

Artículo original

## Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cosechas en invernadero con diferentes láminas de riego

### Analysis of the production of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in the greenhouse with different irrigation levels during the harvest cycle

✉ Javier Álvarez-Herrera<sup>1</sup>, ✉ Gerhard Fischer<sup>2,\*</sup>, ✉ Javier Enrique Vélez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

<sup>2</sup> Consultor independiente, Investigador emérito de Colciencias, Bogotá, Colombia

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

## Resumen

La demanda de frutas exóticas, entre ellas la uchuva, se ha venido incrementando debido a sus excelentes propiedades nutricionales y sus altos contenidos de vitaminas A, B y C y de minerales como el calcio, el hierro y el fósforo, ideales para fortalecer el sistema inmunitario. Los frutos de la uchuva tienden a rajarse, por lo que debe suministrárseles agua en cantidades adecuadas. No se conoce el efecto de dicho riego bajo condiciones de invernadero, por lo que se evaluó su manejo en el marco de un diseño completamente al azar utilizando cuatro láminas de riego (0,7, 0,9, 1,1 y 1,3 de la evaporación del tanque de clase A) y nueve repeticiones, es decir, 36 unidades experimentales. Las plantas se cultivaron en materas de 20 L con sustrato de turba rubia. Con la lámina de riego de 1,3 se obtuvo el mayor número de frutos y la mayor producción por planta a partir de la tercera recolección quincenal en el ciclo de las cosechas. La producción en invernadero fue menor cuando las plantas se sometieron a estrés hídrico (láminas de riego de 0,7 y 0,9) y debido a las altas temperaturas bajo cubierta. En las últimas cosechas la cantidad de frutos pequeños fue la más abundante. La relación entre cáliz y fruto aumentó conforme avanzó el ciclo de las cosechas. Independientemente de la lámina de riego, cuanto mayor era el tamaño del fruto, mayor la incidencia del rajado.

**Palabras clave:** Solanaceae; Fruta exótica; Tamaño de fruto; Masa fresca; Rajado de fruto; Relación cáliz/fruto.

## Abstract

The demand for exotic fruits has been increasing due to their excellent nutritional properties. One of these is the Cape gooseberry, which has high contents of vitamins A, B, and C, as well as minerals such as calcium, iron, and phosphorous, ideal for strengthening the immune system. Cape gooseberry fruits tend to crack and, therefore, they must have an adequate supply of water. However, the effect of water supply on their production in greenhouse conditions during the harvest periods is not well known. Given the importance of irrigation management to produce Cape gooseberries, we used four irrigation levels in a completely randomized design (0.7, 0.9, 1.1, or 1.3 of the evaporation of a class A tank) with nine repetitions representing 36 experimental units. Plants were grown in 20 L pots using blonde peat as a substrate. The irrigation level of 1.3 generated the highest number of fruits and the highest production per plant as from the third biweekly harvest. The production decreased when the plants were subjected to water stress (water levels of 0.7 and 0.9) under the high temperatures of protected cultivation. In the last harvests, small fruits were the most abundant. The calyx/fruit ratio increased as the harvest cycles progressed. Regardless of the irrigation level, the larger the fruit, the greater the incidence of its cracking.

**Keywords:** Solanaceae; Exotic fruit; Fruit size; Fresh weight; Fruit cracking; Calyx/fruit ratio.

**Citación:** Álvarez-Herrera J, Fischer G, Vélez JE. Análisis de la producción de uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante el ciclo de cosechas en invernadero con diferentes láminas de riego. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 45(174):109-121, enero-marzo de 2021. doi: <https://doi.org/10.18257/racefyn.1239>

**Editor:** Elizabeth Castañeda

**\*Correspondencia:**

Gerhard Fischer; [gerfischer@gmail.com](mailto:gerfischer@gmail.com)

**Recibido:** 18 de junio de 2020

**Aceptado:** 3 de noviembre de 2020

**Publicado:** 29 de marzo de 2021



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

## Introducción

El mercado mundial de frutas tropicales frescas es cada vez más importante (**Moreno-Miranda, et al., 2020**), sobre todo la de aquellas como la uchuva debido a sus excelentes propiedades nutricionales y su alto contenido de vitaminas A, B y C y de minerales como el calcio, el hierro y el fósforo (**Fischer, et al., 2014**), ideales para fortalecer el sistema inmunitario, especialmente frente a enfermedades respiratorias. Según **Agronet (2020)**, en Colombia el área sembrada del cultivo de uchuva aumentó entre el 2010 y 2018 de 745 a 1.311 ha, aunque el rendimiento tendió a disminuir, pues pasó de 16,1 a 12,3 t ha<sup>-1</sup>, lo que constituye una reducción del 23,63 %, probablemente por la falta de agua, el manejo inadecuado de la fertilización y los excesivos costos del control de plagas y enfermedades, lo que dificulta las aplicaciones oportunas, así como los problemas de calidad de los frutos como el cuarteamiento (**Fischer & Melgarejo, 2020; Fischer & Miranda, 2012**).

Las condiciones del clima y el suelo en el sitio de cultivo y el manejo de la plantación afectan el desarrollo de la planta, la duración de los estados fenológicos, y los periodos y el volumen de la cosecha (**Fischer, et al., 2018, 2016**). Además, en la última década la variación del clima y el cambio climático perturban el crecimiento y la producción de las plantas cultivadas con un gran impacto en la seguridad alimentaria (**Dhankher & Foyer, 2018**). Asimismo, en la reducción de los rendimientos de la uchuva en Colombia ha contribuido en gran medida la incidencia de *Fusarium oxysporum* (**Villareal-Navarrete, et al., 2017**). En este contexto, el estudio de los cultivos bajo condiciones en las que hay control de los factores ecofisiológicos, como el agua, es de suma importancia (**Aldana, et al., 2014; Sánchez-Reinoso, et al., 2019; Cleves, et al., 2016**), especialmente en las zonas andinas altas, donde se concentra la producción de uchuva y el nivel del calentamiento global tiende a ser más acusado que en las zonas tropicales más bajas (**Marengo, et al., 2011**).

La planta de uchuva se desarrolla como un semiarbusto semiperenne y su hábito de crecimiento es indeterminado, es decir, las fases vegetativas y reproductivas se traslapan (**Ramírez, et al., 2013**), llegando a alturas entre 1 y 1,5 m. Toda la parte aérea de la planta desarrolla una densa pubescencia, especialmente en las hojas, que son simples, corazonadas y alternas (**Fischer & Melgarejo, 2020**). Las flores solitarias desarrollan una corola tubular amarilla, en tanto que el cáliz que cubre el fruto durante todo su desarrollo consta de cinco sépalos persistentes (similares a hojas modificadas) (**Nocetti, et al., 2020**), de unos 4 a 5 cm de largo, los cuales protegen el fruto contra plagas, la luz UV, la lluvia, el granizo y las temperaturas bajas y se transforman en una cáscara translúcida a medida que el fruto alcanza su madurez (**Fischer & Miranda, 2012**), pues transfieren sus carbohidratos al fruto (**Fischer, et al., 2015**). El fruto de la uchuva es botánicamente una baya de color amarillo anaranjado cuando está maduro, un diámetro entre 1,25 y 2,5 cm y un peso entre 4 y 10 g, y contiene hasta 350 semillas (**Fischer, et al., 2007; Fischer & Melgarejo, 2020**).

