Physalis peruvianum* L.) BAJO INVERNADERO ANTE LA APLICACIÓN DE CUATRO LÁMINAS DE RIEGO

Francisco Ramírez Martínez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

La uchuva (*Physalis peruvianum* L.) es una fruta que ha tenido un auge importante en los mercados de frutos frescos. Los frutos presentan problemas de rajado asociado a un manejo inadecuado de regímenes de humedad, método y frecuencia de riego. El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes regímenes hídricos del sustrato en el desarrollo del cultivo bajo invernadero y su impacto en el rendimiento, calidad del fruto y productividad del agua. Se implementó un diseño experimental completamente al azar, aplicando cuatro coeficientes de riego y sus láminas: 0.86 (2.6, 5.2, 8.3 mm), 1.00 (3.0, 5.9, 9.5 mm), 1.29 (3.7, 7.4, 11.9 mm) y 1.57 (4.4, 8.9, 14.2 mm), en función de la etapa fenológica (vegetativa, desarrollo-reproducción y producción) con la aplicación de solución nutritiva Steiner al 100%. El experimento se desarrolló de febrero a octubre del 2021, cultivando el ecotipo Colombia en tezontle con granulometría de 2 a 10 mm y un sistema de riego por goteo autocompensado. El mayor rendimiento de 803 g planta⁻¹, frutos de máximo diámetro de 19.82 mm y una máxima productividad del agua de 2.3 kg m⁻³, correspondió al coeficiente 1.29, conservando la acidez característica del fruto. El menor número de frutos rajados se obtuvo con el coeficiente 1.57. La función de respuesta del sistema de producción de la uchuva respondió a la ley de rendimientos decrecientes, calculándose un volumen óptimo de 0.398 m³ planta⁻¹ y un rendimiento máximo de 3780 kg ha⁻¹.

Palabras clave: calidad del fruto, función de producción, productividad del agua, rajado del fruto, rendimiento.

EVALUATION OF THE RESPONSE OF CAPE GOOSEBERRY (*Physalis peruvianum* L.) UNDER GREENHOUSE CONDITIONS WITH THE APPLICATION OF FOUR IRRIGATION DEPTHS

**Francisco Ramírez Martínez, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022**

ABSTRACT

Cape gooseberry (*Physalis peruvianum* L.) is a fruit that has had a significant boom in the fresh fruit markets. The fruits show splitting problems associated with inadequate management of moisture regimes, method and frequency of irrigation. The objective this work was to evaluate different water regimes of the substrate in the development of the crop under greenhouse conditions and their impact on yield, fruit quality, and water productivity. A completely randomized experimental design was implemented, applying four irrigation coefficients and their irrigation depths: 0.86 (2.6, 5.2, 8.3 mm), 1.00 (3.0, 5.9, 9.5 mm), 1.29 (3.7, 7.4, 11.9 mm) and 1.57 (4.4, 8.9, 14.2 mm), depending on the phenological stage (vegetative, development-reproduction, and production) with the application of 100% Steiner nutrient solution. The experiment was carried out from February to October, cultivating the Colombia ecotype in tezontle with a granulometry of 2 to 10 mm and a self-compensated, drip irrigation system. The highest yield of 803 g plant⁻¹, fruits with a maximum diameter of 19.82 mm, and a maximum water productivity of 2.3 kg m³, corresponded to the 1.29 coefficient, preserving the characteristic sourness of the fruit. The lower numbers of split fruits was obtained with the 1.57 coefficient. The response function of the cape gooseberry production system responded to the law of diminishing returns, calculating an optimum volume of 0.398 m³ plant⁻¹ and a maximum yield of 3780 kg ha⁻¹.

Keywords: fruit quality, production function, water productivity, fruit splitting, yield.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) que brindó el financiamiento para la realización de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados por darme acceso a la educación que brinda para permitirme continuar con mi desarrollo profesional.

Al área de Hidrociencias por permitirme hacer uso de sus instalaciones durante mi estadía.

Al Dr. Adolfo Exebio García, por la amistad, consejos, la confianza y los grandes aportes en mi formación dentro de la maestría, y desde luego por la paciencia y la acertada revisión del presente trabajo.

Al Dr. Enrique Rubiños Panta por los consejos importantes y el acceso de las instalaciones para poder llevar a cabo el experimento dentro del invernadero a su cargo.

Al Dr. Manuel Sandoval Villa por la invaluable asesoría para el desarrollo de la investigación y los inmensos conocimientos que ha brindado a lo largo de estos años.

A todos los profesores que me impartieron clases y permitirme absorber más conocimiento que sin duda me servirá a lo largo de la vida.

A mis amigos y compañeros que me brindaron su ayuda, amistad y consejos durante el desarrollo de la investigación.

A todas las personas que han estado presentes en este proceso.

DEDICATORIA

A mis padres Esteban Ramírez Hernández y María Martínez Hernández:

Por su gran apoyo, consejos, enseñanzas, motivación y el cariño que siempre me han brindado.

A mis hermanos: Guillermo, Gustavo y Adrián:

Por las grandes anécdotas y risas que hemos tenido a lo largo de la vida, y por el hecho de saber que siempre tendré su apoyo de forma incondicional.

A mi compañera de vida: Alba Ruth Garnica Reséndiz:

Por el amor que me brindas a cada instante, las enseñanzas que me has dado, por las aventuras y momentos que nos tiene preparados la vida.

A mis amigos y socios: Víctor Hugo y José Francisco:

Por los logros que hemos tenido gracias a la dedicación y esfuerzo que se ha dejado en el día a día.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA	vi
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
2.3 Hipótesis General.....	3
2.4 Hipótesis Específicas	3
3. REVISION DE LITERATURA.....	5
3.1 Cultivo de <i>Physalis peruviana</i> L.	5
3.1.1 Origen y distribución.....	5
3.1.2 Producción a nivel mundial	6
3.1.3 El cultivo en México.....	6
3.1.4 Usos y Propiedades Nutricionales.....	7
3.1.5 Requerimientos climáticos	8
3.1.6 Requerimientos edáficos.....	8
3.1.7 Requerimientos nutricionales y sus deficiencias	9
3.1.8 Plagas y enfermedades.....	13
3.1.9 Características físicas de calidad del fruto	15
3.1.10 Características químicas de calidad del fruto	17
3.1.11 Normas de calidad	17
3.2 La importancia y función del agua en el cultivo.....	19
3.2.1 Importancia del agua en las plantas.....	19
3.2.2 Efecto del agua en la absorción de nutrientes	19
3.2.3 Estrés hídrico	20

3.3	Consumo de agua por los cultivos y las funciones de producción	21
3.3.1	Productividad del agua en la agricultura	21
3.3.2	Función de producción de agua	22
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1	Localización	23
4.2	Sistema de Producción	23
4.3	Material Vegetal	24
4.4	Solución Nutritiva	24
4.5	Sistema de riego	24
4.6	Tratamientos y Diseño Experimental	25
4.7	Conducción del Experimento	26
4.8	Variables de Experimento y su Medición	27
4.8.1	Variables independientes	27
4.8.2	Variables dependientes	28
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
5.1	Altura y diámetro de la planta	31
5.1.1	Altura	31
5.1.2	Diámetro de tallo	34
5.2	Rendimiento	36
5.2.1	Peso acumulado con cáliz	36
5.2.2	Peso acumulado sin cáliz	37
5.2.3	Número de frutos por planta	39
5.2.4	Peso promedio del fruto	40
5.3	Variables de calidad en fruto	40
5.3.1	Firmeza	40
5.3.2	Diámetro de fruto	41
5.3.3	°Brix	47
5.3.4	pH del jugo del fruto	48
5.3.5	Frutos rajados	49
5.4	Función de producción para la optimización del agua de riego	53
6.	CONCLUSIONES	57

7. LITERATURA CITADA 58

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de acuerdo al tamaño del fruto.....	18
Cuadro 2. Grados de madurez en fruto.....	18
Cuadro 3. Fuente y cantidad de fertilizante en gramos utilizado para preparar 1000 L de solución Steiner con concentración del 100%.	24
Cuadro 4. Significancia estadística y valor promedio de la variable altura.....	32
Cuadro 5. Significancia estadística y valor promedio de la variable diámetro.....	35
Cuadro 6. Significancia estadística y valores promedio de rendimiento de las plantas de uchuva por efecto de los tratamientos.	37
Cuadro 7. Significancia estadística y valor promedio de la variable firmeza y diámetro del fruto.	41
Cuadro 8. Significancia estadística y valor promedio de la variable de grados Brix, Conductividad Eléctrica y pH del fruto.....	48
Cuadro 9. Significancia estadística y valor promedio del número de frutos rajados.	49
Cuadro 10. Volúmenes de aplicación de agua del coeficiente 0.86.	51
Cuadro 11. Volúmenes de aplicación de agua del coeficiente 1.00.	51
Cuadro 12. Volúmenes de aplicación de agua del coeficiente 1.29.	51
Cuadro 13. Volúmenes de aplicación de agua del coeficiente 1.57.	52
Cuadro 14. Significancia estadística y valor promedio de la variable de productividad.....	52
Cuadro 15. Rendimientos observados en las repeticiones del experimento.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de espalderas en el cultivo de uchuva.	23
Figura 2. Distribución de los tratamientos del experimento.	25
Figura 3. Identificación de los tratamientos.	26
Figura 4. Siembra y germinación de la uchuva.	26
Figura 5. Trasplante de la uchuva.	27
Figura 6. Altura de la planta de los 20 ddt a los 130 ddt.	33
Figura 7. Valores del diámetro de la planta de los 20 ddt a los 130 ddt.	36
Figura 8. Comportamiento del rendimiento a lo largo de las nueve cosechas.	38
Figura 9. Numero de frutos por planta en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.	39
Figura 10. Porcentaje de frutos por planta del calibre A en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.	43
Figura 11. Porcentaje de frutos por planta del calibre B en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.	44
Figura 12. Porcentaje de frutos por planta del calibre C en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.	45
Figura 13. Porcentaje de frutos por planta del calibre D en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.	46
Figura 14. Porcentaje de frutos por planta del calibre E en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.	47
Figura 15. Porcentaje de frutos rajados por planta en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.	50
Figura 16. Función de producción que relaciona el rendimiento del cultivo de uchuva y el agua aplicada por planta.	54

1. INTRODUCCIÓN

Physalis peruviana L. o aguaymanto, comúnmente conocida en México como uchuva, es una fruta exótica de la familia de las solanáceas, considerada como un alimento con alto valor nutricional fuente de proteínas, antioxidantes y propiedades medicinales (Puente *et al.*, 2011). En los últimos años este fruto está teniendo un auge muy importante dentro de los mercados de frutos frescos y frutos rojos, teniéndose registros que Colombia, el mayor productor y exportador a nivel mundial, tuvo una exportación cercana a las 3000 toneladas hacia los mercados de los Países Bajos, Estados Unidos y Alemania (ANALDEX, 2021). Lo anterior muestra que la implementación y oferta de este fruto en el mercado, es una alternativa de producción viable para los productores en México (Gastelum *et al.*, 2013).

Sumado a esto, en los últimos tres años seguimos enfrenándonos a una grave enfermedad respiratoria (COVID-19) causada por el nuevo coronavirus llamado SARS-CoV-2, donde se hizo necesario aumentar la oferta de productos saludables altos en proteínas y vitaminas (Fernández *et al.*, 2020), con el fin de mejorar el sistema inmunológico de la población, siendo la uchuva una opción viable.

Sin embargo, México, no es un país productor de uchuva, es por esto que en la última década se han realizado investigaciones pertinentes para explorar la posibilidad de producción y comercialización, como el estudio realizado por Espinoza *et al.* (2020), donde reportan una gran aceptación del fruto de uchuva dentro de la población, así como una viabilidad económica del cultivo demasiado atractiva.

Las investigaciones en México, realizadas en su mayoría por el Colegio de Postgraduados, han estado centradas en estudios para determinar su demanda nutrimental y densidades óptimas (Gastelum *et al.*, 2013), verificar su comportamiento en campo e invernaderos, evaluar las variedades y registrar la fenología de variedades (Orozco *et al.*, 2021).

Sin embargo, en México no existe información sobre el manejo sustentable del recurso escaso y caro como es el agua en el desarrollo y producción del cultivo de la uchuva y

su impacto en sus procesos fisiológicos, en rendimientos, calidad y precio comercial del producto.

Cooman *et al.* (2005) mencionan que entre un 10 a 45% de la producción total en el cultivo de uchuva tiene problema de rajado del fruto y es rechazado por el mercado para consumo en fresco, el cual es el que mejor paga el fruto. De acuerdo con Torres *et al.* (2004), el rajado del fruto tiene una relación directa y profunda con la cantidad de agua disponible que se aplica a la planta y la periodicidad en la aplicación de riegos.

Adicionalmente, el agua es un recurso que tiene un grado de presión muy alto en el país, debido a que su disponibilidad ha disminuido y su demanda en los sectores público e industrial ha aumentado de manera inquietante, obligando a que el sector agrícola desarrolle investigaciones que permitan obtener una mayor productividad dentro de los cultivos.

Aquí yace la evidencia e importancia de estudiar el comportamiento y respuesta del cultivo de la uchuva con diferentes regímenes de humedad, en la aplicación de los riegos con diferentes coeficientes en el desarrollo del cultivo. Esto permitirá generar información complementaria que servirá de apoyo a los productores, buscando la optimización del agua en el riego con el fin de mejorar la productividad, sin dejar de lado la búsqueda de altos rendimientos, y la obtención de frutos de alta calidad que garanticen su comercialización a buenos precios.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo General

Evaluar el impacto del régimen de riego en el cultivo de uchuva (*Physalis peruvianum* L.), sobre el rendimiento y calidad comercial y rajado del fruto en condiciones de invernadero, y el uso sustentable del recurso agua y su productividad.

2.2 Objetivos Específicos

- Implementar un experimento en condiciones de invernadero con un diseño estadístico completamente al azar, considerando cuatro láminas de riego y ocho repeticiones por tratamiento, utilizando la solución Steiner al 100%.
- Evaluar estadísticamente el impacto de los volúmenes de riego aplicados sobre la fenología, rendimiento y calidad comercial del fruto.
- Evaluar estadísticamente el efecto los volúmenes de riego sobre el rajado del fruto de uchuva a lo largo de la cosecha.
- Obtener un modelo de función de producción relacionando rendimientos con volúmenes de agua aplicados, para calcular el volumen óptimo sustentable del agua que genere el

2.3 Hipótesis General

El impacto en el incremento del rendimiento y calidad del fruto del cultivo de la uchuva dado un incremento de una unidad adicional de volumen de agua aplicada, puede evaluarse estadísticamente y por medio de un modelo de función de producción.

2.4 Hipótesis Específicas

- Es posible estudiar el comportamiento y respuesta del rendimiento y calidad en fruto del cultivo de la uchuva con diferentes regímenes de humedad en condiciones de invernadero

- Se asume que el cultivo de la uchuva responde a la ley de rendimientos decrecientes con respecto al incremento de los coeficientes de riego aplicados en el desarrollo y etapas fenológicas del cultivo.
- A mayor aplicación de agua el porcentaje de rajado del fruto en uchuva será mayor.
- La formulación de un modelo de función de respuesta nos permite obtener el volumen de riego sustentable que maximiza el rendimiento del fruto.

3. REVISION DE LITERATURA

3.1 Cultivo de *Physalis peruviana* L.

3.1.1 Origen y distribución

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una planta proveniente de la región de los Andes y pertenece a la familia de las solanáceas y al género *Physalis*, de la cual se ha encontrado puede desarrollarse hasta los 3 000 m de altitud (Fischer *et al.*, 2007), cuenta con más de ochenta variedades que se encuentran en estado silvestre y que se caracterizan porque sus frutos están encerrados dentro de un cáliz o cápsula (Calvo, 2009).

En otros países también se le conoce como uvilla, golden berries, ushum uchuva, uvilla, capulí, aguaymanto, bolsa de amor, amor en bolsa, cuchuva, topo-topo, motojobobo embolsado, sacabuche, yuyo de ojas.

Es un cultivo herbáceo y es utilizado principalmente para ser consumido ya que sus frutos son comestibles, los cuales corresponden a una baya jugosa, redondeada, habitualmente de color amarillo y de intenso sabor (Pássaro y Moreno, 2014).

Como se mencionó anteriormente, la uchuva es originaria de la región andina, concentrando su mayor expansión en Bolivia y Colombia. Aun no hay información que indique donde fue domesticada, pero según Pássaro y Moreno (2014) se remonta a tiempos precolombinos, pues se dice que era un fruto muy popular entre los Incas, sin embargo, a pesar de la abundancia de la planta existen pocos datos etnohistóricos de la misma.