En los cultivos comerciales y bajo las condiciones agroecológicas ideales, los frutos de uchuva necesitan entre 60 y 80 días para madurar (**Ramírez, et al., 2013**) y una vez el cáliz del fruto se torna amarillo, se cosecha. Esta recolección es constante y puede alcanzar entre 12 y 18 meses dependiendo del ambiente agroecológico (**Fischer, et al., 2014**). **Angulo (2005)** evaluó la producción de plantas de uchuva en invernadero y a campo abierto y encontró que, a lo largo de 40 semanas, la mayor producción se presentó en el invernadero (1,3 kg/planta) y la cosecha alcanzó su máximo a las 17 semanas, en tanto que a campo abierto la producción comenzó ocho semanas después y llegó a su máximo en la semana 23 (1,0 kg/planta). Asimismo, **Fischer, et al. (2007)** encontraron que los máximos de producción a lo largo del ciclo de cosecha eran menores en zonas frías que en lugares donde la temperatura es más alta. **Gordillo, et al. (2004)**, por su parte, probaron diferentes láminas de riego en el cultivo de uchuva y encontraron que con un mayor coeficiente de riego (1,2) aumentó el rendimiento de frutos por planta independientemente de los diferentes tratamientos de fertilización aplicados, en tanto que bajo condiciones de invernadero y con un coeficiente de riego neto de 1,3 y 100 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, tanto la producción como el porcentaje de frutos cuarteados disminuyeron (**Álvarez, et al., 2015**).

Álvarez, *et al.* (2012, 2014) encontraron que los frutos de uchuva se cuartejan menos con un adecuado suministro de agua. No se conoce el efecto de este factor en la producción de uchuva durante todo el ciclo de las cosechas en plantas sembradas en invernadero, pero sí se sabe que de todos los recursos que una planta exige para su crecimiento, su desarrollo y sus funciones, el agua es lo más importante (Taiz, *et al.*, 2015), por lo que un déficit hídrico reduce tanto la actividad meristemática como el alargamiento radicular, lo cual afecta el crecimiento y la producción de la planta y la calidad de los frutos (Vélez & Álvarez, 2012).

En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes láminas de riego en la producción y el cuarteamiento de los frutos de uchuva durante el ciclo de las cosechas, información que es muy importante para tomar decisiones sobre el manejo del cultivo, con el propósito de incrementar la producción y la calidad de los frutos.

## Materiales y métodos

El experimento se desarrolló en un invernadero de cubierta plástica de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, ubicado a una altitud de 2.556 m s.n.m. La temperatura promedio del invernadero fue de 18 °C y la humedad relativa de 60 %.

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos mediante el uso de sendas láminas de riego con coeficientes netos de 0,7, 0,9, 1,1 y 1,3 de la evaporación de un tanque evaporímetro de clase A. Cada tratamiento se repitió nueve veces, es decir, hubo 36 unidades experimentales (UE). Cada UE estaba compuesta por dos plantas de uchuva para un total de 72 plantas, las cuales se sembraron en materas de 32 cm de diámetro y 36 cm de profundidad. El sustrato utilizado fue turba rubia.

Se sembró material vegetal de la especie *Physalis peruviana* L., ecotipo Colombia. Las plantas, propagadas por semilla, se trasplantaron a las 16 semanas a una distancia de 2 m entre plantas y 2 m entre surcos, y se realizaron las labores tradicionales (manejo fitosanitario, podas y cosecha) que se aplican en los cultivos comerciales de las zonas productoras. Para la fertilización se aplicaron dosis (en kg ha<sup>-1</sup>) de 150 de N, 220 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150 de K<sub>2</sub>O, 60 de MgO, 40 de S, 1 de B, 3 de Zn, 2 de Cu, y 0,5 de Mn, fraccionadas desde el momento de la siembra: primero en dos aplicaciones trimestrales y luego en tres aplicaciones bimensuales. Se utilizó el sistema de tutorado en V alto (Angulo, 2005).

Las láminas de riego se aplicaron mediante un sistema por goteo (dos goteros por planta con un caudal de 4 L h<sup>-1</sup>). Una vez sembradas las plantas, se aplicaron en corona las diferentes dosis de calcio establecidas, incorporándolas al sustrato y repartidas mensualmente debido a la poca movilidad que presenta este elemento en el suelo. Se calculó la aplicación de agua con base en la siguiente fórmula:

$$\text{Lámina} = \frac{\text{Etp} * C * A}{\eta_r} \quad (1),$$

donde Etp corresponde a la evapotranspiración en mm medida en el tanque evaporímetro, C al coeficiente multiplicador según tratamientos, A al área de la matera (254,4 cm<sup>2</sup>), y  $\eta_r$  a la eficiencia del riego por goteo (0,9).

Las diferentes variables de respuesta se midieron con los frutos obtenidos de ocho cosechas realizadas quincenalmente, usando como índice de madurez el color 5 y 6 del cáliz (Icontec, 1999). La primera cosecha se hizo en la semana 17 después del trasplante (ddt).

Las variables de respuesta evaluadas fueron la producción total de frutos por planta (g) durante todo el ciclo de producción, para lo cual se cosecharon los frutos cada 15 días y se pesaron en una balanza electrónica Acculab VIC 612 de 0,01g de precisión (Sartorius, Madrid); se determinó la masa fresca promedio del fruto (sin cáliz) durante cada cosecha tomando la producción total y dividiéndola por el número total de frutos cosechados en cada planta y cosecha; la producción por calidades comerciales (%) se midió con base en el porcentaje de la masa fresca de los frutos por planta de cada una de las categorías según la norma Icontec NTC 4580 (Icontec, 1999); los frutos se clasificaron

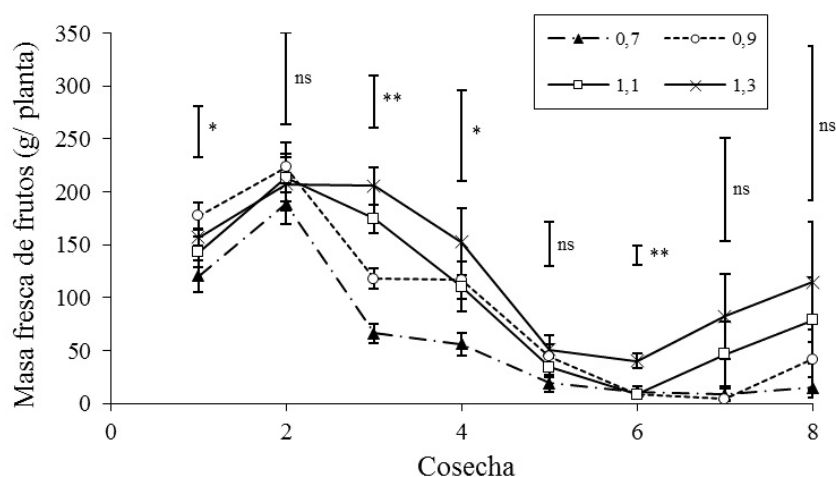
en tres tamaños (diámetro ecuatorial): >22 mm, grandes; 18-22 mm, medianos, y <18 mm, pequeños; el cuarteamiento total de frutos (%) se calculó dividiendo el número total de frutos cosechados por planta por el número de frutos cuarteados; el cuarteamiento de frutos por calidad comercial (%) se estableció dividiendo el número de frutos de un tamaño determinado afectados en el número total de frutos de ese tamaño; la masa fresca promedio por cáliz se estableció pesando el cáliz de cada uno de los frutos cosechados y dividiéndolo en el número de frutos por planta; por último, se determinó la relación entre cáliz y fruto tomando el peso del cáliz y dividiéndolo en el peso fresco del fruto sin cáliz a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

Una vez comprobado el supuesto de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se hizo un análisis de varianza (Anova) para diseños completamente al azar y, posteriormente, una prueba de comparación de promedios de Tukey al 5 %. Los datos se analizaron con el programa SAS® v. 9.2 (SAS Institute Inc., Cary NC).

## Resultados y discusión

### Producción por planta durante el tiempo de cosecha

Los mayores valores de masa fresca total de fruta se recolectaron al comienzo, en la primera cosecha (**Figura 1**); en la segunda la producción alcanzó un promedio de 208,2 g por planta, y a partir de allí comenzó a disminuir hasta la séptima cosecha en la que solo se obtuvieron, en promedio, 17,1 g por planta con todos los tratamientos. Después la producción volvió a incrementarse hasta los 62 g por planta, como lo observaron **Fischer, et al.** (2007), quienes concluyeron que las cosechas de uchuva tienen picos bimensuales de producción que son menos pronunciados a medida que avanza el tiempo de cosecha hasta el momento en que la cosecha es mínima (**Fischer, et al.**, 1998). Es probable que el hecho de haber cultivado la uchuva dentro del invernadero con frecuencias de riego bajas haya afectado de forma negativa la producción, pues la temperatura dentro del invernadero fue, en promedio, 3,2 °C superior a la exterior y se alcanzaron a registrar temperaturas de hasta 35 °C, las cuales son excesivas para el cultivo de uchuva y afectaron negativamente el desarrollo floral (**Fischer & Melgarejo**, 2020), así como el número y el crecimiento de los frutos (**Fischer, et al.**, 2016). Esta situación contrasta con lo reportado por **Angulo** (2005), en cuyo estudio la producción de uchuva dentro del invernadero fue 30 % mayor que la del cultivo en condiciones de libre exposición.



**Figura 1.** Producción quincenal de masa fresca de frutos de uchuva por planta en las diferentes cosechas con cada lámina de riego aplicada. La primera cosecha fue el 15 de agosto y la octava, el 21 de noviembre. Las barras verticales corresponden a la diferencia mínima significativa de Tukey. El error estándar se presenta para cada promedio (n=4). \* y \*\* indican diferencias significativas según el Anova (p<0,05 y p<0,01, respectivamente)

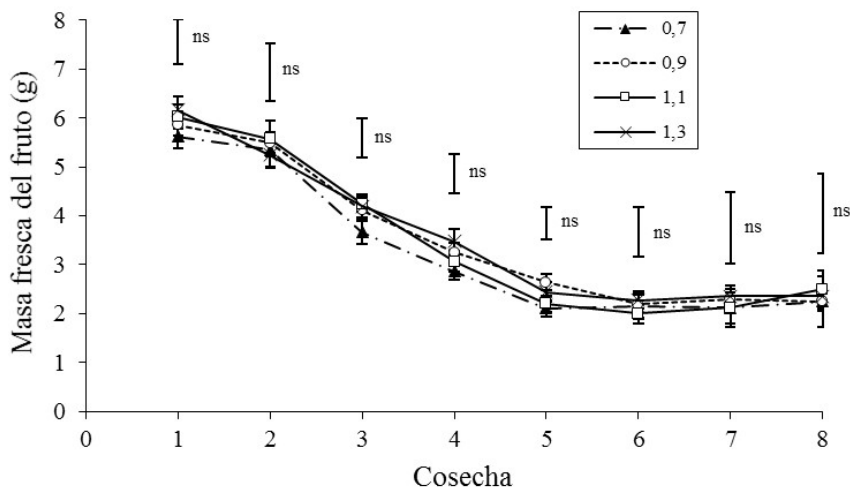
### Masa fresca del fruto durante el tiempo de cosecha

Los frutos más grandes se obtuvieron en las primeras recolecciones (**Figura 2**) y, luego, la masa promedio de frutos fue disminuyendo y tendió a estabilizarse a partir de la quinta cosecha. Para las dos primeras cosechas (semana 17 y 19 ddt), el promedio de la masa de frutos fue de 5,66 g, similar a los 5,68 g reportados por **Herrera, et al.** (2011), ambos en los rangos normales, y a los valores de 4,04 y 5,8 g reportados por **Guerrero, et al.** (2007) y **Fischer, et al.** (2007), respectivamente. Los frutos de las últimas cuatro cosechas apenas alcanzaron 2,26 g, es decir, una reducción de casi un 60 % en su masa fresca, lo que indica que los cultivos en condiciones más cálidas, como las de invernadero, o en sitios de menor altitud, se agotan más rápido según lo observaron **Fischer, et al.** (2007) y **Mazorra, et al.** (2003). Al igual que en el estudio de **Angulo** (2005), el máximo de cosecha se presentó en la semana 17 ddt, lo que implica que las condiciones de invernadero afectaron de forma similar el desarrollo del cultivo.

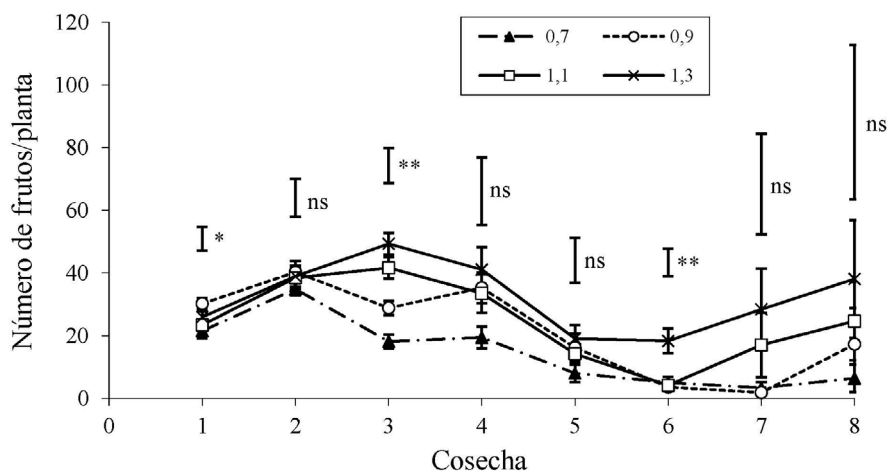
Con el coeficiente de riego de 1,3 se obtuvo la mayor masa promedio de frutos en el tiempo, con un promedio de 6,15 g, en tanto que con los coeficientes de 0,7 y 0,9 se obtuvo la menor masa promedio. En las dos primeras cosechas el efecto de la lámina de riego no fue significativo, y es probable que los tratamientos no influyeran en el comportamiento del cultivo inicialmente (**Figura 2**), por lo que es de suponerse que las plantas habían acumulado suficiente humedad en sus tejidos antes del inicio de los tratamientos.