Se le atribuye a los portugueses y españoles como los principales introductores de uchuva en varias partes del mundo. En la actualidad el cultivo comercial de la uchuva se concentra fundamentalmente en la región andina, aunque también existe un cierto desarrollo comercial en otras regiones, como Nueva Zelanda, Sudáfrica, Egipto, India, Australia, o Hawaii (Pássaro y Moreno, 2014).

3.1.2 Producción a nivel mundial

El principal país productor y exportador de uchuva en el mundo es Colombia, seguido de Sudáfrica. Se cultiva de manera significativa en Zimbabue, Kenia, Ecuador, Perú, Bolivia y México (Calvo, 2009).

Actualmente los principales destinos de exportación son los Países Bajo, Estados Unidos y Alemania concentrando el 88% del mercado internacional (ANALDEX, 2021).

3.1.3 El cultivo en México

En México la uchuva no suele ser comercializada ni cultivada, debido al desconocimiento de su consumo y rentabilidad. En México el consumo per cápita de frutas es de 98 kg al año, por lo que la producción de frutas todo el año es imprescindible, tanto para consumo interno como para exportaciones (Espinoza *et al.*, 2020).

Entre las especies más cultivadas relacionadas con la uchuva, la económicamente más importante es el tomate de cáscara, el cual es muy utilizado en México, fundamentalmente para la elaboración de salsas (Pássaro y Moreno, 2014).

Sin embargo, su cultivo es poco conocido, ya que, no existen áreas de producción intensivas ni extensivas, únicamente se ha cultivado en México con fines experimentales, ya sea para conocer su comportamiento agronómico, estudiar su crecimiento, y la respuesta productiva de fertilización y soluciones nutritivas (Espinoza *et al.*, 2020).

En México, gracias a las investigaciones realizadas en la última década por el Colegio de Postgraduados se ha demostrado que el cultivo de la uchuva representa una alternativa debido a su alto potencial productivo encontrado para los productores (Gastelum *et al.*, 2013), el cual se puede optar como una alternativa de cultivo para llevar a cabo la reconversión productiva hacia cultivos con mayor porcentaje de utilidad para el productor en zonas donde ya existe la infraestructura (invernadero) para producirla.

De acuerdo a estudios realizados por Espinoza *et al.* (2020) se encontró que el 76% de los mexicanos están dispuestos a consumirlo y el 88% recomendarían su consumo.

3.1.4 Usos y Propiedades Nutricionales

La uchuva puede consumirse sin procesar, sin embargo, se vende comúnmente como fruta deshidratada, en jugos, jaleas, helado, mermeladas y dulces, lo cual ha hecho de esta un producto muy demandado en Japón y Europa. Según el National Research Council, el jugo de la uchuva madura tiene altos contenidos de pectinasa, lo que disminuye los costos en la elaboración de mermeladas y otros preparativos similares (Calvo, 2009).

El fruto de la uchuva tiene propiedades nutricionales extraordinarias como lo son sus altos contenidos de provitamina A, ácido ascórbico y algunas vitaminas del complejo B (Fischer *et al.*, 2014), lo cual sumado a su buen sabor y aroma han provocado un adecuado posicionamiento en los mercados de varios países a nivel mundial durante el último par de décadas (Novoa *et al.*, 2005).

Estudios recientes han demostrado que la uchuva además de ser una fruta rica en antioxidantes, antitumorales, antibacteriales, inmunomoduladoras y hepatoprotectoras, también se caracteriza por tener propiedades farmacológicas, como son propiedades que luchan contra diferentes tipos de cáncer entre ellos el de seno (Marín *et al.*, 2010).

Se ha encontrado que el contenido en el jugo de uchuva de minerales y aminoácidos esenciales se encuentran por valores superiores a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud, siendo así una fuente muy recomendable dentro de la dieta humana (El Sheikha *et al.*, 2010).

Los beneficios que se atribuyen a la medicina son variados, pues abarcan desde altos niveles de vitaminas A y C, así como calcio, fósforo, hierro, proteínas, minerales y ácidos.

Se resalta la purificación de la sangre, fortificación del nivel óptico, control de amebiasis, calcificación de los huesos, antimicrobiana, antipirético, y propiedades citotóxicas (Marín *et al.*, 2010).

3.1.5 Requerimientos climáticos

La temperatura y la radiación solar son factores principales que regulan los procesos fisiológicos y metabólicos en las plantas, por lo que el éxito productivo depende de la intensidad y secuencia temporal de estos factores (Ruiz *et al.*, 2008).

A medida que las temperaturas se encuentran entre los valores óptimos el rendimiento mejorará, si los valores tienden hacia un aumento o disminución mayor provocarán que el rendimiento comience a disminuir (Carrasco, 2016).

Yepes y Silveira (2011) mencionan que durante el estado vegetativo las temperaturas altas pueden dañar los componentes fotosintéticos de la hoja y reducir las tasas de asimilación de carbono.

De acuerdo con Fischer *et al.* (2014) para que el cultivo de uchuva se desarrolle de una manera adecuada debe existir un clima que posea temperaturas entre los 13 y 16 °C, y que temperaturas por debajo de los 0 °C provocan que la planta se queme.

La radiación solar es la fuente de energía utilizada por las plantas para el proceso de fotosíntesis mediante el cual las plantas crecen, se desarrollan y producen (Díaz, 2012).

Los dos componentes de la luz (calidad e intensidad) afectan en gran medida la fotosíntesis de las plantas (Shafiq *et al.*, 2021), por lo que la planta de uchuva requiere de 1500 a 2000 horas de luz por año para alcanzar las características óptimas de tamaño, color, contenido nutricional y sabor en fruto (Mora *et al.*, 2006).

3.1.6 Requerimientos edáficos

El cultivo de uchuva crece mejor en los suelos limosos, en los suelos bien drenados también tiene un buen desarrollo, requiriendo un pH de 5.0 a 6.0 (Mora *et al.*, 2006).

Una adecuada elección del suelo o sustrato antes de establecer la plantación tendrá gran impacto en el desarrollo de la planta y por lo tanto en el rendimiento y calidad de los frutos.

El crecimiento de la planta suele ser muy vigoroso en suelos fértiles lo que puede ocasionar un retardo en la maduración de frutos (Mora *et al.*, 2006).

3.1.7 Requerimientos nutricionales y sus deficiencias

Dentro del crecimiento y desarrollo de una planta los nutrientes son parte fundamental. Un control preciso de los nutrientes dentro de la solución nutritiva y dentro de la planta nos da como respuesta un buen manejo integrado de los nutrientes esenciales, que en consecuencia se verá reflejado en rendimientos óptimos haciendo del cultivo una actividad que arroje una buena rentabilidad hacia el productor.

Para obtener rendimientos cercanos a los máximos posibles se requiere que las necesidades nutrimentales del cultivo sean satisfechas en el momento indicado (Etchevers, 1999), cuidando en todo momento que la aplicación sea económicamente viable para que el cultivo sea rentable.

Una deficiencia de algún nutriente provoca que la planta manifieste un desarrollo anormal que puede reconocerse de manera visual, esto permite corregir el estado nutrimental antes de una pérdida total de cosecha (Fuentes *et al.*, 2006).

De igual manera una nutrición deficiente en la planta juega un papel importante en la aparición y susceptibilidad a los patógenos y enfermedades (Sieiro *et al.*, 2020).

Nitrógeno

El nitrógeno es el nutriente más esencial para el crecimiento de la planta, ya que según Sieiro *et al.* (2020) la abundancia de este va a inducir al óptimo crecimiento de la misma, y que un exceso o déficit provoca un periodo vegetativo excesivo, madurez tardía o una susceptibilidad a enfermedades y patógenos.

De acuerdo con Martínez *et al.* (2008) el nitrógeno influye en la disminución de la producción de las plantas de uchuva porque afecta de manera negativa en la reducción del número y la longitud de las ramas y en consecuencia la cantidad de frutos dentro de la planta.

Silvia *et al.* (2017) mencionan que el síntoma inicial de la deficiencia de nitrógeno es caracterizado por la pérdida o disminución de la tonalidad verde en las hojas y tallos.

Las plantas de uchuva con deficiencia de nitrógeno presentan un menor porte, tienen hojas de tamaño pequeño y poco grosor provocando el desprendimiento prematuro de hojas antiguas Martínez *et al.* (2009).

Fósforo

El fósforo, de acuerdo con Fernández (2007), constituye un componente primario de los sistemas responsables de la capacitación, almacenamiento y transferencia de energía, y es componente básico en las estructuras de macromoléculas de interés crucial, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos.

De acuerdo con Martínez *et al.* (2008) el fósforo interviene en la formación de los órganos reproductores, razón por la cual su contenido debe ser suficiente en los frutos.

El fósforo interviene en muchas de las reacciones que utilizan energía dentro de la célula, ya que forma parte integral de las moléculas que acumulan energía, por lo anterior es de vital importancia para la generación de células nuevas; por ejemplo, la producción de raíces al inicio de los ciclos vegetativos.

En cuanto a las consecuencias de un déficit de fósforo, Cabezas y Sánchez (2008), especifican que provoca una disminución en la producción de carbohidratos en la hoja y la consecuente acumulación de materia seca en las raíces con el fin de favorecer la asimilación de fósforo.

Las deficiencias de fósforo en la planta de uchuva se observan con una coloración verde levemente más oscura en las hojas de la parte media que hojas con un aporte adecuado del nutriente, mientras que las hojas de la parte baja de la planta muestran una coloración púrpura, mientras que en los estados fenológicos finales de la planta las hojas se tornan de un tono púrpura a pardo amarillo (Martínez *et al.*, 2009).

Potasio

El potasio es esencial para el crecimiento de las plantas debido a que es un importante regulador osmótico y su impacto es directo en la apertura y cierre de los estomas (Anschütz *et al.*, 2014).

De acuerdo con Aguilar *et al.* (2018) el potasio es el catión absorbido en mayor cantidad por las plantas; además, está involucrado en la fotofosforilación y transporte de fotoasimilados de los tejidos fuente, vía floema, a los tejidos demanda.

Véry *et al.* (2014) mencionan que el potasio participa en funciones altamente integradas a nivel de toda la planta como lo son el control de la turgencia de las células y los movimientos de los estomas, lo que evita la pérdida de agua por transpiración.

La deficiencia de potasio hace vulnerable a la planta, aumentando la susceptibilidad a varias enfermedades (Sieiro *et al.*, 2020).

El porte de la planta se ve afectado negativamente, al igual que muestra síntomas foliares severos, aparecen entrenudos cortos con ramas poco elongadas y delgadas provocando pérdida de rigidez seguido de un doblamiento de ramas (Martínez *et al.*, 2009).

Calcio

El calcio en la planta es usado para sintetizar nuevas paredes celulares, específicamente en la lámina que separa las nuevas células divididas, su existencia permite un normal funcionamiento de las membranas vegetales siendo usado como mensajero en diferentes respuestas de las plantas a diversa señales (Martínez *et al.*, 2008), encontrando que es parte de una amplia gama de sensores responsables de activar los mecanismos de defensa de apertura y cierre de los estomas ante señales asociadas a patógenos (Ou *et al.*, 2022).

Otras funciones que se conocen del calcio son que intervienen en la regulación de la absorción de nitrógeno, ayudan en la translocación de carbohidratos y proteínas (Martínez *et al.*, 2009).

Tretyn *et al.* (1994) indican que los iones de calcio estimulan la floración cuando se aplican antes de comenzar los periodos de oscuridad, es decir cuando el fotoperiodo culmina.

La deficiencia de calcio en las plantas modifica el proceso fotosintético disminuyendo la eficacia de varios procesos lo que provoca reducciones en la producción de biomasa (Sanz *et al.*, 2001).

Martínez *et al.* (2009) aseguran que la deficiencia de calcio en la uchuva se presenta en las hojas bajas y en hojas ubicadas después de las primeras bifurcaciones, las cuales aceleran su senescencia manifestando un color anaranjado intenso. En lo que corresponde al fruto la ausencia provoca la aparición de manchas redondas y alargadas de color blanco a diversos tamaños, así como un cáliz deforme que no logra cubrir la totalidad del fruto.

Magnesio

De acuerdo con Reyes *et al.* (2017) el magnesio está involucrado de forma directa en la reacción fotosintética en la planta, además que es el activador de enzimas que intervienen en la síntesis de ácidos nucleicos. Una de sus funciones es ser componente de la molécula de clorofila (Thing-Shao *et al.*, 2011) por lo que es factible suponer su injerencia en el verdor de las hojas.

Así mismo, Martínez *et al.* (2008) mencionan que participa en el desarrollo de frutos y repercute en el nivel de azúcar y calidad de estos.

La deficiencia de magnesio afecta la tasa de fotosíntesis (Fuentes *et al.*, 2006) y en el cultivo de uchuva los síntomas se presentan en hojas de ramas generativas del tercer medio de la planta, iniciando con una coloración de color verde muy claro y en estados avanzados con pigmentos de color púrpura, aunque no se aprecian efectos importantes en el porte de la planta (Martínez *et al.*, 2009).

Garzón *et al.* (2014) encontraron que en plantas con deficiencia de magnesio el porcentaje de rajado de frutos aumenta hasta llegar a un valor del 10% respecto al número total de frutos.

Boro

El boro desempeña un rol importante primario en la biosíntesis y estructura de la pared celular y en la integridad de la membrana plasmática (Martínez *et al.*, 2008), se encuentra altamente relacionado con la adecuada elongación de la raíz, la absorción y utilización del fósforo y tiene un efecto positivo en el cuajado de frutos y el proceso de formación de semillas porque facilita el transporte de azúcares dentro de la planta (Alarcón, 2001).

Sabino *et al.* (2018) encontraron que con trasplantes tempranos y una aplicación alta de boro el rendimiento aumenta en la planta de uchuva.

Martínez *et al.* (2009) encontraron que las deficiencias de boro en la uchuva provocan la malformación de las estructuras de la planta afectando la arquitectura de la planta al verse de igual manera disminuido el tamaño, en cuanto a las ramas generativas obtuvieron que son muy quebradizas y desarrollan entrenudos muy cortos.

3.1.8 Plagas y enfermedades

Frecuentemente suelen presentarse problemas entre los agricultores al sembrar la uchuva, pues la escasa información ocasiona pérdidas en rendimientos y en la calidad del fruto (Pássaro y Moreno, 2014). En las siguientes líneas se recopilan estudios acerca de las enfermedades que se han encontrado entre el cultivo de la uchuva.

La primera enfermedad y más importante que se ha encontrado dentro de los cultivos de uchuva, es el marchitamiento vascular el cual, se produce por hongo que habita en el suelo, el cual penetra en la base mediante las heridas realizadas durante las labores del cultivo, por las herramientas contaminadas durante las labores de cultivo y por contagio de plantas enfermas contra sanas. Luego de penetrar la corteza, coloniza los vasos del xilema, destruyendo los tejidos por medio de enzimas que desintegran las paredes

celulares, interfiriendo de esta manera con el paso de nutrimentos hacia los tejidos aéreos de las plantas (Pássaro y Moreno, 2014).

Los síntomas del marchitamiento vascular suelen ser clorosis y amarillamiento generalizado, esto provoca que se detenga el crecimiento y que los brotes (las hojas) se tornen flácidos o marchitos doblándose sobre las ramas, por pérdida de agua y turgencia.

Otro tipo de afectaciones que suele tener el cultivo de la uchuva es la pulguilla (*Epitrix* sp.) es un abejoncito de la familia Chrysomelidae, de apenas 2 mm de longitud, que ocasiona daños en la lámina de las hojas, las cuales consisten en pequeños orificios o perforaciones, también, la mosca blanca (*Trialeuroides vaporariorum*) se localiza en el envés de la hoja, encontrándose desde huevos hasta adultos. El daño consiste en que la mosca succiona la savia para su alimentación, pudiendo transmitir algún virus (Calvo, 2009).

Las manchas en tallos, ramas, hojas, peciolas y frutos es también un problema que enfrentan los agricultores, se le atribuye dicho problema al hongo Phoma, esta enfermedad es conocida como secamiento terminal de brotes y tallos de plantas de uchuva. Esta enfermedad se desarrolla por podas inadecuadas lo cual provoca la entrada de la infección y el desarrollo de la enfermedad.

Un factor importante en el desarrollo del hongo es la humedad, pues estudios han revelado que la enfermedad es muy frecuente en ambientes que presentan alta humedad (superior a 80 %) y temperatura baja (inferior a 15 °C). Los síntomas de esta enfermedad se observan sobre la corteza lesiones de color amarillo a cobriza y en la mayoría de los casos los tejidos enfermos se observan cubiertos por gran cantidad de picnidios (Pássaro y Moreno, 2014).