### Número de frutos

La lámina de riego con la que se obtuvo el mayor número de frutos fue la de coeficiente de 1,3 en todas las cosechas, excepto en la primera, con diferencias significativas en la tercera y la sexta cosechas. El número de frutos tuvo una tendencia ascendente hasta la tercera cosecha (semana 21 ddt) con las láminas de riego de 1,1 y 1,3, dando hasta 50 frutos por planta (**Figura 3**), y a partir de este momento el número de frutos por planta comenzó a descender hasta la sexta cosecha (semana 27 ddt), cuando tan solo se recolectaron ocho frutos por planta en promedio, lo que se atribuyó al desgaste natural de la planta y a que las temperaturas del invernadero estuvieron por encima de las recomendadas por **Fischer & Melgarejo** (2020), quienes han señalado que la temperatura adecuada para el cultivo de uchuva oscila entre los 13 y los 16 °C y que las temperaturas muy altas pueden perjudicar la floración y la fructificación.



**Figura 2.** Masa fresca del fruto de uchuva en las diferentes cosechas quincenales con cada lámina de riego. La primera cosecha fue el 15 de agosto y la octava, el 21 de noviembre. Las barras verticales corresponden a la diferencia mínima significativa de Tukey. El error estándar se presenta para cada promedio ( $n=4$ ). ns: no significativo según el Anova



**Figura 3.** Número de frutos de uchuva por planta en las diferentes cosechas quincenales con cada lámina de riego aplicada. La primera cosecha fue el 15 de agosto y la octava, el 21 de noviembre. Las barras verticales corresponden a la diferencia mínima significativa de Tukey. El error estándar se presenta para cada promedio ( $n=4$ ). ns: no significativo; \* y \*\* indican diferencias significativas según el Anova ( $p<0,05$  y  $p<0,01$ , respectivamente)

En la última cosecha el promedio de frutos cosechados por planta subió a 21. La disminución en el número de frutos y el incremento al final coinciden con lo reportado por Fischer, *et al.* (1998) y Fischer, *et al.* (2007), y se explica porque la planta de uchuva tiende a intercambiar las fuerzas de su desarrollo entre el crecimiento de las ramas (vegetativo) y la inducción y el desarrollo de los frutos (reproductivo) (Fischer, *et al.*, 2015). El número de frutos fue inferior al reportado por Herrera, *et al.* (2011), quienes obtuvieron producciones que oscilaron entre 265 y 2.454 frutos por planta bajo condiciones ambientales más favorables, especialmente por haber sembrado las plantas en el suelo del invernadero y no en materas.

**Porcentaje de frutos por calidad comercial a lo largo del ciclo de cosecha**

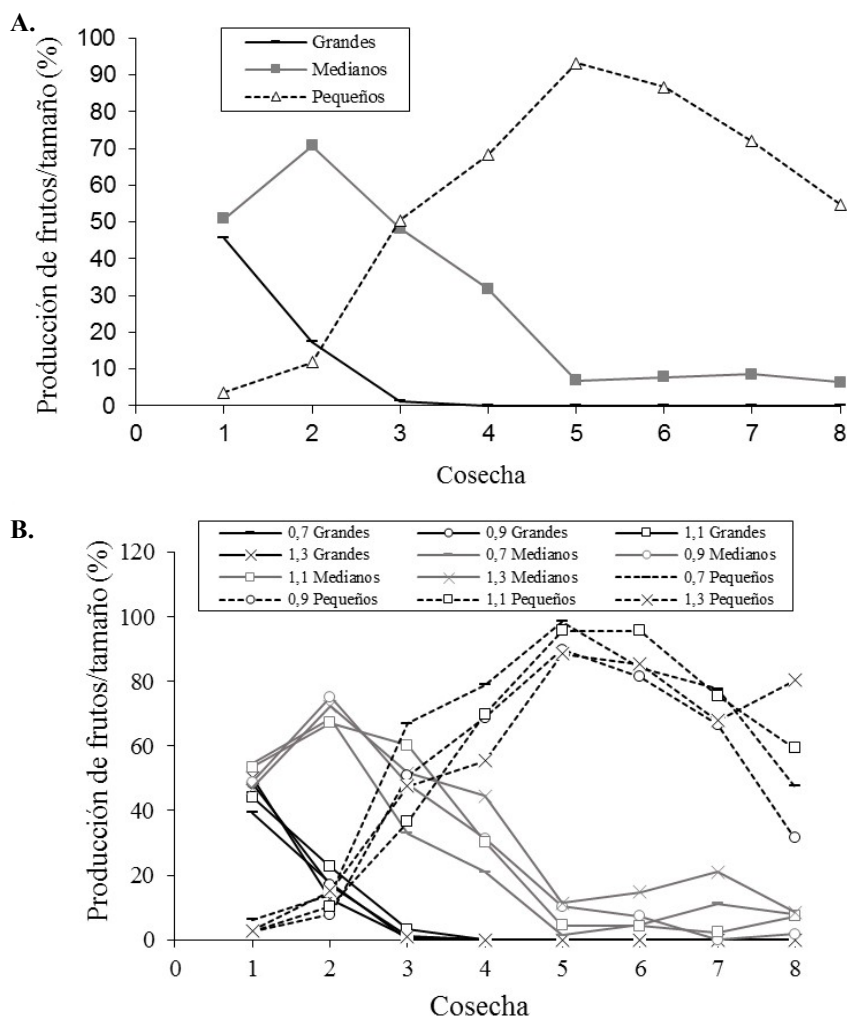
Los frutos de tamaño grande (>22 mm) se dieron en las dos primeras cosechas (Figura 4A), lo que puede atribuirse al menor número de frutos en esta fase de la producción, por lo que el total de los fotoasimilados se distribuyó en menos vertederos (Fischer, *et al.*, 2012). En las demás recolecciones el tamaño de los frutos no clasificó en el rango de frutos grandes. Los frutos de tamaño mediano fueron el 50 % y el 70,7 % en las dos primeras cosechas, respectivamente; después, el porcentaje de frutos de esta calidad disminuyó y a partir de la quinta cosecha el promedio de frutos medianos fue del 7,4 %. La cantidad de frutos de tamaño pequeño fue inicialmente baja y comenzó a ascender hasta llegar a la quinta cosecha, cuando su porcentaje también disminuyó, pues el uso de una lámina de riego más reducida (coeficiente de 0,7) contribuyó en gran medida a que se presentara un mayor porcentaje de frutos de tamaño pequeño y, a su vez, las láminas de riego más altas presentaron el porcentaje de frutos de mayor tamaño (Figura 4B), lo que coincide con lo observado por Álvarez, *et al.* (2015). Probablemente la menor frecuencia de riego (intervalos de irrigación más largos) origina un estrés hídrico que reduce la asimilación de carbono y la translocación de agua y fotoasimilados al fruto (Zargar, *et al.*, 2017).