El desarrollo del cultivo permite por sí mismo mantener un buen control de malezas. Se recomienda cosechar y destruir los frutos afectados por la plaga.

Una de las enfermedades más común es la Alternaria, esta se presenta en el campo afectando las hojas más viejas. Se inicia con pequeñas manchas de color negro que coalescen (se unen) hasta necrosar la hoja (Calvo, 2009).

Las manchas grises de las hojas y capachos se le atribuyen al hongo *Cercospora physalidis*, este ocasiona que se produzca detrás de las hojas enfermas, abundantes estructuras que le dan una coloración grisácea y que corresponden a los conidióforos y conidias del agente causal, los primeros síntomas suelen representarse como pequeñas áreas necróticas, con tamaños que oscilan entre 3 y 5 mm de diámetro. Esta enfermedad suele darse en zonas productoras localizadas a menor altura sobre el nivel del mar, la caída de hojas y frutos enfermos al suelo permiten la sobrevivencia del microorganismo para que posteriormente inicien nuevos ciclos de la enfermedad (Pássaro y Moreno, 2014).

3.1.9 Características físicas de calidad del fruto

La calidad de los frutos cada día adquiere mayor importancia y por lo tanto ha pasado a ser uno de los objetivos preferentes en la producción. Cada vez son mayores las diferencias en el precio entre frutos de buena calidad y frutos de mala calidad, los cuales la mayoría de veces tienen como destino la transformación y en casos extremos su deshecho.

Color

Las frutas presentan un color característico y bien definido mediante el cual el consumidor lo identifica y es el primer atributo que se juzga en las frutas, ya que es un índice de calidad que puede proporcionar información sobre la intensidad del sabor, madurez entre otras características (Mattias y Ah Ken, 20014).

De acuerdo con Duque *et al.* (2011) el color característico de la uchuva se encuentra en sus cromoplastos en donde están contenidos carotenoides que son los pigmentos amarillos-rojizos, y durante la maduración varían de color amarillo al amarillo naranja.

Peso del fruto

Fischer y Martínez (1999) mencionan que la uchuva durante las últimas etapas de maduración, tiene la capacidad de acumular mayores cantidades de agua. Debido a lo

anterior se ha encontrado que un fruto de uchuva puede tener un peso que va de los 4 a los 10 gramos (Fischer *et al.*, 2014).

Pérdida de peso

De acuerdo con Balaguera *et al.* (2014) la transpiración y la respiración representan las principales causas de pérdida de peso en los productos agrícolas cosechados.

Si bien el cáliz no le aporta una mejor vista a la uchuva para su comercialización si se ajusta de gran manera a las tendencias de los mercados que apuntan hacia el uso de empaques biodegradables.

En la uchuva se han realizado diversos estudios donde se ha demostrado que el fruto que conserva el cáliz pierde menor cantidad de agua y por lo tanto la disminución del peso es menor comparado con frutos a los que le ha sido desprendido el cáliz (Balaguera *et al.*, 2014).

Firmeza

La firmeza comienza a disminuir conforme pasa el tiempo porque el ablandamiento del fruto se caracteriza por procesos bioquímicos y fisiológicos (Martínez *et al.*, 2017).

Se sabe que el etileno es el que controla la velocidad de maduración y por lo tanto la vida de anaquel de los frutos, así mismo, se ha encontrado que el etileno tiene un papel clave en la regulación de genes involucrados en la producción de compuestos que se volatilizan.

Al final de la etapa de madurez de consumo comienza la senescencia, la cual lleva al deterioro de la membrana y la muerte celular, donde se degradan proteínas, clorofilas, lípidos y ácidos nucleicos (Martínez *et al.*, 2017).

3.1.10 Características químicas de calidad del fruto

pH

El pH celular es muy importante en la regulación del metabolismo, ya que en frutos más del 90% del volumen celular es ocupado por la vacuola, la cual tiene un pH inferior a 5 (Lanchero *et al.*, 2007).

De acuerdo con Novoa *et al.* (2006) los frutos de uchuva comienzan a tornarse menos ácidos a partir de los 6 días de ser cosechados, esto porque siguen la tendencia hacia un desdoblamiento de los ácidos orgánicos.

En México Gastelum *et al.* (2013) encontraron valores de pH con rango de 3.7 a 4.5 con diferentes concentraciones de la solución Steiner.

Sólidos Solubles Totales

Fischer y Martínez (1999) encontraron que el contenido de sólidos solubles totales en el jugo, los cuales son constituidos del 80 al 90 % por azúcares, aumenta después de ser cosechados.

El comportamiento de los sólidos solubles totales presenta la tendencia a crecer durante la maduración debido a que están asociados a los procesos de hidrólisis de la pared celular, donde los polisacáridos son degradados a monosacáridos (Guevara *et al.*, 2019).

3.1.11 Normas de calidad

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) estableció la norma NTC 4580 (1999) donde establece la siguiente clasificación de acuerdo al tamaño del fruto (Cuadro 1) y grado de madurez (Cuadro 2).

Cuadro 1. Clasificación de acuerdo al tamaño del fruto.

Diámetro	Calibre
mm	
≤ 15.0	A
15.1-18.0	B
18.1-20.0	C
20.1-22.0	D
≥ 22.1	E

Cuadro 2. Grados de madurez en fruto.

Color	Descripción externa del fruto	°Brix	% ácido cítrico	Índice de madurez
		Mínimo	Máximo	°Brix/%ácido
0	Fruto fisiológicamente desarrollado color verde oscuro	9.4	2.69	3.5
1	Fruto de color verde un poco más claro	11.4	2.7	4.2
2	El color verde se mantiene en la zona cercana al cáliz y hacia el centro del fruto aparecen tonalidades anaranjadas	13.2	2.56	5.2
3	Color anaranjado claro con visos verdes hacia la zona del cáliz	14.1	2.34	6.0
4	Color anaranjado claro	14.5	2.03	7.1
5	Color anaranjado	14.8	1.83	8.1
6	Color anaranjado intenso	15.1	1.68	9.0

La norma NTC 4580 clasifica los frutos de uchuva en tres categorías: extra, categoría I y categoría II, donde el color y el calibre del fruto no intervienen.

Categoría extra. El capacho puede presentar manchas superficiales ocasionados por humedad y/o por hongos, los cuales no deben exceder el 5 % del área total.

Categoría I. El capacho puede presentar manchas superficiales ocasionados por humedad y/o por hongos, los cuales no deben exceder el 10 % del área total.

Categoría II. Dentro de esta categoría ingresan los frutos que no se clasifican en las categorías extra y I, además de ser admitidos los frutos rajados que no excedan el 5 % del área total. El capacho puede presentar manchas superficiales ocasionados por humedad y/o por hongos, los cuales no deben exceder el 20 % del área total.

3.2 La importancia y función del agua en el cultivo

3.2.1 Importancia del agua en las plantas

El agua es el componente predominante de las plantas y debido a esto interviene en la regulación de los procesos biológicos (Rodríguez, 2006), como lo es la fotosíntesis para producción de nueva biomasa y que es fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible en el sustrato (Medrano *et al.*, 2007).

Muñoz (2009) señala que del 100 % del agua que consumen las plantas sólo conservan el 3 % y lo utilizan para realizar la fotosíntesis y otros procesos, mientras que el 97 % restante desarrolla la función de transportar los nutrientes disueltos a través de la planta desde la raíz hasta la superficie de las hojas.

De acuerdo con Selles y Ferreira (2000) otra función importante es que el agua cumple con la función de control térmico porque el agua que sale por los estomas absorbe gran parte de la energía entregada por la radiación lo que causa que la temperatura de las hojas aumente de manera controlada y no en tiempos cortos.

Sumado a lo anterior es el solvente más abundante, influye en el crecimiento a través de la expansión celular, es el encargado de la señalización de hormonas y de la filtración de desechos (Moreno, 2009).

3.2.2 Efecto del agua en la absorción de nutrientes

En las plantas es esencial que exista un medio de transporte que permita un adecuado y eficaz movimiento de los nutrientes desde que son absorbidos por las raíces y llevados hacia las partes superiores de la planta, en el cual el agua juega un papel muy importante (Mengel y Kirkby, 2000).

Los nutrientes deben estar disueltos en el agua existente en el suelo o sustrato, en donde el agua toma el papel de solvente y el nutriente el papel de soluto.

De acuerdo con Muñoz (2009), el exceso o déficit de agua en la zona radicular afecta la forma química en la que están presentes los nutrientes en el suelo o sustrato, por lo que si no se tiene una humedad óptima se ve afectada la disponibilidad de nutrientes, aunque estos se encuentren en cantidades suficientes.

Rodríguez *et al.* (2014) mencionan haber encontrado una disminución en las hojas en el porcentaje de absorción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio del orden del 17, 28, 35, 27 y 25 % respectivamente, comparando plantas sometidas a estrés hídrico contra plantas expuestas a condiciones óptimas de humedad.

3.2.3 Estrés hídrico

El estrés por déficit hídrico se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua (Moreno, 2009).

El estrés hídrico de las plantas es uno de los mayores factores limitantes de la producción de cultivos en todo el mundo (Mengel y Kirkby, 2000), y afecta prácticamente a todos los aspectos del desarrollo de la planta provocando grandes pérdidas económicas (Sánchez y Aguirreola, 2013).

Es estrés hídrico puede causar efectos fisiológicos muy diferentes dependiendo del tiempo al que la planta es sometida a estrés.

De manera general, el primer cambio es la reducción en el crecimiento de los brotes y en las hojas, seguido por una disminución en las paredes celulares y la caída de la síntesis de proteínas con alto potencial de crecimiento, si el estrés continúa hay un efecto sobre los estomas que tienden a cerrarse provocando una disminución en la asimilación de carbono (Sánchez y Aguirreola, 2013), donde la translocación de fotosintatos se afecta gravemente, a continuación empieza una acumulación de azúcares, las hojas senescen y comienzan a desprenderse de las plantas, hasta que la planta muere (Mengel y Kirkby, 2000).

3.3 Consumo de agua por los cultivos y las funciones de producción

Como bien sabemos la población mundial se encuentra en rápido crecimiento, lo que aumenta la presión sobre los limitados recursos, como lo es el agua dulce.

La agricultura de riego es el sector que más agua consume y se enfrenta a demandas competitivas de otros sectores, como el industrial y el doméstico (Zwart y Bastiaanssen, 2004).

Ante la inminente escasez actual del agua es necesario conjuntar esfuerzos y realizar investigaciones enfocadas en el uso sustentable y sostenible de este y otros recursos.

3.3.1 Productividad del agua en la agricultura

La productividad del agua es un elemento clave en la planificación estratégica de los recursos hídricos a largo plazo (Zwart y Bastiaanssen, 2004).

De acuerdo con Fernández *et al.* (2007) para evaluar la eficiencia con la que se usa el agua en un sistema agrícola, el indicador más empleado es el término “Productividad del agua”.

El manejo del agua basado en parámetros de productividad puede mejorar su uso y contribuir a su ahorro en aquellos sistemas donde se consumen cantidades excesivas de este recurso (González *et al.*, 2011).

La productividad puede definirse como el cociente entre el rendimiento y el uso del agua por el cultivo o volumen de agua aplicado (kg m^{-3}) (Fernández *et al.*, 2007).

Se sabe que el sistema de riego por goteo mantiene una mayor disponibilidad de agua en el suelo dentro de la zona de raíces que otros métodos de riego disminuyendo hasta un 22 % el uso de agua (Reyes, 2019) debido a que reduce el estrés hídrico entre riegos y con esto se logra aumentar el crecimiento y el rendimiento en la producción de las plantas (Bryla y Linderman, 2007).

Si a lo anterior se suma que la producción se lleve en invernaderos con alto desarrollo tecnológico, donde se ha demostrado que se puede utilizar mucho menos cantidad de

agua (Salazar *et al.*, 2014) haciendo un adecuado manejo de los cultivos y las variables que en el interfieren la productividad aumenta de manera considerable.

3.3.2 Función de producción de agua

Se entiende que una función de producción muestra las distintas cantidades de producto que se puede obtener combinando distintas cantidades de un factor productivo y dado cierto nivel de conocimientos o tecnología (Vargas, 2014).

Lo que hace la función de producción de agua es representar la relación entre el rendimiento de un cultivo y el agua aplicada a este durante su desarrollo desde la siembra hasta la cosecha (Al-Jamal *et al.*, 2000).

De acuerdo con (González *et al.*, 2015) el estudio de las funciones agua-rendimiento y su uso dentro de la planificación del agua para riego es una vía importante para trazar estrategias de manejo que contribuyan al incremento en la producción agrícola.

El desarrollo y estudio de las funciones de producción del agua permiten evaluar y desarrollar nuevas prácticas de gestión del riego en escenarios de escasez de agua (Tarkalson *et al.*, 2022) los cuales aumentan con el paso de los días.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

La investigación se realizó en el área de invernaderos del programa de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados en el Campus Montecillo, ubicado en el municipio de Texcoco, Estado de México, el periodo comprendido fue de enero a octubre del año 2021. El experimento se desarrolló en un invernadero conformado con estructura hecha de acero galvanizado, cubierta de plástico (polietileno UVII 720), ubicado en las coordenadas 19° 27' 59" Latitud Norte y 98° 58' 00" Longitud Oeste, a una altitud de 2,243 m.

El invernadero cuenta con ventilación lateral a través de cortinas con mecanismo manual y piso cubierto con ground cover.

4.2 Sistema de Producción

Para las variables medidas fueron evaluados 4 coeficientes de riego (0.86,1.00,1.29 y 1.57), con un espaciamiento de 1.5 metros entre plantas y 1.5 metros entre hileras con el fin de agilizar las tomas de lecturas y facilitar las labores debido a la fenología de la planta.

Se colocó un sistema de espalderas construido de polín de madera de 8 cm x 2.5 cm, con hilo para tutoreo a cada 20 cm de altura para lograr la adecuada conducción y sostén de la planta.



Figura 1. Sistema de espalderas en el cultivo de uchuva.

4.3 Material Vegetal

El experimento se realizó con la variedad Colombia, proporcionada de experimentos anteriores dentro de la institución en el área de Edafología, la cual tuvo un 90 % de efectividad en la germinación.

4.4 Solución Nutritiva

Para realizar la aplicación de los nutrientes fue utilizado un tinaco de 1000 L. Se preparó la solución nutritiva Steiner a una concentración del 100%, ajustando el pH a valores comprendidos entre 5.5-6.5 a través del uso de ácido sulfúrico.

La solución nutritiva se preparó con las fuentes y cantidades que especifica el Cuadro 3.

Cuadro 3. Fuente y cantidad de fertilizante en gramos utilizado para preparar 1000 L de solución Steiner con concentración del 100%.

Fuente	Cantidad (g)
Ca (NO ₃) ₂ – 4H ₂ O	1062
KNO ₃	303
MgSO ₄ – 7H ₂ O	491
K ₂ SO ₄	261
KH ₂ PO ₄	136

4.5 Sistema de riego

El método de riego utilizado fue un sistema de goteo ya que ha demostrado que es el que tiene mayor eficacia.

Fueron colocados goteros autocompensados y antidrenantes de 3,4,6 y 8 Lph con distribuidor de 4 salidas y 4 piquetas, esto con la finalidad de obtener un adecuado control de la uniformidad de la aplicación del agua de riego. Para la solución nutritiva fueron colocados goteros autocompensados y antidrenantes de 4 Lph con distribuidor de 4 salidas y 4 piquetas.

Además, se colocó un sistema de micro aspersión aéreo con el fin de controlar la temperatura y humedad relativa y así evitar la propagación de plagas y enfermedades en las épocas de mayor temperatura.