Independientemente de la lámina de riego, en las dos primeras cosechas predominaron los frutos de tamaño grande (Fischer, *et al.*, 2007); entre la tercera y la quinta cosechas el predominio fue de los frutos medianos y pequeños, con una relación inversamente proporcional entre estos dos tamaños durante dicho intervalo de cosechas. A partir de la sexta y hasta la última cosecha, el tamaño de frutos predominante fue el menor, de

18 mm, situación similar a la reportada por **Guerrero, et al.** (2007), quienes mencionan que durante todas las cosechas los frutos de categoría nacional se presentaron en mayor porcentaje, lo que indica que el cultivo estaba establecido y manejado en condiciones adecuadas para su crecimiento.

**CuarTEAMIENTO total de frutos a lo largo del ciclo de cosecha**

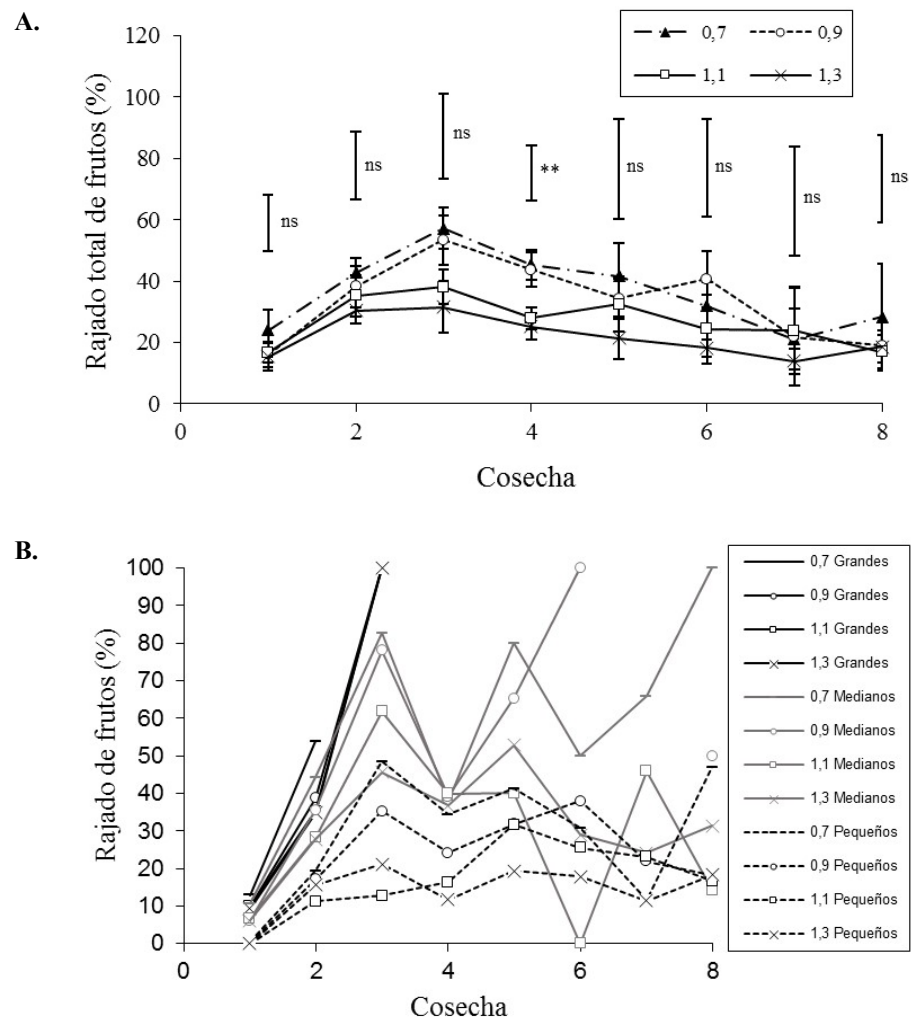
El cuarteamiento de frutos en la primera cosecha fue bajo, luego aumentó y en la tercera cosecha se presentó el máximo porcentaje, lo que se explica por el mayor número de frutos en esta recolección (**Figura 3**) y permite suponer que los nutrientes como el calcio, boro y magnesio no llegaron en cantidad suficiente para contrarrestar el cuarteamiento (**Garzón-Acosta, et al.**, 2014). A partir de allí, esta fisiopatía fue menor con todas las láminas de riego, lo que coincide con la disminución del tamaño de los frutos a medida que las plantas envejecían (**Figura 5a**) observada por **Galvis, et al.** (2005), en cuyo estudio el porcentaje de cuarteamiento disminuyó en el transcurso del periodo reproductivo. Asimismo, **Gordillo, et al.** (2004) y **Cooman, et al.** (2005) encontraron que el mayor porcentaje de cuarteamiento se producía en las primeras cosechas y lo atribuyeron al reducido número de frutos de mayor grandes y, por lo tanto, más susceptibles al cuarteamiento. Estos autores



**Figura 4.** Producción de frutos de uchuva cosechados quincenalmente, A) según el tamaño en las diferentes cosechas realizadas y B) según el tamaño en las diferentes cosechas y la lámina de riego aplicada. La primera cosecha fue el 15 de agosto y la octava, el 21 de noviembre.

registraron en el primer mes de cosecha un promedio de 15 % de frutos cuarteados, inferior a los valores de 50, 39 y 20 % encontrados en el presente estudio para los frutos de tamaño grande, mediano y pequeño, respectivamente.

Por su parte, **Torres, et al.** (2004) obtuvieron porcentajes de cuarteamiento que alcanzaron hasta un 70 % en la primera semana de cosecha, los cuales aumentaron con las aplicaciones de agua al madurar los frutos. Así, el cuarteamiento del fruto de uchuva es el desorden fisiológico más relacionado con el exceso de agua, lo cual puede deberse a las lluvias o a riegos demasiado abundantes (**Fischer & Melgarejo, 2020**). Además, la elevada incidencia de frutos cuarteados en las primeras semanas se atribuye a que un gran porcentaje de área foliar joven, que todavía es vertedero, compite con los frutos por los fotoasimilados (**Torres, et al., 2004**), lo que también origina que elementos como el calcio, de baja movilidad en la planta, no lleguen en concentración suficiente a los frutos (**Marschner, 2012**) y desencadene el cuarteamiento. Asimismo, en el caso de unos pocos frutos la relación entre área foliar y número de frutos es muy alta, por lo cual entran muchos carbohidratos al fruto, lo que contribuye a que se rajen (**Torres, et al., 2016**).