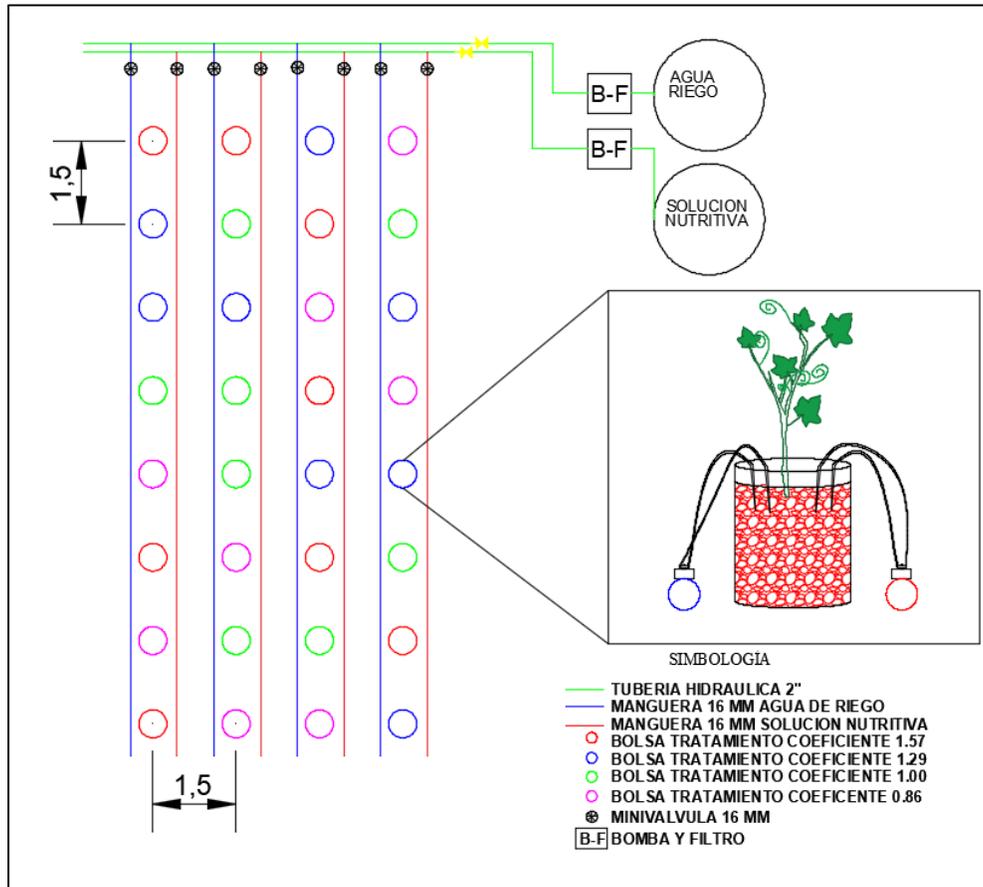


Figura 2. Distribución de los tratamientos del experimento.

4.6 Tratamientos y Diseño Experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos mediante el uso de 4 coeficientes 0.86 (2.6, 5.2, 8.3 mm), 1.00 (3.0, 5.9, 9.5 mm), 1.29 (3.7, 7.4, 11.9 mm) y 1.57 (4.4, 8.9, 14.2 mm), en función de la etapa fenológica (vegetativa, desarrollo-reproducción y producción). Cada tratamiento tuvo 8 repeticiones, formando así 32 unidades experimentales (Figura 2). Cada unidad experimental fue trasplantada a bolsas negras de polietileno de 40 x 40 cm con 4 perforaciones en el fondo para lograr un

adecuado drenaje. Se utilizó como sustrato tezontle con una granulometría de 1 a 10 mm. Cada unidad experimental fue etiquetada para facilitar la identificación y medición de variables.



Figura 3. Identificación de los tratamientos.

4.7 Conducción del Experimento

La siembra se realizó el 30 de noviembre del 2020, utilizando una charola plástica de 128 cavidades, se utilizó turba como sustrato para medio de germinación. La charola plástica fue colocada dentro de un recipiente con agua para garantizar una humedad constante del sustrato.

Se depositó una semilla por cavidad, el 16 de diciembre comenzó la emergencia terminando el 28 de diciembre con un 90% de efectividad.

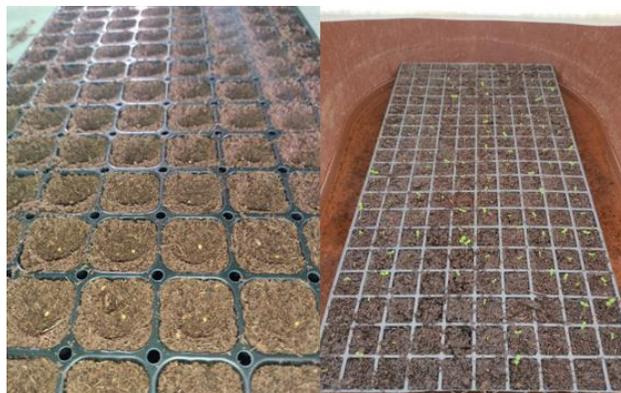


Figura 4. Siembra y germinación de la uchuva.

El trasplante se realizó el 18 de febrero, 84 días después de la siembra, cuando las plantas alcanzaron 15 cm de altura, después del trasplante se realizó un riego abundante para evitar el marchitamiento y estrés por trasplante.



Figura 5. Trasplante de la uchuva.

Durante el experimento fue necesaria la aplicación de productos químicos para controlar plagas como lo fue la mosquita blanca y problemas de hongos debido a los altos valores de humedad relativa y humedad en el mes de abril y mayo.

4.8 Variables de Experimento y su Medición

Dentro del experimento se identifican dos variables, las variables independientes y las variables dependientes.

4.8.1 Variables independientes

Tiempo atmosférico

La temperatura (°C) y la humedad relativa (HR) fueron registradas con un registrador de datos de la marca Elitech® modelo RC_51H, con una precisión de ± 0.3 °C para temperatura y $\pm 3\%$ para humedad relativa.

Riego

Como ya se describió en los apartados anteriores, para diferenciar los tratamientos fueron usados goteros autocompensados y antidrenantes, sobre mangueras de polietileno de 16 mm de diámetro externo. Para contabilizar el volumen aplicado por planta se registraron los tiempos de duración del riego diario en cada etapa para realizar los cálculos necesarios para conocer el agua aplicada total por planta durante el experimento.

Nutrición

Descrito en el apartado de solución nutritiva, esta fue aplicada con goteros de 4 Lph autocompensados y antidrenantes, colocados sobre ductos de polietileno de 16 mm de diámetro externo.

4.8.2 Variables dependientes

Altura de la planta

Se midió con una cinta métrica flexible con resolución de 1 mm, tomando como punto de referencia el nivel del sustrato en cada bolsa, fueron tomadas 13 medidas siendo la primera a los 20 días después del trasplante y la última a los 130 días después del trasplante.

Diámetro de la planta

Se midió con un vernier digital marca Steren® modelo HER-411 con precisión de ± 0.1 mm y una resolución de 0.1 mm, tomando como punto de referencia 2 cm arriba del nivel del sustrato en cada bolsa, fueron tomadas 13 medidas siendo la primera a los 20 días después del trasplante y la última a los 130 días después del trasplante.

Peso acumulado con cáscara

Los frutos con cáliz de cada planta fueron contabilizados y pesados en una balanza digital con una precisión de ± 0.01 g y una resolución de 0.01 g. La cosecha se realizó semanalmente en un horario de 8 am a 12 pm.

Peso acumulado sin cáscara

Los frutos sin cáliz de cada planta fueron contabilizados y pesados en una balanza digital con una precisión de ± 0.01 g y una resolución de 0.01 g.

Frutos rajados

Se contabilizó el número de frutos que presentaron rajado en la epidermis y se obtuvo el porcentaje con relación al número total de frutos por planta.

Firmeza

Se seleccionaron 3 frutos sin cáliz por planta y a cada uno le fue medida la firmeza mediante un penetrómetro de la marca Wagner® Force Dial FDK 160, el cual cuenta con una punta cónica y fue registrado el valor en kg fuerza (kgf).

Diámetro del fruto

Se midió el diámetro ecuatorial de los frutos de cada planta con un vernier digital marca Steren® modelo HER-411 con precisión de ± 0.1 mm y una resolución de 0.1 mm.

°Brix

Fueron seleccionados 3 frutos sin cáliz de cada planta de los cuales se extrajo el jugo del fruto y se colocó una gota en un refractómetro digital de la marca Hanna® modelo Hi96801 con una precisión de $\pm 0.2\%$ °Brix y una resolución de 0.1% °Brix.

Conductividad eléctrica del fruto

Fueron seleccionados 3 frutos sin cáliz de cada planta de los cuales se extrajo el jugo del fruto y se colocó una gota en un medidor de conductividad LAQUAtwin® EC-11 con una precisión de $\pm 2\%$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una resolución de $1 \mu\text{S cm}^{-1}$.

pH del fruto

Fueron seleccionados 3 frutos sin cáliz de cada planta de los cuales se extrajo el jugo del fruto y se colocó una gota en un medidor de pH LAQUAtwin pH11 con una precisión de ± 0.1 pH y una resolución de 0.1 pH.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Altura y diámetro de la planta

5.1.1 Altura

La altura de la planta no mostró diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los 13 muestreos realizados (Cuadro 4).

En los muestreos comprendidos de los 20 ddt a los 103 ddt se observó que el que obtuvo una mayor lectura fue el tratamiento con coeficiente de riego de 0.86.

Cuadro 4. Significancia estadística y valor promedio de la variable altura.

Coeficiente de riego	Altura de la planta (cm)													
	Días después del trasplante (ddt)													
	20	28	36	45	52	56	64	75	82	97	103	120	130	
0.86	8.90 a	10.03 a	13.93 a	15.66 a	19.25 a	21.93 a	24.14 a	37.81 a	44.62 a	58.62 a	74.87 a	90.87 a	105.00 a	
1.00	9.02 a	9.28 a	12.06 a	14.68 a	16.93 a	19.50 a	22.56 a	35.08 a	42.00 a	55.12 a	66.50 a	90.87 a	104.37 a	
1.29	8.27 a	8.66 a	12.06 a	14.25 a	16.56 a	19.50 a	22.18 a	34.12 a	40.06 a	53.12 a	64.50 a	85.50 a	98.62 a	
1.57	9.61 a	9.81 a	12.68 a	14.37 a	18.31 a	21.12 a	23.75 a	37.25 a	44.37 a	58.12 a	67.25 a	95.25 a	111.62 a	
Estadísticas														
P	0.56	0.404	0.346	0.26	0.513	0.693	0.861	0.848	0.863	0.808	0.242	0.737	0.593	
CV	16.63	15.41	19.53	16.06	17.14	18.82	18.75	24.1	22.91	16.06	19.3	15.96	15.76	

CV: coeficiente de variación * $P \leq 0.05$; NS: $P > 0.05$

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

A partir de los 120 ddt se observó que el cuarto tratamiento comenzó a tener una altura promedio mayor a los otros (Figura 6), pero debido a que había una gran densidad de hojas y tallos las lecturas se suspendieron para no dañar las plantas.

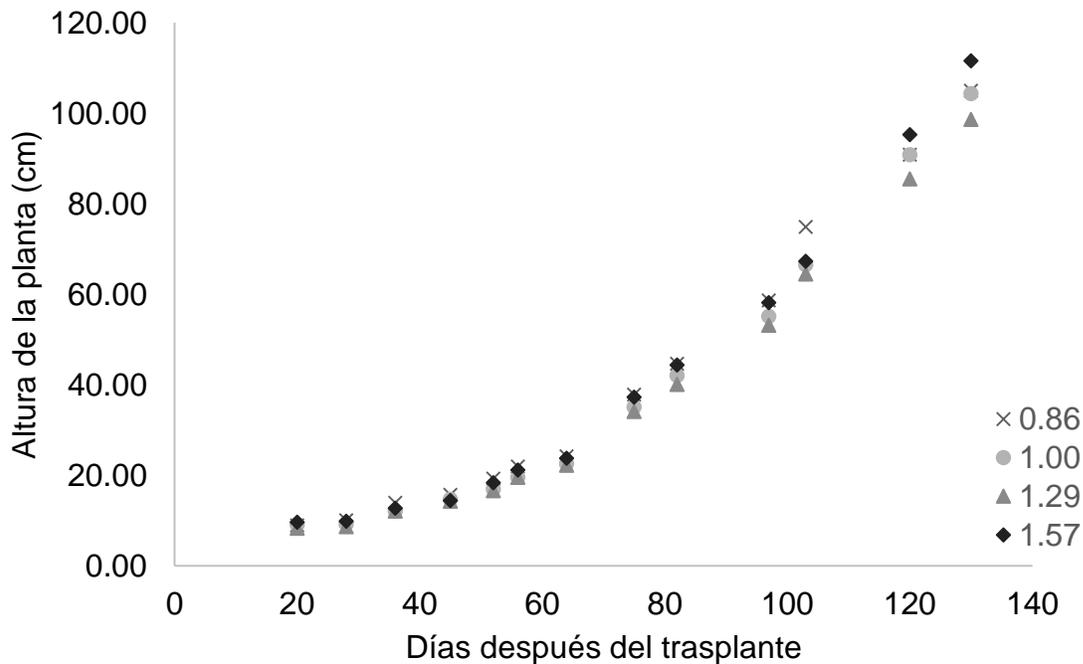


Figura 6. Altura de la planta de los 20 ddt a los 130 ddt.

El aumento de altura para el cuarto tratamiento a partir de los 120 ddt concuerda con lo obtenido con Quintal *et al.* (2012) quienes encontraron en una investigación de Chile habanero que a mayor cantidad de agua aplicada la altura de las plantas fue mayor debido a que ayuda al crecimiento y elongación celular.

Los datos son bastante inferiores de acuerdo a las investigaciones realizadas por Orozco *et al.* (2021) quienes obtuvieron lecturas de 25.92, 42.00 y 99.42 cm para los 24, 31 y 52 ddt respectivamente en uchuva variedad Colombia.

Los valores bajos obtenidos durante la investigación pueden deberse a las altas temperaturas que se presentaron durante el experimento y debido a que en los meses de abril y mayo las plantas se enfermaron por una humedad relativa alta durante el invernadero.

5.1.2 Diámetro de tallo

El diámetro no fue afectado significativamente en ninguna de las 13 lecturas por los tratamientos (Cuadro 5). Hasta los 120 ddt los tratamientos con los mayores valores fueron los de coeficiente 0.86 y 1.00, con valores mayores de un 4 al 6% con respecto de los dos tratamientos más bajos.

Cuadro 5. Significancia estadística y valor promedio de la variable diámetro.

Coeficiente de riego	Diámetro de la planta (cm)													
	Días después del trasplante (ddt)													
	20	28	36	45	52	56	64	75	82	97	103	120	130	
0.86	2.65 a	3.66 a	4.8 a	5.45 a	6.17 a	6.92 a	7.33 a	8.2 a	9.03 a	10.23 a	12.43 a	13.51 a	13.91	
1.00	2.45 a	3.37 a	4.31 a	5.35 a	5.92 a	6.98 a	7.37 a	8.11 a	8.92 a	10.5 a	12.12 a	12.97 a	14.35	
1.29	2.57 a	3.38 a	5.02 a	5.57 a	6.36 a	6.9 a	7.23 a	7.9 a	8.71 a	10.06 a	11.3 a	12.61 a	14.36	
1.57	2.68 a	3.33 a	4.56 a	4.93 a	5.75 a	6.37 a	6.92 a	7.93 a	8.67 a	10.41 a	11.81 a	12.8 a	13.81	
Estadísticas														
P	0.712	0.056	0.962	0.173	0.423	0.093	0.246	0.509	0.447	0.957	0.205	0.288	0.907	
CV	15.57	8.9	13.55	11.21	11.04	9.22	10.03	11.7	12.04	12.67	10.99	11.27	10.05	

CV: coeficiente de variación * $P \leq 0.05$; NS: $P > 0.05$

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

En la lectura de los 130 ddt comenzó a notarse que los tratamientos con mayor diámetro fueron el de 1.00 y el de 1.29, los cuales tuvieron un aumento de su valor del 10 y el 15% respectivamente (Figura 7).

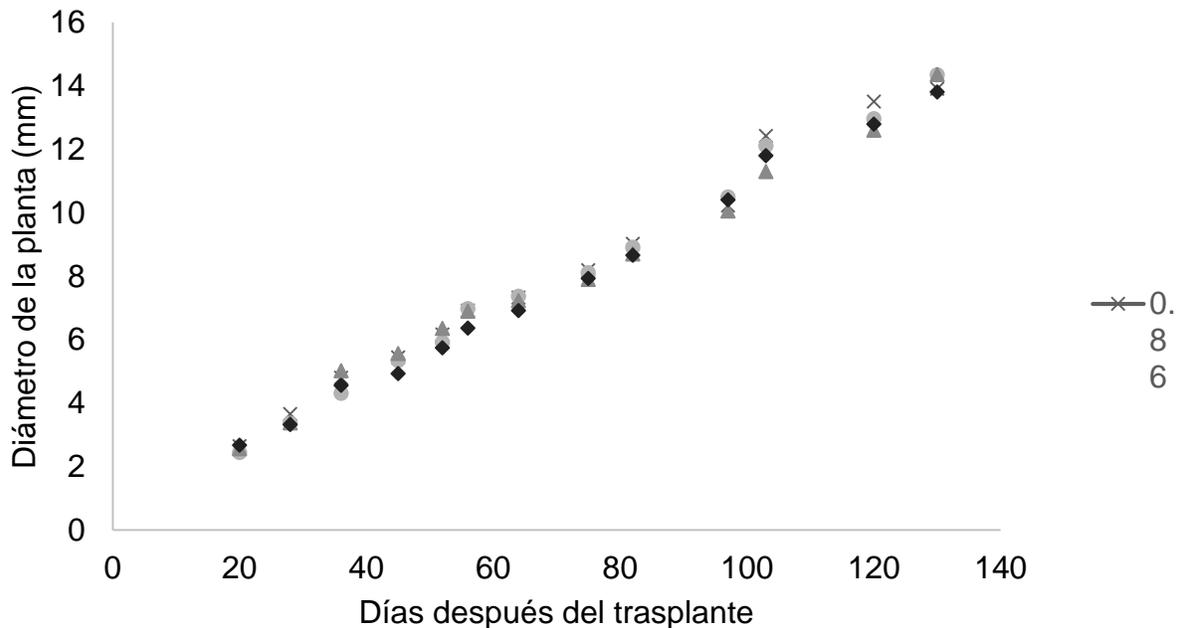


Figura 7. Valores del diámetro de la planta de los 20 ddt a los 130 ddt.