**Figura 5.** Porcentaje de rajado de los frutos de uchuva: A) por lámina de riego aplicada, y B) por calidad comercial durante las cosechas quincenales. La primera cosecha fue el 15 de agosto y la octava, el 21 de noviembre de 2009. Las barras verticales corresponden a la diferencia mínima significativa de Tukey. El error estándar se presenta para cada promedio ( $n=4$ ). ns: no significativo; \*\* indica diferencias significativas según el Anova ( $p<0,01$ )



Las láminas de riego menores presentaron en promedio los mayores porcentajes de cuarteamiento en las diferentes cosechas (**Figura 5A**), lo que concuerda con lo hallado por **Torres, et al.** (2004), quienes concluyeron que los frutos de uchuva sometidos a un estrés hídrico acusado son de menor tamaño, menor masa y se cuarteán más, especialmente si se aumenta mucho la cantidad de agua aplicada de un momento a otro, como sucede cuando hay lluvias fuertes después de una época seca (**Fischer, 2005**), un fenómeno descrito también para otros frutos, por ejemplo, la granada (**Pal, et al., 2017**). Este efecto también fue reportado por **Guerrero, et al.** (2007), quienes encontraron que a mayor humedad en el suelo, mayor la producción de frutos y el porcentaje de cuarteamiento, pues los frutos no aguantaron la presión del agua excesiva contra su epidermis (**Fischer & Melgarejo, 2020**). Los autores concluyeron que el cuarteamiento de la uchuva dependiente del agua puede deberse a dos situaciones: primero, el suministro del agua (abundante) después de una época seca y, segundo, la humedad elevada y constante del suelo.

El déficit hídrico en la etapa de crecimiento del fruto hace que la planta disminuya la tasa de transpiración, con lo cual disminuye también el suministro de calcio, boro y magnesio, elementos que tienen gran influencia en la resistencia y la elasticidad de la epidermis (**Garzón-Acosta, et al., 2014; Fischer, 2005**).

#### ***Cuarreamiento de los frutos según su tamaño a lo largo del ciclo de cultivo***

Se encontró que el cuarteamiento de los frutos grandes fue del 10 % en la primera cosecha y aumentó hasta un 100 % en la tercera cosecha; a partir de ese momento los frutos no alcanzaron el tamaño grande (**Figura 5b**). Los frutos de tamaño mediano se cosecharon en todo el ciclo de cultivo y presentaron un 39 % de cuarteamiento en promedio, con máximos en la tercera y la quinta cosechas (semanas 21 y 23 ddt). En los frutos de tamaño pequeño el cuarteamiento en la primera cosecha fue muy bajo, después se incrementó y permaneció constante, con un promedio de 20 %, en las demás cosechas. La tendencia general, independientemente de la lámina de riego, fue que a mayor tamaño (volumen y peso) del fruto, mayor la incidencia del cuarteamiento, lo que concuerda con los estudios de **Álvarez, et al.** (2012), **Fischer & Melgarejo** (2020); **Fischer** (2005) y **Guerrero, et al.** (2007). Según estos autores, este desorden fisiológico se debe a que la expansión de la epidermis no guarda proporción con el agrandamiento del fruto, lo que incrementa la posibilidad de que se rajen.

**Marschner** (2012) menciona que la asimilación de calcio en el fruto es menor según la absorción de agua. Asimismo, los frutos más grandes tienen mayor potencial de sumidero, lo que atrae más carbohidratos y propicia un crecimiento acelerado que puede rajarse el fruto (**Peet, 2009**). Este autor menciona, además, que en las condiciones de cultivo, en las que el cuarteamiento es un problema, se debe reducir tanto la cantidad de agua como de fertilizantes. **Criollo, et al.** (2014) observaron que el cuarteamiento depende mucho del genotipo, ya que los de ‘Silvania’ y ‘Kenia’, con los frutos más grandes (7,2 y 6,0 g, respectivamente), presentaron también los mayores porcentajes de cuarteamiento (8,9 y 8,1 %), comparados con el genotipo ‘Regional Nariño’ (4,8 g y 3,1 %).

#### ***Masa fresca de cáliz a lo largo del ciclo de cultivo***

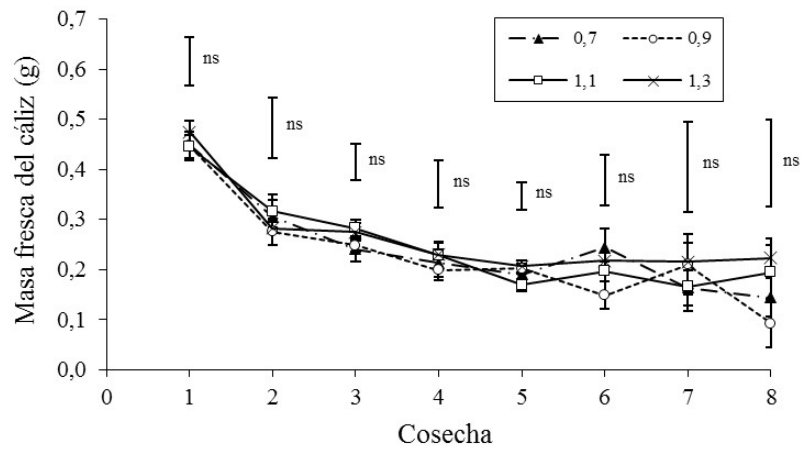
En la primera cosecha la masa fresca de cáliz fue de 0,45 g en promedio y disminuyó a medida que transcurrían las cosechas hasta llegar a una masa final de solo un 36 % de la inicial (0,164 g). Debe tenerse en cuenta que el cáliz está en estrecha relación con los frutos (**Fischer, 2000**) y que el tamaño de estos sigue disminuyendo hasta la última cosecha (**Figura 2**).

**Angulo** (2005) reportó valores superiores, de 0,8 y 1,0 g, para el cáliz de los frutos de uchuva cultivados en suelo en condiciones de invernadero y en libre exposición, respectivamente. No hubo diferencias significativas entre las láminas de riego a lo largo de las ocho cosechas recogidas, aunque en la última el uso de una lámina de riego de 0,7 de la evaporación disminuyó bastante la masa de cáliz (**Figura 6**). La variabilidad en dicha masa podría deberse a que las plantas tuvieron un gran desgaste provocado por el uso de gran parte de los fotoasimilados de reserva en las primeras cosechas, lo cual se vio reflejado tanto en la masa de los frutos como en la del cáliz; además, hacia el final del ciclo de cosechas la planta

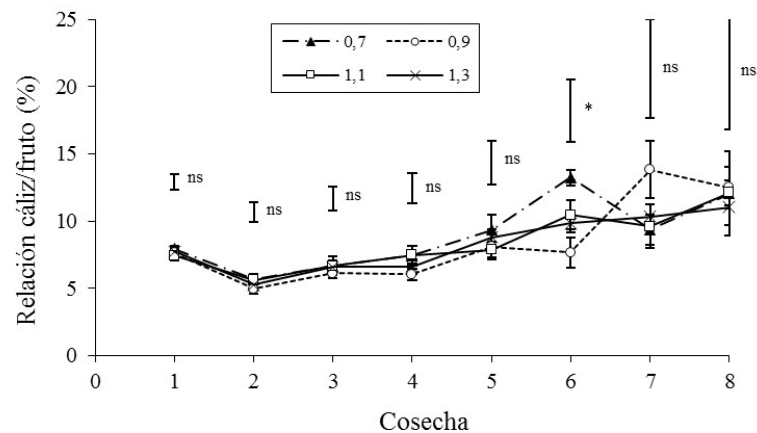
estresada tiene muy pocas reservas y los frutos y el cáliz son más pequeños. En este sentido, **Fernandes, et al. (2018)** hallaron que cuando las plantas eran sometidas a un estrés hídrico, los frutos y el crecimiento se vieron afectados de forma drástica, en tanto que **Fischer, et al., (2015)** registraron que el contenido de almidón disminuía de forma constante en el cáliz y, al final, en el momento de la cosecha, el contenido de carbohidratos era de tan solo 5,7 %.

**Relación entre el cáliz y el fruto a lo largo del ciclo de cosechas**

En promedio, dicha relación fue de 8,5% en todo el ciclo. En el caso de las primeras cuatro cosechas la relación de masa fresca entre el cáliz y el fruto fue menor al valor promedio durante todo el ciclo, posiblemente debido a una mayor translocación de los carbohidratos del cáliz al fruto durante los primeros 20 días de su desarrollo (**Fischer, et al., 2015**), y se incrementó a partir de la cuarta cosecha hasta alcanzar un valor de 11,9 % en la última (**Figura 7**). Por otro lado, este comportamiento también se puede explicar porque que en las primeras cosechas los frutos presentaron tamaños más grandes, en tanto que al final, la



**Figura 6.** Masa fresca del cáliz de uchuva durante las diferentes cosechas quincenales con la lámina de riego aplicada. La primera cosecha fue el 15 de agosto y la octava, el 21 de noviembre. Las barras verticales corresponden a la diferencia mínima significativa de Tukey. El error estándar se presenta para cada promedio ( $n=4$ ). ns: no significativo según el Anova



**Figura 7.** Relación entre cáliz y fruto de uchuva durante las diferentes cosechas quincenales con las láminas de riego aplicadas. La primera cosecha fue el 15 de agosto y la octava, el 21 de noviembre. Las barras verticales corresponden a la diferencia mínima significativa de Tukey. El error estándar se presenta para cada promedio ( $n=4$ ). ns: no significativo; \* indica diferencias significativas según el Anova ( $p<0,05$ ).

mayoría se clasificaron como pequeños, por lo que la relación entre cáliz y fruto aumentó; sin embargo, a medida que avanzaron las cosechas el cáliz fue más grande y su masa disminuyó, aunque no en la misma proporción del fruto. **Fischer, et al.** (2015) encontraron en su estudio que el cambio en la acumulación de carbohidratos fue similar en los frutos y en el cáliz, y que los procesos de translocación de sacarosa al fruto se dieron con igual intensidad hacia el cáliz debido al fuerte potencial de vertedero que tiene el fruto en su etapa de crecimiento y maduración. Por otra parte, **Fischer, et al.** (1997) encontraron que en las etapas iniciales de crecimiento esta relación fue mayor, pues el desarrollo inicial del cáliz es mucho mayor que el del fruto (**Fischer, 2000**).

## Conclusiones

El mayor tamaño, cantidad y producción de frutos por planta, así como el mayor porcentaje de cuarteamiento, se dieron en las primeras cosechas. Con la lámina de riego de 1,3 se obtuvo el mayor número de frutos y la mayor producción por planta a partir de la tercera recolección en el ciclo de cosecha. La producción de uchuva en invernadero fue menor al someter las plantas a estrés hídrico (láminas de 0,7 y 0,9) y también debido a las altas temperaturas del invernadero. En las últimas cosechas la cantidad de frutos pequeños fue mayor. La relación entre cáliz y fruto aumentó conforme avanzaba el ciclo de cosecha. Independientemente de la lámina de riego, cuanto mayor el tamaño de fruto, mayor la incidencia del cuarteamiento.

## Contribución de los autores

JAH: planteamiento y ejecución del proyecto de investigación, elaboración y ajuste del manuscrito; GF: planteamiento y supervisión de la ejecución del proyecto y elaboración y ajuste del manuscrito; JEV: asesoría del proyecto y elaboración y ajuste del manuscrito.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

## Agradecimientos

Esta investigación fue parcialmente financiada por el proyecto Hermes de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, con el título “Efecto del riego y la nutrición con calcio en la producción, rajado y calidad poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana* L.)”, código 2010100.

## Referencias

- Agronet.** (2020). Sistema de estadísticas agropecuarias. Producción nacional por producto. Uchuva. Fecha de consulta: mayo de 2020. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co>
- Aldana, F., García, P.N., Fischer, G.** (2014). Effect of waterlogging stress on the growth, development and symptomatology of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plants. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. **38** (149): 393-400. Doi: 10.18257/raccefyfyn.114
- Álvarez-Herrera, J., Balaguera-López, H., Fischer, G.** (2012). Effect of irrigation and nutrition with calcium on fruit cracking of the Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in the three strata of the plant. Acta Hort. **928**: 163-170. Doi: 10.17660/ActaHortic.2012.928.19
- Álvarez-Herrera, J., Fischer, G., Restrepo, L.P., Quicazán, M.** (2014). Contenidos de carotenoides totales y ácido ascórbico en frutos sanos y rajados de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Acta Hort. **1016**: 7-81. Doi: 10.17660/ActaHortic.2014.1016.8
- Álvarez-Herrera, J., Fischer, G., Vélez-Sánchez, J.** (2015). Producción de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio. Rev. Colomb. Cienc. Hort. **9** (2): 222-233. Doi: 10.17584/rceh.2015v9i2.4177
- Angulo, R.** (2005). Crecimiento, desarrollo y producción de la uchuva en condiciones de invernadero y campo abierto. En: Fischer, G., Miranda, D., Piedrahita, W., Romero, J. (eds.). Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia. Bogotá, Colombia: Unibiblos. p. 111-129.