Los datos registrados son similares a los valores obtenidos con Tapia (2014) quien obtuvo valores de 6.66, 8.09, 9.89, 11.53, 13.42, 14.45, 15.70 y 16.44 mm para los 34,48,62,76,90,104,118 y 132 ddt respectivamente en el cultivo bajo invernadero y con origen de la planta a partir de semilla.

5.2 Rendimiento

5.2.1 Peso acumulado con cáliz

El peso acumulado con cáliz fue afectado significativamente por los tratamientos de acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 6).

El tratamiento con coeficiente de 1.29 fue el que obtuvo mayor valor, obteniendo 856.35 g por planta en las primeras 9 cosechas. En relación a los otros tratamientos fue mayor por 14, 66 y 180% para el coeficiente de 1.57, 1.00 y 0.86 respectivamente.

Cuadro 6. Significancia estadística y valores promedio de rendimiento de las plantas de uchuva por efecto de los tratamientos.

Coeficiente de riego	Peso acumulado de frutos con cáliz		Peso acumulado de frutos sin cáliz		Número total de frutos		Peso promedio del fruto		
	(g)		(g)				(g)		
0.86	305.33	a	285.87	a	73.5	a	3.78	b	
1.00	514.3	a	481.63	ab	109.33	a	4.34	ab	
1.29	856.35	b	803.01	bc	165.2	ab	4.68	a	
1.57	747.05	b	690.01	c	149.28	b	4.62	a	
Estadísticas									
P	0.000005*		0.000007*		0.00014*		0.045*		
CV	25.04		25.26		27.12		13.77		

CV: coeficiente de variación * $P \leq 0.05$; NS: $P > 0.05$

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

Los resultados son ligeramente inferiores en comparación con Orozco *et al.* (2021), quienes reportan rendimientos de 993 g para plantas de uchuvas de la variedad Colombia fertilizadas con la solución de Steiner en una concentración del 100%. Este resultado es debido a que las temperaturas dentro del invernadero estuvieron por encima de las temperaturas óptimas, sumado a la alta incidencia de plagas y enfermedades provocadas por una humedad relativa alta, lo que impidió que se desarrollará el potencial al máximo de las plantas.

5.2.2 Peso acumulado sin cáliz

El peso acumulado sin cáliz de igual manera fue afectado significativamente por cada tratamiento aplicado de acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 6).

De la misma manera que el peso acumulado con cáliz el tratamiento con el coeficiente de 1.29 proporcionó el valor más alto (803 g por planta).

Relacionando el tratamiento más alto con los demás, este fue mayor por 16, 66 y 181% para el coeficiente de 1.57, 1.00 y 0.86 respectivamente.

Como los resultados lo indican a mayor aplicación de agua el rendimiento aumenta hasta cierto punto. En el experimento el rendimiento fue aumentando del coeficiente de 0.86 hasta el coeficiente de 1.29, para el coeficiente de 1.57 hubo un descenso en el rendimiento del 16% lo que indica que una mayor cantidad de agua aplicada no siempre se traduce en más rendimiento, este comportamiento es similar a lo observado por Pérez et al (2008) quienes en Chile habanero observaron que al aplicar 40% más de riego hubo una disminución del 15% en el rendimiento.

El rendimiento por planta fue bajo en las cuatro primeras semanas, esto puede deberse a las altas temperaturas que se presentaron en el invernadero (Figura 8). A partir de la quinta semana el rendimiento por planta aumentó hasta la octava semana. Se observa que el rendimiento presenta ciclos con puntos altos y bajos cada cuatro semanas de cosecha, lo que puede deberse al desgaste de las plantas.

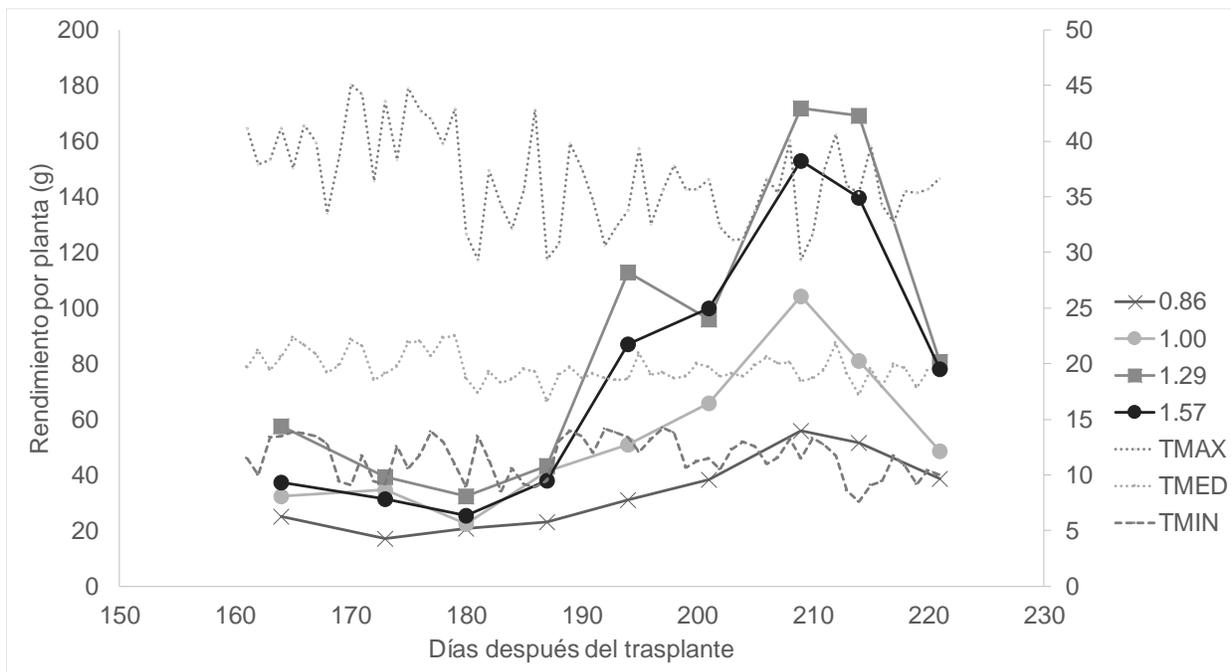


Figura 8. Comportamiento del rendimiento a lo largo de las nueve cosechas.

5.2.3 Número de frutos por planta

El número de frutos acumulados por planta fue afectado significativamente por los tratamientos (Cuadro 6). El tratamiento con coeficiente de 1.29 fue el que dio mayor cantidad de frutos acumulados por planta (165 frutos), mientras que el tratamiento con coeficiente de 0.86 fue el que arrojó el menor valor (73 frutos).

Los resultados de la investigación son menores a los reportados por Orozco *et al.* (2021) quienes obtuvieron de 190 a 200 frutos por planta en la variedad Colombia con concentración al 100% de la solución Steiner.

El número de frutos a través de la cosecha se mantuvo de manera constante de la semana 1 a la 4 teniendo una producción de 6, 8, 10 y 8 frutos para el tratamiento de 0.86, 1.00, 1.29 y 1.57 respectivamente (Figura 9).

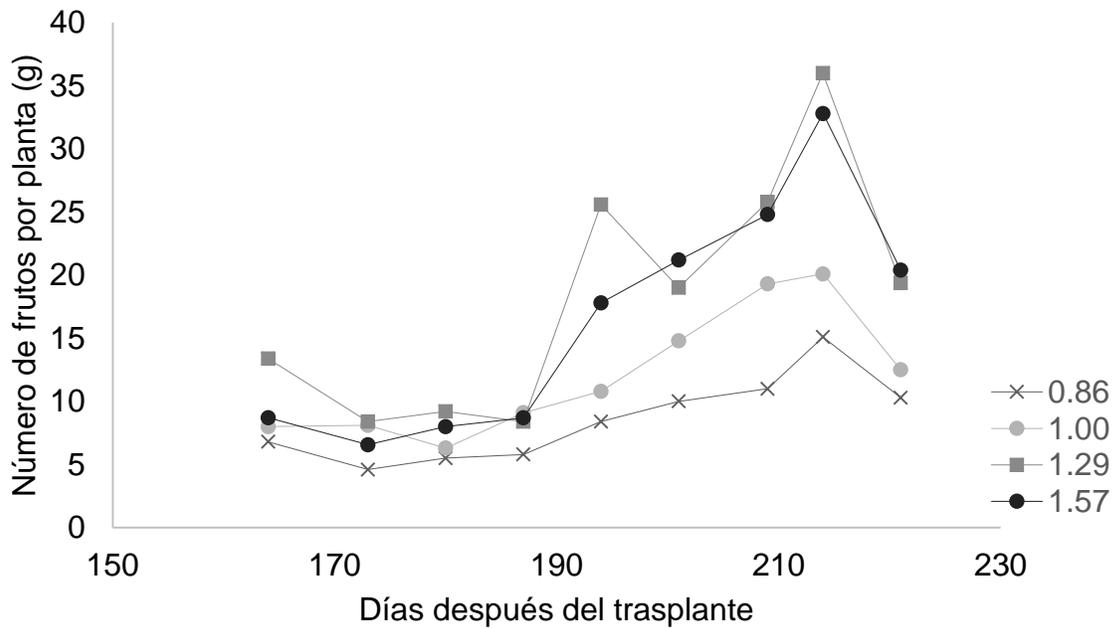


Figura 9. Numero de frutos por planta en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.

El número de frutos por planta tuvo un ascenso a partir de la semana 5, teniendo el pico más alto en la semana 8 donde se cosecharon 15, 20, 36, y 33 frutos para el tratamiento

de 0.86,1.00,1.29 y 1.57 respectivamente, En la semana 9 se tuvo una baja en el número de frutos cercano al 40% para todos los tratamientos.

El bajo número de frutos por planta durante las cuatro primeras semanas se atribuye a la temperatura dentro del invernadero, la cual estuvo por encima de los valores óptimos, lo cual afectó el proceso de floración y fructificación.

5.2.4 Peso promedio del fruto

El peso promedio del fruto fue afectado significativamente de acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 6). Cabe mencionar que el peso promedio del fruto fue mayor en las plantas del tratamiento con coeficiente de 1.29 al tener un valor de 4.68 g y para el tratamiento de 0.86 fue el menor con un valor de 3.78 g, esto representa una diferencia del 23% al comparar el mayor entre el menor.

El comportamiento en el peso promedio del fruto concuerda con la investigación realizada por Deaquiz *et al.* (2014) quienes mencionan que tras la aplicación de mayores cantidades de agua el fruto se ve favorecido ya que hay mayor disponibilidad de nutrientes y los procesos de asimilación y translocación de asimilados hacia los frutos se realiza de forma más eficiente aumentando su tamaño y peso.

Los valores de la presente investigación son mayores comparados por los reportados por Gastelum *et al.* (2013), quienes encontraron valores de 1.25 a 2.50 g por fruto en un experimento donde las fuentes de variación fueron la densidad y la concentración porcentual de la solución Steiner.

5.3 Variables de calidad en fruto

5.3.1 Firmeza

Los valores de la firmeza no fueron afectados de manera significativa por los tratamientos (Cuadro 7). El tratamiento que tuvo la firmeza mayor fue el de coeficiente de 1.0 y el tratamiento con el menor valor fue el de coeficiente de 1.29, la diferencia sólo fue del 5% entre el mayor y el menor.

Para esta investigación, es probable que los valores de la firmeza hubiesen sido mayores de manera significativa con los tratamientos de mayor aplicación de agua. Sin embargo, el comportamiento similar entre tratamientos puede deberse a que los frutos provenientes de las plantas con menor aplicación de agua son de menor tamaño y presentan una densidad mayor (Porro *et al.*, 2010) lo que opone mayor resistencia a la hora de hacer la medición de este parámetro.

El comportamiento de esta investigación coincide con Fallahi *et al.* (2010) quienes encontraron que en el cultivo de manzana no hubo diferencias significativas entre la firmeza de los frutos provenientes de 5 láminas de aplicación de agua.

Cuadro 7. Significancia estadística y valor promedio de la variable firmeza y diámetro del fruto.

Coeficiente de riego	Firmeza		Diámetro	
	newtons		(mm)	
0.86	6.583	a	17.79	b
1.00	6.710	a	18.99	ab
1.29	6.524	a	19.82	a
1.57	6.681	a	19.22	ab
Estadísticas				
P	0.904	NS	0.012	*
CV	6.78		5.26	

CV: coeficiente de variación * $P \leq 0.05$; NS: $P > 0.05$

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

Los resultados obtenidos en el experimento son menores comparados con Orozco *et al.* (2021) quienes obtuvieron valores de 8.20 N para una concentración Steiner del 100%.

Por otra parte, comparando los resultados con Tapia (2014) estos son muy similares, debido a que este encontró valores de 5.62 a 6.98 N, donde la fuente de variación fue la relación de amonio:nitrato.

5.3.2 Diámetro de fruto

El diámetro del fruto fue afectado significativamente por la acción de los tratamientos (Cuadro 7), el tratamiento con el diámetro mayor fue el de coeficiente de 1.29, mientras

que el coeficiente de 1.57 y 1.00 se comportaron de manera similar, el tratamiento más bajo fue el de coeficiente de 0.86.

Entre el valor más alto (19.82) y el más bajo (17.79) existe una diferencia del 10%.

Los resultados son ligeramente menores a los encontrados por Orozco *et al.* (2021) quienes encontraron valores de 20.48 a 20.66 mm, sin embargo son superiores a los encontrados por Sánchez (2019) quien encontró valores de 15.93 a 17.39 mm en plantas de uchuva inoculadas y sin inocular con *Fusarium oxysporum* sp. *Physali* y *Rhizoctonia solani*, y al igual que Pinzón *et al.* (2016) quienes obtuvieron valores de 12.9 a 18.02 mm en un cultivo de uchuva tratado con diferentes aplicaciones de cloruro de calcio.

Comportamiento del calibre del fruto durante la cosecha

El tamaño de los frutos a lo largo de la cosecha es de suma importancia, ya que determina el mercado al que será dirigido y por consecuencia el precio.

En el caso de la uchuva, los consumidores prefieren que el fruto sea de tamaño mediano a grande (18 a 22 mm), mientras que los frutos de tamaño pequeño son descartados y pasan a la industria de alimentos en donde son procesados para fabricar otros productos como mermeladas, jugos, frutos secos etc.

Calibre A

El tratamiento que tuvo el mayor porcentaje de frutos de calibre A durante la cosecha fue el de coeficiente de 0.86 con un promedio del 9.3%, mientras que los tratamientos con menor porcentaje fue el de 1.29 y 1.57 con el 3.9 y 4.7% (Figura 10).

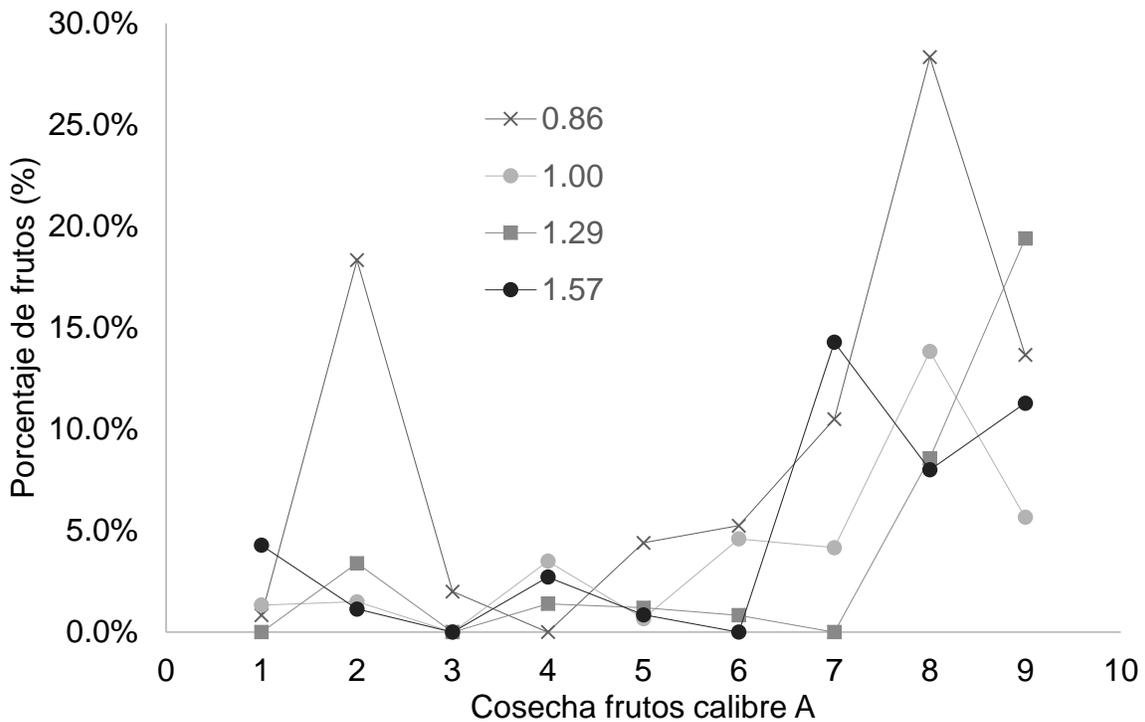


Figura 10. Porcentaje de frutos por planta del calibre A en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.

De manera general, el porcentaje de frutos de calibre A aumentó en las últimas 3 semanas, siendo el pico más alto en la semana 8.

Calibre B

El tratamiento que arrojó el mayor porcentaje de este calibre de fruto fue el tratamiento con el coeficiente de 0.86 con un promedio del 37%, para el caso de los tratamientos de 1.00, 1.29 y 1.57 fue de 22.9, 16.8 y 14.3% (Figura 11).

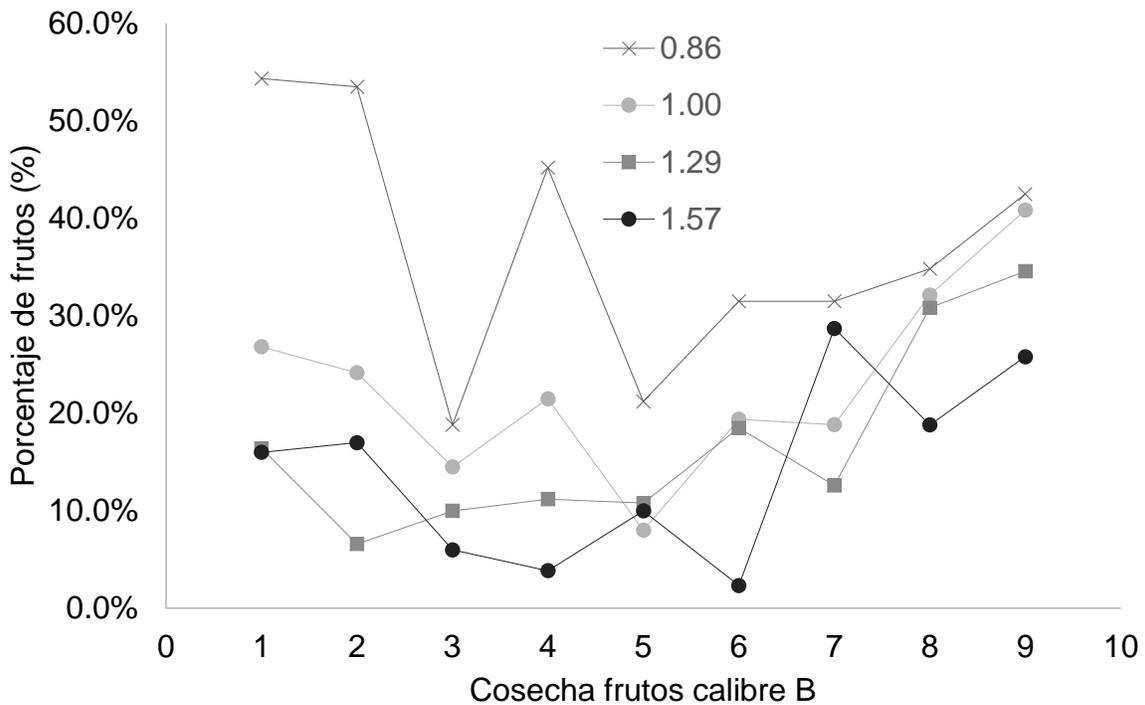


Figura 11. Porcentaje de frutos por planta del calibre B en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.

Para el caso de los frutos de calibre B, el menor porcentaje se presentó en las primeras 4 semanas para los tratamientos con coeficiente de 1.00, 1.29 y 1.57, mientras que para el tratamiento de 0.86 este calibre arrojó el mayor porcentaje en las primeras 4 semanas.

Calibre C

Para este tamaño de frutos el tratamiento que presentó el menor porcentaje de frutos fue el tratamiento con el coeficiente de 1.29, con el 27.3%.

Los tratamientos con coeficiente de 0.86, 1.00 y 1.57 tuvieron el 38.8, 39.7 y 37.4% respectivamente de frutos de calibre C (Figura 12).

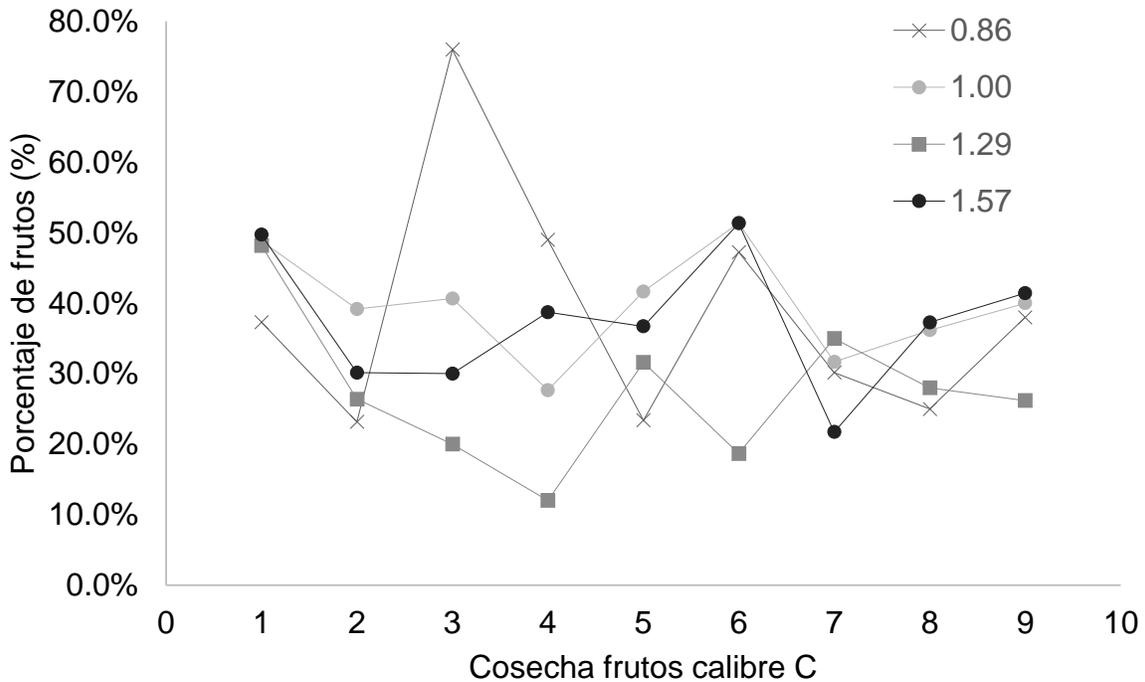


Figura 12. Porcentaje de frutos por planta del calibre C en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.

El porcentaje de frutos de este calibre fue el que presentó menor variación a lo largo de las 8 cosechas, teniendo como excepción un aumento en la semana 3 donde el tratamiento de 0.86 tuvo el 76% de frutos dentro de esta categoría.

Calibre D

El tratamiento del coeficiente de 1.29 fue el que tuvo el mayor porcentaje de frutos dentro de este calibre con un 42.7%, mientras que el tratamiento con el coeficiente de 0.86 tuvo el menor con el 13.8%. Los tratamientos de coeficiente de 1.00 y 1.57 tuvieron porcentajes similares que rondan en el 29.3 y el 32.1% de manera respectiva (Figura 13).

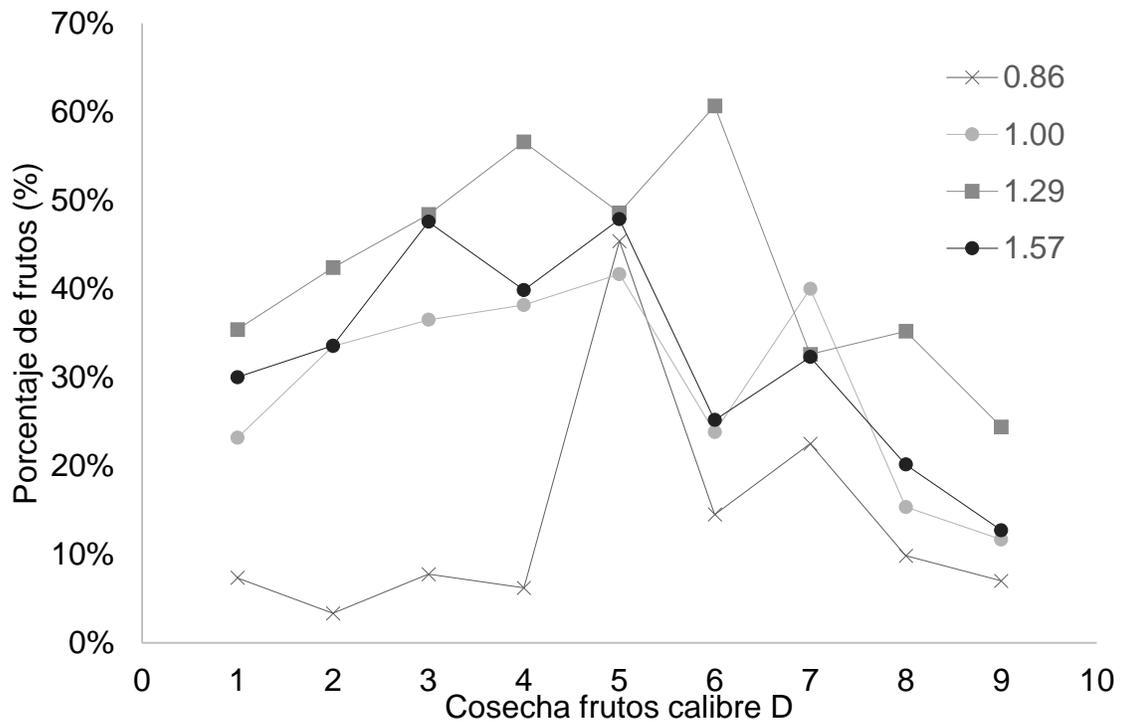


Figura 13. Porcentaje de frutos por planta del calibre D en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.

De manera general el calibre D se presentó con mayor frecuencia en las primeras 5 semanas, para después tener un comportamiento a la baja hacia la semana 9.

Calibre E

Para este calibre el tratamiento que tuvo un mayor porcentaje de frutos fue el de creciente de 1.29 con el 16.7%, mientras que el más bajo fue el tratamiento con el coeficiente de 0.86 con un promedio del 2.6%. el tratamiento con coeficiente de 1.00 y 1.57 se comportaron de manera similar al tener un promedio del 5.1 y 8.1% respectivamente (Figura 14).

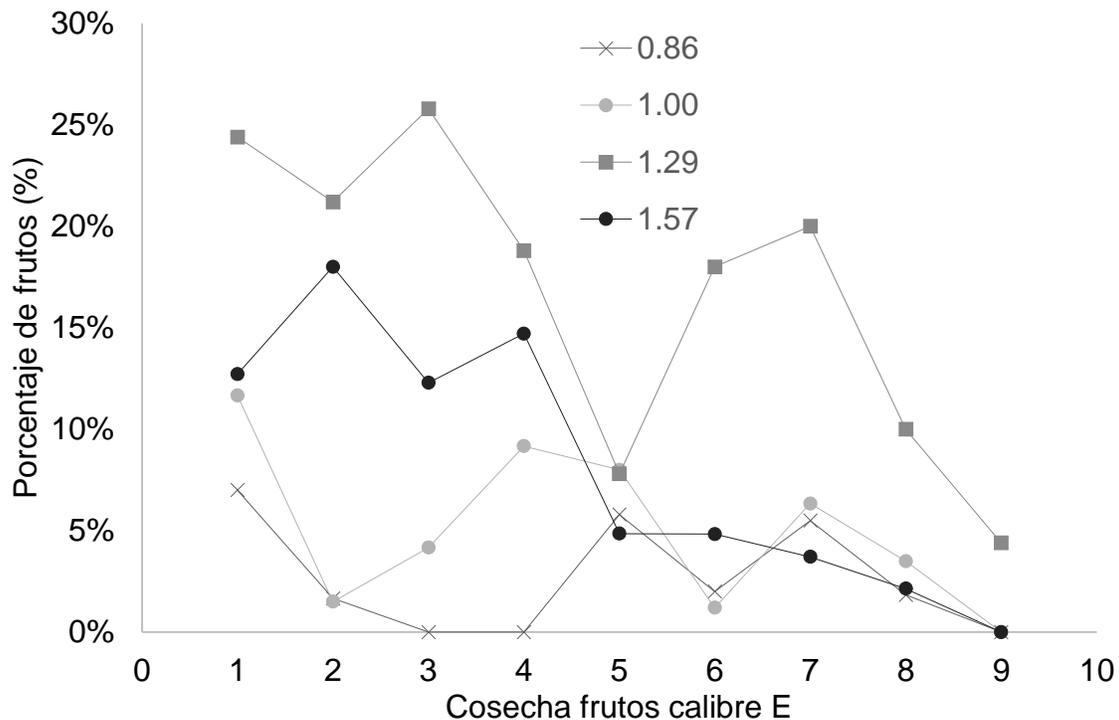


Figura 14. Porcentaje de frutos por planta del calibre E en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.

El comportamiento de este calibre fue el que tuvo una mayor variabilidad a lo largo de la cosecha. En el tratamiento de 0.86 el porcentaje de frutos de este calibre siempre se mantuvo por debajo del 7% en la que durante las semanas 3,4 y 9 no hubo frutos de este tamaño. El tratamiento con coeficiente de 1.00 no superó el 12% de frutos dentro de esta categoría. Para el caso de los tratamientos con coeficiente de 1.29 y 1.57 el mayor porcentaje de frutos dentro de este calibre se presentaron en las primeras 4 semanas, posteriormente se fueron reduciendo presentándose los menores porcentajes en la semana 9 de la cosecha.

5.3.3 °Brix

En esta variable no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Cuadro 8). Los frutos provenientes del tratamiento con coeficiente de 0.86 presentaron un valor de 13.96 °Brix siendo el más alto, por otro lado el tratamiento que arrojó el menor valor fue el de coeficiente 1.29 al dar un resultado de 13.3 °Brix.

Cuadro 8. Significancia estadística y valor promedio de la variable de grados Brix, Conductividad Eléctrica y pH del fruto.

Coeficiente de riego	Brix		CE del fruto		pH del fruto	
	°					
0.86	13.96	a	6.81	a	4.05	a
1.00	13.57	a	7.31	a	3.98	a
1.29	13.33	a	6.79	a	4.23	a
1.57	13.51	a	6.48	a	4.07	a
Estadísticas						
P	0.057	NS	0.226	NS	0.674	NS
CV	3.11		11.28		8.81	

CV: coeficiente de variación * $P \leq 0.05$; NS: $P > 0.05$

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

Los resultados entran dentro de los valores encontrados por Gastelum *et al.* (2013) y Orozco *et al.* (2021) quienes encontraron valores entre 12.30 a 16.90 °Brix en frutos de uchuva de la variedad Colombia.

En los tratamientos con menor coeficiente, 0.86 y 1.00 los grados Brix aumentaron con respecto al resultado obtenido para el tratamiento con coeficiente de 1.29 aunque no para establecer una diferencia estadística significativa, este comportamiento en el cual los grados Brix aumentan al disminuir el suministro de agua sigue la misma tendencia encontrada por Molina *et al.* (2015) en pera y por Parra *et al.* (2008) en manzana.