- Cleves, J.A., Toro, J., Martínez, L.F.** (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* **10** (1): 149-163. Doi: 10.17584/rcch.2016v10i1.4460
- 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. *Agron. Colomb.* **23** (1): 74-82.
- Criollo, H., Lagos, T.C., Fischer, G., Mora, L., Zamudio L.** (2014). Comportamiento de tres genotipos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes sistemas de poda. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* **8** (1): 34-43. Doi: 10.17584/rcch.2014v8i1.2798
- Dhankher, O.M. & Foyer, C.H.** (2018). Climate resilient crops for improving global food security and safety. *Plant Cell Environ.* **41**: 877-884. Doi: 10.1111/pce.13207
- Fernandes, R., Cuevas, M.V, Díaz-Espejo, A., Hernández-Santana, V.** (2018). Effects of water stress on fruit growth and water relations between fruits and leaves in a hedgerow olive orchard. *Agr. Water Manage.* **210**: 32-40. Doi: 10.1016/j.agwat.2018.07.028
- Fischer, G.** (2005). El problema del rajado del fruto de la uchuva y su posible control. En: Fischer, G., Miranda, D., Piedrahita, W., Romero, J. (eds.). *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia.* Bogotá, Colombia: Unibiblos. p. 55-82.
- Fischer, G.** (2000). Crecimiento y desarrollo. En: Flórez, V.J., Fischer, G., Sora, A.D. (eds.). *Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.).* Bogotá, Colombia: Unibiblos. p. 9-26.
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P.J., Miranda, D.** (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Rev. Bras. Frutic.* **36** (1): 1-15. Doi: 10.1590/0100-2945-441/13
- Fischer, G., Ebert, G., Lüdders, P.** (2007). Production, seeds and carbohydrate contents of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting Colombian altitudes. *J. Appl. Bot. Food Qual.* **81**: 29-35.
- Fischer, G., Lüdders, P., Torres, F.** (1997). Influencia de la separación del cáliz de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) sobre el desarrollo del fruto. *Rev. Comalfi* **24** (1-2): 3-16.
- Fischer, G. & Melgarejo, L.M.** (2020). The ecophysiology of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) - an Andean fruit crop. A review. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* **14** (2). Doi: 10.17584/rcch.2020v14i2.10893
- Fischer, G., Melgarejo, L.M., Cutler, J.** (2018). Pre-harvest factors that influence the quality of passion fruit: A review. *Agron. Colomb.* **36** (3): 217-226. Doi: 10.15446/agron.colomb.v36n3.71751
- Fischer, G. & Miranda, D.** (2012). Uchuva (*Physalis peruviana* L.). En: Fischer, G. (ed.). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico.* Bogotá, Colombia: Produmedios. p. 851-873.
- Fischer, G., Ramírez, F., Almanza-Merchán, P.J.** (2012). Inducción floral, floración y desarrollo del fruto. En: Fischer, G. (ed.). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico.* Bogotá, Colombia: Produmedios. p. 120-140.
- Fischer, G., Ramírez, F., Casierro-Posada, F.** (2016). Ecophysiological aspects of fruit crops in the era of climate change. A review. *Agron. Colomb.* **34** (2): 190-199. Doi: 10.15446/agron.colomb.v34n2.56799
- Fischer, G., Torres, F., Lüdders, P.** (1998). Efecto de la altitud sobre los componentes de la producción en uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Cienc. Agric.* **4**: 156-170.
- Fischer, G., Ulrichs, C., Ebert, G.** (2015). Contents of non-structural carbohydrates in the fruiting Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) plant. *Agron. Colomb.* **33** (2): 155-163. Doi: 10.15446/agron.colomb.v33n2.515462
- Galvis, J.A., Fischer, G., Gordillo, O.P.** (2005). Cosecha y poscosecha de la uchuva. En: Fischer, G., Miranda, D., Piedrahita, W., Romero, J. (eds.). *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.) en Colombia.* Bogotá, Colombia: Unibiblos. p. 165-190.
- Garzón-Acosta, C.P., Villarreal-Garzón, D.M., Fischer, G., Herrera, A.O., Sanjuanelo, D.** (2014). La deficiencia de fósforo, calcio y magnesio afecta la calidad poscosecha del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Acta Hortíc.* **1016**: 83-88. Doi: 10.17660/ActaHortic.2014.1016.9
- Gordillo, O., 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 Silvanía (Cundinamarca). *Agron. Colomb.* **22** (1): 53-62.
- Guerrero, B., Velandia, M., Fischer, G., Montenegro, H.** (2007). Los ácidos carboxílicos de extractos vegetales y la humedad del suelo influyen en la producción y el rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* **1** (1): 9-19. Doi: 10.17584/rcch.2007v1i1.1141

- Herrera, A.M., Ortiz, J., Fischer, G., Chacón, M.** (2011). Behavior in yield and quality of 54 cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) accessions from north-eastern Colombia. *Agron. Colomb.* **29** (2): 189-196.
- Icontec.** (1999). Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas.
- Marengo, J.A., Pabón, J.D., Díaz, A., Rosas, G., Ávalos, G., Montealegre, E., Villacis, M., Solman, S., Rojas M.** (2011). Climate change: evidence and future scenarios for the Andean region. En: Herzog, S., Martínez, R., Jorgensen, P.M., Tiessen, H. (eds.). *Climate change and biodiversity in the tropical Andes*. Paris, Francia: IAI-SCOPE-UNESCO. p. 110-127.
- Marschner, P.** (ed.). (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3ª edición. Londres, Inglaterra: Academic Press. 649 p.
- Mazorra, M.F., Quintana, A.P., Miranda, D., Fischer, G., Chaves, B.** (2003). Análisis sobre el desarrollo y la madurez fisiológica del fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sumapaz (Cundinamarca). *Agron. Colomb.* **21** (3): 175-189.
- Moreno-Miranda, C., Pilamala, A., Moreno-Miranda, R., Molina, J.I., Cerda-Mejía, L., Rama, D.** (2020). Análisis de las dimensiones sociales, productivas y de gobernanza de la cadena de *Physalis peruviana*: un estudio de caso de la zona interandina en Ecuador. *Cienc. Tecnol. Agropecu.* **21** (2): e1304. Doi: 10.21930/rcta.vol21\_num2\_art:1304
- Nocetti, D., Núñez, H., Puente, L., Espinosa, A., Romero, F.** (2020). Composition and biological effects of goldenberry byproducts: an overview. *J. Sci. Food Agric.* **2020**. Doi: 10.1002/jsfa.10386
- Pal, R.K., Singh, N.V., Maity, A.** (2017). Pomegranate fruit cracking in dryland farming. *Curr. Sci.* **112** (5): 896-897.
- Peet, M.M.** (2009). Physiological disorders in tomato fruit development. *Acta Hort.* **821**: 151-160. Doi: 10.17660/ActaHortic.2009.821.16
- Ramírez, F., Fischer, G., Davenport, T.L., Pinzón, J.C.A., Ulrichs, C.** (2013). Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) phenology according to the BBCH phenological scale. *Sci. Hortic.* **162**: 39-42.
- Sánchez-Reinoso, A.D., Jiménez-Pulido, Y., Martínez-Pérez J.P., Pinilla C.S., Fischer G.** (2019). Chlorophyll fluorescence and other physiological parameters as indicators of waterlogging and shadow stress in lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*) seedlings. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* **13** (3): 325-335. Doi: 10.17584/rcch.2019v13i3.100171
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A.** (2015). *Plant physiology and development*. 6ª edición. Sunderland, M.A., USA: Sinauer Associates. 761 p.
- Torres, C., Cooman, A., Fischer, G.** (2004). Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta. I. Efecto de la variación del balance hídrico. *Agron. Colomb.* **22** (2): 140-146.
- Torres, C., Fischer, G., Miranda, D.** (2016). Principales fisiopatías del cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). En: Miranda, D., Carranza, C., Fischer, G. (eds.). *Problemas de campo asociados al cultivo de uchuva (Physalis peruviana L.)*. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia. p. 139-146.
- Vélez, J.E. & Álvarez, J.G.** (2012). Riego en frutales. En: Fischer G. (ed.). *Manual para el cultivo de frutales en el trópico*. Bogotá, Colombia: Produmedios. p. 186-204
- Villareal-Navarrete, A., Fischer, G., Melgarejo, L.M., Correa, G., Hoyos-Carvajal, L.** (2017). Growth response of the Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) to waterlogging stress and *Fusarium oxysporum* infection. *Acta Hort.* **1178**: 161-168. Doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1178.28
- Zargar, S.M., Gupta, N., Nazir, M., Mahajan, R., Malik, F.A., Sofi, N.R., Shikari, A.B., Salgotra, R.K.** (2017). Impact of drought on photosynthesis: Molecular perspective. *Plant Gene.* **11**: 154-159. Doi: 10.1016/j.plgene.2017.04.003