5.3.4 pH del jugo del fruto

El pH del jugo del fruto osciló entre 3.98 y 4.23, sin presentar diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 8).

Los valores se encuentran dentro del rango reportado por Gastelum *et al.* (2013) quienes encontraron valores de 3.7 a 4.5 con cuatro concentraciones de la solución Steiner, al igual que Orozco *et al.* (2021) quienes reportaron un valor de 4.07 para uchuva de la variedad Colombia.

El comportamiento de los valores concuerda con el obtenido por Erdem *et al.* (2006), quienes en el cultivo de sandía aplicaron 5 láminas de riego sin encontrar diferencias significativas en los valores de pH, dando un rango de 5.3 a 5.5.

5.3.5 Frutos rajados

El número total de frutos rajados por tratamiento sí presentó diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 9), el tratamiento con coeficiente de 1.29 el que dio 37 frutos rajados por planta, siendo el mayor, por otro lado, el que presentó menor número de frutos rajados fue el tratamiento con el coeficiente de 1.57 con 17 frutos acumulados.

Cuadro 9. Significancia estadística y valor promedio del número de frutos rajados.

Coeficiente de riego	Número de frutos rajados
0.86	26.0 ab
1.00	33.0 ab
1.29	37.0 a
1.57	17.0 b
Estadísticas	
P	0.019
CV	43.24

CV: coeficiente de variación * $P \leq 0.05$; NS: $P > 0.05$

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

Rajado del fruto a lo largo de la cosecha

El mayor porcentaje de rajado se presentó en las primeras tres cosechas, siendo los tratamientos con coeficiente de 0.86 y 1.00 los que presentaron el porcentaje más alto con el 50 y 51% (Figura 15).

El comportamiento del rajado al inicio de la cosecha concuerda con Gordillo *et al.* (2004), quienes encontraron en el cultivo de uchuva que el mayor porcentaje de rajado de los frutos se presentó en las primeras cosechas debido a que hay un menor número de frutos y estos tienden a ser más grandes.

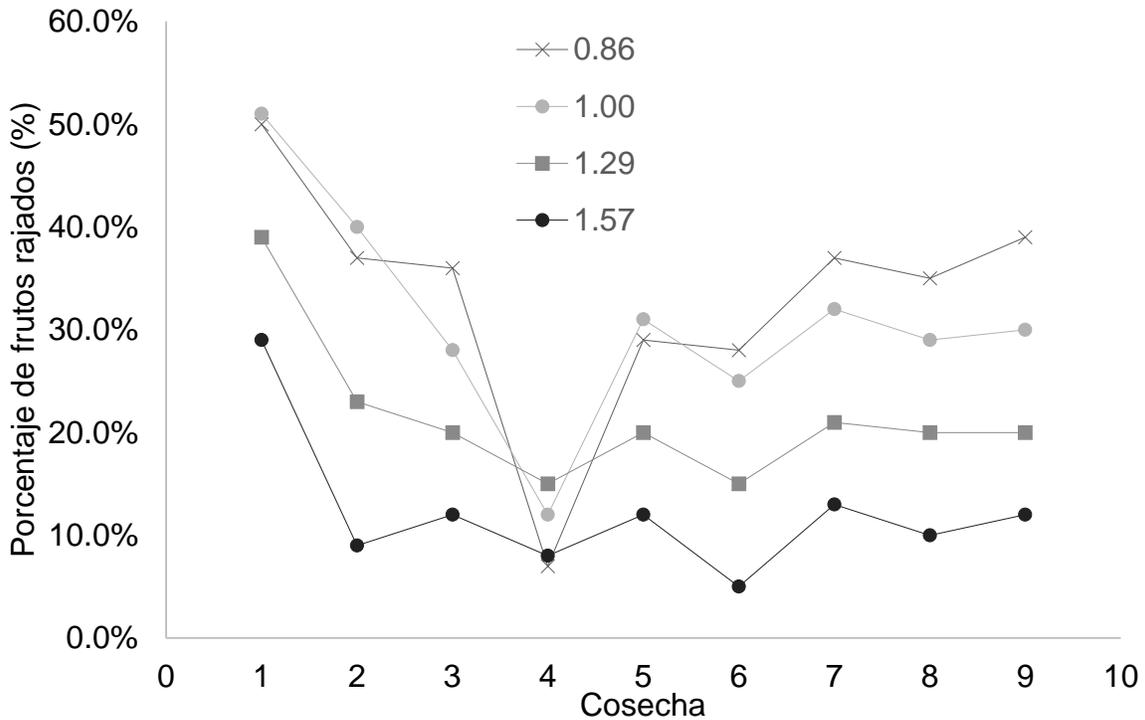


Figura 15. Porcentaje de frutos rajados por planta en las diferentes cosechas semanales para cada tratamiento.

Para la semana 4 hubo una disminucion considerable en el porcentaje de rajado de fruto para los tratamientos con coeficiente de 0.86 y 1.00, coincidiendo con la cosecha que le antecedió a la cosecha donde el número de frutos aumento de manera considerable.

El porcentaje de rajado de frutos a lo largo de la cosecha fue mayor en los tratamientos en los que se aplicó menor cantidad de agua, lo cual es similar a lo reportado por Álvarez *et al.* (2021) quienes aplicaron 4 láminas de riego en un cultivo de uchuva. Otra causa de que el mayor porcentaje de rajado se le puede atribuir a que durante las primeras semanas de cosecha la temperatura dentro del invernadero sobrepaso en varias ocasiones los 38 °C. Chaves y Gutiérrez (2017) mencionan que la planta al encontrarse en estrés por calor, dirige los asimilados que estaban destinados en un inicio al crecimiento y al rendimiento, hacia otras actividades que se vuelven críticas como la respiracion de mantenimiento, el ajuste osmótico y el crecimiento de raíces.

5.4 Productividad del agua

El volumen bruto aplicado acumulado por planta para los tratamientos con coeficientes de 0.86,1.00,1.29 y 1.57 fueron de 263, 301, 376 y 452 litros respectivamente para el periodo de trasplante a la semana 9 de cosecha (Cuadros 10, 11, 12 y 13).

Cuadro 10. Volúmenes de aplicación de agua del coeficiente 0.86.

Etapa	Aplicación de Agua			Días después de trasplante	
	DIARIO	PERIODO	ACUMULADO	PERIODO	ACUMULADO
	L pl ⁻¹ día ⁻¹	L pl ⁻¹	L pl ⁻¹		
Vegetativa	0.58	35.0	35.0	60	60
Desarrollo y Reproducción	1.17	116.7	151.7	100	160
Producción	1.87	112.0	263.7	60	220

Cuadro 11. Volúmenes de aplicación de agua del coeficiente 1.00.

Etapa	Aplicación de Agua			Días después de trasplante	
	DIARIO	PERIODO	ACUMULADO	PERIODO	ACUMULADO
	L pl ⁻¹ día ⁻¹	L pl ⁻¹	L pl ⁻¹		
Vegetativa	0.67	40.0	40.0	60	60
Desarrollo y Reproducción	1.33	133.3	173.3	100	160
Producción	2.13	128.0	301.3	60	220

Cuadro 12. Volúmenes de aplicación de agua del coeficiente 1.29.

Etapa	Aplicación de Agua			Días después de trasplante	
	DIARIO	PERIODO	ACUMULADO	PERIODO	ACUMULADO
	L pl ⁻¹ día ⁻¹	L pl ⁻¹	L pl ⁻¹		
Vegetativa	0.83	50.0	50.0	60	60
Desarrollo y Reproducción	1.67	166.7	216.7	100	160
Producción	2.67	160.0	376.7	60	220

Cuadro 13. Volúmenes de aplicación de agua del coeficiente 1.57.

Etapa	Aplicación de Agua			Días después de trasplante	
	DIARIO	PERIODO	ACUMULADO	PERIODO	ACUMULADO
	L pl ⁻¹ día ⁻¹	L pl ⁻¹	L pl ⁻¹		
Vegetativa	1.00	60.0	60.0	60	60
Desarrollo y Reproducción	2.00	200.0	260.0	100	160
Producción	3.20	192.0	452.0	60	220

Con los datos obtenidos del rendimiento (Cuadro 6) tenemos que la productividad para los tratamientos es de 1.2, 1.7, 2.3 y 1.7 kg m⁻³ (Cuadro 14).

El análisis de varianza para la productividad del agua, muestra que existen diferencias significativas. La prueba de comparación de medias indica que el mejor tratamiento con respecto a la productividad es el de coeficiente de 1.29, mientras que la menor productividad se obtuvo con el coeficiente de 0.86.

Cuadro 14. Significancia estadística y valor promedio de la variable de productividad.

Coefficiente de riego	Productividad kg m ⁻³	
0.86	1.2	b
1.00	1.7	ab
1.29	2.3	a
1.57	1.7	ab
Estadísticas		
P	0.033	*
CV	27.09	

CV: coeficiente de variación * P ≤ 0.05; NS: P > 0.05

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, p<0.05).

La productividad del tratamiento con el coeficiente de 1.29 es mayor por un 35% comparándolo con los tratamientos con coeficiente de 1.00 y 1.57, mientras para el tratamiento con el coeficiente de 0.86 es un 91% mayor. La productividad fue similar entre el tratamiento con coeficiente 1.00 y 1.57.

5.5 Función de producción para la optimización del agua de riego

Los rendimientos de frutos del cultivo de uchuva (Cuadro 15) fueron analizados de acuerdo con la metodología propuesta por (Palacios Vélez & Exebio García, 2012), formulando un modelo de función de producción, relacionando los rendimientos en fruta con los volúmenes de agua utilizados. Con lo cual es posible determinar los parámetros de la función que permiten optimizar el volumen de agua que maximiza el rendimiento en fruto, así como estimar la productividad del recurso agua.

Cuadro 15. Rendimientos observados en las repeticiones del experimento.

Unidad experimental	Coeficiente de riego	Rendimiento por planta	Agua aplicada por planta
		kg	m ³
1	1.57	0.938	0.452
2	1.29	0.748	0.377
3	1.29	0.818	0.377
4	1.00	0.709	0.301
5	1.57	0.816	0.452
6	1.57	0.565	0.452
7	1.57	0.765	0.452
8	1.00	0.439	0.301
9	1.00	0.457	0.301
10	0.86	0.306	0.264
11	1.00	0.402	0.301
12	0.86	0.239	0.264
13	1.57	0.791	0.452
14	0.86	0.311	0.264
15	1.29	0.951	0.377
16	1.57	0.575	0.452
17	1.00	0.437	0.301
18	0.86	0.202	0.264
19	0.86	0.394	0.264
20	1.00	0.642	0.301
21	1.29	0.992	0.377
22	0.86	0.379	0.264
23	1.57	0.780	0.452
24	1.29	0.772	0.377

Se analizaron varios modelos matemáticos de funciones de respuesta para encontrar la ecuación que mejor ajusta estadísticamente el comportamiento del fruto en función del recurso agua, utilizando la técnica de regresión y analizando el r^2 y el cv. En el análisis de regresión se utilizó el algoritmo de la CURVAEXPERT, que permite calcular los parámetros sin necesidad de ajustarlos debido al error estadístico.

La ecuación cuadrática que representa la función, con r^2 de 0.78 es:

$$Y = -30.562x^2 + 24.36x - 4.0133 \quad (1)$$

Donde: Y es el rendimiento en kg; x representa el volumen de agua aplicado en m^3 .

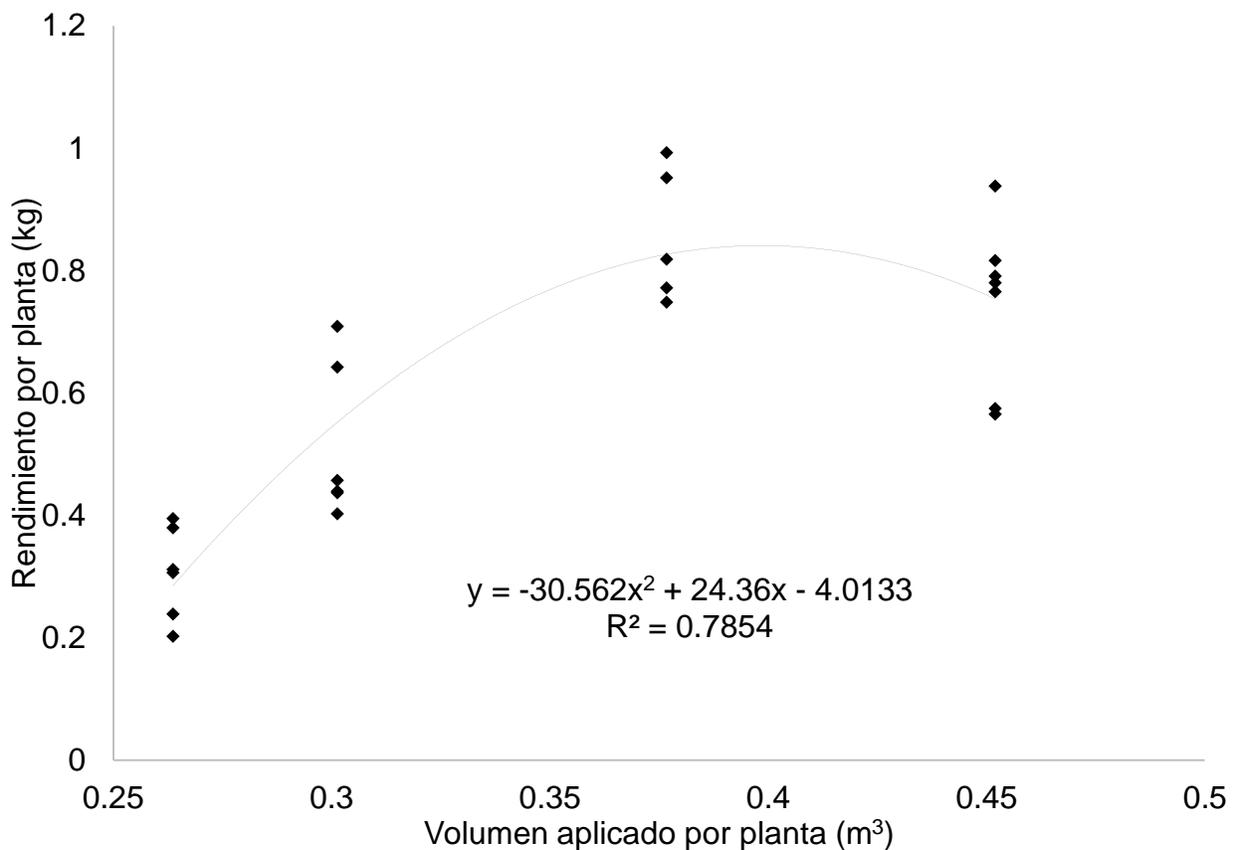


Figura 16. Función de producción que relaciona el rendimiento del cultivo de uchuva y el agua aplicada por planta.

Palacios y Exebio (2012) mencionan que deben existir dos condiciones suficientes para encontrar el valor óptimo del volumen de agua para maximizar el rendimiento en fruto, las cuales son:

1. Que la primera derivada de la función se iguale a cero, despejando el valor de la variable independiente y encontrar su valor del volumen de agua.
2. Que la segunda derivada de la función sea negativa, al reemplazar el valor obtenido del volumen en la primera derivada en la segunda.

En la Ecuación 1, se determinó la primera derivada con respecto al volumen de agua aplicado, para posteriormente igualarla a cero, y encontrar el valor óptimo de x.

$$\frac{\partial Y}{\partial x} = -(2)30.562x + 24.36 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial x} = -61.124x + 24.36 = 0 \quad (3)$$

$$x = 0.398 \text{ m}^3 \quad (4)$$

En este caso, la segunda derivada es negativa, por lo tanto, existe condición suficiente para esperar un valor óptimo de la lámina de riego.

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} = -61.124 \quad (5)$$

Sustituyendo el valor de x en la Ecuación 1, se tiene que el rendimiento máximo de frutos por planta es de $Y = 0.840$ kg.

$$Y = -30.562(0.398)^2 + 24.36(0.398) - 4.0133 \quad (6)$$

$$Y = 0.840 \text{ kg} \quad (7)$$

De acuerdo con los valores se observa que al realizar una aplicación de 0.398 m^3 de agua a la planta se tendrá como resultado un rendimiento de 0.840 kg en 9 semanas de cosecha, equivalente a $3\,780 \text{ kg ha}^{-1}$.

Como se puede observar en la función de producción y el valor del volumen que maximiza la producción de la planta, concuerda con los valores reportados en el cuadro

del análisis de varianza de rendimiento reportado en el numeral 6.2.1 del documento, en donde se puede observar el comportamiento del rendimiento conforme el volumen de agua aplicado aumenta.

6. CONCLUSIONES

El rendimiento del cultivo fue afectado por los tratamientos, observando un incremento al aplicar una mayor cantidad de agua a las plantas. El coeficiente de riego de 1.29 es el más adecuado para conseguir el mayor rendimiento del cultivo.

Las características de calidad (firmeza del fruto, °Brix, y pH del jugo del fruto) no fueron afectadas a consecuencia de la aplicación de los tratamientos, al conservar sus valores de manera constante.

El número de frutos rajados fue afectado por el régimen hídrico, sufriendo un aumento considerable al incrementarse la aplicación de agua hasta cierto nivel, para después descender en el tratamiento de mayor cantidad de agua aplicada por lo que la hipótesis no se cumple. El porcentaje de rajado mayor se presentó en las primeras tres cosechas.

La función de producción generada fue un polinomio de segundo grado y respondió a la ley de los incrementos decrecientes con lo que se acepta la hipótesis de trabajo.

7. LITERATURA CITADA

- Aguilar Carpio , C., Juárez López, P., Campos Aguilar , I. H., Alia Tejacal, I., Sandoval Villa, M., & López Martínez, V. (2018). Análisis de crecimiento y rendimiento de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivada en hidroponía e invernadero. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 24(3), 191-202.
- Alarcón Vera, A. L. (2001). El boro como nutriente esencial. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*(155), 36-47.
- Al-Jamal, M., W. Sammis, T., Sarah, B., & Daniel, S. (2000). Computing the crop water production function for onion. *Agricultural Water Management*, 46(1), 29-41.
- Álvarez Herrera , J., Fischer, G., & Vélez, J. E. (2021). Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cosechas en invernadero con diferentes láminas de riego. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(174), 109-121.
- Anschütz, U., Becker, D., & Shabala, S. (2014). Going beyond nutrition: Regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 670-687.
- Asociación Nacional de Comercio Exterior. (2021). *Informe de las exportaciones de uchuva 2021*. Dirección de Asuntos Económicos . Obtenido de <https://www.analdex.org/>
- Balaguera López, H. E., Martínez C., C. A., & Herrera Arévalo, A. (2014). Papel del cáliz en el comportamiento poscosecha de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 181-191.
- Bryla, D. R., & Linderman, R. G. (2007). Implications of Irrigation Method and Amount of Water Application on Phytophthora and Pythium Infection and Severity of Root Rot in Highbush Blueberry. *HortScience*, 42(6), 1463-1467.
- Cabezas , M., & Sánchez, C. A. (2008). Efecto de las deficiencias nutricionales en la distribución de la materia seca en plantas de vivero de. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 197-204.
- Calvo Villegas, I. (01 de Noviembre de 2009). *Ministerio de agricultura y ganadería de Costa Rica*. (P. M. Pacayas, Editor) Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0984.pdf>
- Carrasco Choque, F. (2016). Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli, periodo 1997 - 2014. *Comuni@cción*, 7(2), 38-47.

- Chaves Barrantes, N., & Gutiérrez Soto, M. V. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 237-253.
- Cooman, A., Torres, C., & Fischer, G. (2005). Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta. II. Efecto de la oferta de calcio, boro y cobre. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 74-82.
- Deaquiz, Y. A., Álvarez Herrera, J. G., & Pinzón Gómez, L. (2014). Efecto de diferentes láminas de riego sobre la producción y calidad de fresa (*Fragaria* sp.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 192-205.
- Díaz Vázquez, S. G. (2012). *Efecto de la radiación en el desarrollo fenológico, rendimiento y calidad en policultivo: chile, jitomate, maíz, frijol y amaranto en condiciones de invernadero*. Obtenido de Tesis de Maestría.
- Duque, A., Giraldo, G., & Quintero, V. (2011). Caracterización de la fruta, pulpa y concentrado de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Temas Agrarios*, 16(1), 75-83.
- El Sheikha, A., Saki, M., Bakr, A., & Montet, D. (2010). Biochemical and sensory quality of physalis (*Physalis Pubescens* L.) juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34, 541-555.
- Erdem, Y., Erdem, T., Orta, A., & Okursoy, H. (2006). Irrigation scheduling for watermelon with crop water stress index (CWSI). *Journal of Central European Agriculture*, 6(4), 449-460.
- Espinoza Rodríguez, M., Sandoval Villa, M., García Cruz, E., Antúnez Ocampo, Ó., Pérez Pacheco, R., & Sabino López, J. E. (12 de 11 de 2020). El mercado de la uchuva en México. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1-14. doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2228>
- Etchevers Barra, J. (1999). Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 209-219.
- Fallahi, E., Neilsen, D., Neilsen, G. H., Fallahi, B., & Shafii, B. (2010). Efficient Irrigation for Optimum Fruit Quality and Yield in Apples. *HortScience horts*, 45(11), 1616-1625.
- Fernández, A., Agnetti, C., Baez, J., da Silva Lannes, S. C., & Medrano, A. (2020). La importancia de los alimentos en tiempos de COVID-19. *La Alimentación Latinoamericana*(349), 6-23.
- Fernández, M. T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 41(2), 51-57.
- Fernández, M., Gallardo, M., Thompson, R., & Magán, J. (2007). Productividad del agua en cultivos bajo invernadero en la costa. *Vida Rural*(259), 48-51.

- Fischer, G., Almazán Merchán , P. J., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal*, 36(1), 1-15.
- Fisher, G., & Martínez, O. (1999). Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agronomía Colombiana*, 16(1-3), 35-39.
- Fisher, G., Almanza Mechán, P. J., & Miranda , D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 01-15.
- Fuentes Carvajal, A., Véliz, J. A., & Imery Buiza , J. (2006). Efecto de la deficiencia de macronutrientes en el desarrollo vegetativo de aloe vera. *Interciencia*, 31(2), 116-122.
- Garzón Acosta , C. P., Villareal Garzón, D. M., Fisher, G., Herrera, A. O., & Sanjuanelo, D. W. (2014). La deficiencia de fósforo, calcio y magnesio afecta la calidad poscosecha del fruto de uchuva (*Physalis Peruviana* L.). *FRUITS. Acta Hortic.* 1016, 83-88.
- Gastelum Osorio, D. A., Sandoval Villa , M., Trejo López, C., & Castro Brindis, R. (2013). Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de futos de *Physalis peruviana* L. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(2), 197-210.
- González Robaina, F., Herrera Puebla, J., López Seijas, T., & Cid Lazo, G. (2011). Productividad agronómica del agua. *Revista Ingeniería Agrícola*, 1(2), 76-81.
- González Robaina, F., Herrera Puebla, J., López Seijas, T., Cid Lazo, G., Dios-Palomarez, R., Hernández Rueda, M., . . . Romero Soza, A. (2015). Uso de las Funciones Agua-Rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1), 95-114.
- Gordillo, O. P., Fischer, G., & Guerrero, R. (2004). Efecto del riego y de la fertilización sobre la incidencia del rajado en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Silvania (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana*, 22(1), 53-62.
- Guevara Collazos, A. J., Villagran Muran, E. A., Velasquez Ayala, F. A., & González Velandia , K. D. (2019). Evaluación del comportamiento poscosecha de uchuva provenientes de sistemas de producción convencionales y agroecológicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1273-1285.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. (1999). *Frutas frescas: uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580*. Bogotá, Colombia.
- Lanchero, O., Velandia, G., Fischer, G., Varela, N. C., & García , H. (2007). Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 61-68.

- Marín A., Z. T., Cortes R., M., & Montoya C., O. (2010). Uchuva (*Physalis peruviana* L.) Ecotipo Colombia, mínimamente procesada inoculada con la cepa nativa (*Lactobacillus plantarum*) LPBM10 mediante la técnica de impregnación a vacío. *Rev Chil Nutr*, 37(4).
- Martínez González, M. E., Baolis Morales , R., Alia Tejacal, I., Cortes Cruz, M. A., Palomillo Hermsillo, Y. A., & López Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*(19), 4075-4087.
- Martínez, F. E., Sarmiento , J., Fisher, G., & Jiménez, F. (2009). Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*, 27(2), 169-178.
- Martínez, F., Sarmiento , J., Fisher, G., & Jiménez, F. (2008). Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*, 26(3), 389-398.
- Mattias Retting , K., & Ah Ken, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2), 57-66.
- Medrano, H., Bota , J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas Carbó, M., & Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*(43), 63-84.
- Mengel , K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición Vegetal* (4° ed.). (R. J. Melgar, Trad.) Basilea, Suiza: Insituto Internacional del Potasio.
- Molina Ochoa , M. J., Vélez Sánchez, J. E., & Galindo Egea, A. (2015). Resultados preliminares del efecto del riego deficitario durante el periodo de crecimiento rápido del fruto de pera var. Triunfo de Viena) en la producción y calidad del fruto. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 38-45.
- Mora Aguilar, R., Peña Lomeli, A., López Gaytán, E., Ayala Hernández, J. J., & Ponce Aguirre, D. (2006). Agrofenología de *Physalis peruviana* L. en invernadero y fertirriego. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(1), 57-63.
- Moreno F., L. P. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 179-191.
- Muñoz Arboleda, F. (2009). Importancia del agua en la nutrición de los cultivos. *Carta Trimestral. Cenicaña*, 3(3-4), 16-18.
- Novoa, R. H., Bojacá , M., Galvis, J. A., & Fischer , G. (2006). La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12 °C (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*, 24(1), 77-86.
- Orozco Balbuena, D., Sandoval Villa , M., Rodríguez Mendoza, M., & Antúnez Ocampo , O. M. (2021). Phenology of Four Varieties of Gooseberry (*Physalis peruviana* L.)

- in Greenhouses and Hydroponics for its Commercial Production in Mexico. *Agro Productividad*, 14(3), 3-9.
- Ou, X., Li, T., Zhao, Y., Chang, Y., Wu, L., Chen, G., . . . Jiang, K. (2022). Calcium-dependent ABA signaling functions in stomatal immunity by regulating rapid SA responses in guard cells. *Journal of Plant Physiology*, 268.
- Palacios Vélez , E., & Exebio García, A. A. (2012). *La operación de los sistemas de riego con apoyo de las técnicas de información*. Texcoco, México: Colegio de Postgraduados.
- Parra Quezada, R., Robinson , T. L., Osborne, J., & Parra Bujanda, L. B. (2008). Water deficit and crop load effects on yield and fruit quality of apple . *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(1), 49-54.
- Pássaro Carvalho, C. P., & Moreno, D. (2014). *Physalis peruviana L.: FRUTA ANDINA PARA EL MUNDO* (1ª Edición ed.). España; Colombia: LIMENCOP S.L., Alicante, España. Recuperado el 21 de 12 de 2021
- Pássaro Carvalho, C. P., & Moreno, D. A. (2014). *Physalis Peruviana L.: Fruta andina para el mundo* (1º Edición ed.). España: LIMENCOP S.L., Alicante, España.
- Pinzón Sandoval, E. H., Reyes , A. J., & Álvarez Herrera , J. G. (2016). Efecto del cloruro de calcio sobre la calidad del fruto de uchuva (*Physalis peruviana L.*). *Ciencia y Agricultura*, 13(2), 7-17.
- Porro, D., Ramponi, M., Tomasi, T., Rolle, L., & Poni, S. (2010). Nutritional implications of water stress in grapevine and modifications of mechanical properties of berries. *Acta Horti*, 868, 73-80.
- Puente , L. A., Pinto Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés , M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733-1740.
- Quintal Ortíz, W. C., Pérez Gutierrez , A., Latournerie Moreno, L., May Lara, C., Ruiz Sánchez, E., & Martínez Chacón , A. J. (2012). Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*). *Revista fitotecnia mexicana*, 35(2), 155-160.
- Reyes Alemán, M., Mora, O. F., Morales Rosales, E. J., & Pérez López , D. (2017). Influencia del magnesio y zinc en la altura de planta y verdor de hojas en *Lilium*. *Investigación y Ciencia*, 25(70), 31-37.
- Reyes Esteves, R. G. (2019). Modelación de la humedad del suelo para garantizar profundidad y espaciamiento adecuados mediante riego por goteo subterráneo en alfalfa. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 11(1), 69-79.

- Rodríguez Delfín , A., Posadas, A., & Quiroz, R. (2014). Rendimiento y absorción de algunos nutrimentos en plantas de camote cultivadas con estrés hídrico y salino. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(1), 19-28.
- Rodríguez Pérez, L. (2006). Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 28-37.
- Ruiz Espinoza , F. H., Marrero Labrador, P., Cruz La Paz, O., Murillo Amador, B., & García Hernández, J. L. (2008). Influencia de los factores agroclimáticos en la productividad de albahaca (*Ocimum basilicum* L .) en una zona árida de Baja California Sur, México. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(1), 44-47.
- Sabino López, J. E., Sandoval Villa, M., Alcántar González, G., Ortiz Solorio, C., Vargas Hernández, M., & Colinas León , T. (2018). Fecha de trasplante, boro, potasio y poda en la producción de frutos de *Physalis peruviana* L. en hidroponía e invernadero. *Agrociencia*, 52(2), 255-265.
- Salazar Moreno, R., Rojano Aguilar, A., & López Cruz, I. L. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(2), 177-183.
- Sánchez Aguilar , A. B. (2019). Manejo de *Fusarium oxysporum* sp. *physali* y *Rhizoctonia solani* en *Physalis peruviana* L. mediante nutrición mineral. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Fisiología Vegetal. Colegio de Postgraduados. 107 p.
- Sánchez Díaz, M., & Aguirreola, J. (2013). Absorción de agua por la raíz y transporte por el xilema. Balance hídrico de la planta. En J. Azcón Bieto, & M. Talón , *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (2° ed., págs. 57-79). Madrid, España: McGRAW-HILL.
- Sanz Miguel, M. Á., Blanco Braña, Á., Monje Pacheco, E., & Val Falcón, J. (2001). Caracterización de la deficiencia de calcio en plantas de tomate utilizando parámetros fisiológicos. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*, 97(1), 26-38.
- Selles Van Sch, G., & Ferreyra E., R. (2000). El agua. Por que es tan importante para las plantas. *Tierra Adentro*(34), 18-21.
- Shafiq, I., Hussain, S., Raza, M. A., Iqbal, N., Asghar, M., Raza, A., . . . Yang, F. (2021). Crop photosynthetic response to light quality and light intensity. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(1), 4-23.
- Sieiro Miranda , G., González Marrero, A. N., Rodríguez Lema, E. L., & Rodríguez Regal, M. (2020). Efecto de los macroelementos primarios en la susceptibilidad a enfermedades. *Centro Agrícola*, 47(3), 66-74.
- Silvia, A. Z., Anderson, F. W., Nowaki, R. H., Arthur Bernardes, C. F., & Mendoza-Cortez, J. W. (2017). Síntomas de deficiencia de macronutrientes en pimiento (*Capsicum annum* L.). *Agrociencia Uruguay*, 21(2), 31-43.

- Tapia Castro , A. (2014). Influencia del ambiente y manejo sobre la morfología, rendimiento y calidad de *Physalis peruviana* L. Tesis de Mestría en Ciencias. Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados. 78 p.
- Tarkalson, D. D., King, B. A., & Bjorneberg, D. L. (2022). Maize grain yield and crop water productivity functions in the arid Northwest U.S. *Agricultural Water Management*, 264.
- Thing-Shao, C., Yung-Yang, C., Wen-Dar, H., Chwan-Yang, H., & Ching-Huei, K. (2011). Effect of magnesium deficiency on antioxidant status and cadmium toxicity in rice seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 168(10), 1021-1030.
- Torres, C., Cooman, A., & Fischer, G. (2004). Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva. *Agronomía Colombiana*, 22(2), 140-146.
- Tretyn, A., Czaplewska, J., Cymerski, M., Kopcewicz, J., & Kendrick, R. E. (1994). The Mechanism of Calcium Action on Flower Induction in *Pharbitis nil*. *Journal of Plant Physiology*, 144(4-5), 562-568.
- Vargas Biesuz, B. (2014). La Función de producción COBB - DOUGLAS. *Fides Et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 8(8), 67-74.
- Véry, A. A., Nieves Cordones, M., Daly, M., Khan, I., Fizames, C., & Sentenac, H. (2014). Molecular biology of K⁺ transport across the plant cell membrane: What do we learn from comparison between plant species? *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 748-769.
- Yepes, A., & Silveira Buckeridge, M. (2011). Respuestas de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (Revisión). *Colombia Forestal*, 14(2), 213-232.
- Zwart, S., & Bastiaanssen, V. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2), 115-133.